



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE (LABORAL)

TRABALHO DE LICENCIATURA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES “*IN NATURA*” E
CARBONIZADOS DE CAPIM SUPER NAPIER.**

Autor:

Aníbal da Conceição Ermelindo Bernardo.

Supervisor:

Doutor Carlos Lucas, Eng^o.

Co-supervisores:

Doutor Adolfo Condo, Eng^o.

Mestre Karina Motani, Eng^a.

Maputo, Março de 2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE (LABORAL)

TRABALHO DE LICENCIATURA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE BRIQUETES “*IN NATURA*” E
CARBONIZADOS DE CAPIM SUPER NAPIER.**

Autor:

Aníbal da Conceição Ermelindo Bernardo.

Supervisor:

Doutor Carlos Lucas, Eng^o.

Co-supervisores:

Doutor Adolfo Condo, Eng^o.

Mestre Karina Motani, Eng^a.

Maputo, Março de 2025

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Aníbal da Conceição Ermelindo Bernardo entregou no dia ____/____/2025 as ____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referencia:_____ intitulado:

Análise do potencial energético de briquetes “*in natura*” e carbonizados de capim super napier.

Maputo, ____ de _____ de 2025

O Chefe da Secretaria.

DECLARAÇÃO SOB PALAVRA DE HONRA.

Eu, Aníbal da Conceição Ermelindo Bernardo, declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura foi realizado inteiramente por mim, no âmbito da conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia do Ambiente. O autor não recorreu em quaisquer outras circunstâncias as fontes que não tenham sido indicadas na referência bibliográfica, e todas as formulações e conceitos utilizados quer adoptados literalmente ou a partir das suas ocorrências originais encontram-se devidamente citados e identificados.

Maputo, _____ de _____ de 2025

O Autor

(Aníbal da Conceição Ermelindo Bernardo)

DEDICATÓRIA.

Dedico este trabalho à memória do meu pai, **Ermelindo Bernardo**, que sempre me manteve no caminho certo, oferecendo apoio e incentivo para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS.

Agradeço a Deus pela força de vontade que me concede a cada dia e pelo dom da vida, que me permite continuar trilhando este maravilhoso caminho da academia. Aos meus pais, Ermelindo Bernardo e Cacilda Atanásio Tualufo, agradeço pela concepção, amor, orientação e pelos preciosos ensinamentos que me guiaram até aqui. A minha família, especialmente aos meus irmãos, Hélio da Conceição Ermelindo Bernardo e Cacilda Ermelindo Bernardo, expresso a minha profunda gratidão pelo apoio, amor e carinho.

Aos meus supervisores, Doutor Carlos Lucas Eng^o., Doutor Adolfo Condo Eng^o., e a Mestre Karina Motani Eng^a., expresso a minha profunda gratidão pela disponibilidade, paciência, correcções e sugestões, por todos ensinamentos transmitidos, pelo esforço em reunir condições para realização das inúmeras experiências, pela rigorosidade e exigência por um trabalho de elevada qualidade. Tenham a certeza que farei valer a pena tudo que me ensinaram.

Aos meus colegas e amigos, quero expressar meu profundo agradecimento por todo apoio, seja directo ou indirecto, ao longo desta jornada. Cada gesto de amizade e colaboração contribuiu significativamente para o meu percurso académico.

RESUMO.

A crescente demanda por fontes alternativas de energia e a necessidade de mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de combustíveis fósseis têm impulsionado a busca por fontes renováveis e sustentáveis de energia. A biomassa desponta como uma das alternativas mais promissoras, dada a sua disponibilidade em larga escala, renovabilidade e potencial para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Embora existam diversos estudos sobre o uso da biomassa para a produção de energia, a literatura específica acerca do capim super napier (C.S.N) e sua aplicação na forma de briquetes ainda é relativamente incipiente.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objectivo geral analisar o potencial energético de briquetes *in natura* e carbonizados de capim super napier. Para alcançar este objectivo preparou-se as amostras, determinou-se as características físicas, químicas e térmicas das amostras, produziu-se os briquetes *in natura* e carbonizados de C.S.N e fez-se a caracterização dos briquetes.

Contudo, fez-se a carbonização da amostra de C.S.N a temperatura de 400°C com tempo de residência de 3 horas, produziu-se briquetes com teor de humidade de 10,58%, granulometria inferior que 0,9 mm, pressão de 10Mpa e temperatura de 120°C. Para a produção de briquetes carbonizados recorreu-se ao uso de aglutinante (C.S.N *in natura*), neste caso, constatou-se que 40% de proporção mássica de C.S.N *in natura* é suficiente para unir as partículas carbonizadas e não causar perdas de massa significativas ao briquete. Os briquetes *in natura* e carbonizados apresentaram condições energéticas satisfatórias que se assemelha ao carvão vegetal e superior as condições energéticas apresentadas pela lenha de mafurreira, e é de referir que os briquetes *in natura* de C.S.N apresentaram alto rendimento (24,98%) no teste de fervura da água em relação a briquetes carbonizados, carvão vegetal e a lenha de mafurreira, concluindo que, para sistemas que requerem calor rápido e eficiente (fogões e fornos a lenha) é mais pratico utilizar briquetes *in natura* de C.S.N, e para sistemas que requerem fluxo de calor constante e prolongado (caldeiras industriais e sistemas de aquecimento residencial) é mais pratico utilizar briquetes carbonizados. Por conseguinte, recomendou-se a análise de outros tipos de aglutinante e a realização do teste de emissões.

Palavras-chaves: Potencial energético, briquetes *in natura* e carbonizado, capim super napier.

ABSTRACT

The growing demand for alternative energy sources and the need to mitigate the environmental impacts resulting from the intensive use of fossil fuels have driven the search for renewable and sustainable sources of energy. Biomass stands out as one of the most promising alternatives due to its large-scale availability, renewability, and potential to reduce greenhouse gas emissions. Although there are several studies on the use of biomass for energy production, specific literature regarding super napier grass (S.N.G.) and its application in the form of briquettes is still relatively scarce.

In this context, the present study aims to analyze the energy potential of raw and carbonized super napier grass briquettes. To achieve this goal, samples were prepared, and their physical, chemical, and thermal characteristics were determined; raw and carbonized S.N.G. briquettes were produced and characterized. The carbonization of the S.N.G. sample was carried out at a temperature of 400°C with a residence time of 3 hours. Briquettes were produced with a moisture content of 10.58%, particle size smaller than 0.9 mm, a pressure of 10 MPa, and a temperature of 120°C. To produce carbonized briquettes, a binder (raw S.N.G.) was used. It was found that a 40% mass proportion of raw S.N.G. was sufficient to bind the carbonized particles without causing significant mass loss in the briquettes. The raw and carbonized briquettes showed satisfactory energy conditions, similar to charcoal and superior to those of *mafurreira* firewood. It is worth noting that the raw S.N.G. briquettes had a high yield (24.98%) in the water boiling test compared to carbonized briquettes, charcoal, and *mafurreira* firewood. Therefore, for systems that require quick and efficient heat (such as stoves and wood-fired ovens), it is more practical to use raw S.N.G. briquettes, while for systems that require a constant and prolonged heat flow (such as industrial boilers and residential heating systems), it is more practical to use carbonized briquettes. Consequently, the analysis of other types of binders and the performance of emissions testing were recommended.

