



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Produção e Caracterização de Briquetes Provenientes de  
Serradura de Tronco de Coqueiro e Resíduos de Mandioca  
(Casca de Mandioca)**



**Autora:**

Tsitsi Zito Makonya

**Supervisor:**

Prof. Doutor Carlos Lucas, Eng<sup>o</sup>

**Co-supervisor:**

Doutor Adolfo Condo, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Outubro de 2022

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Produção e Caracterização de Briquetes Provenientes de  
Serradura de Tronco de Coqueiro e Resíduos de Mandioca  
(Casca de Mandioca)**

**Autora:**

Tsitsi Zito Makonya

**Supervisor:**

Prof. Doutor Carlos Lucas, Eng<sup>o</sup>

**Co-supervisor:**

Doutor Adolfo Condo, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Outubro de 2022

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante Tsitsi Zito Makonya entregou no dia 18/10/2022 as 4 cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura intitulado:

Produção e Caracterização de Briquetes Provenientes de Serradura de Tronco de Coqueiro e Resíduos de Mandioca (Casca de Mandioca).

Maputo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022

O chefe da Secretaria

\_\_\_\_\_

**Declaração de Honra**

Eu, Tsitsi Zito Makonya, declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura foi realizado inteiramente por mim, no Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, no âmbito da conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia Química.

Maputo, \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

A autora

---

(Tsitsi Zito Makonya)

### **Agradecimentos**

A realização deste trabalho, contou com a contribuição de várias pessoas, a quem endereço o meu profundo obrigado:

A Deus, pelo dom da vida, pela proteção, pela força, por mostrar-me o caminho a seguir, dado me instrumentos para ultrapassar os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais Zito Makonya e Verónica Mateus pelo suporte imensurável que me deram durante a minha vida académica. Aos meus irmãos e amigos que estiveram comigo que me ajudaram sempre que precisei.

Ao meu supervisor, Prof. Carlos Lucas, Eng.º pelo incentivo na escolha do tema, pela disponibilidade, por ter acreditado nas minhas capacidades assim como pela orientação e atenção dada durante a realização deste trabalho. Ao meu co-supervisor Eng.º Adolfo Condo, pelos ensinamentos transmitidos, pela paciência e prontidão, por estar sempre disponível para qualquer ajuda durante as pesquisas e fazes laboratoriais.

Aos meus colegas e amigos da Engenharia Química que estiveram comigo dando me suporte e apoio moral para continuar e superar as dificuldades, em especial a turma de 2015 que percorreu vários momentos comigo. A todos os docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Química pelo acompanhamento, apoio moral e incentivo durante o curso.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho, embora não citados, não deixam de merecer o meu agradecimento.

## **RESUMO**

O presente trabalho intitulado Produção e Caracterização de Briquetes Provenientes de Serradura de Tronco de Coqueiro e Resíduos de Mandioca (Casca de Mandioca) foi realizado com objetivos de produzir briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro e de resíduos de mandioca (casca de mandioca) e analisar os seus parâmetros de qualidade. Os briquetes foram produzidos sem adição de ligantes, à pressão de 10MPa com variação de temperatura (100°C e 150°C). Amostras de serradura de tronco de coqueiro e de casca de mandioca foram caracterizadas de ponto de vista de análise imediata, nomeadamente teor de humidade, propriedades químicas (cinzas, voláteis, carbono fixo), a partir do qual foi calculado o poder calorífico superior, poder calorífico inferior e poder calorífico útil. Foram também avaliados parâmetros de qualidade dos briquetes produzidos, nomeadamente propriedades mecânicas (densidade aparente, densidade a granel, teste de expansão, tração por compressão diametral) e propriedades térmicas (teste de fervura e índice de combustão).

Os resultados da caracterização das biomassas em análise mostram que para ambos resíduos estudados apresentaram propriedades energéticas superiores a 2746.73Kcal/Kg compatível com o biocombustível sólido tradicional (carvão vegetal) e que a compactação é um potencial alternativo para valorizar biomassas que não compactam naturalmente.

Os briquetes à base de serradura de tronco de coqueiro foram produzidos com humidade média de 10.66% e briquetes à base de casca de mandioca com humidade de 11.68%, ambos com granulometria abaixo de 0.450mm. A biomassa de serradura de tronco de coqueiro apresentou menor teor de cinzas em relação a biomassa de casca de mandioca, e maior teor de voláteis, teor de carbono fixo e poder calorífico em relação à biomassa de casca de mandioca. Os briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro produzidos à temperatura de 150°C e pressão de 10MPa apresentaram melhor resistência mecânica (0.7MPa) em relação aos briquetes provenientes da casca de mandioca (0.41MPa) nas mesmas condições. E os briquetes à base de casca de mandioca à 100°C e 10MPa apresentaram boa resistência mecânica (0.20MPa) em relação aos briquetes de serradura de tronco de coqueiro (0.15MPa) produzidos nas mesmas condições de temperatura e pressão. No que diz respeito a eficiência térmica, os briquetes à base de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa apresentaram maior potencial energético.

**Palavras-Chaves:** Biomassa, Resíduos Agroflorestais, Briquetes, Eficiência Térmica

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJECTIVOS.....	3
1.1.1 OBJECTIVO GERAL.....	3
1.1.2 OBJECTIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
1.3 METODOLOGIA.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Determinação da análise imediata.....	5
2.1.1 Análise de Humidade.....	5
2.1.2 Teor de Cinzas.....	5
2.1.3 Teor de Voláteis.....	6
2.1.4 Teor de Carbono Fixo.....	7
2.2 Cálculo do poder calorífico a partir da análise imediata.....	7
2.2.1 Poder Calorífico (PC).....	7
2.2.2 Poder Calorífico Superior (PCS).....	7
2.2.3 Poder Calorífico Inferior (PCI).....	8
2.2.4 Poder Calorífico Útil.....	9
2.3 Densidade a granel.....	9
2.4 Densidade aparente do briquete.....	9
2.5 Densidade Energética.....	9
2.6 Teste de Expansão.....	10
2.7 Propriedades Térmicas.....	10
2.7.1 Teste de Fervura da água.....	10
2.7.2 Índice de Combustão.....	14

3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
3.1	Classificação granulométrica das partículas .....	16
3.2	Análise Imediata .....	19
3.3	Propriedades Térmicas .....	23
3.4	Densidade a granel .....	23
3.5	Produção de briquetes .....	24
3.6	Teste de Expansão .....	25
3.7	Densidade Aparente dos Briquetes .....	26
3.8	Determinação da Densidade Energética (DE) .....	26
3.9	Tração por Compressão Diametral .....	26
3.10	Teste de Fervura da Água .....	28
3.11	Índice de Combustão .....	30
4.	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES .....	32
4.1	Caracterização da Biomassa .....	32
4.2	Teor de Humidade .....	32
4.3	Teor de Cinzas .....	34
4.4	Teor de Voláteis .....	34
4.5	Teor de Carbono Fixo .....	35
4.6	Poder Calorífico .....	35
4.7	Densidade a Granel .....	35
4.8	Densidade Aparente .....	36
4.9	Densidade Energética .....	37
4.10	Teste de Expansão .....	37
4.11	Resistência Mecânica .....	37
4.12	Teste de Fervura da Água .....	41
4.13	Índice de Combustão .....	46
4.14	Influência da Temperatura na Qualidade de Briquete .....	51



5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	52
5.1	Conclusão .....	52
5.2	Recomendações.....	53

## **LISTA DE FIGURA**

<b>Figura 1.</b> Curva típica de “percentagem de massa consumida x tempo” e “temperatura x tempo” com seus pontos característicos para obtenção do ICOM .....	15
<b>Figura 2.</b> Amostra de Serradura de Tronco de Coqueiro na base húmida .....	16
<b>Figura 3.</b> Amostra de Casca de Mandioca na base húmida.....	16
<b>Figura 4.</b> Amostra de Casca de Mandioca após a secagem.....	17
<b>Figura 5.</b> Amostra de Casca de Mandioca após a moagem.....	17
<b>Figura 6.</b> Determinação de teor de humidade da biomassa.....	18
<b>Figura 7.</b> Amostras antes da Calcinação .....	20
<b>Figura 8.</b> Amostras após a Calcinação .....	20
<b>Figura 9.</b> Cadinho após o ensaio de determinação de teor de voláteis .....	21
<b>Figura 10.</b> Ensaio de densidade a granel.....	22
<b>Figura 11.</b> Briquetadeira usada.....	23
<b>Figura 12.</b> Briquetes produzidos.....	23
<b>Figura 13.</b> Briquetes provenientes de Casca de Mandioca .....	24
<b>Figura 14.</b> Briquetes provenientes de Serradura de Tronco de Coqueiro .....	24
<b>Figura 15.</b> Teste de Compressão Diametral .....	26
<b>Figura 16.</b> Teste de Fervura.....	28
<b>Figura 17.</b> Índice de Combustão na vista frontal.....	30
<b>Figura 18.</b> Índice de Combustão na vista de cima.....	30
<b>Figura 19.</b> Efeito da Humidade na Produção de Briquetes .....	32

**LISTA DE TABELA**

<b>Tabela 1.</b> Valores médios da caracterização das biomassas em estudo (análise imediata) .....	31
<b>Tabela 2.</b> Resultados da densidade a granel das biomassas .....	34
<b>Tabela 3.</b> Resultados da Densidade Energética .....	36
<b>Tabela 4.</b> Número e altura média de empilhamento dos briquetes produzidos .....	39
<b>Tabela 5.</b> Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa.....	40
<b>Tabela 6.</b> Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro à 100°C e 10MPa.....	41
<b>Tabela 7.</b> Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 150°C e 10MPa.....	42
<b>Tabela 8.</b> Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 100°C e 10MPa.....	43
<b>Tabela 9.</b> Variáveis calculadas no teste de fervura para carvão vegetal .....	44
<b>Tabela 10.</b> Índice de combustão (ICOM), temperaturas máxima e final alcançadas no teste e percentagem de massa consumida até a temperatura máxima (T. máx) e na temperatura final (T. final) do teste .....	49

## **1. INTRODUÇÃO**

Os novos modelos de produção industrial, bem como a evolução tecnológica, são responsáveis por grande parte da demanda de energia contemporânea. Nesse contexto, a busca por fontes alternativas de energia renovável aumenta anualmente em decorrência da expectativa de esgotamento dos recursos naturais de origem fóssil. Dentre as fontes de energia renováveis estão eólicas, solar, hídrica, geotérmicas e energia de biomassa.

Do ponto de vista energético, a biomassa é um recurso alternativo aos combustíveis fósseis, por ser renovável e pouco poluente; é considerada uma fonte alternativa de energia, pois consiste em um material orgânico de origem vegetal ou animal, podendo ser convertido em combustível sólido, líquido ou gasoso.

Dos métodos de compactação da biomassa existentes, destacam-se a briquetagem. A briquetagem é uma das alternativas tecnológicas para o melhor aproveitamento dos resíduos de biomassa, consistindo num processo de trituração e compactação que utiliza elevadas pressões e temperatura para transformar os referidos resíduos em blocos denominados de briquetes, os quais possuem melhor potencial de geração de calor (energia) em relação aos resíduos *in natura* (Gentil, 2008) citado por (Souza, 2014). O produto formado tem dimensões aproximadas de 150-250 mm de comprimento e diâmetro de 50-100 mm. (Souza, 2014).

A biomassa resultante da Madeira possui alto potencial energético que pode ser usado como combustível. O uso da biomassa resultante dos resíduos de serragem para produção de energia está também associado à redução no consumo de combustíveis fósseis por um lado e por outro à redução da pressão sobre os recursos florestais.

Estudos têm sido feitos para aumentar a eficiência energética dos resíduos agroflorestais, um desses estudos consiste no reaproveitamento da serragem de madeira combinado ou não com outros resíduos para a produção de briquetes. Esses briquetes virão a ser um grande substituto no uso da lenha, pois a lenha é um recurso não renovável e poluente.

A compactação de resíduos agroflorestais produz combustíveis sólidos de excelente qualidade e em alguns casos apresentam densidade, poder calorífico e resistência mecânica superiores à lenha, além de possuírem baixa humidade.

A vantagem de uso dos briquetes está no aumento da densidade energética, aumento da resistência e aumento do poder calorífico, além de não ser poluente, comparado com a biomassa que possui baixa eficiência energética, devido à baixa densidade, alta humidade e baixo poder calorífico.

O trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos: o primeiro capítulo contém a parte introdutória em que faz-se uma contextualização do tema em estudo e suas vantagens, os objetivos da pesquisa, a justificativa da escolha do tema e a metodologia utilizada; o segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica dos pontos a serem analisados no trabalho; o terceiro capítulo diz respeito aos materiais e métodos usados para obtenção dos resultados laboratoriais; o quarto capítulo é composto pelos resultados obtidos e suas discussões. Por fim, o quinto capítulo traz as conclusões em torno da pesquisa feita e recomendações para trabalhos futuros.

## **1.1 OBJECTIVOS**

### **1.1.1 OBJECTIVO GERAL**

- Avaliar o grau de desempenho de briquetes provenientes de resíduos agroflorestais.

### **1.1.2 OBJECTIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar as características físico-químicas da matéria-prima;
- Produzir briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro e resíduo de Mandioca (casca de Mandioca);
- Determinar as características físico-químicas do briquete produzido;
- Caracterizar o potencial energético de briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro e da casca de Mandioca;
- Analisar a influência da temperatura de densificação na qualidade dos briquetes produzidos.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O país é rico em recursos agroflorestais que conseqüentemente produzem resíduos, alguns desses resíduos possuem um alto poder calorífico sendo possível usá-los como fonte alternativa dos recursos não renováveis.

A Serradura de Madeira e a Casca de Mandioca são resíduos sólidos, muito pouco aproveitados para fins energéticos pelas comunidades ou indústrias moçambicanas. Em geral, nas indústrias madeireiras, carpintarias, indústrias alimentares ou cervejeiras os resíduos são amontoados e transportados para locais distantes onde são queimados contribuindo ainda mais para poluição do meio ambiente.

Com vista a contribuir para a mudança deste cenário foram realizados estudos da caracterização e de determinação do potencial energético dos resíduos e do seu aproveitamento para produção de briquetes, um combustível sólido que representa uma forma alternativa e viável para uso de recursos renováveis, com reduzido impacto sobre o meio ambiente.

## **1.3 METODOLOGIA**

O presente trabalho cumpriu com a seguinte metodologia: pesquisa bibliográfica, trabalho laboratorial, tratamento e organização de dados experimentais, análise e discussão dos resultados, por fim a elaboração do relatório final.

**Pesquisa bibliográfica:** consistiu na fundamentação teórica necessária para tratar o tema de pesquisa, por meio da análise de literaturas publicadas na forma de livros, artigos científicos, trabalhos de licenciatura e dissertações de mestrado que sustentem o desenvolvimento do trabalho.

### **Trabalho laboratorial:**

➤ **Aquisição das matérias-primas:** as amostras de serradura de tronco de coqueiro e casca de mandioca foram adquiridas na província de Inhambane, distrito de Maxixe e Inharrime respetivamente. Foram necessário 10Kg de serradura de tronco de coqueiro e 50Kg de casca de mandioca ambas na base húmida. Para efeitos de comparação dos resultados das biomassas adquiridas com o carvão vegetal que é um combustível já em uso pela sociedade, o carvão vegetal foi adquirido na cidade de Maputo, no Mercado Malanga;

➤ **Local da realização:** as atividades foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Química, na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), com exceção do ensaio de resistência à compressão que foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da UEM;

➤ **Etapas:** o trabalho laboratorial foi realizado de acordo com seguintes etapas: preparação das biomassas (secagem, moagem e classificação granulométrica); caracterização químico-física das matérias-primas (análise imediata das biomassas); produção dos briquetes; caracterização física, mecânica e térmica dos briquetes produzidos; e por último fez se uma comparação dos briquetes produzidos e do carvão vegetal em termos de desempenho energético.

**Elaboração do relatório final:** o relatório é representado por este documento que transmite informações encontradas durante a pesquisa bibliográfica, nas análises e dados obtidos durante as experiências laboratoriais e por fim nas discussões e conclusões que foi possível obter em torno do tema em estudo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Determinação da análise imediata**

A análise imediata de um combustível fornece a percentagem de teor de humidade, teor de cinzas, teor de volátil e teor de carbono fixo.

#### **2.1.1 Análise de Humidade**

A análise de humidade é necessária para determinar a quantidade de água em um determinado material. Durante o processo de briquetagem, o teor de humidade pode facilitar a solubilização das fibras, mas, em grande quantidade pode vir a reduzir a densidade e a resistência mecânica do produto final. O nível de tolerância do teor de humidade de um briquete é de 10 a 12% para amostras a base de madeira. Acima destes níveis, a eficiência térmica é afetada negativamente assim como a taxa de queima, pois mais energia será usada para eliminar a humidade. Alta humidade pode ainda tornar o briquete suscetível ao ataque de fungos e outros microrganismos, como insetos e bactérias (Onulak, et al., 2017).

### **2.1.2 Teor de Cinzas**

As cinzas correspondem à fração inorgânica da biomassa, agregando na sua constituição os elementos químicos que são inertes as reações de combustão, entre eles estão fósforo, potássio e o cálcio.

Cinzas influenciam a transferência de calor na superfície do material combustível, assim como na difusão de oxigênio durante a combustão. Como as cinzas não queimam, briquetes com baixos teores de cinzas são mais recomendados (Akowuah & Kermausor, 2012). Recomenda-se que briquetes sejam compostos por materiais com teor de cinzas preferencialmente abaixo de 4%. (Chen, et al., 2009)

O teor de cinzas é determinado pela equação 1 seguindo a orientação de (Pinto, 2016)

$$TC = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

TC = Teor de Cinzas (%);

M<sub>0</sub> = massa de aproximadamente 1,0 g de amostra seca (g);

M<sub>1</sub> = massa do cadinho vazio (g);

M<sub>2</sub> = massa do cadinho + cinza (g).

### **2.1.3 Teor de Voláteis**

Em relação a química imediata, é importante se avaliar o teor de materiais voláteis pois se relaciona diretamente com a queima no processo de carbonização.

O teor de voláteis é a parte gasosa da biomassa (incluindo humidade) que é liberada no aquecimento e/ou combustão. Ele interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição citada por (Mckemdry, 2002) e (Klautau, 2008).

Quanto maior o teor de materiais voláteis, mais rápido é a queima (Oliveira, et al., 2017).

Taxas de aquecimento mais rápidas do que 950°C podem produzir maior teor de matéria volátil. Materiais com baixo teor de voláteis resultam em combustões lentas que podem



ser consideradas incompletas e levam a libertação significativa de fumaça e gases tóxicos (Akowuah & Kermausor, 2012).

A determinação do teor de voláteis é feita pela equação 2 segundo (Pinto, 2016)

$$TV = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

TV = Teor de Voláteis (%);

M<sub>0</sub> = massa de aproximadamente 1,0 g da amostra seca antes da calcinação (g);

M<sub>1</sub> = massa do cadinho vazio (g);

M<sub>2</sub> = massa do cadinho após a calcinação a 950°C (g).

#### **2.1.4 Teor de Carbono Fixo**

O teor de carbono fixo também está diretamente correlacionado com a quantidade de material celulósico utilizado na composição dos briquetes. Altos teores de carbono fixo indicam a geração de maior calor durante a combustão, pois o carbono reage com o oxigênio e libera calor. (Magalhães, et al., 2019)

O teor de carbono fixo é uma medida indireta, calculada pela equação 3 citada por (Pinto, 2016)

$$CF = 100 - (TC + TV) \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

CF = Teor de Carbono Fixo (%);

TC = Teor de Cinzas (%);

TV = Teor de Voláteis (%).

## **2.2 Cálculo do poder calorífico a partir da análise imediata**

### **2.2.1 Poder Calorífico (PC)**

O PC é a propriedade mais importante na caracterização de um briquete. Ele indica a quantidade de combustível necessária para gerar uma determinada quantidade de energia (Sotande, 2010) . Altos valores de poder calorífico geralmente estão associados a altos valores de teor de carbono e a condições do processo de formação do briquete, como temperatura e pressão. (Onulak, et al., 2017)

### **2.2.2 Poder Calorífico Superior (PCS)**

O PCS é a quantidade de calor libertada na combustão de uma unidade de massa (ou de volume) de combustível considerando a água de formação e água da humidade do combustível no estado líquido.

O cálculo do poder calorífico superior é feito pela equação 4 segundo (Ferreira, et al., 2014)

$$PCS = 84.5104 \times (TCF) + 37.2601 \times (TV) - 1.8642 \times (TC) \text{ equação (4)}$$

Onde:

PCS = Poder Calorífico Superior, base seca, (kcal/kg);

TCF = Teor de Carbono fixo (%);

TV= Teor de Voláteis (%);

TC = Teor de Cinzas (%);

Os coeficientes da equação 4 indicam que o teor de carbono fixo e de voláteis influenciam positivamente no poder calorífico superior, enquanto o teor de cinzas influência negativamente.

### **2.2.3 Poder Calorífico Inferior (PCI)**

O PCI é a quantidade de calor libertada sem considerar a evaporação de água de formação do combustível mais a quantidade de água da humidade do combustível (Cortez, 2008).

O cálculo do poder calorífico inferior é feito pela equação 5 citado por (Ferreira, et al., 2014).

$$PCI = PCS - (600 \times 0.09 \times H) \quad \text{equação (5)}$$

Onde:

PCI = Poder Calorífico Inferior, base seca(kcal/kg);

PCS = Poder Calorífico Superior, base seca(kcal/kg);

H = Teor de Hidrogênio considerado 6%

De acordo com (Brito & Barrichelo, 1982), o teor de hidrogênio (%) das biomassas provenientes de madeiras é cerca de 6% independentemente da espécie.

### **2.2.4 Poder Calorífico Útil**

O PCU é a quantidade de calor liberada útil, descontada a quantidade de calor usada para evaporar a água de formação e a humidade do combustível (Brito, 1993).

O cálculo do poder calorífico útil é feito pela equação 6 citado por (Ferreira, et al., 2014).

$$PCU = [PCI \times (1 - 0.01TH)] - (600 \times 0.01 \times TH) \quad \text{equação (6)}$$

Onde:

PCU = Poder Calorífico Útil, base húmida, (kcal/kg)

PCI = Poder Calorífico Inferior, base seca, (kcal/kg)

TH = Teor de Humidade, (%)

### **2.3 Densidade a granel**

A densidade a granel define o volume ocupado por uma determinada massa de um material em sua forma granular, ou seja, uma porção composta por pequenas partículas.

Cada matéria-prima apresenta uma densidade a granel que depende de sua composição, tamanho médio das partículas e processo de tratamento. Essa medida é de grande importância para determinar o grau de compactação dos materiais briquetados.

### **2.4 Densidade aparente do briquete**

A Densidade Aparente foi determinada pelo método estereométrico no qual cada corpo-de-prova teve a sua massa determinada em balança analítica e teve suas dimensões determinadas por paquímetro. A densidade aparente foi calculada pela relação entre a massa e volume, considerando-se a forma cilíndrica dos corpos-de-prova, após a prensagem.

### **2.5 Densidade Energética**

A Densidade Energética segundo (Pinheiro, et al., 2005) é a propriedade que avalia o desempenho da biomassa como combustível, pois resume as características físicas e químicas (constituição química, poder calorífico e cinzas) e é definida como o produto entre poder calorífico útil e a densidade aparente. Optou-se por empregar o PCU no cálculo da densidade energética, pois esta unidade representa a condição real da biomassa a ser utilizada na fabricação do briquete, retratando a densidade aparente do briquete após a climatização e o real conteúdo de energia presente na biomassa.

O uso do poder calorífico útil é explicado por (Souza, 2014), que afirma que a utilização do PCS ou PCI para o cálculo da densidade energética deve ser compatibilizada pelo uso da densidade em condição seca, já que são determinadas para uma amostra seca de biomassa. Dessa forma, a condição mais precisa em relação ao conteúdo energético para briquetes é o uso do poder calorífico útil e a densidade aparente.

### **2.6 Teste de Expansão**

O teste de expansão dimensional consiste em determinar a variação diametral e o comprimento ocorrido nos briquetes após sua moldagem. Este tipo de ensaio é importante

para averiguar se o briquete absorve muita humidade do ambiente em que está inserido, ocasionando variações em parâmetros como poder calorífico, peso e dimensões. A simulação foi feita em um ambiente com temperatura de 25°C. As dimensões e massas dos corpos de prova foram acompanhados a cada 2 minutos até diâmetro e altura constante. Após sete dias foram feitas novas medições. Este processo foi necessário, pois nos primeiros minutos em que o briquete fica em contato com a humidade a taxa de expansão aumenta rapidamente. Esse processo foi realizado até o momento em que as dimensões permaneceram constantes.

## **2.7 Propriedades Térmicas**

### **2.7.1 Teste de Fervura da água**

O teste de fervura da água é uma curta e simples simulação do procedimento padrão de cozedura de alimentos. Ele mede o combustível consumido e o tempo necessário para simular o processo de cozedura. Este teste é usado na comparação rápida do funcionamento de diferentes fogões ou do mesmo fogão sob diferentes condições operatórias.

O teste de fervura da água é usado para simular cozedura de alimentos numa quantidade padrão de 2/3 da capacidade total da panela.

O teste de fervura inclui duas fases:

- Alta Potência (A. P.)
- Baixa Potência (B. P.)

A fase de alta potência envolve o aquecimento da quantidade padrão de água desde a temperatura ambiente até a ebulição o mais rápido possível e manter essa ebulição na alta potência durante 15 minutos.

A fase de baixa potência é a seguinte: A potência do fogão é reduzida a um nível mais baixo, suficiente para manter a água a 3°C abaixo da temperatura normal de ebulição durante um período de uma hora (45 minutos). O teste é inválido se a temperatura da água na panela na fase de baixa potência é abaixo de 6°C da temperatura de fervura (temperatura de ebulição).

As variáveis que são calculadas no teste de fervura são:

➤ Antes da fervura

$M_{cc}$  – Massa do combustível consumido (húmido): Esta é a massa do combustível que foi usado para trazer a água da temperatura ambiente à temperatura de fervura ou ebulição. É determinada pela equação 7

$$M_{cc} = M_{CI} - M_{CF} \quad \text{equação (7)}$$

C – Cinza: Esta é a massa de carvão criada durante o teste, removendo o combustível do fogão no final dessa etapa.

$$C = F_f - F - M_f \quad \text{equação (8)}$$

Onde:

$F_f$  - Peso do Fogão com Combustível no Final do Teste

F - Peso do Fogão Vazio

$M_f$  – Massa do Combustível Incandescente no Final do Teste

$C_{eq}$  – Consumo equivalente do combustível seco: Este é um cálculo que ajusta a quantidade do combustível que foi queimado a fim de explicar dois fatores:

1. a energia que foi necessária para remover a humidade do combustível;
2. a quantidade de combustível restante não queimado.

O cálculo é feito da seguinte forma:

$$C_{eq} = M_{CC} * (1 - (1.12 * TH)) - 1.5 * C \quad \text{equação (9)}$$

TH – Teor de Humidade

O fator de  $1 - (1.12 * m)$  ajusta a massa do combustível queimado pela quantidade do combustível necessário para aquecer e evaporar  $M_{cc} * TH$  gramas de água. Leva cerca de 2260 kJ para evaporar um quilograma de água, que é cerca de 12% do valor calorífico do combustível seco. Assim, se o combustível consistir em TH% de humidade, a massa do combustível que pode efetivamente aquecer a panela com água é reduzida em aproximadamente  $1 - (1.12 * TH)$ .

W – Água evaporada: Esta é uma medida da quantidade de água perdida através da evaporação durante o teste. É calculado por uma simples subtração do peso inicial de

panela com água menos o peso final da panela com água.

$$W = P_I - P_F \quad \text{equação (10)}$$

$W_R$  – Água remanescente no final do teste: Esta é uma medida da quantidade de água remanescente após o teste. É calculado por simples subtração do peso final da panela com água menos o peso da panela vazia.

$$W_R = P_F - P \quad \text{equação (11)}$$

$\Delta t$ : Este é simplesmente o tempo necessário para realizar o teste. É uma diferença simples do tempo inicial e o tempo final:

$$\Delta t = t_f - t_i \quad \text{equação (12)}$$

$\eta_T$  – Eficiência térmica: Esta é uma relação entre o trabalho realizado pelo aquecimento e evaporação da água para a energia consumida pela queima do combustível. É calculado da seguinte forma:

$$\eta_T = \frac{4.186 * (P_i - P) * (T_f - T_i) + 2260 * W}{C_{eq} * LHV} \quad \text{equação (13)}$$

Neste cálculo, o trabalho feito para o aquecimento da água é determinado adicionando duas quantidades: (1) o produto da massa de água na panela,  $(P_i - P)$ , o calor específico de água (4.186 J/g°C), e a mudança de temperatura da água  $(T_f - T_i)$  e (2) produto da quantidade de água evaporada na panela e do calor latente de evaporação de água (LHV = 2260 J/g). O denominador é determinado tomando o produto do consumo equivalente do combustível seco durante esta fase do teste e o LHV.

$T_c$  – Taxa de combustão: Esta é uma medida da taxa de consumo do combustível ao mesmo tempo que traz a água a ferver. É calculado dividindo o combustível seco equivalente consumido pelo tempo do teste.

$$T_C = \frac{C_{eq}}{t_f - t_i} \quad \text{equação (14)}$$

$C_e$  - Consumo específico de combustível: O consumo específico pode ser definido para qualquer número das tarefas de cozedura e deve ser considerado "o combustível

necessário para produzir uma unidade de saída " se a saída é água fervida, feijão cozido, ou pães.

$$C_e = \frac{C_{eq}}{P_f - P} \quad \text{equação (15)}$$

$P_f$  – Poder de fogo: Esta é uma relação entre a energia do combustível consumido pelo fogão por unidade de hora. Diz respeito a potência média do fogão (em Watts) durante o teste de alta potência.

$$P_f = \frac{C_{eq} * LHV}{60 * (t_f - t_i)} \quad \text{equação (16)}$$

- Teste de alta potência (fase dos 15 minutos após a fervura)

As medições e cálculos esta etapa são idênticos a fase anterior (antes da fervura).

- Teste de baixa potência (fase dos 45 minutos após a fase de alta potência)

Neste teste, as medições iniciais são as mesmas que nos testes de alta potência, no entanto, o objetivo deste teste é manter a água a uma temperatura alta com o mínimo consumo de energia do fogão. Uma vez que o objetivo difere da fase de alta potência, as interpretações dos cálculos também diferem das fases de alta potência. Além disso, uma suposição importante é feita usando dados do teste de alta potência (fase dos 15 minutos após a fervura).

A suposição feita neste teste baseia-se na quantidade de combustível presente quando a água ferve. A fase de baixa potência começa repetindo a fase de alta potência, no entanto, quando a água vem a ferver, é rapidamente pesada sem perturbando o combustível e, em seguida, o fogo tende a manter a água dentro de alguns graus de ebulição por 45 minutos. Retirando o combustível do fogão, pesá-lo e reacendê-lo perturba o fogo e pode resultar no decaimento da temperatura da água muito abaixo da fervura. Assim, o procedimento recomendado é assumir que as cinzas presentes no início da fase de cozedura é a mesma cinza que foi medida após o ensaio do início da fervura. Embora isto não seja inteiramente exato, o erro introduzido por esta suposição deve ser mínimo.

É importante lembrar que o objetivo desta parte do teste é manter a água a uma temperatura logo a ferver, e deve-se interpretar os resultados em conformidade. Considerando que o consumo específico nos ensaios de alta potência indicado a massa de



combustível necessária para produzir um litro (ou quilograma) de ebulição água, o consumo específico na fase de cozedura (baixa potência) indica a massa de combustível necessário para manter cada litro (ou quilo) de água três graus abaixo da temperatura de ebulição. Estes não são diretamente comparáveis, mas sim são duas medidas diferentes do desempenho do fogão. O mesmo se aplica a outros indicadores, como a taxa de queima e poder de fogo ou PC.

### 2.7.2 Índice de Combustão

Como regra, combustíveis que libertam quantidade suficiente de energia (calor) durante a combustão, mas que consomem muita massa para gerar essa energia, apresentam baixos valores de ICOM (Dias Júnior, et al., 2015)

O índice de combustão foi calculado pela equação 17:

$$\text{Índice de combustão} = A \times B / 100 \times C \quad \text{equação (17)}$$

onde:

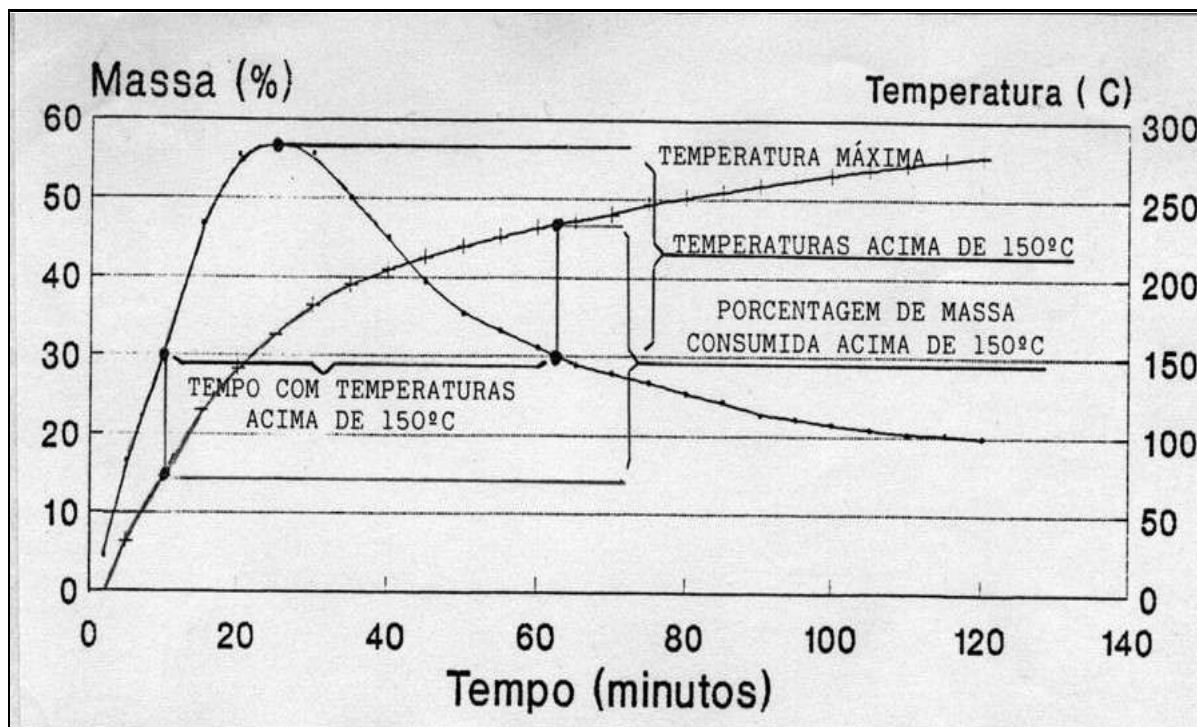
A = percentagem do tempo de teste no qual a temperatura permanece acima de 150°C, tomada em relação ao tempo total de 120 min.;

B = percentagem da temperatura máxima atingida no teste, em relação à temperatura de 150°C;

C = percentagem da massa total consumida gerando temperaturas acima de 150°C.

O ICOM, assim calculado, é um número adimensional. As unidades se anulam no cálculo das percentagens e estas se cancelam com a divisão por 100.

A Figura 1 ilustra as condições para obtenção dos parâmetros mencionados. (Quirino, 1991)



**Figura 1.** Curva típica de “percentagem de massa consumida x tempo” e “temperatura x tempo” com seus pontos característicos para obtenção do ICOM

De acordo com (Quirino, 1991), a temperatura de 150°C foi estabelecida após verificação prévia de que, em nenhum ensaio realizado, a temperatura máxima durante a combustão dos briquetes foi inferior a este valor. A escolha destes parâmetros para compor o ICOM deve-se ao facto de se esperar que um bom briquete forneça as mais altas temperaturas durante o maior tempo e consumindo a menor quantidade de massa possível.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Classificação granulométrica das partículas

A classificação granulométrica foi realizada com base na norma ASTM D293- 96,11. Foi utilizado 10 kg de serradura de tronco de coqueiro e 50Kg de resíduo de mandioca (casca de mandioca) ambos na base húmida. As amostras foram moídas em um moinho de modelo Retsch ZM 200. Foram utilizados crivos com aberturas de 1mm, 0.600mm, 0.350mm e fundo. A amostra foi inserida no equipamento de agitação para melhor classificação granulométrica com tempo de agitação igual a 5min. Foi feita a pesagem do material retido.



**Figura 2.** Amostra de Serradura de Tronco de Coqueiro na base húmida



**Figura 3.** Amostra de Casca de Mandioca na base húmida

A figura 2 ilustra amostra de serradura de tronco de coqueiro, na posição 1 tem-se a amostra no seu estado de chegada (antes de qualquer tratamento) em que passou pelo processo de peneiração (posição 2) para obter-se partículas com granulometria abaixo de 0.450mm, na posição 3 tem-se a amostra após a peneiração pronta para passar pelo processo de secagem e posteriormente ser usada para a produção de briquetes. A figura 3 ilustra casca de mandioca na base húmida em que foi exposta ao sol para secagem natural

e evitar a deterioração da amostra, de seguida a casca de mandioca passou pelo processo de lavagem para remoção de impurezas como areia e outros sólidos que possam ter vindo a adsorver na casca de mandioca. Após a lavagem a casca de mandioca foi exposta a secagem forçada na estufa onde retirou-se toda a humidade da casca de mandioca.



**Figura 4.** Amostra de Casca de Mandioca após a secagem



**Figura 5.** Amostra de Casca de Mandioca após a moagem

A Figura 4 ilustra amostra de casca de mandioca após o processo de secagem na estufa e posteriormente foi triturada num moinho para a redução da sua partícula.

A Figura 5 apresenta amostra de casca de mandioca após o processo de trituração em que não foi preciso passa pela classificação granulométrica porque apresentou partículas muito finas (abaixo de 0.450mm) pronta para dar seguimento aos testes de caracterização da biomassa e produção de briquetes.

### **3.2 Análise Imediata**

#### **3.2.1 Teor de humidade**

Para a análise de determinação do teor de humidade utilizou-se como base a norma ASTM E871-82(13). Onde foram utilizados para cada amostra três cadinhos de porcelana com 2 gramas de cada material, figura 6, sendo o teor de humidade a média entre essas três repetições. Para a produção de briquetes o teor de humidade deve estar entre 10-12% segundo a norma citada acima, garantiu se essa condição para as posteriores análises.



**Figura 6.** Determinação de teor de humidade da biomassa

A análise imediata do resíduo coletado se refere a determinação do teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, e foram realizadas em triplicata conforme a norma E711-87 (ASTM, 2004), que se refere a análise imediata de resíduos de madeira. Os ensaios de teor de voláteis foram realizados em um forno (mufla), a uma temperatura de 950 °C. Os ensaios do teor de cinzas foram realizados no mesmo forno mufla, onde os cadinhos foram inseridos e submetidos a uma temperatura de 600 °C. Para a determinação do teor de carbono fixo foi utilizada uma equação obtida da literatura, onde os dados necessários para o cálculo são retirados dos testes anteriormente realizados.

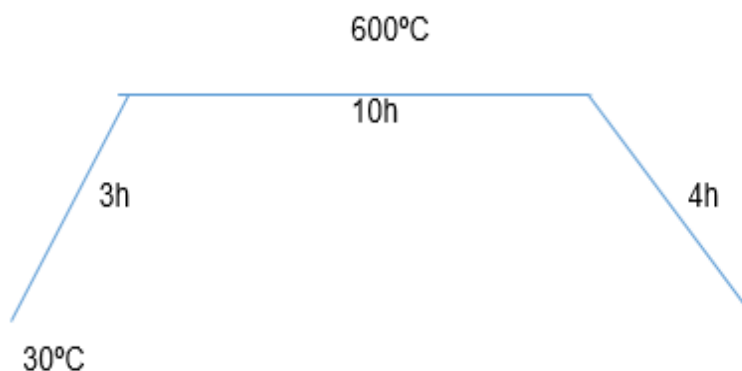
### 3.2.2 Teor de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas classificou-se as amostras de modo que ficassem com uma granulometria abaixo de  $475\mu\text{c}$  ( $0.475\text{mm}$ ). A granulometria obtida foi de  $350\mu\text{c}$  ( $0.350\text{mm}$ ).

Feita a classificação, os cadinhos foram lavados e secos na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por volta de 30min; Depois de secos os cadinhos foram deixados no dessecador por cerca de 30 minutos; em seguida efetuou-se a respetiva pesagem.

Primeiro pesou-se os cadinhos vazios, depois os cadinhos contendo 1g de amostra seca com 0% de humidade e levou-se para o interior da mufla. Os ensaios foram triplicados para cada material em estudo. Inicialmente a forno estava a  $30^{\circ}\text{C}$  aqueceu-se até  $600^{\circ}\text{C}$ , a variação de temperatura foi de  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Esperou-se cerca de 17 horas para retirar o material, esquema 1, em que nas primeiras 3h consistiu em atingir a temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$ , manteve se nessa temperatura por 10h, por fim foi necessário 4h para o seu respetivo arrefecimento até temperatura ambiente  $25^{\circ}\text{C}$ . Após a retirada, os cadinhos foram colocados no dessecador por cerca de 30 minutos para resfriamento e foi feita uma nova pesagem do material.

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a norma ASTM D1102-84(13) e os equipamentos utilizados foram balança analítica e uma mufla.



**Esquema 1.** Variação da temperatura

O teor de cinza foi determinado pela equação 1:

$$TC = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100$$



**Figura 7.** Amostras antes da Calcinação

A figura 7 ilustra amostra das biomassas em estudo antes de passar pelo teste de calcinação para determinar o teor de cinza.



**Figura 8.** Amostras após a Calcinação

A figura 8 ilustra amostras das biomassas em estudo após o processo de calcinação em que posteriormente foram feitas as respectivas pesagens e foi determinada o teor de cinza segundo a equação 1.

### 3.2.3 Teor de Voláteis

A norma ASTM aplicável para determinação de matéria volátil é E-872 para combustíveis de madeira e D-3175-07 para carvão.

Lavou-se os cadinhos e deixou se na estufa a 105°C juntamente com as amostras já classificadas com granulometria de 0.25 $\mu$ c (0.250mm).

Colocou-se as amostras e os cadinhos num dessecador por 30min para o respetivo arrefecimento.

Fez-se a pesagem do cadinho vazio com tampa e do cadinho contendo 1g de amostra seca.

Levou-se as amostras já com os cadinhos fechados com tampa para forno que estava aquecida a temperatura de 950°C. Deixou-se por 7min, e retirou-se os cadinhos fechados para o dessecador para o respetivo arrefecimento, figura 9. Em seguida efetuou-se as respetivas pesagens.

A determinação do teor de voláteis foi feita pela equação 2:

$$TV = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100$$



**Figura 9.** Cadinho após o ensaio de determinação de teor de voláteis

### 3.2.4 Carbono fixo

Obtidos os valores para o teor de cinzas e para o teor voláteis foi calculado o teor de carbono fixo pela equação 3:

$$CF = 100 - (TC + TV)$$



### 3.3 Propriedades Térmicas

#### 3.3.1 Estimação do poder calorífico a partir da análise imediata

O poder calorífico foi estimado a partir de análise imediata pelas equações 4, 5 e 6, obtidas através de modelagem da análise imediata.

$$PCS = 84.5104 \times (TCF) + 37.2601 \times (TV) - 1.8642 \times (TC)$$

$$PCI = PCS - (600 \times 0.09 \times \% \text{ Hidrogênio})$$

$$PCU = (PCI \times (1 - (0.01 \times TH))) - (600 \times 0.01 \times TH)$$

### Propriedades Mecânicas

#### 3.4 Densidade a granel

A densidade a granel dos resíduos foi determinada, utilizando norma NBR 6922 adaptada (ABNT, 1981). Foi utilizado um balão de capacidade de 50 ml e de peso conhecido, uma balança analítica em que encheu se o balão com as biomassas em estudo e tirou se o seu peso, figura 10.

A densidade a granel foi calculada a partir da razão entre a massa dos materiais granulados e o volume do balão.



**Figura 10.** Ensaio de densidade a granel

### 3.5 Produção de briquetes

Os briquetes foram moldados através de prensagem hidráulica com uso de temperatura, e sem adição de aglutinante.

Inicialmente, o teor de humidade foi ajustado para 10-12%. Em seguida, aproximadamente 60 gramas do material foram colocados em um molde cilíndrico por meio de um funil. O molde foi prensado em uma prensa hidráulica da marca Marconi, modelo MPH-10. O molde utilizado possui uma abertura de 51 mm de diâmetro e altura de 45mm que permitiu a produção de briquetes cilíndricos com alturas variando (entre 30 e 42mm). O processo de prensagem foi realizado manualmente, com adição de pressão ao pistão por meio de uma alavanca responsável por acionar a prensa. O tempo de prensagem foi aproximadamente 2 minutos.

Após a moldagem, os briquetes foram pesados e mensuradas suas dimensões (altura e diâmetro) por meio de um paquímetro digital.

Os briquetes foram produzidos nas seguintes condições:

- 100°C e 10 MPa;
- 150°C e 10 MPa;

Os briquetes produzidos foram posteriormente submetidos a testes de expansão, de tração por compressão diametral, densidade aparente, teste de fervura e índice de combustão.



**Figura 11.** Briquetadeira usada



**Figura 12.** Briquetes produzidos

Na figura 11 com o intuito de acelerar o resfriamento dos briquetes após a compactação, utilizou-se uma ventoinha, posicionada a uma distância de cerca de 5cm do briquete. O tempo de resfriamento variou entre os briquetes confeccionados para que se obtivessem todos os briquetes sem qualquer rachadura na sua superfície.

A figura 12 ilustra alguns briquetes produzidos com as biomassas em estudos, em que após a sua produção fez se medições do seu diâmetro e da sua altura.



**Figura 13.** Briquetes provenientes de Casca de Mandioca



**Figura 14.** Briquetes provenientes de Serradura de Tronco de Coqueiro

A figura 13 ilustra briquetes provenientes de casca de mandioca e a figura 14 ilustra briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro em ambos os briquetes produzidos foram armazenados em local ambiente.

### 3.6 Teste de Expansão

A expansão longitudinal dos tratamentos foi calculada pela mensuração da altura dos corpos-de-prova no mesmo sentido de aplicação da força de prensagem. Foram realizadas as mensurações dos corpos-de-prova após a briquetagem e antes do ensaio de compressão diametral, ou seja, sete dias após a briquetagem.