Keywords: Energy potential, raw and carbonized briquettes, super napier grass.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Objectivo Geral	2
1.1.2. Objectivos Específicos	2
1.2. Justificativa	2
1.3. Metodologia	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Energia.....	5
2.1.1. Classificação das fontes de energia	5
2.1.2. Fontes de Energia em Moçambique	5
2.1.2.1. Produção de energia primária em Moçambique.....	6
2.1.2.2. Potencial energético da Biomassa em Moçambique	7
2.1.3. Energia da Biomassa.....	8
2.1.4. Briquetagem.....	10
2.2. Capim super napier.....	11
2.2.1. Descrição morfológica de capim super napier.....	13
2.2.2. Produção de capim super napier em Moçambique.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Materiais	15
3.2. Métodos	15
3.2.1. Preparação da Amostra	16
3.2.1.1. Humidade <i>in natura</i>	16
3.2.1.2. Secagem	17
3.2.1.3. Carbonização lenta/Pirolise	18
3.2.1.4. Moagem	19
3.2.2. Caracterização física, química e térmica das amostras	19
3.2.2.1. Peneiração.....	20
3.2.2.2. Densidade a granel	21
3.2.2.3. Teor de humidade	21
3.2.2.4. Teor de cinzas	21
3.2.2.5. Teor de voláteis	23
3.2.2.6. Teor de Carbono Fixo	24
3.2.2.7. Análise elementar (Teor de carbono, Hidrogénio e Oxigénio)	25
3.2.2.8. Poder calorífico superior, inferior e Útil	25
3.2.3. Produção de Briquetes	26
3.2.4. Caracterização física, mecânica e térmica dos briquetes	27
3.2.4.1. Estabilidade Dimensional	27
3.2.4.2. Densidade Aparente	28
3.2.4.3. Densidade Energética	28
3.2.4.4. Friabilidade	29
3.2.4.5. Índice de Combustão	29
3.2.5. Ensaio em equipamento de combustão de combustível solido (Teste de Fervura da água)	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33

4.1.	Humidade	33
4.1.1.	Teor de humidade na base húmida	34
4.1.2.	Teor de humidade na base seca	35
4.2.	Carbonização lenta ou pirolise	35
4.3.	Análise granulométrica	36
4.4.	Densidade a granel	37
4.5.	Teor de cinzas, voláteis e carbono fixo	38
4.5.1.	Teor de cinzas	39
4.5.2.	Teor de voláteis	40
4.5.3.	Teor de carbono fixo	41
4.6.	Análise Elementar	41
4.6.1.	Teor de Carbono	42
4.6.2.	Teor de Hidrogénio	43
4.6.3.	Teor de Oxigénio	44
4.7.	Poder calorífico	44
4.8.	Produção de Briquetes	46
4.9.	Estabilidade Dimensional	48
4.10.	Densidade aparente e energética	49
4.10.1.	Densidade aparente	50
4.10.2.	Densidade energética	51
4.11.	Friabilidade	52
4.12.	Índice de Combustão	53
4.13.	Ensaio em equipamentos de combustão de combustíveis sólidos (Teste de fervura da água)	55
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	59
5.1.	Conclusões	59
5.2.	Recomendações	60
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE ABREVIATURAS.

C.S.N	Capim Super Napier.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
A.P.F	Alta potência partida a frio.
A.P.Q	Alta potência partida a quente.
B.P	Baixa potência.
TC	Teor de cinzas.
TV	Teor de Voláteis.
TCF	Teor de carbono fixo.
C	Teor de Carbono.
H	Teor de Hidrogénio.
O	Teor de Oxigénio.
TH_{BS}	Teor de humidade na base seca.
RGC	Rendimento gravimétrico de carbonização.
X_i	Fracção retida.
FAO	<i>Food Agricultural Organization.</i>
ρ	Densidade.
WBT	<i>Water Boiling Test.</i>
PCU	Poder calorífico Útil.
PCS	Poder calorífico Superior.
PCI	Poder calorífico Inferior.
%	Porcentagem.
cm³	Centímetro cúbico.
m³	Metro cúbico.
mm	Milímetro.
min	Minuto.
ml	Mililitro.
g	Gramma.
Kg	Quilograma.
Kcal	Quilocalorias.
Mcal	Mega calorias.
Q_{lib}	Calor Libertado.

Q_{ab}	Calor Absorvido.
ICOM	Índice de Combustão.
η	Rendimento.
Cc	Consumo específico.
Δm_{cc}	Massa do combustível consumido.
Δm_a	Massa da água evaporada.
m	Massa.
ΔT	Variação da Temperatura.
$^{\circ}C$	Graus Celsius.
T_{ia}	Temperatura inicial da água.
T_{fa}	Temperatura final da água.
C_a	Calor específica da água.
L_v	Calor Latente de vaporização da água.
TH_{BH}	Teor de humidade na base húmida.
K	Graus Kelvin.
MPa	Mega pascais

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1:Produção de energia primária em Moçambique de 1972 a 2014.	6
Figura 2:Percentagem do fornecimento total de energia primária por fonte em 2014..	6
Figura 3:Potencial energético da Biomassa em Moçambique..	8
Figura 4:Fontes da Biomassa e seus processos de Conversão.....	9
Figura 5:Produtividade do capim super napier..	12
Figura 6:Partes constituintes de capim super napier(a). Organização de um Fitômero (b). Partes constituintes de uma folha de Capim Super Napier (c). Florescência em Espiga de Capim Super Napier (d).	13
Figura 7:Estimativa da produtividade de Capim Super Napier por região em Moçambique.....	14
Figura 8: Capim super napier (a); Lenha de Mafurreira (b) e Carvão Vegetal (c).. ...	15
Figura 9: Analisador de humidade..	16
Figura 10: Estufa para secagem de materiais.....	17
Figura 11: Amostra carbonizada (a); Gráfico da programação da mufla para carbonização (b).....	18
Figura 12: Moinho ultra centrífugo..	18
Figura 13: Vibrador de Peneiros.....	20
Figura 14: Mufla com os cadinhos para determinação do teor de cinzas..	22
Figura 15: Cadinhos a serem introduzidos na mufla (a); Mufla fechada após a introdução dos cadinhos (b); Cadinhos a resfriarem ao ar livre após a retirada na mufla (c).....	23
Figura 16: Sistema de Briquetagem Laboratorial..	26
Figura 17: Moinho de Bolas..	29
Figura 18: Esquema do sistema para determinação das variáveis do ICOM (a); Sistema de ICOM montado (b); Briquetes em combustão (c).....	29
Figura 19: Esquema do sistema do teste de fervura da água (a). Fonte: Adaptado pelo autor do protocolo WBT; Sistema montado para a realização do teste de fervura (b)..	31
Figura 20:Gráfico da distribuição granulométrica das partículas..	36

Figura 21: Briquetes in natura de C.S.N (a); Briquetes de 60% de C.S.N carbonizado + 40%C.S.N in natura (b)..	47
Figura 22: Friabilidade de briquetes carbonizados de C.S.N..	47
Figura 23: Estabilidade dimensional de briquetes in natura de C.S.N e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N in natura..	48
Figura 24: Resultados do teste de friabilidade de briquetes in natura de C.S.N e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N in natura..	52
Figura 25: Variação da temperatura em função do tempo dos combustíveis analisados no teste de ICOM..	54
Figura 26: Variação do consumo da massa do combustível em função do tempo..	54
Figura 27: Variação da temperatura da água em função do tempo para briquetes de C.S.N in natura.	57
Figura 28: Variação da temperatura da água em função do tempo para briquetes de 60% de C.S.N carbonizado + 40%C.S.N in natura	58
Figura 29: Variação da temperatura da água em função do tempo para Carvão vegetal.....	58
Figura 30: Variação da temperatura da água em função do tempo para lenha de mafurreira	58

LISTA DE TABELAS.

Tabela 1: Resultados do teor de humidade na base húmida e seca..	33
Tabela 2: Resultados da densidade a granel das amostras.....	37
Tabela 3: Resultados do teor de cinzas, voláteis e carbono fixo.....	38
Tabela 4: Resultados da análise elementar..	41
Tabela 5: Resultados de poder calorífico superior, inferior e útil..	44
Tabela 6: Resultados da densidade energética dos resíduos e briquetes.....	50
Tabela 7: Resultados do teste de ICOM para os combustíveis analisados..	53
Tabela 8: Resultados do teste de fervura da água..	56

1. INTRODUÇÃO.

A crescente demanda por fontes alternativas de energia e a necessidade de mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de combustíveis fósseis têm impulsionado a busca por fontes renováveis e sustentáveis de energia. Neste cenário, a biomassa desponta como uma das alternativas mais promissoras, dada a sua disponibilidade em larga escala, renovabilidade e potencial para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (DEMIRBAS, 2000). A utilização de resíduos agrícolas e de culturas energéticas para a produção de briquetes vem ganhando destaque, pois permite agregar valor a subprodutos agroindustriais e reduzir a dependência de combustíveis não renováveis.

A produção de briquetes, que envolve a compactação da biomassa em formato padronizado, realizado mediante a aplicação da pressão e temperatura, permitindo a formação de um combustível sólido com alta densidade e homogeneidade, apresenta vantagens significativas tanto do ponto de vista ambiental quanto económico. Esta tecnologia facilita o armazenamento, o transporte e melhora a eficiência energética na conversão da biomassa em energia. Assim sendo, a análise do potencial energético de briquetes obtidos a partir da biomassa *in natura* e carbonizada é de extrema importância para a definição de estratégias que promovam a transição energética e contribuam para a sustentabilidade ambiental (MENDES & OLIVEIRA, 2016).

O capim super napier (*Pennisetum purpureum*) é uma cultura de alto rendimento e rápida regeneração, amplamente utilizada na alimentação animal, mas que tem ganhado atenção no campo energético devido à sua elevada produtividade. Esta gramínea apresenta características que a tornam especialmente atractiva para a produção de briquetes, tais como: Alto rendimento por hectare (possibilitando a obtenção de grandes quantidades de matéria-prima em curto período de tempo); Baixa exigência agronómica (o que facilita o cultivo em diferentes condições climáticas e tipos de solo) e flexibilidade no uso (além de servir como forragem, pode ser direccionado para a produção de energia por meio da briquetagem) (GOMES, *et al.*, 2017).

A versatilidade do capim super napier para diferentes aplicações é reforçada pela possibilidade de submeter a biomassa a processos de tratamento térmico, como a

carbonização que consiste na pirólise da biomassa em condições controladas de ausência de oxigênio, resultando na produção de carvão com características aprimoradas para uso energético. Desta forma, os briquetes carbonizados podem apresentar um desempenho superior quando comparado aos briquetes *in natura*, principalmente no que se refere ao alto teor de carbono fixo, baixo teor de material volátil e à eficiência da combustão. A comparação entre briquetes *in natura* e carbonizados é essencial, para identificar a melhor estratégia de utilização da biomassa do capim super Napier em contextos energéticos.

Neste contexto, o presente trabalho pretende analisar o potencial energético de briquetes *in natura* e carbonizado de capim super napier. A determinação das características físicas, químicas e térmicas da amostra *in natura* e carbonizada de C.S.N é de extrema importância, pois estas influenciam nas propriedades e qualidade dos briquetes produzidos, sendo possível prever como será o seu comportamento durante a combustão.

1.1. Objectivos.

O presente trabalho possui os seguintes objectivos:

1.1.1. Objectivo Geral.

- Analisar o potencial energético de briquetes *in natura* e carbonizados de capim super napier.

1.1.2. Objectivos Específicos.

- Descrever o processo de preparação das amostras *in natura* e carbonizado de capim super napier;
- Determinar as características físicas, químicas e térmicas das amostras;
- Produzir briquetes *in natura* e carbonizado;
- Determinar as características físicas, mecânicas e térmicas dos briquetes;
- Fazer teste de combustão em equipamentos de combustíveis sólidos.

1.2. Justificativa

A utilização do capim super napier para a produção de briquetes representa uma estratégia de aproveitamento integral dos recursos naturais, transformando resíduos agropecuários em energia limpa. Essa abordagem contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que substitui o uso de combustíveis

fósseis (COSTA & SILVA, 2015). O cultivo do capim super napier pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas e para a conservação dos recursos hídricos, graças ao seu sistema radicular extenso e eficiente.

A produção de briquetes a partir do capim super napier possui um potencial considerável para fomentar o desenvolvimento económico regional, sobretudo em áreas rurais. A adopção desta tecnologia pode gerar novas oportunidades de emprego, incentivar a economia local e promover a descentralização da produção energética. O aproveitamento de uma matéria-prima abundante e de baixo custo, aliada à possibilidade de agregar valor aos resíduos agrícolas, torna a briquetagem uma alternativa viável para diversificar a matriz energética e impulsionar o desenvolvimento sustentável (PEREIRA, *et al.*, 2019).