### 3.7 Densidade Aparente dos Briquetes

A massa de cada briquete foi determinada em uma balança analítica e o volume estimado, com base nas medidas mensuradas com auxílio de paquímetro digital no momento do ensaio de teste de expansão. A densidade aparente foi determinada através do quociente entre massa e volume de cada briquete. A densidade aparente foi calculada para verificar qual o grau de compactação (redução de volume) dos resíduos. A densidade aparente foi determinada utilizando a NBR 14984 adaptada.

### 3.8 Determinação da Densidade Energética (DE)

A DE foi obtida pelo produto entre o poder calorífico útil e a densidade aparente, conforme a equação 18.

$$DE = PCU * DA \quad \text{equação (18)}$$

Onde:

DE= Densidade Energética (Kcal/m<sup>3</sup>);

PCU= Poder Calorífico Útil (kcal/kg);

DA = Densidade Aparente (kg/m<sup>3</sup>).

### 3.9 Tração por Compressão Diametral

Para este ensaio, foi utilizada uma adaptação da norma ABNT (1994), para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa. Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados utilizando uma máquina de ensaio universal da marca M500-50AT com capacidade de 5000Kgf (5N), velocidade 3mm/min, com a carga aplicada no sentido perpendicular à força de compactação com altura do briquete entre 25 a 65mm, figura 15.

O resultado de resistência à compressão foi determinado por um software acoplado ao equipamento. O procedimento de análise foi realizado de acordo com a norma NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpo cilíndrico, uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes dessa natureza (ABNT, 1994).

O resultado determina qual a carga máxima de resistência em função do tempo para rutura do material. O software acoplado ao equipamento apresenta o resultado de resistência à compressão, determinando qual a carga máxima de resistência em função do tempo para a rutura do briquete que foi submetido a uma força axial na velocidade de  $3 \text{ mm min}^{-1}$ .



**Figura 15.** Teste de Compressão Diametral

O número de amostras empilhadas verticalmente ( $N_{emp}$ ) foi calculado pela força máxima de rutura ( $FM_{rup}$ ), por um fator de segurança ( $f_s$ ) e pela massa média das amostras (60g). O  $N_{emp}$  representa a quantidade máxima de amostras empilhadas que um tratamento suporta. O  $FM_{rup}$  foi fornecido pelo ensaio de compressão. O  $f_s$  foi considerado como 300%, ou seja, diminui o  $FM_{rup}$  em três vezes. A equação 19 resume o cálculo do  $N_{emp}$ .

$$N_{emp} = \frac{FM_{rup}}{f_s \times m} \quad \text{equação (19)}$$

A partir do  $N_{emp}$  é possível calcular a altura do empilhamento ( $H_{emp}$ ). Como o diâmetro das amostras é em média 5.0cm a  $H_{emp}$  é dada pela equação 20.

$$H_{emp} = \frac{N_{emp} \times 5.0}{100} \quad \text{equação (20)}$$

### 3.10 Teste de Fervura da Água

2.5 litros de água foi colocado num recipiente de aço. A panela foi devidamente selada para minimizar as perdas por evaporação e colocada num fogão a biomassa. Foi utilizado um termómetro para monitorar a temperatura da água no interior da panela. Uma quantidade de 0.300kg de briquetes foi medida por combustível usado. A temperatura ambiente da água na panela foi anotada e os briquetes foram incendiados. Foi anotada a temperatura da água na panela em cada minuto. A temperatura final da água após a ebulição foi medida. A água foi aquecida até a evaporação e os briquetes completamente esgotados.

As medições tomaram a seguinte ordem:

1. Anotar as condições climáticas (temperatura ambiente);
2. Pesar e registar a quantidade do combustível a ser usado;
3. Pesar e registar o peso da panela com a respetiva tampa; encher a panela com 2/3 de água da sua capacidade, recolocar a tampa, pesar e registar;
4. Fixar um termómetro na panela e registar a temperatura da água;
5. Acender o combustível e registar o momento exato do começo;
6. Registrar regularmente:
  - Temperatura da água na panela;
  - Massa do carvão adicionado;
  - Qualquer ação tomada no controle do fogo.
7. Registrar o tempo em que a água começa a ferver. Manter o fogo no mesmo nível na fase de alta potência;
8. Exatamente 15 minutos após o início da fervura:
  - Registrar a temperatura da água na panela;
  - Pesar a panela com água incluindo a tampa;
  - Remover todo o combustível do fogão e pesar;
  - Devolver o combustível ao fogo.
9. Nos seguintes 45 minutos manter o fogo a um nível suficiente para manter a água na panela a 3°C abaixo da temperatura normal de ebulição. Usar a menor quantidade possível de combustível. Continuar a executar todas as ações do passo 6.
10. Recolher, pesar e registar o combustível quente;

11. Pesar e registrar a água restante na panela.

### Combustíveis usados durante o teste

- Carvão vegetal, para fazer se a respetiva comparação em termos energéticos com as biomassas em estudo nesse trabalho, utilizou se 300g de carvão vegetal para esse teste. Foi estimada essa quantidade por ocupar ou preencher o volume máximo do fogão usado para o teste.
- Briquete a partir de:
  - Serradura de Tronco de Coqueiro, foram necessário 300g de briquetes dessa biomassa
  - Resíduo de Mandioca (casca de mandioca), foram necessário 300g de briquetes dessa biomassa



**Figura 16.** Teste de Fervura, fonte própria

A figura 16 ilustra os materiais utilizados no teste de fervura, todos os combustíveis usados tiveram o mesmo tratamento no teste de fervura

### 3.11 Índice de Combustão

O conjunto do teste é formado pelo combustor, montado sobre duas tábuas de madeira uma sobre a outra. Um anteparo de chapa de alumínio protege a combustão da movimentação do ar. As tábuas protegem a balança do calor da combustão.

Fazem parte do conjunto de teste um registrador de temperatura com seus respectivos termopares e cabos de compensação. A balança empregada tem capacidade de 15kg e precisão de 5g.

Este teste possibilita a verificação da temperatura e da massa que está sendo consumida a cada instante durante a combustão. Isto permite elaborar curvas de temperatura x tempo, massa x tempo e massa x temperatura. A partir de valores obtidos em pontos característicos destas curvas, é possível elaborar um índice denominado neste trabalho de "índice de combustão" ou ICOM.

O tempo total do teste é de 120 minutos, determinado a partir de ensaios preliminares que mostraram ser este o tempo suficiente para combustão total dos briquetes. A carga é limitada pelo volume do combustor, mas para realização deste teste usou se em média 300g de biomassa (briquetes e carvão vegetal).

A temperatura e a massa consumida são anotadas a cada 1 minutos, do tempo inicial igual a zero até 120 minutos.

O índice de combustão foi calculado pela seguinte equação 17:

$$\text{Índice de combustão} = A \times B/100 \times C$$

Onde:

A = percentagem do tempo de teste no qual a temperatura permanece acima de 150m°C, tomada em relação ao tempo total de 120min;

B = percentagem da temperatura máxima atingida no teste, em relação à temperatura de 150°C;

C = percentagem da massa total consumida gerando temperaturas acima de 150°C



O ICOM, assim calculado, é um número adimensional. As unidades se anulam no cálculo das percentagens e estas se cancelam com a divisão por 100.

A temperatura de 150°C foi estabelecida após verificação prévia de que, em nenhum ensaio realizado, a temperatura máxima durante a combustão dos briquetes foi inferior a este valor. A escolha destes parâmetros para compor o ICOM deve-se ao fato de se esperar que um bom briquete forneça as mais altas temperaturas durante o maior tempo e consumindo a menor quantidade de massa possível.

Para ignição dos briquetes, foi usada uma quantidade de 20ml de querosene. Esta quantidade de querosene foi consumida em aproximadamente dois minutos, não interferindo diretamente nos primeiros cinco minutos de medição.



**Figura 17.** Índice de Combustão na vista frontal



**Figura 18.** Índice de Combustão na vista de cima

As figuras 17 e 18 ilustram os equipamentos utilizados no teste de combustão na vista frontal e vista de cima constituídos por uma balança, termómetro, registrador de temperatura, anteparo, briquetes, cronómetro, combustor e placa de madeira.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização da Biomassa

**Tabela 1.** Valores médios da caracterização das biomassas em estudo (análise imediata)

<b>Biomassa</b>	<b><i>TC</i></b> <b>(%)</b>	<b><i>TV</i></b> <b>(%)</b>	<b><i>TCF</i></b> <b>(%)</b>	<b><i>TH</i></b> <b>(%)</b>	<b>PCS</b> <b>(Kcal/kg)</b>	<b>PCI</b> <b>(Kcal/kg)</b>	<b>PCU</b> <b>(Kcal/kg)</b>
Serradura de Tronco de Coqueiro	2.88	79.86	17.26	2.35	4428.85	4396.45	4278.96
Casca de Mandioca	7.80	76.62	15.58	4.28	4157.18	4124.78	3922.72
Carvão Vegetal	7.81	31.45	60.75	5.59	6291.04	6258.64	5877.30

A tabela 1 apresenta resultados referente a caracterização das biomassas em estudo e do carvão vegetal em que os valores obtidos serão discutidos ao longo da análise imediata.

### 4.2 Teor de Humidade

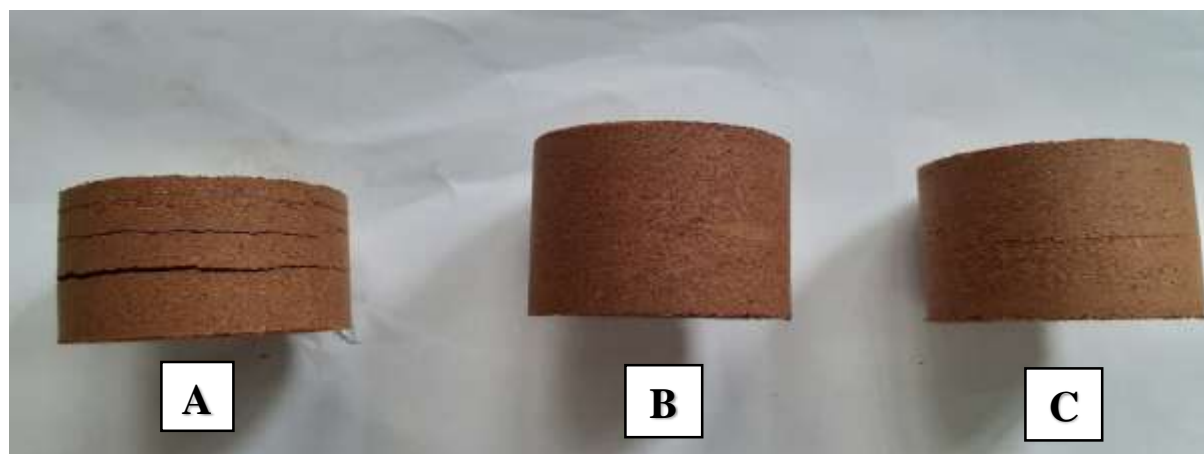
O teor de humidade (%) é um dos fatores que exerce maior influência sobre a queima de materiais combustíveis.

Os valores de teor de humidade apresentados na tabela 1 são referentes à humidade das biomassas conforme recebidas e submetidas à ensaios de análise imediata. A serradura de tronco de coqueiro recebida apresentou uma humidade inicial de 37.85% na base húmida, a casca de mandioca continha humidade inicial de 64% na base húmida e o carvão vegetal continha humidade de 5.59% na base seca. Tanto a serradura de tronco de coqueiro e da casca de mandioca passaram pelo processo de secagem para se prosseguir com a análise imediata. Onde a humidade da serradura de tronco de coqueiro e da casca de mandioca para a análise imediata passou para 2.35% e 4.28% respetivamente.

Para a produção de briquetes foi necessário reajustar as humidades de modo que estejam entre 10-12% de humidade que é a humidade designada para produção de briquetes provenientes de madeira.

Feita a análise imediata foi necessário reajustar a humidade das biomassas para a produção de briquetes, uma vez que o critério básico para a produção de briquetes provenientes de madeira a humidade deve estar entre 10-12% de humidade. Tendo as biomassas com teor de humidade baixa (2.35% para serradura de tronco de coqueiro e 4.28% para casca de mandioca) foi necessário humidificar as biomassas até atingirem humidade de 10-12%.

Nos testes feitos para briquetes produzidos a partir de resíduos de madeira (serradura de tronco de coqueiro) obtiveram em média, teor de humidade de 10.5%; enquanto os briquetes de resíduos de mandioca (casca de mandioca) obtiveram em média, teor de humidade de 11.68%, essas humidades foram resultado da humidificação feita para atingir o critério básico de teor de humidade para produção de briquetes.



**Figura 19.** Efeito da Humidade na Produção de Briquetes

A figura 19 ilustra briquetes provenientes da mesma biomassa (serradura de tronco de coqueiro) com diferentes teor de humidade; quando a humidade é superior a 12% (briquete A) produzir se briquetes com uma quantidade excessiva de humidade e consequentemente provocar explosões (durante o processo de compactação do briquete) que irão quebrar os briquetes causando rachaduras e trincas, baixando a sua resistência mecânica; o briquete B contém 10-12% de humidade que é a humidade recomendada para biomassa provenientes de madeira; O briquete C contém humidade inferior a 10% o que dificulta a formação dos briquetes, pelo aumento substancial da temperatura de transição viscoelástica da lignina, tornando o produto final

quebradiço. Além da influência do teor de humidade, as rachas podem ser devido a má prensagem durante o processo de produção.

A humidade além de influenciar o poder calorífico dos briquetes, também interfere na resistência a fragmentação. O briquete de carvão para uso doméstico contém normalmente de 5 a 8% de humidade (ROUSSET *et al.*, 2011).

### **4.3 Teor de Cinzas**

Quanto ao teor de cinzas a tabela 1 aponta que a biomassa proveniente de serradura de tronco de coqueiro apresentou menor teor de cinzas (2.87%), seguido da biomassa proveniente de casca de mandioca (7.79%), e o carvão vegetal apresentou maior teor de cinzas (7.81%), levando a assumir que as biomassas de agroprocessamento apresentam elevado teor de cinza em relação ao carvão vegetal.

Segundo (QUIRINO, 2002) cinzas são substâncias que não entram em combustão, logo valores menores são esperados, um baixo teor de cinzas garante maior resistência ao briquete além de um poder calorífico mais elevado.

### **4.4 Teor de Voláteis**

O teor de materiais voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás, é a fração que volatiliza durante o aquecimento, segundo (Mckemdry, 2002) está relacionado com a reatividade da biomassa, logo se refere a facilidade de ignição do material, por conta da volatilização de substâncias durante a queima.

Dos resultados apresentados na tabela 1, a serradura de coqueiro apresentou maior teor de voláteis (79.86%), a casca de mandioca apresentou 76.62% de voláteis e o carvão vegetal o menor teor de voláteis (31.45%).

Barros (2012) citado por (SILVA, 2018) briquetou diferentes resíduos agrícolas, e encontrou um teor de materiais voláteis para resíduos de casca de mandioca de 73,34% e para teores de cinza de 7,51%, valores bem próximos aos obtidos nesse trabalho.

#### 4.5 Teor de Carbono Fixo

Segundo (Brito & Barrichelo, 1981) combustíveis com altos valores de carbono fixo apresentam uma queima mais lenta, implicando em maior tempo de residência nos fornos em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo.

Os ensaios verificaram a afirmação acima, pois segundo a tabela 1, o carvão vegetal apresentou maior teor de carbono fixo (60.75%), seguido da biomassa de serradura de coqueiro que apresentou 17.25%, a biomassa da casca de mandioca que apresentou menor teor de carbono fixo (15.58%).

#### 4.6 Poder Calorífico

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostraram que todos os valores do poder calorífico, foram superiores a 2746.73 Kcal kg<sup>-1</sup>, o que sugere a possibilidade de que as biomassas em estudo serem utilizadas como combustível. Para “Lafarge”, empresa que produz materiais de construção, um material de qualidade para ser utilizado como combustível em fornos rotativos na indústria de cimento deve apresentar poder calorífico superior a 2746.73 Kcal kg<sup>-1</sup>, e descreve que outras indústrias determinam um valor mínimo de 3343.84 Kcal kg<sup>-1</sup> (Kijo-Kleczkowska, et al., 2016). De acordo com os estudos de WZOREK (2012) um material sólido para ser utilizado como combustível deve possuir um poder calorífico superior a 3105 Kcal kg<sup>-1</sup>.

No trabalho de (Antwi-Boasiako & Acheampong, 2016) com briquetes feitos de serragem de madeiras tropicais de diferentes densidades o PCS foi maior de 3821.53 Kcal kg<sup>-1</sup> para todos os casos, o que se verificou durante esse estudo.

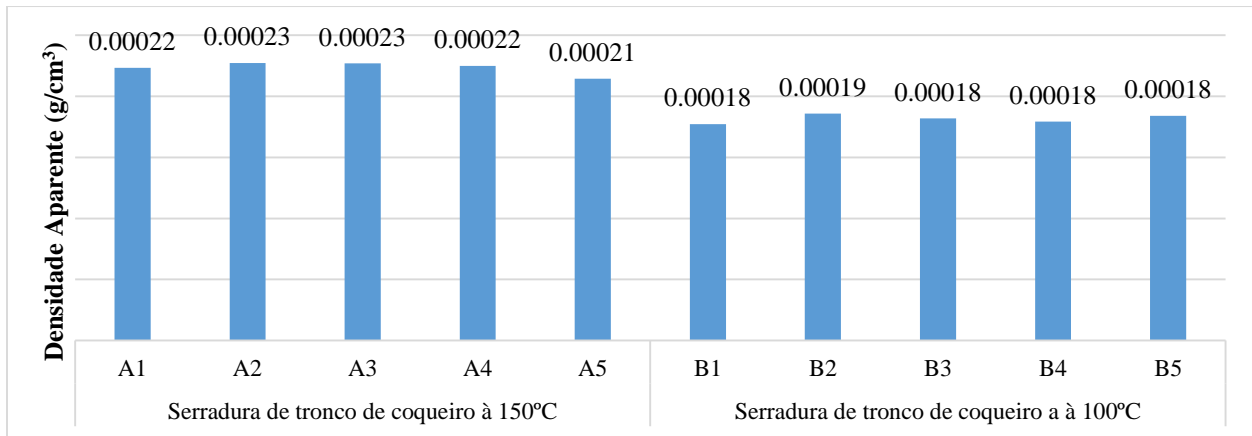
#### 4.7 Densidade a Granel

**Tabela 2.** Resultados da densidade a granel das biomassas

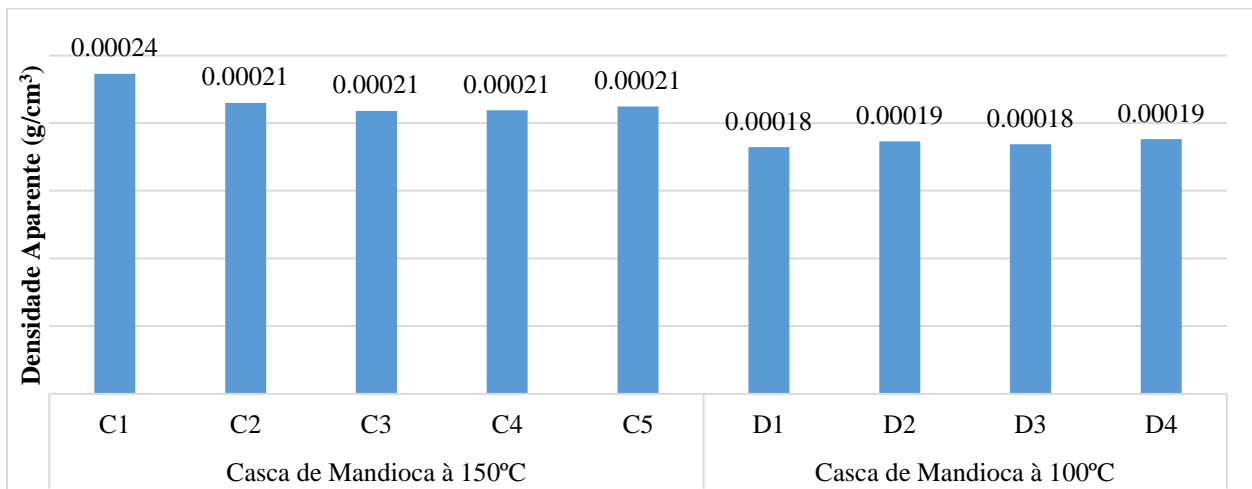
Biomassa	Densidade a granel (Kg/m <sup>3</sup> )
Tronco de Serradura de Coqueiro	0.00038
Casca de Mandioca	0.00056
Carvão Vegetal	0.00072

Os resultados na tabela 2 mostram que o carvão vegetal e a casca de mandioca apresentam maiores densidade a granel isso foi devido a menor granulometria que apresentaram em relação à serradura de tronco de coqueiro.

#### 4.8 Densidade Aparente



**Gráfico 1:** Resultados da densidade aparente da serradura de tronco de coqueiro



**Gráfico 2:** Resultados da densidade aparente de casca de mandioca

Dos gráficos 1 e 2, observou-se que as densidades aparentes não sofreram alterações significativas tendo densidade aparente aproximadamente igual a  $0.0002\text{g/cm}^3$  ( $0.2\text{Kg/m}^3$ ) para as duas biomassas em estudo.

#### 4.9 Densidade Energética

Assim, a utilização do poder calorífico superior ou inferior para o cálculo da densidade energética deve ser compatibilizada pelo uso da densidade em condição seca, pois aquelas propriedades são determinadas para uma amostra seca de biomassa. A forma que se expressa a condição mais próxima da realidade referente ao conteúdo energético para os briquetes é o uso do poder calorífico útil e a densidade aparente.

**Tabela 3.** Resultados da Densidade Energética

<b>Biomassa</b>	<b>DA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>PCU(kcal/Kg)</b>	<b>DE (kcal/m<sup>3</sup>)</b>
Serradura de Tronco de Coqueiro	0.2	4 278.96	855 791
Casca de Mandioca	0.2	3 922.72	784 543
Carvão Vegetal	0.2	5 877.30	1 175 459

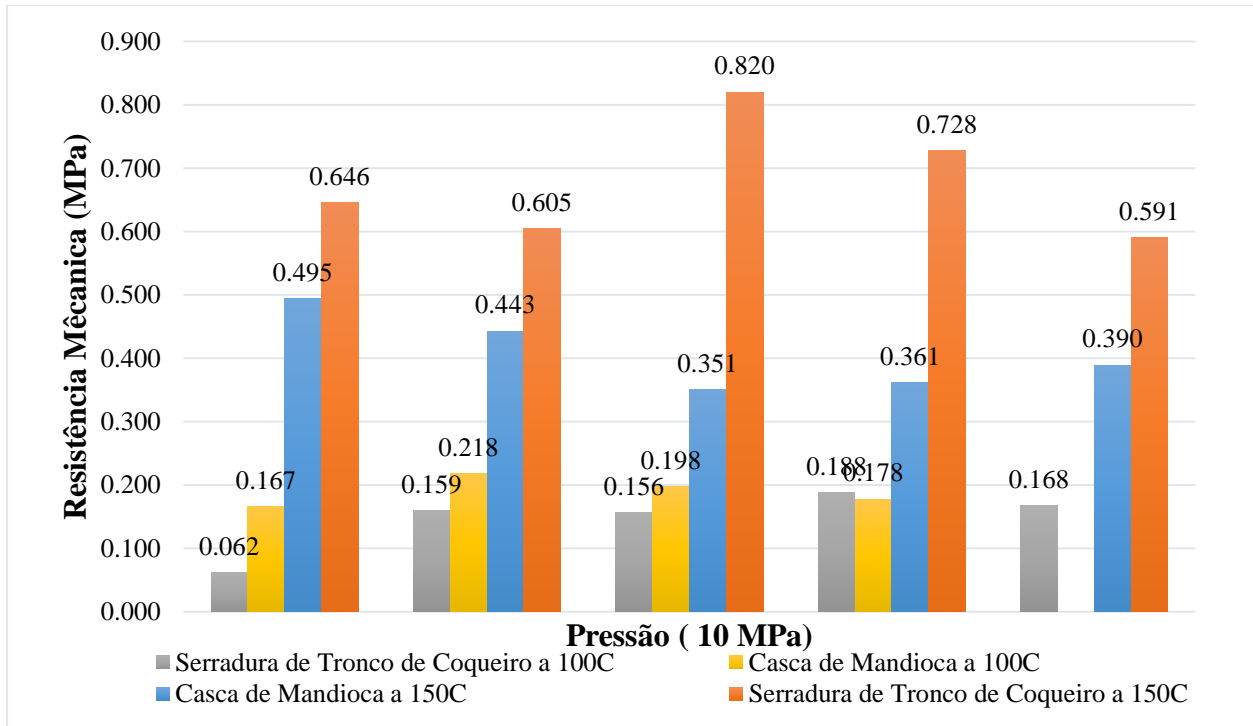
Segundo a tabela 3, tendo as biomassas a mesma densidade aparente, o carvão vegetal apresentou maior densidade energética, a segunda biomassa com maior densidade energética foi a serradura de tronco de coqueiro, por último vem a biomassa de casca de mandioca.

#### 4.10 Teste de Expansão

Quanto ao teste de expansão, os ensaios mostraram que os briquetes de ambas as biomassas (serradura de tronco de coqueiro e casca de mandioca) não apresentaram variação significativa em relação ao diâmetro e comprimento. Levando a não absorção da humidade do ambiente.

#### 4.11 Resistência Mecânica

A resistência à compressão para corpos de prova cilíndricos pode ser interpretada como a força de ligação interna ou a força máxima que pode suportar um corpo (briquetes) antes da rutura durante o armazenamento.



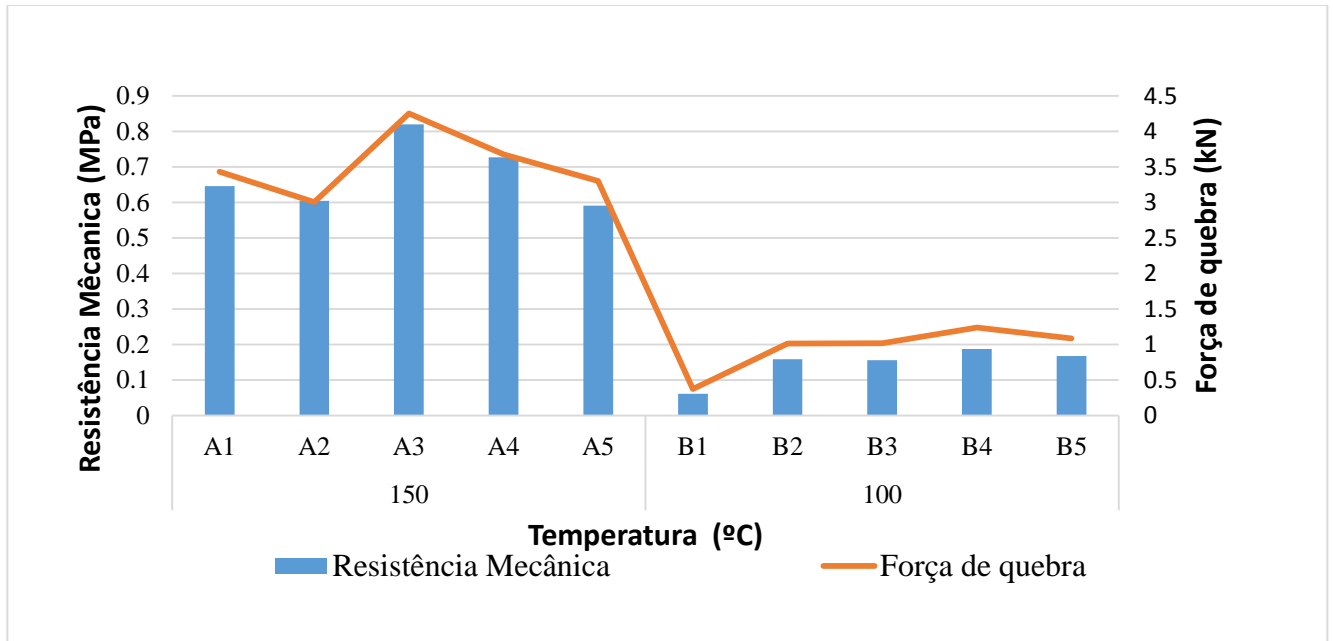
**Gráfico 3:** Resistência Mecânica das Briquetes produzidos à pressão de 10 MPa

Quanto a resistência mecânica (Gráfico 3) os resultados mostram que para ambas as biomassas, briquetes produzidos à temperatura igual à 150°C apresentam maior resistência mecânica em relação a briquetes produzidos à temperatura igual à 100°C. Os briquetes à base de serradura de tronco de coqueiro apresentam maior resistência em relação a briquetes à base de casca de mandioca, isso a temperatura igual à 150°C, e verificou se o inverso se tratando de temperatura igual à 100°C.

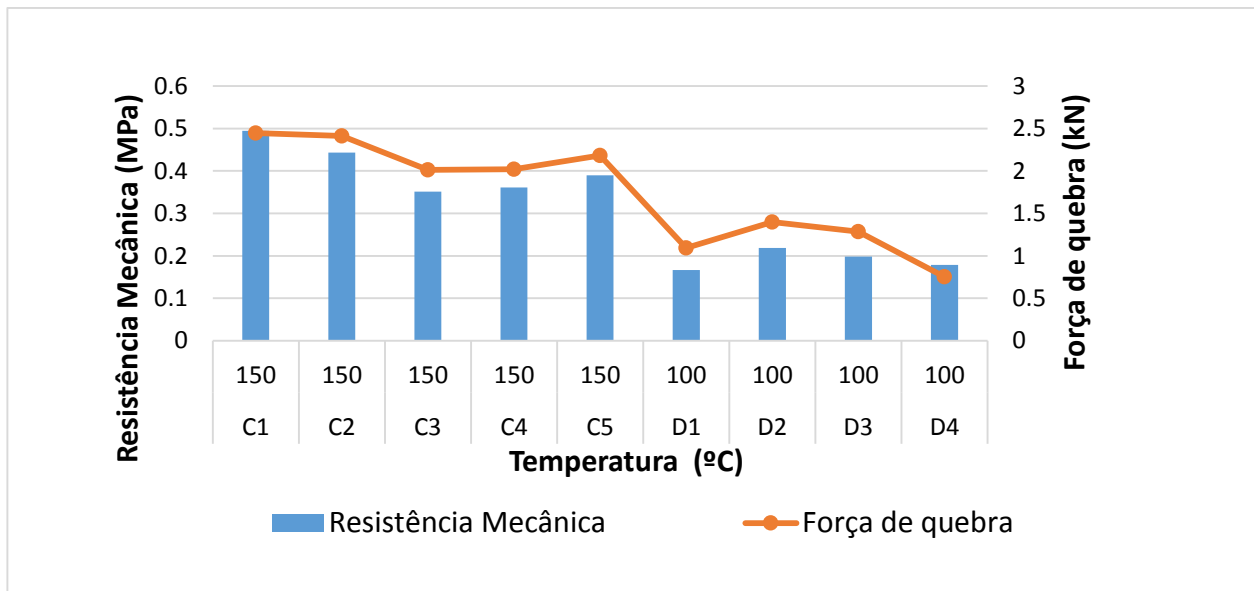
Segundo os estudos de (Teixeira, et al., 2010) os briquetes que apresentarem uma resistência mecânica superior a 7 MPa são considerados bons, pois a partir dessa resistência, são considerados de fácil manipulação e armazenamento.

Os briquetes de serradura de tronco de coqueiro à 150°C apresentaram em média resistência mecânica de 0.7MPa e à 100°C apresentaram em média resistência mecânica de 0.15MPa, e os briquetes de casca de mandioca a 150°C apresentaram resistência mecânica média de 0.41MPa e à 100°C apresentaram resistência mecânica média de 0.2MPa. Em ambas a biomassa a resistência mecânica é inferior a 7 MPa pondo em causa a facilidade de manipulação e armazenamento.





**Gráfico 4:** Influência da temperatura na amostra de briquete proveniente de serradura de tronco de coqueiro em relação à resistência mecânica e força de quebra.



**Gráfico 5:** Influência da temperatura na amostra briquete proveniente de casca de mandioca em relação à resistência mecânica e força de quebra.

Os gráficos 4 e 5 dão uma visão mais detalhada sobre a influência da temperatura de densificação para briquetes de mesma proveniência em relação a resistência mecânica e força de quebra, sendo

que briquetes produzidos a temperaturas elevadas apresentam uma maior resistência mecânica e consequentemente tendem a ter maior força de quebra ou rutura em relação a briquetes produzidos a baixas temperaturas.

Esse fenómeno pode se justificar pelo facto de que briquetes produzidos a altas temperaturas levam mais tempo para atingirem a temperatura desejada tendo a possibilidade de adquirir maior resistência mecânica durante o processo de elevação da temperatura. Outro ponto não menos importante que pode influenciar a resistência mecânica e a força de quebra ou rutura é o tempo de compactação do briquete que é feito minutos antes de atingir a temperatura desejada no processo de briquetagem. Um outro aspeto que influencia a resistência mecânica é referente ao tempo de arrefecimento do briquete antes de ser removido do molde, deve se garantir que os briquetes estejam realmente frios, isto é, a temperaturas  $\leq 25^{\circ}\text{C}$ .

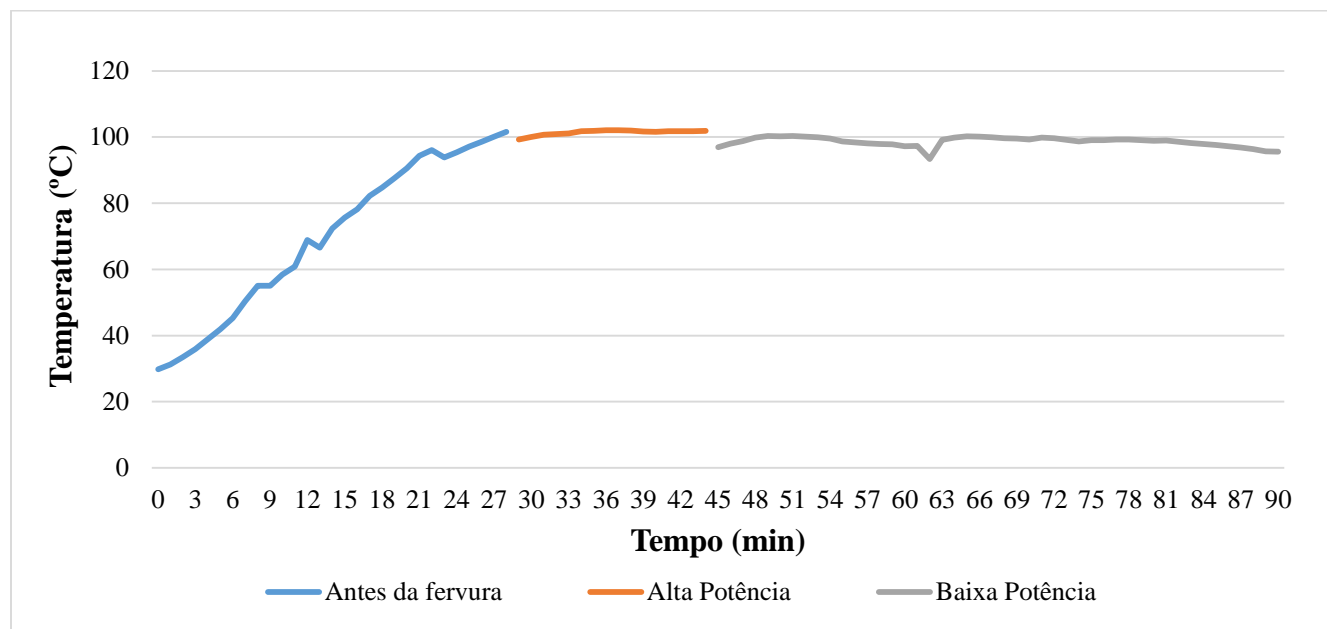
Quanto ao número e altura de empilhamento, a tabela abaixo (tabela 4) mostra que os briquetes produzidos a temperatura de  $150^{\circ}\text{C}$  e 10 MPa apresentam maior número e altura de empilhamento. Suportando a análise feita no teste de resistência mecânica.

**Tabela 4.** Número e altura média de empilhamento dos briquetes produzidos

<b>Briquete</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>N<sub>emp</sub></b>	<b>H<sub>emp</sub></b>
Serradura de Tronco de Coqueiro a $150^{\circ}\text{C}$	58.49	24.17	1.21
Casca de Mandioca a $150^{\circ}\text{C}$	59.06	15.01	0.75
Casca de Mandioca a $100^{\circ}\text{C}$	54.95	8.19	0.41
Serradura de Tronco de Coqueiro a $100^{\circ}\text{C}$	59.61	6.36	0.32

#### 4.12 Teste de Fervura da Água

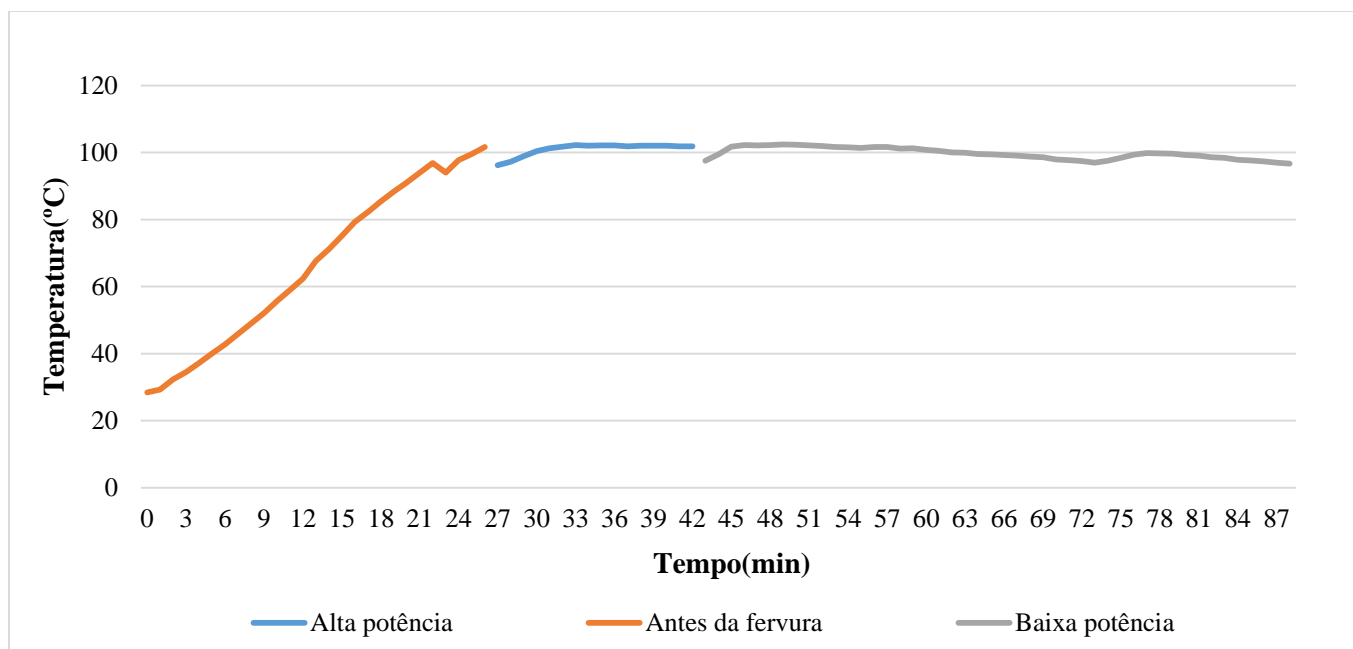
Para cozimento e aquecimento é interessante a manutenção de uma determinada temperatura média, não sendo oportuno picos de temperatura elevada, tornando necessário realimentações frequentes de combustível, para manutenção dessa temperatura.



**Gráfico 6:** Teste de fervura para briquetes provenientes serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa

**Tabela 5.** Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa

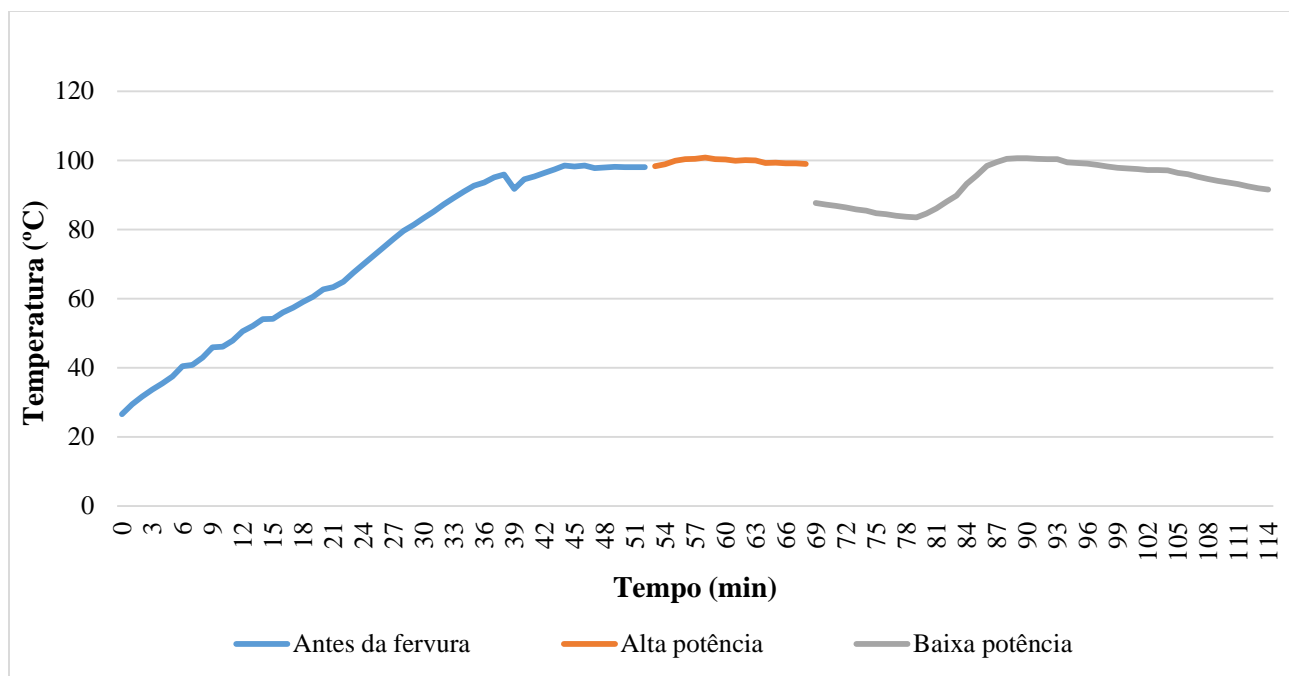
	M <sub>cc</sub> (g)	C (g)	C <sub>eq</sub> (g)	W (g)	W <sub>R</sub> (g)	Δt (min)	η <sub>T</sub>	T <sub>c</sub> (g/min)	C <sub>e</sub> (g/l)	P <sub>f</sub> (W)
Antes da fervura	302.5	11	250.4	25	2569	25	1.5	10.1	0.097	382.17
Alta Potência	40	2.5	31.5	111	2458	15	3.6	2.1	0.013	79.22
Baixa Potência	94.5	0	83.4	124	2334	45	1.6	58.5	0.036	69.8



**Gráfico 7:** Teste de fervura para briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro à 100°C e 10MPa

**Tabela 6.** Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de serradura de tronco de coqueiro à 100°C e 10MPa

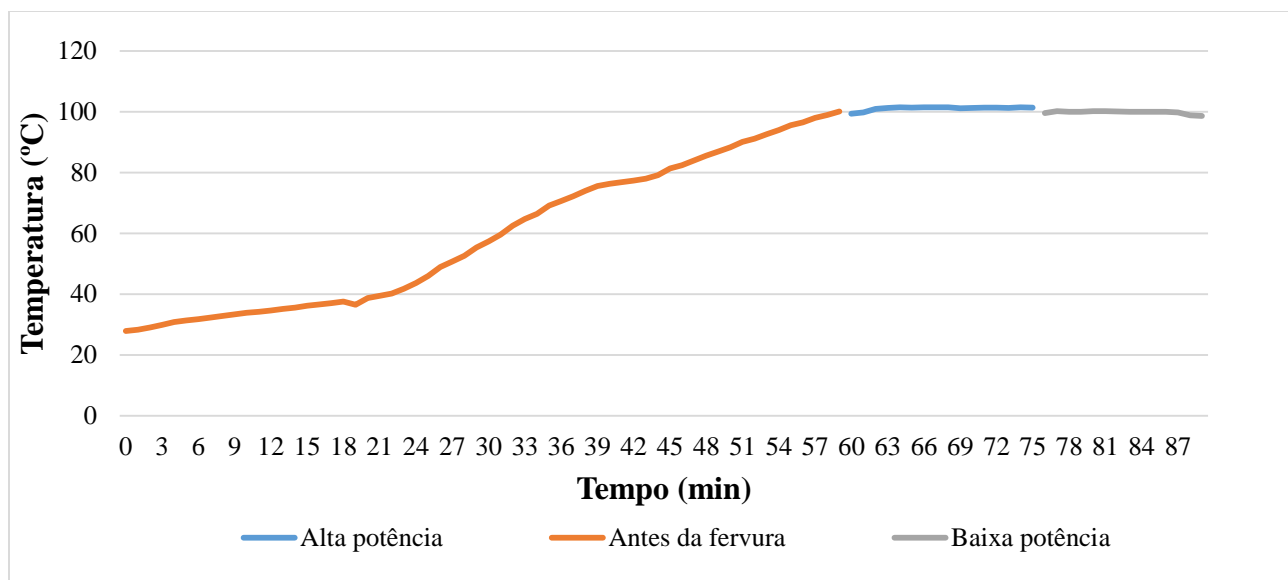
	M <sub>cc</sub> (g)	C (g)	C <sub>eq</sub> (g)	W (g)	W <sub>R</sub> (g)	Δt (min)	η <sub>T</sub>	T <sub>c</sub> (g/min)	C <sub>e</sub> (g/l)	P <sub>f</sub> (W)
Antes da fervura	312	13	255.8	18.5	2573.5	24	1.5	1.4	0.17	0.0034
Alta Potência	25	8	10.1	110	2463.5	15	3.6	14.1	0.22	0.0044
Baixa Potência	10	0	8.8	179.5	2284	45	1.6	19.9	0.2	0.0039



**Gráfico 8:** Teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 150°C e 10MPa

**Tabela 7.** Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 150°C e 10MPa

	M <sub>cc</sub> (g)	C (g)	C <sub>eq</sub> (g)	W (g)	W <sub>R</sub> (g)	Δt (min)	η <sub>T</sub>	T <sub>c</sub> (g/min)	C <sub>e</sub> (g/l)	P <sub>f</sub> (W)
Antes da fervura	253	5.5	211.7	64	2527	45	1.9	4.8	0.08	182.1
Alta Potência	36	2.5	27.5	132.5	2394.5	15	5.3	1.8	0.01	69.2
Baixa Potência	8.5	1.5	5.1	107	2287.5	45	2.6	0.3	0.002	4.3