Ao promover a utilização de fontes renováveis e a diminuição do uso de combustíveis fósseis, o estudo sobre o potencial energético dos briquetes de capim super napier se insere em um contexto global de busca por soluções que enfrentem os desafios das mudanças climáticas. A substituição de fontes poluentes de energia por alternativas limpas é um dos pilares das políticas ambientais contemporâneas, e a pesquisa neste campo pode fornecer subsídios para a formulação de estratégias públicas e privadas voltadas para a sustentabilidade.

Embora existam diversos estudos sobre o uso da biomassa para a produção de energia, a literatura específica acerca do capim super napier e sua aplicação na forma de briquetes ainda é relativamente incipiente (FERREIRA, *et al.*, 2017). Esta lacuna evidencia a necessidade de aprofundar a compreensão sobre os parâmetros que influenciam a eficiência energética deste combustível, tais como o teor de humidade, a densidade do material, as condições do processo de carbonização e os parâmetros de combustão. Assim, a presente pesquisa se justifica como uma contribuição para preencher essa lacuna, oferecendo dados e análises que podem orientar futuras investigações e aplicações tecnológicas.

A interface entre o desenvolvimento científico e a aplicação prática dos resultados obtidos é outro factor que justifica a realização deste estudo. Ao investigar as propriedades energéticas dos briquetes de capim super napier, tanto *in natura* quanto carbonizados, espera-se fornecer subsídios que possam ser utilizados em processos industriais, na produção de energia para comunidades rurais e em iniciativas de

sustentabilidade urbana. Essa integração é fundamental para que os avanços tecnológicos sejam efectivamente incorporados à sociedade, promovendo benefícios reais e mensuráveis em termos de eficiência energética e proteção ambiental. Portanto, esta pesquisa é justificada pela sua relevância no potencial de sustentabilidade ambiental, benefícios socio-económicos, contribuição para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas, lacunas na literatura e integração entre pesquisa académica e aplicações práticas.

1.3. Metodologia

Para a realização do presente trabalho, seguiu se as seguintes etapas:

- **1ª Etapa: Pesquisa bibliográfica**-Consistiu na fundamentação teórica necessária acerca do tema, por meio da análise da literatura publicada na forma de livros, artigos científicos, revistas, trabalhos de licenciatura e dissertações de grau de mestrado que sustenta o desenvolvimento do trabalho;
- **2ª Etapa: Análises Laboratoriais**-Consistiu na aquisição da matéria-prima (a matéria-prima foi disponibilizada pela Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane), preparação e caracterização física, química e térmicas das amostras *in natura* e carbonizada de capim super napier, produção de briquetes, caraterização física, química, mecânica e térmica dos briquetes produzidos e testes de combustão para combustíveis sólidos. Todas experiências laboratoriais foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane;
- **3ª Etapa: Elaboração do relatório final de culminação de estudos**-Consistiu na análise das informações relevantes encontradas durante a pesquisa bibliográfica, análise dos dados obtidos durante as experiências laboratoriais, e discussão dos resultados de modo a obter as conclusões sobre a pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA.

2.1. Energia.

Energia é a capacidade que um corpo ou sistema tem de realizar trabalho, ou seja, é uma propriedade de todo o corpo ou sistema, graça à qual a sua situação ou estado pode ser alterado, ou, pode actuar sobre outros corpos ou sistemas desencadeando processos de transformação (AGENAL, 2019).

2.1.1. Classificação das fontes de energia.

Fontes de energia são recursos naturais utilizados pelo homem para a criação/produção de energia. As fontes de energia podem ser: Fontes renováveis de energia – quando a energia primaria provem de recursos naturais que podem reabastecer se naturalmente ao longo do tempo (agua, sol, vento, biomassa, ondas e mares, solo e hidrogénio) e fontes não renováveis de energia – quando a energia primária provém de uma reserva finita de recursos tais como, os combustíveis fósseis (Carvão mineral, Petróleo e gás natural) e Uranio (IEA, 2016).

2.1.2. Fontes de energia em Moçambique.

Moçambique dispõe de um espectro diversificado de recursos energéticos (hídricos, gás natural, carvão mineral, petróleo e biomassa), o que proporciona condições favoráveis não só para satisfazer a procura interna, mas também para exportar para os países da região da África Austral e para outros mercados internacionais (IRENA, 2021). Apenas 44% da população tem acesso à energia eléctrica, devido à falta de infraestruturas de transmissão e distribuição deste tipo de energia (ALER, 2022).

A matriz energética do Moçambique é maioritariamente caracterizada pelo uso de recursos renováveis, nomeadamente: a biomassa e o recurso hídrico. A biomassa constitui a principal fonte de energia do país, e dentro do sector da biomassa, a lenha e o carvão vegetal são as mais usadas, pois são as principais fontes de matéria – prima para obter energia usada para cozinhar, aquecer e iluminar as residências das áreas peri – urbanas e rurais (ALER, 2021). Os principais consumidores de combustíveis lenhosos são: O sector doméstico, seguido do sector público e por último a indústria e comércio rural (MINISTERIO DE ENERGIA, 2023).

2.1.2.1. Produção da energia primária em Moçambique.

A Figura 1 representa a produção da energia primária em Moçambique de 1972 a 2014, onde um crescimento exponencial é verificado a partir de 1997.

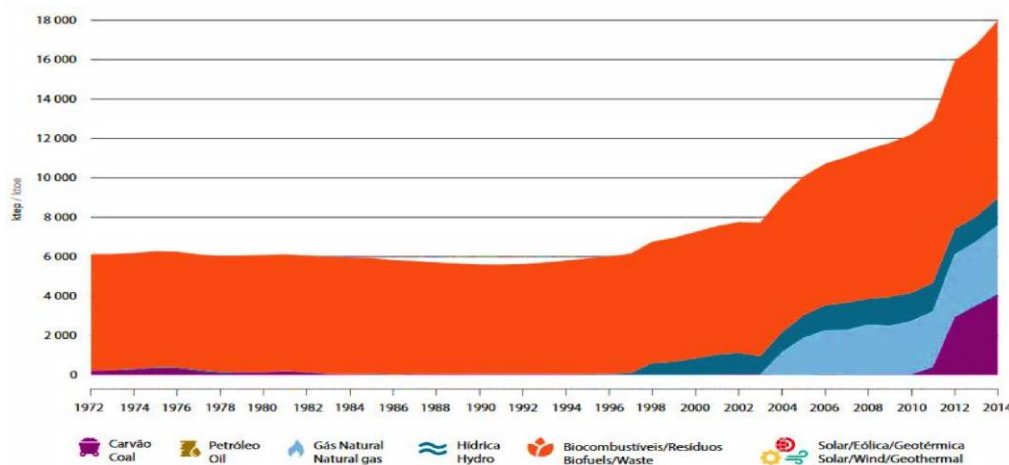


Figura 1: Produção de energia primária em Moçambique de 1972 a 2014. Fonte: ALER, 2017

Em termos de energia de fontes renováveis, a biomassa lenhosa (carvão vegetal e lenha) manteve-se consistentemente como a principal fonte de energia. A energia hídrica tornou-se expressiva a partir de 1997, conforme ilustra a figura 1. Em 2014, a produção total de energia em Moçambique foi de 17.989 KW. Ao olhar para a sua oferta total de energia primária, que inclui também as importações, exportações, bunkers internacionais e variações de stocks, o valor é de 11.636 KW, distribuído, como ilustrado na Figura 2 (ALER, 2017).

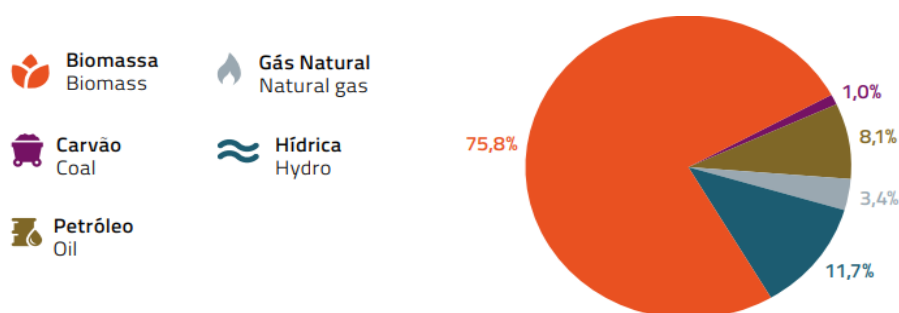


Figura 2: Percentagem do fornecimento total de energia primária por fonte em 2014. Fonte: ALER, 2017.

O gás natural é explorado pela empresa Sasol Petroleum Mozambique Limitada (doravante denominada Sasol) em Pande e Temane na Província de Inhambane desde 2004. A produção de gás natural em Moçambique cresceu em média 5,3% por ano desde 2004, ano de início de operação da Sasol.

O gás natural produzido pela Sasol é na sua maioria (acima de 90%) exportado para a África do Sul (GOLDER ASSOCIATES, 2014). Para além das reservas da Província de Inhambane, existem na Bacia do Rovuma (Província de Cabo Delgado) reservas comprovadas em 127,4 mil milhões de m³ de gás natural (VAZ, et al., 2010), o que se traduz na quarta maior reserva a nível mundial e numa grande oportunidade para exportação de gás liquefeito e para o desenvolvimento de centrais eléctricas de média/grande escala (entre 200 MW a 1.000 MW) no norte de Moçambique. A exploração do carvão mineral desenvolveu-se consideravelmente a partir de 2011, momento em que a empresa Vale Moçambique aumentou a sua capacidade de produção anual de 850 mil toneladas para um milhão e meio de toneladas.

Diversas empresas de exploração de carvão mineral têm vindo a implantar-se no país, estando a maioria direccionada para a exportação para o mercado mundial. Apesar de Moçambique ter reservas de carvão mineral consideráveis (estimadas em cerca de 23 mil milhões de toneladas), é importante ter em conta a queda dos preços desta matéria-prima no mercado mundial e as dificuldades ainda presentes no país associadas à exportação deste recurso, como por exemplo, de infra-estruturas e logística. Em termos de crescimento, a geração de energia primária destas duas fontes de energias fósseis tem um potencial de desenvolvimento para durar vários anos.

2.1.2.2. Potencial energético da Biomassa em Moçambique.

Moçambique apresenta um grande potencial para aproveitamento da bioenergia, particularmente de biomassa florestal (floresta natural e/ou dedicada e resíduos da actividade florestal) e de explorações agrícolas (dedicada ou resíduos de actividade agrícola) embora exista também a possibilidade de usar resíduos sólidos urbanos e industriais, no futuro. Estima-se que os resíduos da actividade florestal a nível nacional poderiam gerar 750 GWh de energia (SMEETS, *et al.*, 2007), e só na Província de Maputo poderiam gerar-se 236.520 MWh (VASCO & COSTA, 2009). Além disso, estima-se que é possível produzir 3,1 milhões de barris equivalentes de petróleo por dia de biocombustíveis sem afectar a produção agrícola ou pôr em risco a biodiversidade (VAZ, et al., 2010).

Segundo (ALER, 2017) para efeitos de cálculo do potencial da biomassa em Moçambique considerar se várias possíveis fontes de matéria orgânica,

nomeadamente: 1) Biomassa florestal; 2) Biomassa de resíduos industriais e agroindustriais; 3) Cogeração na indústria da pasta de papel; 4) Cogeração na indústria açucareira; 5) Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e 6) Outras fontes diversas para projectos isolados da rede eléctrica. A figura 3 ilustra o potencial energético da biomassa em Moçambique.

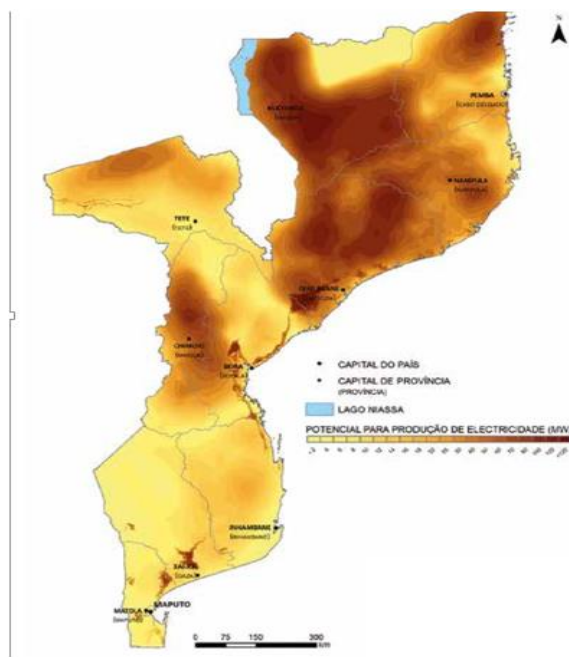


Figura 3: Potencial energético da Biomassa em Moçambique. Fonte: ALER, 2017.

2.1.3. Energia da Biomassa.

O termo biomassa é utilizado para denominar o grupo de produtos energéticos e matérias-primas renováveis, originados a partir da matéria orgânica formada por via biológica. Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia (SEYE, 2003). A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos: (1) biomassa tradicional, composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais e (2) biomassa moderna, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e *pellets* (ALER, 2021). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformada em energia mediante diferentes processos de conversão (Figura 4).