**Gráfico 9:** Teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 100°C e 10MPa

**Tabela 8.** Variáveis calculadas no teste de fervura para briquetes provenientes de casca de mandioca à 100°C e 10MPa

	M <sub>cc</sub> (g)	C (g)	C <sub>eq</sub> (g)	W (g)	W <sub>R</sub> (g)	$\Delta t$ (min)	$\eta_T$	T <sub>c</sub> (g/min)	C <sub>e</sub> (g/l)	P <sub>f</sub> (W)
Antes da fervura	225	11.5	178.3	39.5	2555.5	49.5	2.3	3.9	0.007	145.4
Alta Potência	62.5	5	46.8	109.5	2446	15	2.4	3.1	0.02	117.6
Baixa Potência	33	0	28.7	121.5	2324.5	45	2.3	0.6	0.01	24

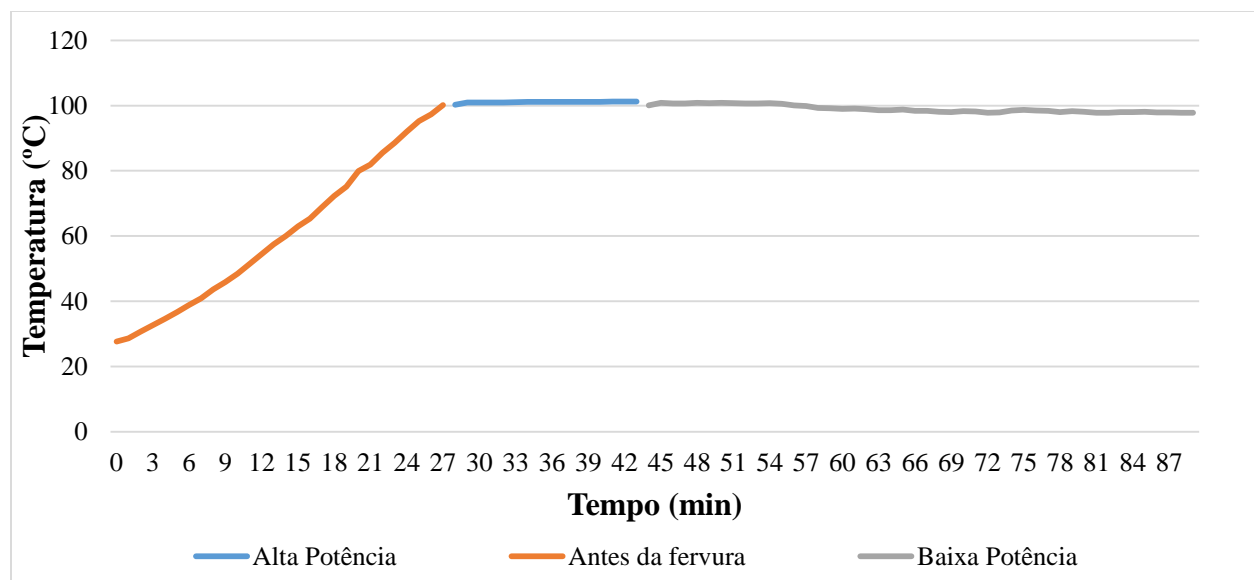


Gráfico 10: Teste de fervura para carvão vegetal

Tabela 9. Variáveis calculadas no teste de fervura para carvão vegetal

	M <sub>cc</sub> (g)	C (g)	C <sub>eq</sub> (g)	W (g)	W <sub>R</sub> (g)	Δt (min)	η <sub>T</sub>	T <sub>c</sub> (g/min)	C <sub>e</sub> (g/l)	P <sub>f</sub> (W)
Antes da fervura	149	14.5	117.9	31.5	2571.5	27	3.23	4.37	0.05	164.5
Alta Potência	74.5	7	59.3	239.5	2332	15	4.19	3.96	0.03	148.9
Baixa Potência	226	0.5	221.1	210	2122	45	1.04	218.89	0.09	176.7

As discussões abaixo são referentes as tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Quanto a massa consumida os testes mostram que a fase antes da fervura consome muita quantidade de combustível por ser a fase que leva a água à temperatura de ebulição, de seguida vem a fase de baixa potência por ser a fase responsável por manter a temperatura da água a 3°C abaixo da temperatura de ebulição durante 45 minutos.

Quanto a cinza, o período antes da fervura produz mais cinzas em relação as outras fases, a fase de baixa potência produz uma quantidade bem menor de cinzas que podemos desprezar.

Quanto a quantidade de água evaporada, os testes mostraram que a fase de baixa potência apresentou maior quantidade de água evaporada para os briquetes provenientes de serradura de

tronco de coqueiro em ambas as temperaturas em estudo e para os briquetes de provenientes de casca de mandioca à 100°C.

Para os combustíveis (carvão vegetal e briquete proveniente de casca de mandioca à 150°C) a fase que apresentou maior quantidade de água evaporada foi a fase de alta potência.

Quanto a eficiência térmica a fase de alta potência apresentou maior eficiência em todos combustíveis em estudo.

O consumo específico para a fase de alta potência indica a massa de combustível necessária para produzir 1L de ebulição da água; E no caso da fase de baixa potência indica a massa do combustível necessária para manter cada litro de água 3°C abaixo da sua temperatura de ebulição. O mesmo acontece para a taxa de queima e para o poder calorífico (poder de fogo).

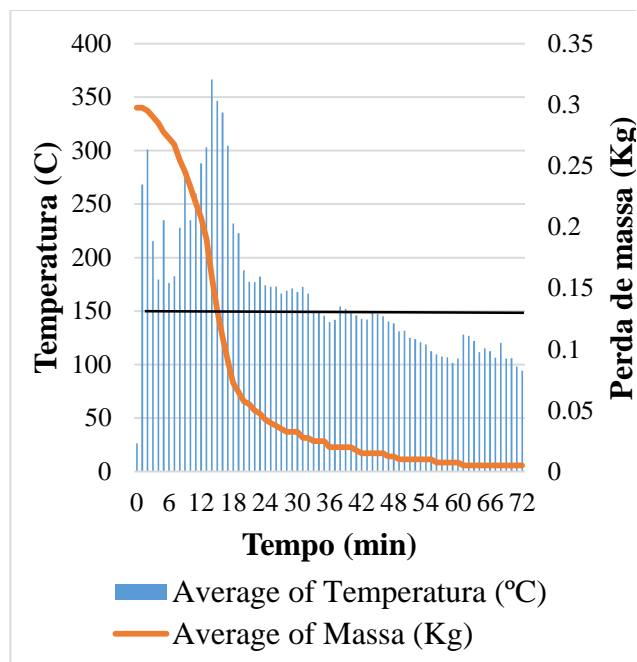
Pelos gráficos 6 e 7 os briquetes de provenientes de serradura de tronco de coqueiro apresentaram um comportamento semelhante ou próximo ao do carvão vegetal (gráfico 10), levando quase o mesmo tempo para atingir a temperatura de ebulição da água e tiveram um fornecimento de calor contínuo e produtivo. O mesmo não aconteceu com os briquetes proveniente da casca de mandioca cujo fornecimento de calor foi bem lento, conseqüentemente levaram mais tempo para atingirem a temperatura de fervura, o que nos leva a um maior consumo de massa de combustível em relação aos outros combustíveis em estudo.

#### **4.13 Índice de Combustão**

A quantidade de carbono fixo em um material contribui significativamente para entender o comportamento energético e os processos de combustão. A combustão se processa em três etapas que ocorrem simultaneamente, a evaporação da humidade, a pirolise com a queima dos compostos voláteis e a queima do carbono fixo que é consumido na terceira etapa da combustão (TOMELERI *et al.*, 2017). Quanto maior a percentagem de carbono fixo mais lentamente o material é queimado.

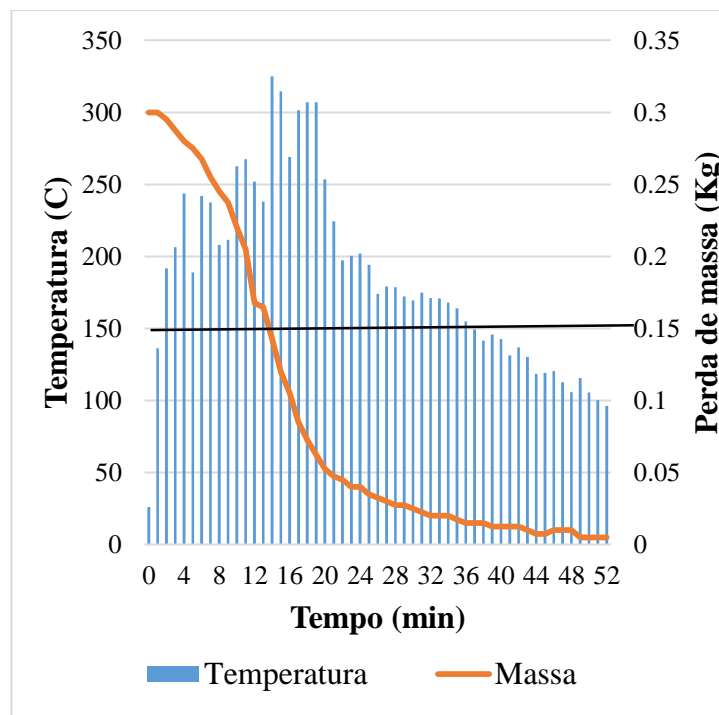


**Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C e 10MPa**



**Gráfico 11** Variação da temperatura e queda de massa ao longo do tempo de briquetes a partir de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa

**Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C e 10MPa**

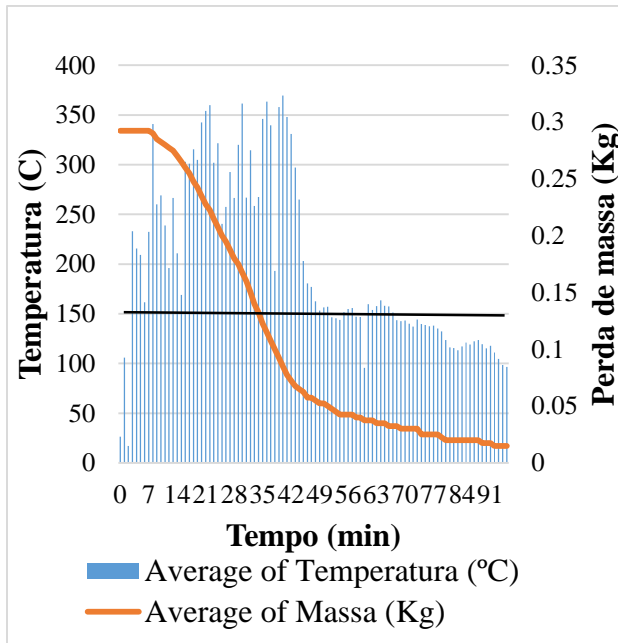


**Gráfico 12:** Variação da temperatura e queda de massa ao longo do tempo de briquetes a partir de serradura de tronco de coqueiro à 100°C e 10MPa

Os gráficos acima mostram o comportamento de briquetes de serradura de tronco de coqueiro a temperaturas de 100°C e 150°C ao longo do tempo e a sua respetiva perda de massa.

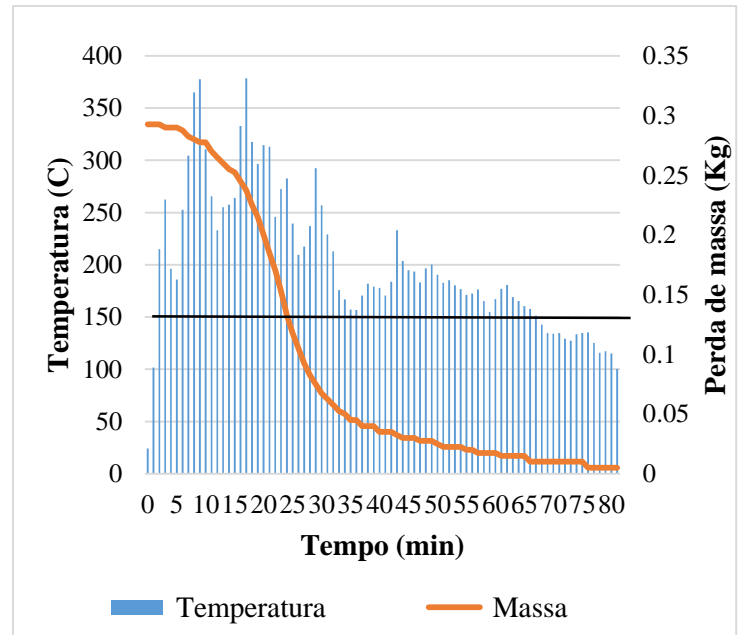
Em ambas as temperaturas os briquetes atingem temperaturas máximas no mesmo instante ( $t = 14\text{min}$ ) que é a fase de pirolise e têm aproximadamente a mesma temperatura final embora briquetes à 150°C permanecem por mais tempo na fase de queima de carbono fixo em relação a briquetes de 100°C de mesma procedência. E em ambas as temperaturas apresentaram o mesmo comportamento de perda de massa, briquetes 150°C consumiram 98.32% da massa inicial e à 100°C consumiram 99.85% da massa inicial.

**Casca de Mandioca à 150°C e 10MPa**



**Gráfico 13:** Variação da temperatura e queda de massa ao longo do tempo de briquetes a partir de casca de mandioca à 150°C e 10MPa

**Casca de Mandioca à 100°C e 10MPa**



**Gráfico 14:** Variação da temperatura e queda de massa ao longo do tempo de briquetes a partir de casca de mandioca à 100°C e 10MPa

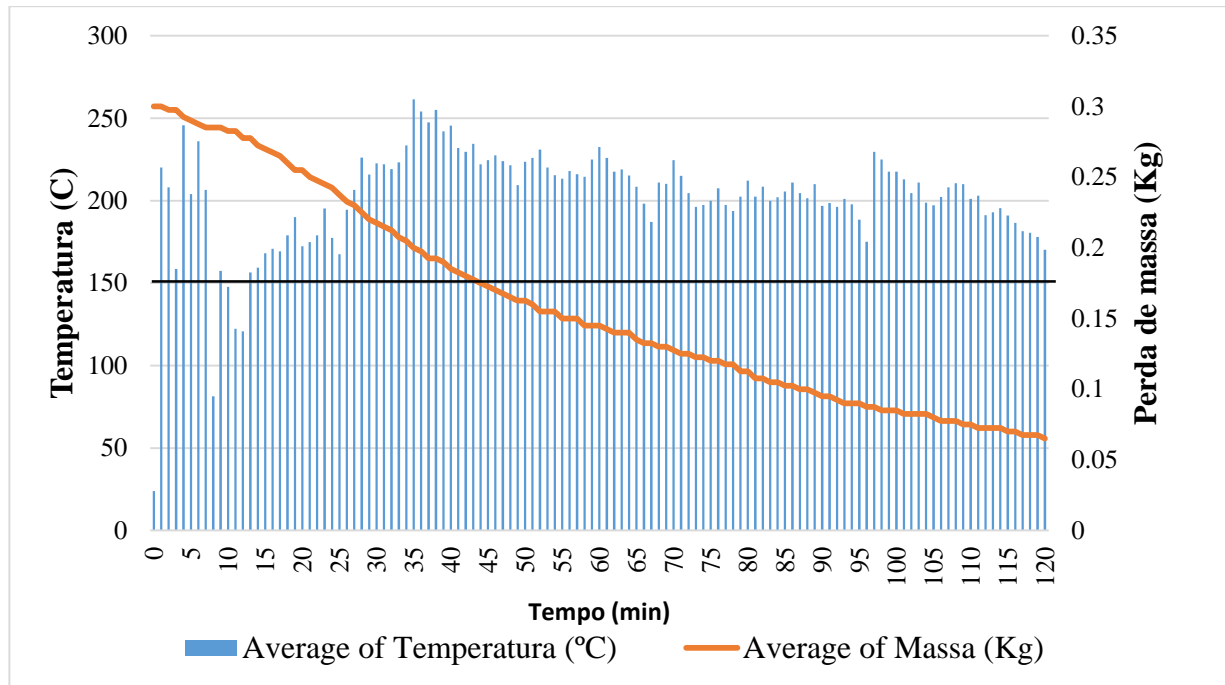
Os briquetes de procedência de casca de mandioca à 100°C atingiram temperaturas acima de 150°C no instante  $t = 2$  min e permaneceram nessas temperaturas até o instante  $t = 67$  min. Entretanto esses briquetes permaneceram metade desse período entre temperaturas à volta de 150°C.

Quanto à perda de massa, briquetes de casca de mandioca apresentaram um comportamento de perda de massa que se aproxima a uma curva exponencial, levando a assumir que terão menor área de consumo em relação ao carvão vegetal que apresenta um comportamento de perda de massa próxima a uma curva linear consequentemente terá uma maior área de consumo.

Briquetes à 150°C atingiram temperatura máxima de 369.5°C no instante  $t = 40$  min e temperatura final de 111.1°C no instante  $t = 92$  min, quanto a perda de massa foi consumido 94.87% da massa inicial.

Briquetes à 100°C atingiram temperatura máxima de 378.5°C no instante  $t = 17$  min e temperatura final de 117.2°C no instante  $t = 79$ min, quanto a perda de massa foi consumido 99.29% da massa inicial.

### Carvão Vegetal



**Gráfico 15:** Variação da temperatura e queda de massa ao longo do tempo do carvão vegetal

O carvão vegetal atinge temperaturas acima de 150°C no início do instante  $t = 13$  min e permanece nessas temperaturas até ao fim de 120 min que é o tempo estabelecido para realização do teste de ICOM. A temperatura máxima atingida pelo carvão vegetal (fase da pirolise) foi de 261.5°C no instante  $t = 35$ min, e a temperatura final foi de 177.9°C

Quanto à perda de massa notou-se uma diminuição linear e lenta da perda de massa ao longo do tempo. Levando a concluir que o carvão vegetal conserva energia a temperaturas acima de 150°C por longo período de tempo.

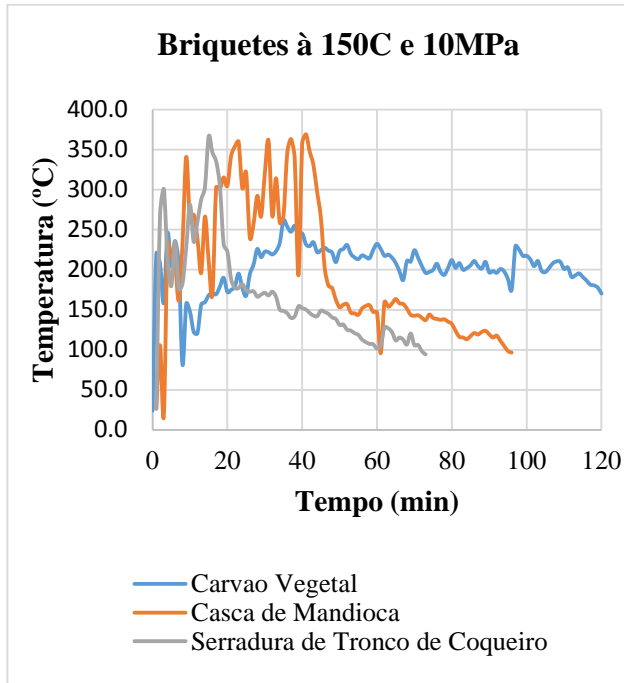
A área dos gráficos acima apresentados (gráficos 11, 12, 13, 14 e 15) delimitada pela perda de massa relacionados ao teste de combustão representam a quantidade de energia (calor) gerada por cada biomassa em relação as suas temperaturas de produção dos briquetes.

**Tabela 10.** Índice de combustão (ICOM), temperaturas máxima e final alcançadas no teste e percentagem de massa consumida até a temperatura máxima (T. máx) e na temperatura final (T. final) do teste

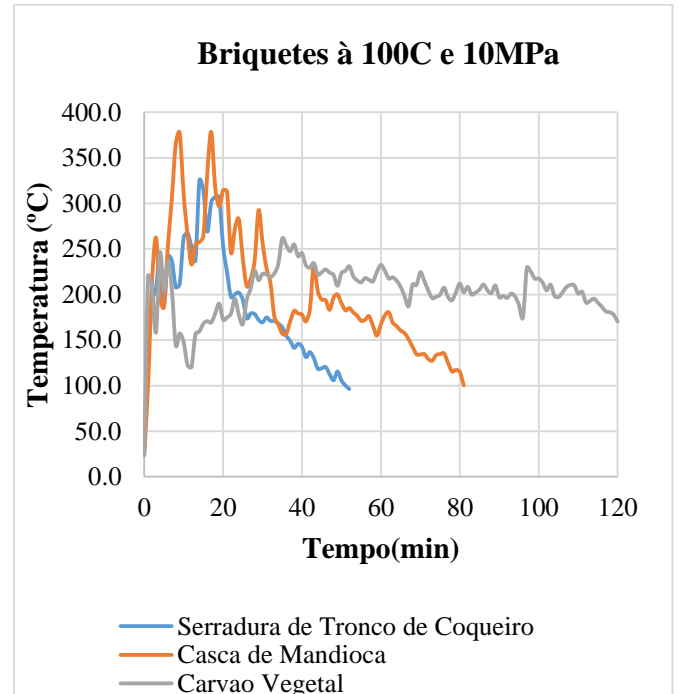
Proveniência	T. Max (C)	T. final (C)	Consumo de massa		ICOM (%)
			T. Max (%)	T. final (%)	
Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C	366.5	106.0	53.8	1.7	5.0
Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C	325.0	100.2	47.5	0.2	4.8
Casca de Mandioca à 150°C	369.5	111.1	29.1	5.1	10.8
Casca de Mandioca à 100°C	378.5	117.2	81.2	1.7	3.3
Carvão Vegetal	261.5	177.9	66.7	22.5	1.9

É necessário salientar que o cálculo do ICOM está em percentagem de massa consumida durante o teste, sendo que o carvão vegetal consumiu menor percentagem de massa de todas as proveniências, e briquetes a base de casca de mandioca à 100°C estão entre os maiores consumidores, como pode ser observado na tabela 10. Portanto, se os briquetes de uma proveniência geram bastante energia (quantidade de calor) durante o teste, mas, em contrapartida, consomem muita massa para gerar essa energia, provavelmente o seu ICOM não será elevado. Um exemplo disto acontece com os briquetes da proveniência de casca de mandioca à 100°C e com o carvão vegetal. Apesar de briquetes de casca de mandioca à 100°C apresentarem maior temperatura máxima e a segunda maior temperatura final, consomem bastante massa para gerar essa energia.

#### 4.14 Influência da Temperatura na Qualidade de Briquete



**Gráfico 16:** Comportamento da temperatura em função do tempo no ICOM de briquetes



**Gráfico 17:** Comportamento da temperatura em função do tempo no ICOM de briquetes

Ao analisar o comportamento dos briquetes durante a combustão, verifica-se pelos gráficos 16 e 17 que a temperatura máxima atingida varia de acordo com a proveniência dos briquetes. No entanto o tempo para alcançar essa temperatura máxima não varia significativamente, independente da procedência dos briquetes e, conseqüentemente da qualidade do briquete.