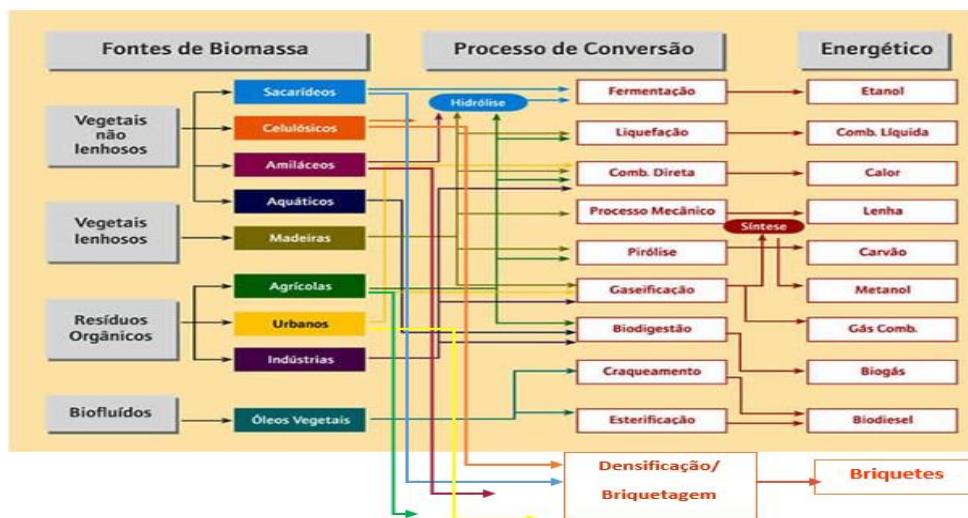


Figura 4: Fontes da Biomassa e seus processos de Conversão. Fonte: Adaptado pelo Autor da EMBRAPA, 2016.

O esforço de desenvolvimento tecnológico para conversão da energia primária contida na biomassa, em formas secundárias utilizáveis é distribuído em duas rotas principais: (1) produção de calor do processo associado com a geração de energia eléctrica (cogeração) e (2) produção de biocombustíveis sólidos e líquidos (Briquetes, *pellets*, etanol, biodiesel e biogás). O aproveitamento da biomassa para geração de energia pode ser feito por meio de combustão directa, cogeração (produção combinada de energia térmica e mecânica), processos termoquímicos específicos (gaseificação, hidrólise, pirólise, craqueamento, liquefação e transesterificação) e/ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A combustão directa é a principal forma de utilização da biomassa e consiste na transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reacções dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido.

Para fins energéticos, a combustão directa ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). O processo de combustão directa é normalmente muito ineficiente, devido à alta humidade e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos, etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (EMBRAPA, 2016). O processo de cogeração consiste na transformação de uma fonte de energia em outros tipos de energia, por exemplo a energia eléctrica em térmica. A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho no acionamento das moendas em usinas sucroalcooleiras, ou transformada em energia eléctrica através de turbinas de geração de energia eléctrica. A energia térmica é utilizada neste sector como fonte

de calor para processos em geral. A alta humidade e a baixa densidade da biomassa podem gerar inconvenientes como a decomposição da matéria-prima quando a mesma é estocada por longos períodos de tempo (EMBRAPA, 2016).

Os sistemas de cogeração de alta eficiência que utilizam biomassa como combustível são normalmente projectados para operar em faixas específicas de humidade. As caldeiras de queima em suspensão normalmente operam em faixas de humidade mais altas de até 50%, pois o sistema de alimentação prevê que durante a queda da biomassa se dará o processo de secagem, com a queima ocorrendo ainda em suspensão ou acima da grelha basculante (EMBRAPA, 2016). O aumento da humidade além dos limites de operação projectados causa instabilidade no sistema, devido à diminuição da temperatura da zona de combustão. Isso ocasiona não somente a perda de eficiência dos sistemas de combustão, como também aumento nas emissões ambientais e diminuição da vida útil devido à formação de depósitos de espécies químicas corrosivas em zonas não adequadas (ANEEL, 2015). Desta forma, a remoção da humidade da biomassa, mediante secagem ao sol ou através de secadores rotativos é uma estratégia fundamental para aumentar o poder calorífico dos materiais e a eficiência energética do processo de combustão. Outra prática que melhora esta eficiência energética é o adensamento da biomassa sólida (enfardamento, briquetagem e peletização) (EMBRAPA, 2016).

2.1.4. Briquetagem.

A briquetagem consiste na compactação da biomassa com o objectivo de aumentar a concentração de energia. Na primeira metade do século XX, a necessidade de combustíveis alternativos e a utilização eficiente de recursos levaram ao aumento da produção de briquetes, especialmente na Europa e nos Estados Unidos Da América. (DEMIRBAS, 2004). Na década de 1950-1960, o foco começou a mudar do carvão para a biomassa, com a utilização de resíduos agrícolas e florestais, o que impulsionou a crescente conscientização ambiental e a necessidade de fontes renováveis de energia (KALIYAN & MOREY, 2009). Na década de 1980-1990, surgiram tecnologias mais avançadas para a produção de briquetes de alta qualidade, incluindo prensas hidráulicas e mecânicas (MANI, 2006). A pesquisa e o desenvolvimento se concentraram na melhoria da eficiência e da qualidade dos briquetes produzidos a partir de diferentes tipos da biomassa. No Século XXI, a

tecnologia de briquetagem continuou a evoluir com o aumento da automação e a incorporação de sistemas de controlo avançados (YAMAN, *et al.*, 2000). A crescente demanda por fontes renováveis de energia e a necessidade da gestão sustentável de resíduos impulsionaram ainda mais a adopção da briquetagem. A briquetagem é utilizada para melhorar o aproveitamento dos resíduos da biomassa, consistindo num processo de compactação de material fino ou triturado, podendo ocorrer sob elevadas pressões e temperaturas, o qual provoca plastificação da lignina (substância que actua como aglutinante das partículas durante a compactação).

A briquetagem é feita com aglutinantes quando o material a ser aglomerado não possui resistência à compressão e ao impacto, após ser compactado. As pressões empregadas são normalmente baixas para evitar uma nova fragmentação das partículas (10 a 15 MPa) (SAMPAIO, *et al.*, 2022). Quando a briquetagem é feita sem aglutinante, seu sucesso depende da forma como a coesão ou deformação plástica das partículas finas ocorreu, no momento de sua geração (SAMPAIO, *et al.*, 2022). As forças responsáveis, nestes casos, pela coesão das partículas após a compactação devem apenas assegurar que as distâncias entre os cristais tornem-se a menor possível. (SAMPAIO, *et al.*, 2022). Os resíduos da biomassa podem ser compactados pela briquetagem, desde que se atendam às especificações do processo, como por exemplo a granulometria e o teor de humidade. Contudo, para o presente trabalho, utilizou-se resíduos de C.S.N para a produção de briquetes *in natura* e carbonizados. O processo de briquetagem transforma um resíduo de baixa densidade em uma lenha ecológica de alta qualidade, este processo é composto por 8 (oito) etapas básicas: recepção da matéria-prima; armazenamento em silo húmido; secagem; moagem ou trituração; armazenamento em silo seco; processo de briquetagem; embalagem e armazenamento dos briquetes.

2.2. Capim super napier.

O capim super napier (*Pennisetum purpureum*) é uma variedade melhorada do capim elefante, desenvolvida principalmente para aumentar a produção de biomassa e a eficiência na alimentação de animais, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Essa variedade é resultado de cruzamentos seletivos e melhoramento

genético realizados para maximizar características desejáveis como produtividade, resistência a pragas, e maior valor nutritivo (OLIVEIRA & SOLLENBERG, 2015).

Segundo (RODRIGUES, *et al.*, 2001), o capim elefante é originário do continente Africano, na África Tropical, entre 10°N e 20°S de latitude, tendo sido descoberto em 1905 pelo coronel Napier e foi introduzido em várias regiões tropicais ao redor do mundo devido à sua alta capacidade de produção de forragem. Actualmente, as espécies *Pennisetum purpureum* pertence à família *Graminae*, sub-família *Panicoideae*, classe: *Paniceae*, gênero: *Pennisetum* L. Rich e espécie: *P. purpureum*, *Schumacher* (TCACENCO & BOTREL, 1997). A variedade super napier surgiu a partir de esforços de melhoramento genético no Brasil e em outros países, onde pesquisadores buscavam desenvolver uma planta que pudesse fornecer maior rendimento de biomassa e melhor valor nutricional para a alimentação animal.

O desenvolvimento do capim super napier envolveu o cruzamento de variedades de capim elefante com outras espécies do gênero *Pennisetum*, como o milheto (*Pennisetum glaucum*), para combinar as melhores características de ambas as plantas. Esse processo de hibridização visou melhorar a digestibilidade, o teor de proteína e a resistência a doenças e pragas, resultando em uma variedade altamente produtiva e adaptativa a diferentes condições de cultivo (ZANINE & SANTOS, 2016). Conforme ilustra a figura 5.



Figura 5:Produtividade do capim super napier. Fonte: EMBRAPA, 2008.

2.2.1. Descrição morfológica de capim super napier.

O capim super napier é uma planta de crescimento cespitosa que pode atingir 3 a 5 metros de altura, com colmos erectos dispostos em touceira aberta ou não, os quais são preenchidos por um parênquima suculenta de aproximadamente 2 cm de diâmetro, com entrenós de até 20 cm. Possui rizomas curtos, folhas com inserções alternas, de coloração verde escura ou clara, que podem ser pubescentes ou não, chegando a alcançar 10 cm de largura e 110 cm de comprimento. As folhas apresentam nervura central larga e brancacenta, bainha lanosa, invaginante, fina e estriada, lígula curta, brancacenta e ciliada (ALCÂNTARA & BUFARAH, 1983). A inflorescência de capim super napier é uma panícula primária e terminal, sedosa e contraída, ou seja, com ráceros espiciformes em forma de espiga, podendo ser solitária ou aparecendo em conjunto no mesmo colmo. A panícula tem em média 15 cm de comprimento, formada por espiguetas envolvidas por um tufo de cerdas de tamanhos desiguais e de coloração amarelada ou púrpura. Apresenta quatro (4) abundantes lançamentos de perfilhos aéreos e basilares, podendo formar densas touceiras, apesar de não cobrirem totalmente o solo (LOPES, 2004). Entretanto, a figura 6 ilustra as características morfológicas do capim super napier.

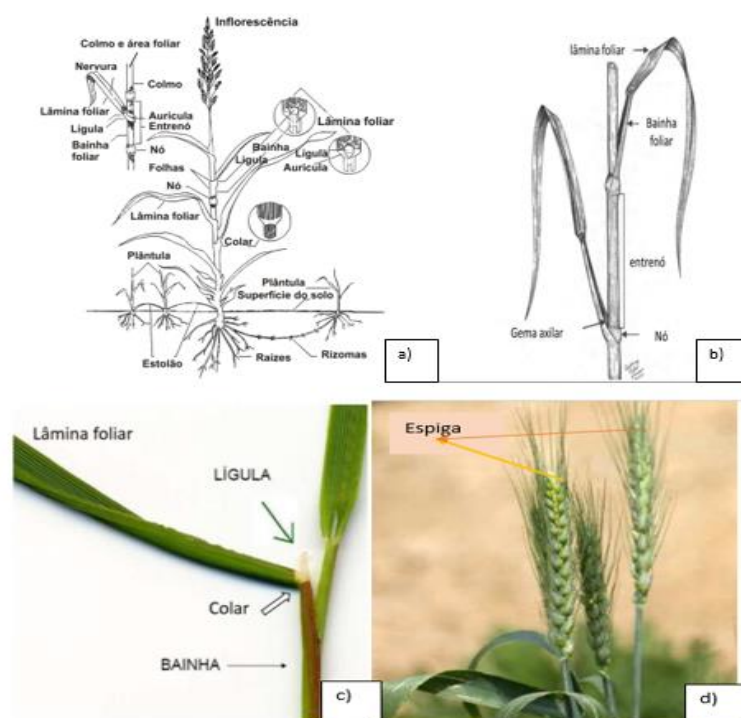


Figura 6: Partes constituintes de capim super napier (a). Organização de um Fitômero (b). Partes constituintes de uma folha de Capim Super Napier (c). Florescência em Espiga de Capim Super Napier (d). Fonte: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas%20Angiospe>

2.2.2. Produção de capim super napier em Moçambique.

A produção de capim super napier em Moçambique está em desenvolvimento, especialmente nas regiões onde a agricultura é mais desenvolvida e há uma forte demanda por forragem para a produção de gado leiteiro e de corte. No entanto, dados estatísticos detalhados sobre a produção específica de capim super napier em Moçambique são limitados, pois o país ainda está desenvolvendo a sua capacidade de colecta e análise de dados agrícolas de capim super napier. Contudo, as principais províncias produtoras de Capim Super Napier em Moçambique, se destacam: Maputo (no distrito de Boane e Marracuene), Gaza (no distrito de Chókwè), Manica (no distrito de Gondola e Chimoio), Zambézia (no distrito de Gurúè) e Nampula (no distrito de Ribaué) (CEPAGRI, 2023). Estima-se que, a produção do capim super napier em cada região acima mencionada varia entre 100 a 200 toneladas por hectare por ano (FAO, 2020). Conforme ilustra a figura 7.