Em termos de temperaturas os briquetes apresentam aproximadamente o mesmo comportamento em ambas temperaturas para o teste de índice de combustão, porém os briquetes á 150°C levam mais tempo para elevarem a temperatura em relação aos briquetes de 100°C.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

Diante dos testes executados, dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho, pode-se concluir que:

Os resultados mostraram que é possível produzir briquetes a partir de serradura de tronco de coqueiro e de resíduos de mandioca; A compactação é um fator preponderante para a qualidade de um briquete e do seu comportamento quanto a resistência mecânica e combustão; A uniformidade granulométrica da biomassa garante uma distribuição mais uniforme, e uma maior densidade do briquete conduzirá a um menor consumo específico de carbono fixo.

Foram determinadas as características físico-químicas da matéria-prima em que a serradura de tronco de coqueiro apresentou menor teor de humidade e teor de cinzas em relação a casca de mandioca e ao carvão vegetal; A serradura de tronco de coqueiro apresentou maior teor de voláteis, teor de cinzas e maior potencial energético em relação a casca de mandioca, mostrando ser um bom combustível energético depois do carvão vegetal.

Quanto as características físico-químicas dos briquetes produzidos, em todos os testes feitos relativos a resistência mecânica, os briquetes de proveniência de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa apresentaram melhores resultados que briquetes de proveniência de casca de mandioca nas mesmas condições. O inverso aconteceu para briquetes produzidos à 100°C e 10MPa.

No que diz respeito ao potencial energético, o carvão vegetal continua a ser um ótimo combustível energético, entretanto briquetes de serradura de tronco de coqueiro apresentaram um bom potencial energético para serem usados como combustível. Briquetes de casca de mandioca mostraram ter boa capacidade energética, mas deve ser feito um ajuste no que diz respeito ao seu teor de humidade antes da produção do mesmo visto que demoram para atingir o processo de ignição e são rapidamente consumidos levando um rápido consumo da massa do combustível.

Por fim analisou-se a influência da temperatura de densificação na qualidade dos briquetes usando as biomassas em estudo neste trabalho, notou-se que há uma diferença de qualidade dos briquetes nos testes de propriedade mecânica. Os briquetes produzidos a 150° C e 10MPa apresentaram melhor qualidade em relação aos briquetes produzidos a 100°C e 100MPa, levando a assumir que

quanto maior for a temperatura de compactação do briquete mais resistente será o briquete. Em termos de potencial energético não houve uma diferença significativa no que diz respeito a qualidade dos briquetes.

De uma forma geral, segundo os testes feitos, o melhor briquete dentre as biomassas analisadas foi o briquete proveniente de serradura de tronco de coqueiro à 150°C e 10MPa que apresentou bons resultados em termos de análise imediata, propriedade mecânica e propriedade térmica sendo um possível concorrente do carvão vegetal. O segundo melhor briquete é o briquete proveniente de casca de mandioca à 150°C e 10MPa.

## **5.2 Recomendações**

Estudos mais aprofundados devem ser feitos, visando conhecer com mais detalhes, o processo de briquetagem de resíduos de biomassa vegetal. Possibilitando assim o aproveitamento de um maior volume e variedade de resíduos.

Estudos devem ser feitos no que diz respeito à granulometria e ao teor de humidade da biomassa para a produção de briquetes, pois, esses parâmetros influenciam diretamente nas propriedades mecânicas e energéticas do briquete.

Durante o teste de propriedades térmicas (teste de fervura e teste de índice de combustão) notou-se que briquetes provenientes da casca de mandioca levam mais tempo para sofrer ignição, libertando fumaça durante a fase de evaporação de humidade, esse facto pode ser devido ao teor de humidade usado para a produção do briquete dessa espécie, levando a assumir que os briquetes de origem agrícolas (casca de mandioca) possuem critérios de humidade diferentes dos briquetes de origem vegetal (serradura de troco de coqueiro e carvão vegetal).

Quanto a influência da temperatura recomenda-se que se produza briquetes com temperaturas acima de 150°C, pois abaixo dessas temperaturas a qualidade do briquete é menor principalmente nos testes de propriedade mecânica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 1994. *ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: método de ensaio*. Rio de Janeiro: s.n.

Akouwah, J. & Kermausuor, F. a. M., 2012. Physico-chemical characteristics and market potential of sadust charcoal briquette. *Internacional Jornal of Energy and Environmental Engineering*.

Antwi-Boasiako, C. & Acheampong, B., 2016. *Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities*, s.l.: s.n.

Borowycz, M. et al., 2018. *ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS DE BIOMASSA PARA UTILIZAÇÃO EM PROCESSOS METALÚRGICOS*, s.l.: s.n.

Brand, M. A. & al, e., 2014. Produção de biomassa para geração de energia em povoamento de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. Volume 38.

Brito, J. & Barrichelo, L., 1982. Aspectos Técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. 2 Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais.

Brito, J. O., 1993. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. pp. 280-282.

Brito, J. O. & Barrichelo, L. E. G., 1981. *Carvão vegetal de madeira de desbaste de Pinus*, s.l.: s.n.

Chen, L., Xing, L. & Han, L., 2009. Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and sustainable*.

CORTEZ, L. A. B., LORA, E. E. S. & GÓMEZ, E. O., 2008. *Biomassa para energia*, s.l.: Ed. UNICAMP: Campinas, SP, 2008.

Cortez, L. A. B. P. J. M. M. R. J. D. ., J. R. A. M. H. R. M., 2008. Processamento da Casca e Fibra de Coco Verde por Carbonização para agregação de Valor. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*.



Dias Júnior, A. F., Andrade, A. M. d. & Junior, D. S. C., 2015. Caracterização de Briquetes Produzidos com Resíduos Agroflorestais.

Fernandes, P. H. G. et al., 2020. Propriedades Físico-Mecânicas de Briquetes Produzidos com Palha de Cana-de-Açúcar em Alta Temperatura. *Virtual Quim*, pp. 1-10.

Ferreira, I. T., Schirmer, W. N., Machado, G. d. O. & Gueri, M. V. D., 2014. *Estimativa do Potencial Energético de Resíduos Celulósicos de Fabricação de Papel Através da Análise Imediata*. s.l.:2014.

Fortes, A. G. & Raimundo, B., 2020. Bionergia em Moçambique: tecnologias de produção, uso e aspectos sustentáveis. *Desenvolvimento Socioeconômico em Debate - RDSD*.

Gentil, L. V. B., 2008. Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. *Tese de Doutorado em Engenharia Florestal Departamento de Engenharia Florestal Universidade de Brasília*.

Kijo-Kleczkowska, A. et al., 2016. *Experimental Research of Sewage Sludge with Coal and Biomass co-combustion in Pellet from Waste Managment*, s.l.: s.n.

Klautau, J. V. P., 2008. *Análise Experimental de uma Formalha a lenha de Fluxo Concorrente Para Secagem de Grão*. 2008. *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental*, s.l.: PPGERHA, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

Magalhães, A. S., Silva, T. M. M. d. & Castro, V. G., 2019. Produção e caracterização de briquetes a partir de resíduos sólidos e prensagem semi-manual. *Advances in Forestry Science*.

Mckemdry, P., 2002. Energy Production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*.

Oliveira, L. H., Barbosa, P. V. G., Lima, P. A. F. & Júnior, F. M. Y. e. C. R. S., 2017. Aproveitamento de resíduos madeireiros de Pinus sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. *SCAP*.

Onulak, I. E., Mohammed-Dabo, I. A., Ameh, A. O. & Fasanya, S. I. R. O. a. O. O., 2017. Production and Characterization of Biomass Briquettes from Tannery Solid Waste. *recycling*.

Padilla, E. R. D. P. I. C. S. A., Yamaji, F. M. & Fandiño, J. M. M., 2016. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. *Virtual de Química*.

Pinheiro, G. F., Rendeiro, G. & Pinho, J. T., 2005. Densidade energética de resíduos vegetais Biomassa e Energia.

Pinto, Q. M. A., 2016. *Análise do Desempenho Energético de Briquetes de Resíduos Agroindustriais gerados no Distrito Federal*, Brasília: s.n.

Quirino, W. F., 1991. *CARACTERÍSTICAS E ÍNDICE DE COMBUSTÃO DE BRIQUETES DE CARVAO VEGETAL*, Estado de São Paulo - Brasil: s.n.

QUIRINO, w. F., 2002. Utilização Energética de Resíduos Vegetais.

SILVA, L. F. D., 2018. *VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DO BAGAÇO DE MALTE DE CEVADA*, BRASÍLIA: 2018.

Sotannde, O. O. A. & A. G., 2010. Physical and combustion properties of charcoal briquettes from neem wood residues. *International Agrophysics*, pp. 24, 189-194.

Souza, F. d., 2014. *Avaliação de qualidade de briquetes produzidos com seis biomassas agrofloretais por métodos não destrutivos. Tese de Doutorado em Ciências Florestais*, Brasília: PPGEFL. TD - 48/2014, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília.

Souza, F. et al., 2018. *ANÁLISE DA CARGA MÁXIMA E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE BRIQUETES*, s.l.: s.n.

Teixeira, S., Pena, A. & Miguel, A., 2010. Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. *Waste Management*, May.

Vale, A. T. d. et al., 2017. *ANÁLISE ENERGÉTICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS DE Eucalyptus spp., Dypterix alata, Caryocar brasiliense E Mussa spp.* 10 Junho.

# APÊNDICES

**Tabela A<sub>1</sub>** : Teor de Cinza de Serradura de Tronco de Coqueiro

<b>Amostra: Serradura de Tronco de Coqueiro</b>			
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + Cinzas (g)	Cinzas (%)
29.3469	2.0000	29.4046	2.8850
26.2486	2.0002	26.3022	2.6797
27.1586	2.0004	27.2200	3.0694
Média			2.8780
Desvio			0.1949

**Tabela A<sub>2</sub>** : Teor de Cinza de Casca de Mandioca

<b>Amostra: Casca de Mandioca (Resíduo de Mandioca)</b>			
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + cinzas (g)	Cinzas (%)
29.0614	1.001	29.1072	4.58
27.1467	1.0005	27.1951	4.84
29.1863	1.0008	29.234	4.77
Média			4.73
Desvio			0.14

**Tabela A<sub>3</sub>** : Teor de Cinza de Carvão Vegetal

<b>Amostra: Carvão Vegetal</b>			
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + cinzas (g)	Cinzas (%)
28.209	1.0017	28.2963	8.72
28.6613	1.0012	28.7382	7.68
28.7594	1.0014	28.8297	7.02
Média			7.81
Desvio			0.85

**Tabela A4:** Teor de Matéria Volátil e Carbono fixo da Serradura de Tronco de Coqueiro

<b>Amostra: Serradura de Tronco de Coqueiro</b>					
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + Carvão (g)	Carvão	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)
66.3076	1.0001	66.5158	20.8179	79.1821	17.9329
64.6945	1.0000	64.8889	19.4400	80.5600	16.7603
63.4051	1.0000	63.6066	20.1500	79.8500	17.0806
Média			20.1360	79.8640	17.2579
Desvio			0.6891	0.6891	0.6061

**Tabela A5:** Teor de Matéria Volátil e Carbono fixo da Casca de Mandioca

<b>Amostra: Casca de Mandioca (Resíduo de Mandioca)</b>					
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + carvão (g)	Carvão	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)
53.0822	1.0061	53.3124	22.88	77.12	18.31
52.3415	1.0076	52.5747	23.14	76.86	18.31
64.8046	1.0072	65.0479	24.16	75.84	19.39
Média			23.39	76.48	18.67
Desvio			0.67	0.67	0.63

**Tabela A6:** Teor de Material Volátil e Carbono fixo de Carvão Vegetal

<b>Amostra: Carvão Vegetal</b>					
Cadinho vazio (g)	Amostra fresca (g)	Cadinho + carvão (g)	Carvão	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)
52.1411	1.0003	52.8277	68.64	31.36	59.92
52.6139	1.0009	53.3001	68.56	31.44	60.88
52.7641	1.0008	53.4493	68.47	31.53	61.45
Média			68.55	31.45	60.75
Desvio			0.09	0.09	0.77

**Tabela A7:** Densidade a granel da Serradura de Tronco de Coqueiro com humidade de 10.5%

	Balão vazio (g)	Balão cheio (g)	Volume(ml)	Densidade a granel (g/ml)
	34.7015	53.8801	50.0000	0.383572
	34.7021	53.7464	50.0000	0.380886
	34.7014	53.9841	50.0000	0.385654
<b>Média</b>	34.70166667	53.8702	50.0000	0.383370667
<b>Desvio</b>	0.000216667	0.0619	0	0.001242333

**Tabela A8:** Densidade a granel da Casca de Mandioca com humidade de 11.68%

	Balão vazio (g)	Balão cheio (g)	Volume(ml)	Densidade a granel (g/ml)
	34.6930	63.4674	50.0000	0.5755
	34.7039	62.1149	50.0000	0.5482
	34.7042	62.1862	50.0000	0.5496
<b>Média</b>	34.7004	62.5895	50.0000	0.5578
<b>Desvio</b>	0.0049	0.5853	0.0000	

**Tabela A9:** Densidade a granel de Carvão Vegetal com teor de humidade de 5.59%

	Balão vazio (g)	Balão cheio (g)	Volume(ml)	Densidade a granel (g/ml)
	34.3590	70.5190	50.0000	0.7232
	34.3050	70.5970	50.0000	0.7258
<b>Média</b>	34.3320	70.5580	50.0000	0.7245
<b>Desvio</b>	0.0270	0.0390	0.0000	

**Tabela A<sub>10</sub>** : Poder Calorifico da Serradura de Coqueiro

	<b>Cinza</b> (%)	<b>Voláteis</b> (%)	<b>C. Fixo</b> (%)	<b>T. H</b> (%)	<b>PCS</b> (Kcal/Kg)	<b>PCI</b> (Kcal/Kg)	<b>PCU</b> (Kcal/Kg)
	2.8850	79.1821	17.9329	2.8500	4460.4722	4428.0722	4284.7721
	2.6797	80.5600	16.7603	2.2000	4413.0951	4380.6951	4271.1198
	3.0694	79.8500	17.0806	2.0000	4412.9865	4380.5865	4280.9748
<b>Média</b>	2.8780	79.8640	17.2579	2.3500	4428.8513	4396.4513	4278.9556
<b>Desvio</b>	0.1949	0.6891	0.6061	0.4444	27.3846	27.3846	7.0466

**Tabela A<sub>11</sub>** : Poder Calorifico da Casca de Mandioca

	<b>Cinza</b> (%)	<b>Voláteis</b> (%)	<b>C. Fixo</b> (%)	<b>T. H</b> (%)	<b>PCS</b> (Kcal/Kg)	<b>PCI</b> (Kcal/Kg)	<b>PCU</b> (Kcal/Kg)
	7.9734	76.5977	15.4289	3.8000	4143.0779	4110.6779	3931.6721
	7.4878	75.6700	16.8422	4.4300	4228.8581	4196.4581	3983.9750
	7.9284	77.6000	14.4716	4.6000	4099.6031	4067.2031	3852.5118
<b>Média</b>	7.7965	76.6226	15.5809	4.2767	4157.1797	4124.7797	3922.7196
<b>Desvio</b>	0.2683	0.9652	1.1926	0.4215	65.7712	65.7712	66.1873

**Tabela A<sub>12</sub>**: Poder Calorífico de Carvão Vegetal

	<b>Cinza (%)</b>	<b>Voláteis (%)</b>	<b>C. Fixo (%)</b>	<b>T. H (%)</b>	<b>PCS (Kcal/Kg)</b>	<b>PCI (Kcal/Kg)</b>	<b>PCU (Kcal/Kg)</b>
	8.7152	31.3606	59.9242	5.5600	6216.4703	6184.0703	5806.8760
	7.6808	31.4417	60.8775	5.5600	6301.9842	6269.5842	5887.6353
	7.0202	31.5348	61.4451	5.5600	6354.6527	6322.2527	5937.3755
<b>Média</b>	7.8054	31.4457	60.7489	5.5600	6291.0358	6258.6358	5877.2956
<b>Desvio</b>	0.8543	0.0872	0.7686	0.0000	69.7388	69.7388	65.8613

**Tabela B<sub>1</sub>**: Dimensionamento de briquetes a partir de Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C e 10MPa

<b>Amostra</b>	<b>Humidade (%)</b>	<b>Massa<sub>1</sub> (g)</b>	<b>Massa<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>
A1	12.66	60.0003	59.4653	50.1000	33.8000	5317.2132
A2	12.66	60.0000	56.7158	50.2700	31.4600	4965.8918
A3	12.66	60.0003	59.1529	50.2300	32.8800	5185.9059
A4	12.66	60.0004	57.1027	50.2000	32.0800	5056.7062
A5	12.66	60.0006	60.0003	50.1000	35.5100	5586.2201

**Tabela B<sub>2</sub>**: Dimensionamento de briquetes a partir de Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C e 10MPa

<b>Amostra</b>	<b>Humidade (%)</b>	<b>Massa<sub>1</sub> (g)</b>	<b>Massa<sub>2</sub> (g)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>
B1	12.66	60.0006	59.6816	50.2300	42.4900	6701.6163
B2	12.66	60.0003	59.6142	50.2600	40.4100	6377.3607
B3	12.66	60.0005	59.7211	50.3000	41.3000	6523.0046
B4	12.66	60.0004	59.4750	50.3000	41.7600	6595.6579
B5	12.66	60.0000	59.5504	49.9400	41.3400	6482.5915



**Tabela B<sub>3</sub>** : Dimensionamento de briquetes a partir de Casca de Mandioca à 150°C e 10MPa

Amostra	Humidade (%)	Massa <sub>1</sub> (g)	Massa <sub>2</sub> (g)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
C1	11.68	60.0003	58.6237	50.0900	31.4600	4948.1106
C2	11.68	60.0006	58.5638	50.1000	34.5700	5438.3450
C3	11.68	60.0008	59.9847	50.1000	36.4000	5726.2296
C4	11.68	60.0005	58.5788	50.0300	35.6000	5592.5535
C5	11.68	60.0008	59.5674	50.1000	35.6000	5600.3784

**Tabela B<sub>4</sub>** : Dimensionamento de briquetes a partir de Casca de Mandioca à 100°C e 10MPa

Amostra	Humidade (%)	Massa <sub>1</sub> (g)	Massa <sub>2</sub> (g)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
D1	11.68	60.0008	60.0001	50.2000	41.6300	6562.0536
D2	11.68	60.0008	59.9485	50.2000	40.6000	6399.6968
D3	11.68	60.0006	60.0671	50.2000	41.1900	6492.6973
D4	11.68	39.7688	39.7668	49.9400	26.9900	4232.3451

**Tabela C<sub>1</sub>** : Resistência Mecânica da Serradura de Tronco de Coqueiro

Amostra	Humidade (%)	T (° C)	Pressão (MPa)	Força de pico (N)	Força de quebra (N)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistência Mecânica (MPa)
A <sub>1</sub>	12.66	150	10	3815.600	3434.900	5317.213	0.646
A <sub>2</sub>	12.66	150	10	3335.700	3004.400	4965.892	0.605
A <sub>3</sub>	12.66	150	10	4725.700	4254.800	5185.906	0.820
A <sub>4</sub>	12.66	150	10	4073.800	3678.900	5056.706	0.728
A <sub>5</sub>	12.66	150	10	3669.400	3302.500	5586.220	0.591
B <sub>1</sub>	12.66	100	10	417.500	375.900	6101.616	0.062
B <sub>2</sub>	12.66	100	10	1126.200	1014.200	6377.361	0.159
B <sub>3</sub>	12.66	100	10	1133.000	1019.900	6523.005	0.156
B <sub>4</sub>	12.66	100	10	1376.600	1239.000	6595.658	0.188
B <sub>5</sub>	12.66	100	10	1208.100	1087.900	6482.592	0.168

**Tabela C<sub>2</sub>** : Resistência Mecânica da Resíduo de Mandioca (Casca de Mandioca)

Amostra	Humidade (%)	T (°C)	Pressão (MPa)	Força de pico (N)	Força de quebra (N)	Área (m <sup>2</sup> )	Resistência Mecânica (MPa)
C <sub>1</sub>	11.68	150	10	2717.40	2446.90	4948.11	0.50
C <sub>2</sub>	11.68	150	10	2679.10	2410.40	5438.35	0.44
C <sub>3</sub>	11.68	150	10	2234.10	2011.60	5726.23	0.35
C <sub>4</sub>	11.68	150	10	2244.30	2020.30	5592.55	0.36
C <sub>5</sub>	11.68	150	10	2424.70	2182.30	5600.38	0.39
D <sub>1</sub>	11.68	100	10	1215.40	1094.20	6562.05	0.17
D <sub>2</sub>	11.68	100	10	1552.80	1397.70	6399.97	0.22
D <sub>3</sub>	11.68	100	10	1424.70	1285.50	6492.70	0.20
D <sub>4</sub>	11.68	100	10	836.20	754.20	4232.35	0.15

**Teste de Fervura Usando Briquete de Serradura de Tronco de Coqueiro como Combustível****Experiência 1 a 100°C e 10MPa**

## Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 486g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2594g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3352g
- 5- Peso do briquete ( $M_5$ ) = 347g
- 6- Peso do fogão + briquete (no início)  $M_6 = 3690g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + briquete incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3681g$
- 10- Temperatura ambiente 29.6°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 31.5°C
- 12- Tempo inicial 15h10
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 101.8°C
- 14- Tempo de fervura 15h42

15- Temperatura após 15min de fervura 101.8°C16- Tempo após 15min depois de fervura 13h1117- Tempo final 15h57

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	31,5	
1	31,6	
2	34,5	
3	37,3	
4	40,1	
5	43,4	
6	46,0	
7	48,8	
8	52,8	
9	56,1	
10	59,9	
11	63,7	
12	67,8	
13	73,4	
14	78,0	
15	81,4	
16	85,7	
17	88,6	
18	91,6	
19	94,7	
20	96,8	
21	99,2	
22	101,8	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3060g

Peso do briquete incandescente no início de fervura = 40g

Peso do fogão (sem briquete) no início de fervura = 3344g

Peso do fogão + briquete incandescente no início de fervura=3397g

### Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	95,4	
1	96,2	
2	98,9	
3	101,3	
4	102,3	
5	102,3	
6	102,3	
7	101,9	
8	101,8	
9	101,8	
10	101,3	
11	101,6	
12	101,8	
13	101,9	
14	101,6	
15	101,8	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2944g

Peso do briquete incandescente após 15min de fervura = 10g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3350g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3372g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,7	
1	99,2	
2	101,5	
3	102,1	
4	102,0	
5	102,1	
6	102,4	
7	102,4	
8	102,2	
9	102,1	
10	102,0	
11	102,1	
12	102,0	
13	102,1	
14	102,0	
15	101,5	
16	101,5	
17	100,9	
18	100,7	
19	100,2	
20	100,2	
21	99,8	
22	99,8	
23	99,8	
24	99,7	

25	99,6	
26	99,6	
27	99,4	
28	99,2	
29	99,2	
30	98,9	
31	98,9	
32	98,7	
33	98,6	
34	98,5	
35	98,4	
36	98,4	
37	98,2	
38	98,2	
39	98,0	
40	97,9	
41	97,7	
42	97,5	
43	97,4	
44	97,2	
45	97,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2835g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 1g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3354g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3355g

## Experiência 2 à 100°C e 10MPa

### Dados iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 490g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2590g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3385g
- 5- Peso do briquete ( $M_5$ ) = 349g
- 6- Peso do fogão + briquete (no início)  $M_6 = 3735g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3704g$
- 10- Temperatura ambiente 24,9°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 25,3°C
- 12- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 101,6°C
- 13- Temperatura após 15min de fervura 101,9°C



<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	25,3	
1	27,0	
2	30,2	
3	31,8	
4	34,3	
5	36,8	
6	39,5	
7	43,1	
8	45,1	
9	48,1	
10	51,5	
11	54,0	
12	57,0	
13	61,9	
14	64,4	
15	68,8	
16	72,9	
17	76,0	
18	79,2	
19	82,0	
20	85,2	
21	88,8	
22	92,0	
23	94,0	
24	97,7	
25	99,5	
26	101,6	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3063g

Peso do briquete incandescente no início de fervura = 32g

Peso do fogão (sem briquete) no início de fervura = 3368g

Peso do fogão + briquete incandescente no início de fervura = 3412g

**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,0	
1	98,3	
2	98,8	
3	99,5	
4	100,2	
5	101,1	
6	102,1	
7	102,2	
8	102,4	
9	102,4	
10	102,4	
11	102,4	
12	102,3	
13	102,2	
14	102,0	
15	101,9	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2959g

Peso do briquete incandescente após 15min de fervura = 12g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3372g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3388g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,3	
1	99,6	
2	102,0	
3	102,3	
4	102,2	
5	102,3	
6	102,4	
7	102,3	
8	102,0	
9	101,7	
10	101,3	
11	100,9	
12	100,8	
13	101,2	
14	101,3	
15	100,9	
16	101,1	
17	100,6	
18	100,2	
19	99,9	
20	99,6	
21	99,3	
22	99,0	
23	98,8	
24	98,4	

25	98,0	
26	97,6	
27	96,5	
28	96,2	
29	95,7	
30	95,1	
31	96,2	
32	98,1	
33	100,1	
34	101,2	
35	101,0	
36	100,9	
37	100,4	
38	99,9	
39	99,2	
40	98,9	
41	98,0	
42	97,8	
43	97,7	
44	97,7	
45	97,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2709g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 1g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3380g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3381g

**Experiência 1 à 150°C e 10MPa**

Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 486g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2594g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3368g
- 5- Peso do Briquete ( $M_5$ ) = 355g
- 6- Peso do fogão + Briquete (no início)  $M_6 = 3731g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3711g$
- 10- Temperatura ambiente 26,7°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 29,7°C
- 12- Tempo inicial 10h03
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 101,2°C
- 14- Tempo de fervura 10h31
- 15- Temperatura após 15min de fervura 102,0°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 10h51
- 17- Tempo final 11h58

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	29,7	
1	31,0	
2	33,4	
3	36,3	
4	39,8	
5	43,6	
6	47,6	
7	52,0	
8	55,4	
9	58,8	
10	62,3	
11	65,8	
12	68,9	
13	73,2	
14	78,0	
15	81,4	
16	83,7	
17	88,0	
18	90,7	
19	93,4	
20	96,4	
21	100,7	
22	101,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3060g

Peso do Briquete incandescente no início de fervura = 48g

Peso do fogão (sem Briquete) no início de fervura = 3351g

Peso do fogão + Briquete incandescente no início de fervura = 3415g

**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	99,7	
1	100,7	
2	101,3	
3	101,6	
4	101,8	
5	101,8	
6	101,8	
7	101,8	
8	101,8	
9	101,6	
10	101,7	
11	101,3	
12	101,7	
13	101,8	
14	101,7	
15	102,0	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2968g

Peso do Briquete incandescente após 15min de fervura = 8g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3356g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3365g

### Controle de temperatura durante 45 minutos

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	98,7	
1	98,7	
2	98,7	
3	98,7	
4	98,6	
5	98,5	
6	98,6	
7	98,6	
8	98,5	
9	97,9	
10	96,3	
11	95,8	
12	95,5	
13	95,1	
14	94,9	
15	94,2	
16	94,8	
17	97,2	
18	99,2	
19	101,1	
20	102,3	



21	102,4	
22	102,6	
23	102,5	
24	102,5	
25	102,8	
26	102,6	
27	102,6	
28	102,3	
29	102,4	
30	102,3	
31	101,9	
32	101,9	
33	101,8	
34	101,7	
35	101,5	
36	101,5	
37	101,0	
38	100,9	
39	100,7	
40	100,7	
41	100,3	
42	99,9	
43	99,6	
44	98,9	
45	98,7	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2864g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 8g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3360g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3368g

### Experiência 2 à 150°C e 10MPa

Dados iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 486g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2594g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3350g
- 5- Peso do Briquete ( $M_5$ ) = 0,353Kg
- 6- Peso do fogão + Briquete (no início)  $M_6 = 3700g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3694g$
- 10- Temperatura ambiente 27,6°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 29,9°C
- 12- Tempo inicial 12h50
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 101,6°C
- 14- Tempo de fervura 13h17
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,7°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 13h35
- 17- Tempo final 14h25

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	29,9	
1	31,5	
2	33,5	
3	35,4	
4	38,0	
5	40,2	
6	43,0	
7	45,4	
8	48,0	
9	51,3	
10	54,5	
11	56,4	
12	59,9	
13	63,1	
14	66,7	
15	70,0	
16	72,7	
17	76,5	
18	78,8	
19	81,8	
20	84,8	
21	88,0	
22	90,9	
23	93,8	
24	95,4	
25	97,1	

26	98,6	
27	100,1	
28	101,6	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3050g

Peso do briquete incandescente no início de fervura = 55g

Peso do fogão (sem briquete) no início de fervura = 3354g

Peso do fogão + briquete incandescente no início de fervura = 3417g

#### Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	98,8	
1	99,3	
2	100,1	
3	100,3	
4	100,5	
5	101,8	
6	101,9	
7	102,3	
8	102,3	
9	102,3	
10	101,6	
11	101,9	
12	101,8	
13	101,8	
14	101,8	
15	101,7	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2920g

Peso do briquete incandescente após 15min de fervura = 15g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3353g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3372g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,2	
1	97,4	
2	98,8	
3	100,9	
4	102,0	
5	102,0	
6	102,1	
7	101,6	
8	101,4	
9	101,3	
10	101,1	
11	100,9	
12	100,8	
13	100,8	
14	100,7	
15	100,2	
16	99,8	
17	99,5	
18	99,2	
19	98,5	

20	98,1	
21	97,8	
22	97,3	
23	96,8	
24	96,6	
25	95,7	
26	97,0	
27	96,7	
28	96,0	
29	95,0	
30	95,8	
31	96,2	
32	96,6	
33	96,7	
34	96,5	
35	96,3	
36	96,5	
37	96,2	
38	95,5	
39	95,2	
40	94,6	
41	94,1	
42	93,7	
43	93,1	
44	92,7	
45	92,4	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2776g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 6g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3368g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3374g

## **Teste de Fervura Usando Briquete de Casca de Mandioca como Combustível**

### **Experiência 1 à 100°C e 10MPa**

#### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 482g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3076g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2594 g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3375g
- 5- Peso do Carvão ( $M_5$ ) = 350g
- 6- Peso do fogão + Carvão (no início)  $M_6 = 3718g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3692g$
- 10- Temperatura ambiente 27,6°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 31,2°C
- 12- Tempo inicial 12h
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 100,2°C
- 14- Tempo de fervura 12h45
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,4°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 13h25
- 17- Tempo final 14h25

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	31,7	
1	31,7	
2	32,7	
3	32,5	
4	33,2	
5	33,5	
6	33,6	
7	34,0	
8	34,5	
9	34,8	
10	35,1	
11	35,4	
12	35,8	
13	36,4	
14	36,5	
15	36,7	
16	37,2	
17	37,8	
18	38,1	
19	38,6	
20	39,1	
21	39,6	
22	40,2	
23	40,7	
24	41,1	
25	41,7	



26	42,4	
27	42,7	
28	43,1	
29	43,6	
30	43,9	
31	44,4	
32	45,6	
33	45,8	
34	46,8	
35	48,0	
36	48,7	
37	49,5	
38	50,6	
39	51,6	
40	52,5	
41	53,5	
42	54,6	
43	56,0	
44	58,2	
45	62,6	
46	64,8	
47	67,9	
48	71,0	
49	73,9	
50	76,6	
51	80,2	
52	82,2	

53	85,2	
54	88,0	
55	91,0	
56	93,0	
57	96,0	
58	97,9	
59	100,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3051g

Peso do carvão incandescente no início de fervura = 122g

Peso do fogão (sem carvão) no início de fervura = 3368g

Peso do fogão + carvão incandescente no início de fervura = 3504g

**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	99,4	
1	99,8	
2	100,9	
3	101,3	
4	101,5	
5	101,4	
6	101,5	
7	101,5	
8	101,5	
9	101,2	
10	101,3	
11	101,4	
12	101,4	
13	101,3	
14	101,5	
15	101,4	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2918g

Peso do carvão incandescente após 15min de fervura = 48g

Peso do fogão (sem carvão) após 15min de fervura = 3372g

Peso do fogão + carvão incandescente após 15min de fervura = 3429g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	99,6	
1	100,2	
2	100,0	
3	100,0	
4	100,2	
5	100,2	
6	100,1,	
7	100,0	
8	100,0	
9	100,0	
10	100,0	
11	99,8	
12	98,8	
13	98,6	
14	98,5	
15	98,5	
16	98,3	
17	98,5	
18	98,2	
19	98,1	
20	98,2	
21	98,5	
22	98,0	
23	98,4	
24	98,2	

25	98,0	
26	98,2	
27	98,2	
28	98,1	
29	98,1	
30	98,0	
31	98,0	
32	98,0	
33	97,8	
34	97,8	
35	97,6	
36	97,5	
37	97,4	
38	97,4	
39	97,6	
40	97,6	
41	97,4	
42	97,0	
43	97,0	
44	96,9	
45	96,5	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2807g

Peso do carvão incandescente após 45min de fervura = 2g

Peso do fogão (sem carvão) após 60min de fervura = 3383g

Peso do fogão + carvão incandescente após 60min de fervura = 3385g

## Experiência 2 à 100°C e 10MPa

### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 483g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3079g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2596 g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3379g
- 5- Peso do Carvão ( $M_5$ ) = 352g
- 6- Peso do fogão + Carvão (no início)  $M_6 = 3731g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3706g$
- 10- Temperatura ambiente 23,6°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 24,0°C
- 12- Tempo inicial 11h
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 100,1°C
- 14- Tempo de fervura 11h44
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,3°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 12h11
- 17- Tempo final 13h35

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	24,0	
1	24,9	
2	25,4	
3	27,2	
4	28,5	
5	29,2	
6	29,9	
7	30,6	
8	31,2	
9	31,9	
10	32,6	
11	33,0	
12	33,4	
13	33,9	
14	34,7	
15	35,7	
16	36,1	
17	36,4	
18	37,1	
19	37,5	
20	38,4	
21	39,3	
22	40,3	
23	42,9	
24	46,3	
25	50,2	

26	55,6	
27	58,8	
28	62,1	
29	67,2	
30	70,9	
31	74,8	
32	79,4	
33	83,7	
34	86,1	
35	90,3	
36	92,6	
37	95	
38	97,3	
39	99,6	
40	100,1	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3025g

Peso do carvão incandescente no início de fervura = 72g

Peso do fogão (sem carvão) no início de fervura = 3375g

Peso do fogão + carvão incandescente no início de fervura = 3456g



**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	100,6	
1	101,1	
2	101,1	
3	101,1	
4	101,1	
5	101,1	
6	101,3	
7	101,3	
8	101,3	
9	101,3	
10	101,3	
11	101,3	
12	101,3	
13	101,3	
14	101,3	
15	101,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2939g

Peso do carvão incandescente após 15min de fervura = 21g

Peso do fogão (sem carvão) após 15min de fervura = 3379g

Peso do fogão + carvão incandescente após 15min de fervura = 3401g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	99,6	
1	100,2	
2	100,0	
3	100,0	
4	100,2	
5	100,2	
6	100,1,	
7	100,0	
8	100,0	
9	100,0	
10	100,0	
11	99,8	
12	98,8	
13	98,6	
14	98,5	
15	98,5	
16	98,3	
17	98,5	
18	98,2	
19	98,1	
20	98,2	
21	98,5	
22	98,0	
23	98,4	
24	98,2	

25	98,0	
26	98,2	
27	98,2	
28	98,1	
29	98,1	
30	98,0	
31	98,0	
32	98,0	
33	97,8	
34	97,8	
35	97,6	
36	97,5	
37	97,4	
38	97,4	
39	97,6	
40	97,6	
41	97,4	
42	97,0	
43	97,0	
44	96,9	
45	96,5	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2807g

Peso do carvão incandescente após 45min de fervura = 1g

Peso do fogão (sem carvão) após 45min de fervura = 3384g

Peso do fogão + carvão incandescente após 60min de fervura = 3385g

### Experiência 1 à 150°C e 10MPa

#### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 493g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2587g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3361g
- 5- Peso do briquete ( $M_5$ ) = 0,358Kg
- 6- Peso do fogão + briquete (no início)  $M_6 = 3713g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + briquete incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3668g$
- 10- Temperatura ambiente 26,9°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 26,9°C
- 12- Tempo inicial 13h30
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 101,8°C
- 14- Tempo de fervura 14h08
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,3°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 14h30
- 17- Tempo final 15h20

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	26,9	
1	28,7	
2	30,7	
3	32,7	
4	34,6	
5	37,2	
6	39,7	
7	42,2	
8	45,7	
9	48,1	
10	50,5	
11	53,3	
12	55,6	
13	58,3	
14	60,5	
15	64,1	
16	67,2	
17	69,0	
18	71,8	
19	74,3	
20	76,6	
21	78,0	
22	80,0	
23	82,4	
24	84,2	
25	86,4	

26	88,3	
27	90,2	
28	91,5	
29	92,8	
30	94,1	
31	95,7	
32	97,5	
33	98,9	
34	100,1	
35	100,9	
36	101,0	
37	101,6	
38	101,8	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3027g

Peso do briquete incandescente no início de fervura = 52g

Peso do fogão (sem briquete) no início de fervura = 3366g

Peso do fogão + briquete incandescente no início de fervura = 3422g

**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temp<sub>H2O</sub> (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	99,2	Adicionou se 0,060Kg de briquete
1	99,8	
2	101,9	
3	102,9	
4	103,1	
5	103,2	
6	103,3	
7	102,8	
8	102,9	
9	102,6	
10	102,3	
11	101,7	
12	101,5	
13	101,4	
14	101,7	
15	101,4	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2889g

Peso do briquete incandescente após 15min de fervura = 19g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3377g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3398g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,0	
1	97,2	
2	97,3	
3	97,3	
4	97,4	
5	97,4	
6	97,5	
7	97,8	
8	97,9	
9	98,1	
10	98,3	
11	98,4	
12	98,6	
13	98,7	
14	98,8	
15	99,0	
16	99,3	
17	99,5	
18	99,5	
19	100,4	
20	100,6	
21	100,6	
22	100,4	
23	100,3	
24	100,3	



25	100.3	
26	99,2	
27	99,0	
28	98,7	
29	98,2	
30	97,8	
31	97,6	
32	97,5	
33	97,2	
34	97,2	
35	97,1	
36	97.0	
37	96.9	
38	96.9	
39	96.8	
40	96.7	
41	96.5	
42	96.4	
43	96.3	
44	96.3	
45	96.1	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2770g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 10g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3384g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3397g

## Experiência 2 à 150°C e 10MPa

### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 485g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2595 g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3388g
- 5- Peso do briquete ( $M_5$ ) = 356g
- 6- Peso do fogão + briquete (no início)  $M_6 = 3742g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição V = 20ml
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3690g$
- 10- Temperatura ambiente 26,2°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 26,2°C
- 12- Tempo inicial 12h23
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 98,0C
- 14- Tempo de fervura 13h15
- 15- Temperatura após 15min de fervura 96,5°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 13h40
- 17- Tempo final 14h35

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	26,2	
1	30,1	
2	32,5	
3	34,6	
4	36,3	
5	37,8	
6	38,7	
7	39,4	
8	40,1	
9	41,3	
10	41,6	
11	42,3	
12	42,8	
13	43,6	
14	44,0	
15	44,2	
16	44,8	
17	45,8	
18	46,3	
19	46,8	
20	47,8	
21	48,6	
22	49,8	
23	52,5	
24	55,8	
25	58,4	

26	61,2	
27	64,3	
28	67,7	
29	69,8	
30	72,4	
31	74,5	
32	77,1	
33	79,3	
34	81,8	
35	84,3	
36	86,2	
37	88,5	
38	90,0	
39	91,7	
40	94,5	
41	95,3	
42	96,3	
43	97,4	
44	98,5	
45	98,2	
46	98,5	
47	97,7	
48	97,9	
49	98,1	
50	98,0	
51	98,0	
52	98,0	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3005g

Peso do briquete incandescente no início de fervura = 51g

Peso do fogão (sem briquete) no início de fervura = 3,374g

Peso do fogão + briquete incandescente no início de fervura = 3432g

**Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura**

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	97,4	
1	97,9	
2	97,9	
3	97,7	
4	97,7	
5	98,2	
6	98,3	
7	98,6	
8	98,9	
9	99,5	
10	99,6	
11	99,8	
12	100.0	
13	100.1	
14	100.1	
15	100.1	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2878g

Peso do briquete incandescente após 15min de fervura = 12g

Peso do fogão (sem briquete) após 15min de fervura = 3383g

Peso do fogão + briquete incandescente após 15min de fervura = 3398g

**Controle de temperatura durante 45 minutos**

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temp<sub>H2O</sub> (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	97,0	
1	97,2	
2	97,3	
3	97,3	
4	97,4	
5	97,4	
6	97,5	
7	97,8	
8	97,9	
9	98,1	
10	98,3	
11	98,4	
12	98,6	
13	98,7	
14	98,8	
15	99,0	
16	99,3	
17	99,5	
18	99,5	
19	100,4	
20	100,6	
21	100,6	
22	100,4	
23	100,3	

24	100,3	
25	100.3	
26	99,2	
27	99,0	
28	98,7	
29	98,2	
30	97,8	
31	97,6	
32	97,5	
33	97,2	
34	97,2	
35	97,1	
36	97.0	
37	96.9	
38	96.9	
39	96.8	
40	96.7	
41	96.5	
42	96.4	
43	96.3	
44	96.3	
45	96.1	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 45min de fervura = 2783g

Peso do briquete incandescente após 45min de fervura = 4g

Peso do fogão (sem briquete) após 45min de fervura = 3385g

Peso do fogão + briquete incandescente após 45min de fervura = 3389g

## Teste de Fervura Usando Carvão Vegetal como Combustível

### Experiência 1

#### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 475g
- 2- Peso da panela com tampa +  $H_2O$  no início ( $M_2$ ) = 3081g
- 3- Peso da  $H_2O$  no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2606g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3410g
- 5- Peso do Carvão ( $M_5$ ) = 494g
- 6- Peso do fogão + Carvão (no início)  $M_6 = 3904g$
- 7- Combustível para ignição: Petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3850Kg$
- 10- Temperatura ambiente 23,6°C
- 11- Temperatura inicial da  $H_2O$  27,8°C
- 12- Tempo inicial 12h17
- 13- Temperatura de fervura da  $H_2O$  100,0°C
- 14- Tempo de fervura 12h44
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,3°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 13h11
- 17- Tempo final 14h27



<b>Tempo (min)</b>	<b>Temp<sub>H2O</sub> (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	27,6	
1	29,1	
2	30,8	
3	32,7	
4	34,6	
5	36,9	
6	38,8	
7	41,1	
8	43,7	
9	46,4	
10	49,0	
11	51,8	
12	55,4	
13	57,9	
14	60,6	
15	63,4	
16	65,8	
17	69,1	
18	72,9	
19	75,9	
20	79,7	
21	83,0	
22	87,1	
23	89,5	
24	93,6	

25	96,9	
26	97,9	
27	100,4	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3053g

Peso do carvão incandescente no início de fervura = 344g

Peso do fogão (sem carvão) no início de fervura = 3370g

Peso do fogão + carvão incandescente no início de fervura = 3733g

#### Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	99,9	
1	100,8	
2	100,8	
3	100,8	
4	100,8	
5	100,9	
6	100,9	
7	100,9	
8	101,0	
9	101,0	
10	101,0	
11	101,0	
12	101,0	
13	101,1	
14	101,2	
15	101,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2823g

Peso do carvão incandescente após 15min de fervura = 262g

Peso do fogão (sem carvão) após 15min de fervura = 3376g

Peso do fogão + carvão incandescente após 15min de fervura = 3646g

### Controle de temperatura durante 45 minutos

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	98,8	
1	99,6	
2	100,2	
3	100,0	
4	100,0	
5	100,2	
6	100,2	
7	100,1	
8	100,0	
9	100,0	
10	100,0	
11	100,0	
12	99,8	
13	98,8	
14	98,6	
15	98,5	
16	98,5	
17	98,3	
18	98,5	
19	98,2	

20	98,1	
21	98,2	
22	98,5	
23	98,0	
24	98,4	
25	98,2	
26	99,0	
27	99,7	
28	99,4	
29	98,5	
30	98,4	
31	99,6	
32	99,8	
33	99,0	
34	98,8	
35	98,0	
36	98,3	
37	98,0	
38	97,4	
39	97,4	
40	97,6	
41	97,6	
42	97,4	
43	97,0	
44	97,0	
45	96,9	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 60min de fervura = 2549g

Peso do carvão incandescente após 60min de fervura = 33g

Peso do fogão (sem carvão) após 60min de fervura = 3388g

Peso do fogão + carvão incandescente após 60min de fervura = 3422g

## Experiência 2

### Dados Iniciais

- 1- Peso da panela com tampa ( $M_1$ ) = 480g
- 2- Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início ( $M_2$ ) = 3080g
- 3- Peso da H<sub>2</sub>O no início ( $M_3 = M_2 - M_1$ ) = 2706g
- 4- Peso do fogão ( $M_4$ ) = 3350g
- 5- Peso do Carvão ( $M_5$ ) = 495g
- 6- Peso do fogão + Carvão (no início)  $M_6 = 3,904g$
- 7- Combustível para ignição: petróleo
- 8- Quantidade do combustível para ignição  $V = 20ml$
- 9- Peso do fogão + carvão incandescente antes do ensaio  $M_7 = 3847g$
- 10- Temperatura ambiente 23,6°C
- 11- Temperatura inicial da H<sub>2</sub>O 27,8°C
- 12- Tempo inicial 12h17
- 13- Temperatura de fervura da H<sub>2</sub>O 100,0°C
- 14- Tempo de fervura 12h44
- 15- Temperatura após 15min de fervura 101,3°C
- 16- Tempo após 15min depois de fervura 13h11
- 17- Tempo final 14h27

<b>Tempo (min)</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Observações</b>
0	27,6	
1	29,1	
2	30,8	
3	32,7	
4	34,6	
5	36,9	
6	38,8	
7	41,1	
8	43,7	
9	46,4	
10	49,0	
11	51,8	
12	55,4	
13	57,9	
14	60,6	
15	63,4	
16	65,8	
17	69,1	
18	72,9	
19	75,9	
20	79,7	
21	83,0	
22	87,1	
23	89,5	
24	93,6	
25	96,9	

26	97,9	
27	100,4	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O no início de fervura = 3045Kg

Peso do carvão incandescente no início de fervura = 347g

Peso do fogão (sem carvão) no início de fervura = 3355g

Peso do fogão + carvão incandescente no início de fervura = 3712g

#### Controle de temperatura durante 15 minutos de fervura

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	99,9	
1	100,8	
2	100,8	
3	100,8	
4	100,8	
5	100,9	
6	100,9	
7	100,9	
8	101,0	
9	101,0	
10	101,0	
11	101,0	
12	101,0	
13	101,1	
14	101,2	
15	101,2	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 15min de fervura = 2796g

Peso do carvão incandescente após 15min de fervura = 280g

Peso do fogão (sem carvão) após 15min de fervura = 3361g

Peso do fogão + carvão incandescente após 15min de fervura = 3647g

### Controle de temperatura durante 45 minutos

Tempo (min)	Temperatura da água (°C)	Observações
0	99,6	
1	99,6	
2	100,2	
3	100,0	
4	100,0	
5	100,2	
6	100,2	
7	100,1	
8	100,0	
9	100,0	
10	100,0	
11	100,0	
12	99,8	
13	98,8	
14	98,6	
15	98,5	
16	98,5	
17	98,3	
18	98,5	



19	98,2	
20	98,1	
21	98,2	
22	98,5	
23	98,0	
24	98,4	
25	98,2	
26	99,0	
27	99,7	
28	99,4	
29	98,5	
30	98,4	
31	99,6	
32	99,8	
33	99,0	
34	98,8	
35	98,0	
36	98,32	
37	98,0	
38	97,4	
39	97,4	
40	97,6	
41	97,6	
42	97,4	
43	97,0	
44	97,0	
45	96,8	

Peso da panela com tampa + H<sub>2</sub>O após 60min de fervura = 2650g

Peso do carvão incandescente após 45min de fervura = 57g

Peso do fogão (sem carvão) após 45min de fervura = 3367g

Peso do fogão + carvão incandescente após 60min de fervura = 3424g

## Índice de Combustão de Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C e 10MPa

### Experiência 1

#### Dados Iniciais

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.980Kg

**Tabela D1:** Índice de Combustão de Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	25.9	2.980	23	180.7	2.720
1	153.4	2.980	24	179.0	2.720
2	228.0	2.975	25	169.4	2.715
3	224.0	2.970	26	157.2	2.715
4	312.0	2.965	27	176.1	2.710
5	183.6	2.965	28	179.2	2.710
6	329.0	2.960	29	177.8	2.710
7	243.0	2.955	30	170.9	2.705
8	224.0	2.950	31	189.0	2.705
9	206.0	2.945	32	180.6	2.700
10	319.0	2.930	33	179.0	2.700
11	328.0	2.915	34	180.0	2.700
12	277.0	2.865	35	183.1	2.695

13	201.0	2.880	36	170.2	2.695
14	310.0	2.865	37	165.5	2.695
15	310.0	2.835	38	158.3	2.695
16	282.0	2.815	39	170.9	2.690
17	410.0	2.785	40	166.8	2.690
18	350.0	2.765	41	151.8	2.690
19	335.0	2.750	42	146.0	2.690
20	274.0	2.735	43	130.3	2.685
21	232.0	2.730	44	109.5	2.685
22	184.6	2.725	45	109.1	2.685

## Experiência 2

### Dados Iniciais

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.980Kg

**Tabela D<sub>2</sub>**: Índice de Combustão de Serradura de Tronco de Coqueiro à 100°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	26.3	2.980	27	182.3	2.710
1	119.1	2.980	28	178.0	2.705
2	155.6	2.975	29	166.5	2.705
3	189.0	2.965	30	168.0	2.705
4	175.4	2.955	31	160.6	2.700
5	194.0	2.945	32	161.4	2.700
6	155.0	2.935	33	162.9	2.700
7	232.0	2.915	34	156.2	2.700
8	192.0	2.900	35	144.9	2.700

9	217.0	2.890	36	139.4	2.695
10	206.0	2.870	37	133.1	2.695
11	207.0	2.855	38	124.8	2.695
12	227.0	2.830	39	120.9	2.695
13	275.0	2.810	40	118.6	2.695
14	340.0	2.780	41	110.9	2.695
15	319.0	2.765	42	127.6	2.695
16	256.0	2.755	43	130.1	2.695
17	193.0	2.745	44	127.6	2.690
18	264.0	2.740	45	129.1	2.690
19	279.0	2.735	46	120.4	2.690
20	233.0	2.730	47	112.6	2.690
21	217.0	2.725	48	105.8	2.690
22	210.0	2.725	49	115.6	2.685
23	220.0	2.720	50	105.7	2.685
24	225.0	2.720	51	100.2	2.685
25	219.0	2.715	52	96.3	2.685
26	191.0	2.710			

**Índice de Combustão de Briquete de Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C e 10MPa****Experiência 1****Dados Iniciais**

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.295Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.970Kg

**Tabela D<sub>3</sub>:** Índice de Combustão de Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	26.4	2.970	31	166.6	2.710
1	210.0	2.970	32	163.8	2.710
2	255.0	2.970	33	146.0	2.705
3	221.0	2.965	34	142.5	2.705
4	176.1	2.960	35	145.3	2.705
5	231.0	2.950	36	139.0	2.700
6	176.0	2.945	37	129.5	2.700
7	185.0	2.940	38	156.9	2.700
8	276.0	2.935	39	157.4	2.700
9	354.0	2.925	40	158.7	2.700
10	230.0	2.915	41	154.0	2.700
11	290.0	2.900	42	152.0	2.695
12	326.0	2.890	43	156.2	2.695
13	315.0	2.870	44	151.8	2.695
14	416.0	2.840	45	146.3	2.695
15	403.0	2.805	46	144.8	2.695
16	350.0	2.790	47	139.8	2.690
17	321.0	2.770	48	139.4	2.690
18	217.0	2.755	49	130.6	2.690
19	212.0	2.745	50	131.2	2.690

20	175.3	2.740	51	121.8	2.690
21	182.4	2.735	52	123.7	2.690
22	177.2	2.730	53	122.0	2.690
23	163.3	2.730	54	116.0	2.690
24	152.3	2.725	55	107.9	2.690
25	153.2	2.720	56	109.1	2.685
26	165.7	2.720	57	105.4	2.685
27	158.0	2.720	58	104.1	2.685
28	157.3	2.715	59	97.2	2.685
29	155.8	2.715	60	91.4	2.685
30	150.9	2.715			

## Experiência 2

### Dados Iniciais

Peso do fogão = 2.675Kg

Peso do Briquete = 0.315Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.975Kg

**Tabela D4:** Índice de Combustão de Serradura de Tronco de Coqueiro à 150°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	26.2	2.985	37	154.0	2.700
1	327.0	2.985	38	151.8	2.700
2	347.0	2.980	39	146.7	2.700
3	210.0	2.975	40	142.0	2.700
4	183.0	2.970	41	138.0	2.695
5	239.0	2.965	42	133.6	2.695
6	176.6	2.960	43	127.9	2.695

7	180.0	2.955	44	146.2	2.695
8	180.0	2.935	45	148.3	2.695
9	209.0	2.925	46	145.3	2.695
10	240.0	2.910	47	141.1	2.695
11	230.0	2.900	48	137.5	2.695
12	250.0	2.885	49	131.5	2.690
13	291.0	2.870	50	132.0	2.690
14	317.0	2.840	51	128.5	2.690
15	290.0	2.820	52	124.3	2.690
16	321.0	2.790	53	119.6	2.690
17	288.0	2.770	54	121.4	2.690
18	247.0	2.750	55	117.5	2.690
19	234.0	2.745	56	110.2	2.690
20	201.0	2.735	57	109.5	2.690
21	172.3	2.735	58	109.5	2.690
22	177.3	2.730	59	105.8	2.690
23	201.0	2.725	60	119.7	2.690
24	196.0	2.720	61	128.1	2.685
25	192.0	2.720	62	126.8	2.685
26	180.5	2.715	63	122.1	2.685
27	174.8	2.710	64	111.7	2.685
28	180.6	2.710	65	115.3	2.685
29	186.8	2.710	66	112.6	2.685
30	185.0	2.710	67	106.5	2.685
31	178.7	2.705	68	120.4	2.685
32	168.7	2.705	69	105.8	2.685
33	154.3	2.705	70	106.0	2.685
34	154.8	2.705	71	98.2	2.685
35	146.2	2.705	72	94.2	2.685
36	140.6	2.700			

**Índice de Combustão de Briquete de Casca de Mandioca a 100°C e 10MPa****Experiência 1****Dados Iniciais**

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.295Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.970Kg

**Tabela D<sub>5</sub>** : Índice de Combustão de Casca de Mandioca à 100°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	24.6	2.970	41	180.9	2.715
1	16.9	2.970	42	187.0	2.715
2	225.0	2.970	43	191.0	2.715
3	213.0	2.965	44	185.0	2.710
4	162.3	2.965	45	176.2	2.710
5	171.9	2.965	46	170.3	2.710
6	170.3	2.960	47	163.4	2.710
7	204.0	2.955	48	204.0	2.710
8	218.0	2.950	49	223.0	2.710
9	260.0	2.950	50	212.0	2.705
10	245.0	2.950	51	205.0	2.705
11	251.0	2.940	52	212.0	2.705
12	186.0	2.935	53	208.0	2.705
13	220.0	2.930	54	203.0	2.705
14	275.0	2.925	55	195.0	2.700
15	348.0	2.920	56	199.0	2.700
16	405.0	2.910	57	204.0	2.700
17	345.0	2.900	58	185.0	2.700



18	365.0	2.890	59	179.3	2.700
19	363.0	2.880	60	175.1	2.700
20	361.0	2.860	61	182.0	2.695
21	346.0	2.845	62	182.3	2.695
22	270.0	2.830	63	167.2	2.695
23	326.0	2.815	64	164.7	2.695
24	350.0	2.795	65	161.5	2.695
25	275.0	2.780	66	155.1	2.690
26	233.0	2.770	67	150.2	2.690
27	240.0	2.760	68	142.2	2.690
28	217.0	2.750	69	134.3	2.690
29	230.0	2.745	70	132.9	2.690
30	205.0	2.740	71	134.0	2.690
31	170.1	2.735	72	120.6	2.690
32	168.5	2.735	73	119.6	2.690
33	144.7	2.730	74	135.1	2.690
34	147.9	2.730	75	134.6	2.690
35	150.0	2.725	76	135.4	2.685
36	146.3	2.725	77	125.2	2.685
37	173.6	2.720	78	115.6	2.685
38	200.0	2.720	79	117.2	2.685
39	197.0	2.720	80	115.2	2.685
40	195.0	2.715	81	100.3	2.685

**Experiência 2****Dados Iniciais**

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.975Kg

**Tabela D<sub>6</sub>** : Índice de Combustão de Casca de Mandioca à 100°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	23.4	2.975	38	164.0	2.720
1	186.1	2.975	39	161.3	2.720
2	205.0	2.975	40	161.0	2.715
3	312.0	2.975	41	160.0	2.715
4	230.0	2.975	42	180.1	2.715
5	200.0	2.975	43	275.0	2.710
6	335.0	2.975	44	222.0	2.710
7	405.0	2.970	45	213.0	2.710
8	512.0	2.970	46	217.0	2.710
9	495.0	2.965	47	203.0	2.705
10	376.0	2.965	48	189.0	2.705
11	280.0	2.960	49	177.2	2.705
12	280.0	2.955	50	169.0	2.705
13	290.0	2.950	51	160.3	2.700
14	240.0	2.945	52	158.2	2.700
15	180.0	2.945	53	152.7	2.700
16	261.0	2.940	54	150.2	2.700
17	412.0	2.935	55	147.2	2.700
18	270.0	2.920	56	145.6	2.700
19	230.0	2.910	57	148.4	2.695

20	268.0	2.900	58	145.9	2.695
21	280.0	2.885	59	130.3	2.695
22	222.0	2.870	60	159.5	2.695
23	219.0	2.850	61	172.1	2.695
24	215.0	2.830	62	178.8	2.695
25	204.0	2.815	63	171.0	2.695
26	185.7	2.800	64	166.1	2.695
27	195.0	2.785	65	159.5	2.695
28	257.0	2.775	66	160.1	2.690
29	355.0	2.765	67	152.0	2.690
30	309.0	2.755	68	143.2	2.690
31	288.0	2.750	69	134.9	2.690
32	257.0	2.740	70	135.4	2.690
33	207.0	2.735	71	135.2	2.690
34	185.9	2.730	72	138.0	2.690
35	164.2	2.725	73	135.0	2.690
36	167.1	2.725	74	131.9	2.690
37	167.3	2.720			

### Índice de Combustão de Briquete de Casca de Mandioca a 150°C e 10MPa

#### Experiência 1

#### Dados Iniciais

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.970Kg

**Tabela D7:** Índice de Combustão de Casca de Mandioca à 150°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	28.1	2.970	48	158.3	2.740
1	72.1	2.970	49	148.9	2.740
2	19.1	2.970	50	148.3	2.740
3	300.0	2.970	51	148.2	2.735
4	162.4	2.970	52	137.0	2.730
5	100.7	2.970	53	134.5	2.725
6	106.0	2.970	54	135.0	2.725
7	85.0	2.970	55	136.0	2.725
8	337.0	2.970	56	134.9	2.725
9	275.0	2.965	57	134.7	2.725
10	336.0	2.960	58	132.2	2.720
11	261.0	2.960	59	125.5	2.720
12	195.0	2.955	60	12.4	2.720
13	188.0	2.955	61	146.5	2.720
14	200.0	2.950	62	142.3	2.720
15	176.0	2.945	63	143.1	2.715
16	234.0	2.940	64	147.6	2.715
17	280.0	2.940	65	151.9	2.715
18	276.0	2.930	66	142.3	2.715
19	349.0	2.930	67	135.8	2.715
20	323.0	2.920	68	131.4	2.715
21	376.0	2.915	69	135.0	2.710
22	380.0	2.910	70	127.3	2.710
23	349.0	2.905	71	120.0	2.710
24	420.0	2.900	72	114.9	2.710
25	318.0	2.895	73	112.9	2.710
26	286.0	2.890	74	118.9	2.705

27	276.0	2.885	75	116.8	2.705
28	193.0	2.880	76	116.3	2.705
29	226.0	2.875	77	116.2	2.705
30	323.0	2.870	78	114.0	2.705
31	218.0	2.865	79	110.6	2.705
32	240.0	2.850	80	110.9	2.700
33	206.0	2.840	81	107.0	2.700
34	209.0	2.835	82	105.1	2.700
35	357.0	2.820	83	106.1	2.700
36	362.0	2.815	84	120.7	2.700
37	329.0	2.805	85	126.6	2.700
38	353.0	2.795	86	126.8	2.700
39	416.0	2.785	87	124.0	2.700
40	431.0	2.775	88	124.0	2.700
41	369.0	2.765	89	120.4	2.700
42	326.0	2.760	90	114.3	2.700
43	264.0	2.755	91	116.6	2.700
44	230.0	2.750	92	113.5	2.695
45	209.0	2.750	93	103.3	2.695
46	194.0	2.745	94	96.5	2.695
47	184.0	2.745			

**Experiência 2****Dados Iniciais**

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.295Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.975Kg

**Tabela D<sub>8</sub>:** Índice de Combustão de Casca de Mandioca à 150°C e 10MPa

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	24.6	2.975	48	167.0	2.730
1	139.4	2.975	49	157.4	2.725
2	14.9	2.975	50	164.5	2.725
3	166.2	2.975	51	165.9	2.725
4	269.0	2.975	52	156.0	2.725
5	318.0	2.975	53	156.8	2.725
6	217.0	2.975	54	152.5	2.720
7	380.0	2.975	55	167.4	2.720
8	345.0	2.970	56	174.6	2.720
9	245.0	2.965	57	176.8	2.720
10	202.0	2.965	58	162.2	2.720
11	217.0	2.960	59	168.0	2.720
12	197.0	2.960	60	179.0	2.715
13	345.0	2.955	61	172.9	2.715
14	222.0	2.950	62	165.5	2.715
15	162.0	2.945	63	172.6	2.715
16	372.0	2.940	64	179.3	2.715
17	322.0	2.930	65	164.3	2.715
18	355.0	2.925	66	172.3	2.710
19	261.0	2.915	67	167.0	2.710

20	362.0	2.910	68	156.0	2.710
21	332.0	2.900	69	150.1	2.710
22	340.0	2.895	70	159.1	2.710
23	255.0	2.885	71	160.1	2.710
24	223.0	2.875	72	159.1	2.710
25	162.7	2.865	73	175.3	2.710
26	229.0	2.860	74	160.5	2.705
27	309.0	2.850	75	160.4	2.705
28	340.0	2.840	76	158.5	2.705
29	414.0	2.835	77	160.1	2.705
30	400.0	2.825	78	156.2	2.705
31	316.0	2.815	79	154.3	2.700
32	389.0	2.810	80	136.4	2.700
33	311.0	2.800	81	125.5	2.700
34	326.0	2.790	82	125.8	2.700
35	335.0	2.785	83	120.3	2.700
36	365.0	2.775	84	113.5	2.700
37	350.0	2.770	85	115.3	2.700
38	33.0	2.765	86	111.4	2.700
39	300.0	2.760	87	120.8	2.700
40	308.0	2.755	88	123.5	2.700
41	327.0	2.750	89	118.2	2.695
42	336.0	2.745	90	116.3	2.695
43	330.0	2.740	91	118.8	2.695
44	300.0	2.740	92	108.7	2.695
45	197.0	2.735	93	106.2	2.695
46	166.9	2.730	94	100.4	2.695
47	170.2	2.730	95	96.5	2.695

**Índice de Combustão usando Carvão Vegetal como Combustível****Experiência 1****Dados Iniciais**

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.980Kg

**Tabela D<sub>9</sub>:** Índice de Combustão de Carvão Vegetal

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	26.0	2.980	61	202.0	2.835
1	140.0	2.980	62	194.0	2.830
2	146.3	2.975	63	198.0	2.830
3	147.0	2.975	64	189.3	2.830
4	126.4	2.970	65	184.9	2.825
5	103.0	2.970	66	180.3	2.820
6	192.0	2.965	67	170.3	2.820
7	193.0	2.965	68	174.0	2.820
8	148.6	2.965	69	170.4	2.820
9	107.7	2.965	70	184.0	2.815
10	125.3	2.965	71	177.9	2.815
11	114.4	2.965	72	165.0	2.815
12	79.0	2.960	73	156.3	2.810
13	82.9	2.960	74	165.9	2.810
14	84.7	2.955	75	175.7	2.810
15	94.1	2.955	76	180.1	2.810
16	95.6	2.950	77	171.8	2.805
17	104.7	2.950	78	177.3	2.805
18	111.0	2.945	79	168.8	2.800



19	115.0	2.940	80	174.3	2.800
20	116.7	2.940	81	170.8	2.795
21	104.7	2.935	82	177.8	2.795
22	102.0	2.930	83	171.0	2.790
23	114.6	2.930	84	174.2	2.790
24	136.0	2.930	85	175.0	2.790
25	133.0	2.925	86	185.1	2.790
26	149.0	2.920	87	171.2	2.785
27	156.0	2.920	88	173.0	2.785
28	178.1	2.915	89	184.0	2.785
29	163.5	2.910	90	171.6	2.780
30	169.3	2.910	91	165.0	2.780
31	177.9	2.905	92	168.4	2.780
32	171.3	2.905	93	176.0	2.775
33	183.4	2.900	94	179.6	2.775
34	217.0	2.900	95	167.0	2.775
35	226.0	2.895	96	154.1	2.770
36	222.0	2.890	97	185.0	2.770
37	213.0	2.885	98	192.0	2.770
38	235.0	2.885	99	195.0	2.770
39	224.0	2.885	100	195.0	2.770
40	234.0	2.880	101	186.0	2.765
41	216.0	2.875	102	184.0	2.765
42	222.0	2.875	103	192.0	2.765
43	228.0	2.870	104	180.3	2.765
44	212.0	2.870	105	175.3	2.765
45	214.0	2.865	106	178.3	2.760
46	227.0	2.865	107	185.2	2.760
47	221.0	2.860	108	189.0	2.760
48	226.0	2.860	109	192.0	2.760

49	226.0	2.855	110	189.0	2.760
50	214.0	2.855	111	190.0	2.755
51	200.0	2.850	112	181.2	2.755
52	201.0	2.845	113	192.0	2.755
53	187.0	2.845	114	190.0	2.755
54	183.9	2.845	115	184.0	2.750
55	183.7	2.840	116	170.2	2.750
56	190.0	2.840	117	164.0	2.750
57	200.0	2.840	118	160.0	2.750
58	185.0	2.835	119	154.8	2.750
59	191.0	2.835	120	141.5	2.745
60	205.0	2.835			

## Experiência 2

### Dados Iniciais

Peso do fogão = 2.680Kg

Peso do Briquete = 0.300Kg

Peso do fogão + Briquete = 2.980Kg

**Tabela D<sub>10</sub>:** Índice de Combustão de Carvão Vegetal

Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Massa (Kg)
0	21.8	2.980	61	250.0	2.810
1	300.0	2.980	62	241.0	2.810
2	270.0	2.980	63	240.0	2.810
3	170.0	2.980	64	241.0	2.810
4	365.0	2.975	65	232.0	2.805
5	305.0	2.970	66	216.0	2.805
6	280.0	2.970	67	204.0	2.805
7	220.0	2.965	68	248.0	2.800
8	140.0	2.965	69	250.0	2.800
9	207.0	2.965	70	265.0	2.800

10	170.0	2.960	71	252.0	2.795
11	130.2	2.960	72	244.0	2.795
12	162.4	2.955	73	236.0	2.795
13	230.0	2.955	74	229.0	2.795
14	234.0	2.950	75	224.0	2.790
15	242.0	2.945	76	235.0	2.790
16	246.0	2.945	77	223.0	2.790
17	234.0	2.940	78	210.0	2.790
18	247.0	2.935	79	236.0	2.785
19	265.0	2.930	80	250.0	2.785
20	228.0	2.930	81	234.0	2.780
21	245.0	2.925	82	239.0	2.780
22	256.0	2.925	83	229.0	2.780
23	276.0	2.920	84	230.0	2.780
24	219.0	2.915	85	236.0	2.775
25	202.0	2.910	86	237.0	2.775
26	240.0	2.905	87	238.0	2.775
27	257.0	2.900	88	230.0	2.775
28	274.0	2.895	89	236.0	2.770
29	268.0	2.890	90	222.0	2.770
30	276.0	2.885	91	232.0	2.770
31	266.0	2.885	92	224.0	2.765
32	267.0	2.880	93	226.0	2.765
33	263.0	2.875	94	216.0	2.765
34	250.0	2.870	95	210.0	2.765
35	297.0	2.865	96	196.0	2.765
36	286.0	2.865	97	274.0	2.765
37	282.0	2.860	98	258.0	2.760
38	275.0	2.860	99	240.0	2.760
39	260.0	2.855	100	240.0	2.760
40	257.0	2.850	101	240.0	2.760
41	248.0	2.850	102	225.0	2.760
42	237.0	2.845	103	230.0	2.760
43	241.0	2.845	104	217.0	2.760
44	232.0	2.840	105	219.0	2.755
45	235.0	2.840	106	226.0	2.755
46	228.0	2.835	107	231.0	2.755
47	227.0	2.835	108	232.0	2.755
48	217.0	2.830	109	228.0	2.750
49	193.0	2.830	110	213.0	2.750
50	233.0	2.830	111	216.0	2.750
51	252.0	2.830	112	201.0	2.750
52	261.0	2.825	113	194.0	2.750
53	253.0	2.825	114	201.0	2.750
54	247.0	2.825	115	198.0	2.750

55	243.0	2.820	116	203.0	2.750
56	246.0	2.820	117	199.0	2.745
57	232.0	2.820	118	201.0	2.745
58	244.0	2.815	119	201.0	2.745
59	259.0	2.815	120	199.0	2.745
60	260.0	2.815			