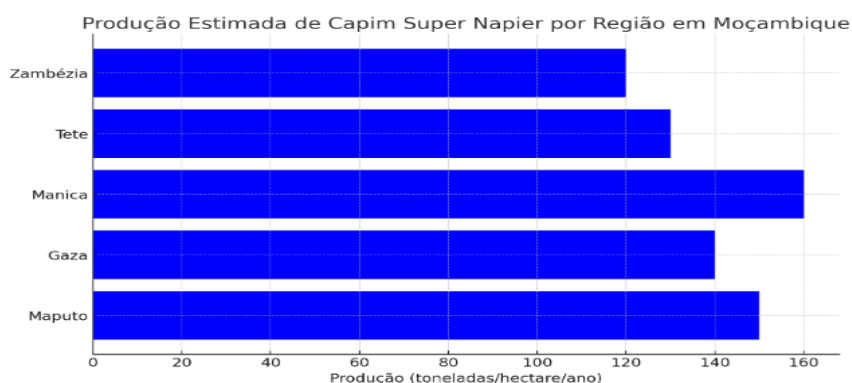


Figura 7: Estimativa da produtividade de Capim Super Napier por região em Moçambique. Fonte: FAO, 2020

Doravante, a produtividade média do capim super napier em Moçambique é de 40 toneladas por hectare por ano, destacando-se como uma das culturas mais produtivas para forragem e o crescimento anual da área plantada com capim super napier tem sido de cerca de 10%, impulsionado pela demanda crescente por forragem de alta qualidade para alimentação animal (CEPAGRI, 2023).

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados no presente estudo, bem como a descrição dos procedimentos experimentais empregues para obtenção dos dados experimentais. Foram utilizadas normas e técnicas usuais de modo a garantir resultados acurados.

3.1. Materiais.

Os resíduos de capim super napier utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram disponibilizados pela Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane. Esses resíduos foram armazenados no Laboratório de Controlo Automático, localizado no Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane. Para efeitos de comparação, foram usados o carvão vegetal e Lenha de Mafurreira, conforme ilustra a figura 8.

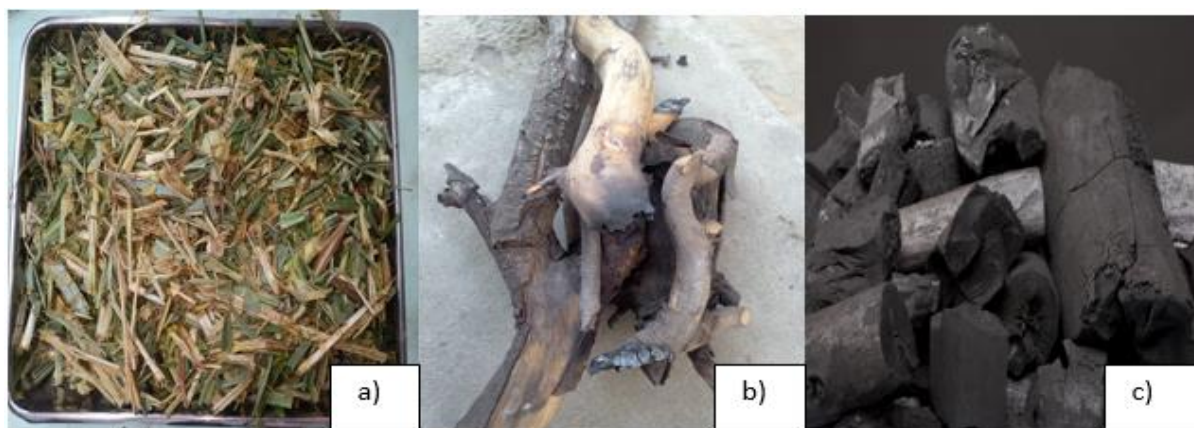


Figura 8: Capim super napier (a); Lenha de Mafurreira (b) e Carvão Vegetal (c). Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2. Métodos.

Os procedimentos usados no presente trabalho são descritos em quatro etapas, que inclui: 1ª etapa-preparação das amostras; 2ª etapa-características físicas, químicas e térmicas das amostras; 3ª etapa-descreve o processo de produção de briquetes e a 4ª etapa caracteriza os briquetes (caracterização física, mecânica e térmica dos briquetes e ensaio em equipamentos de combustão de combustíveis sólidos).

3.2.1. Preparação da Amostra.

Para a preparação da amostra *in natura*, inicialmente passou-se pelo processo de medição de humidade, para verificar se o teor de humidade *in natura* é satisfatório (8-12%) de forma a proceder-se com os subsequentes processos (NAKASHIMA G. T., *et al.*, 2014). Para a preparação da amostra carbonizada usou-se a amostra de C.S.N devidamente seca na estufa, e em seguida passou-se para o processo de moagem.

3.2.1.1. Humidade *in natura*.

Para a determinação da humidade *in natura* foi utilizado um analisador de humidade de marca *Sartorius*, modelo MA 35, com calibragem de teor de humidade mássica (%M/M), conforme ilustra a figura 9. A humidade foi determinada à uma temperatura de 105°C e cerca de 1 g da amostra foi usada para o efeito.

Os ensaios foram realizados em triplicata para todas amostras, de modo a garantir a replicabilidade dos resultados.



Figura 9: Analisador de humidade. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2.1.2. Secagem.

O processo de secagem é uma das operações mais importantes a serem realizadas, pois o teor de humidade recomendável para a produção de briquetes é de 8 a 12% (NAKASHIMA G. T., *et al.*, 2014). Uma humidade maior que este valor pode comprometer a queima eficiente de briquetes (REIS, 2015). Para a secagem da

amostra foi utilizada uma estufa de marca *Labotec*, modelo *Ecotherm* (Figura 10), usando a temperatura de secagem de 105°C por um período de 24 horas.



Figura 10: Estufa para secagem de materiais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2.1.3. Carbonização lenta /Pirolise.

Carbonização é o processo da queima da biomassa, cujo objectivo é aumentar o teor de carbono fixo da amostra. Neste processo, a temperatura varia de 400 a 550°C em ambiente fechado, com pequena quantidade ou exclusão total do ar, durante a qual são libertados gases, vapor de água e líquidos orgânicos, permanecendo como resíduo sólido, o carvão (FILHO, 2013). Para a carbonização da amostra, usou-se um pequeno reactor de ferro galvanizado com dimensões de 10 cm de altura e 17 cm de diâmetro. A amostra foi colocada no reactor e tampada para evitar a entrada de oxigênio. Em seguida, o reactor foi inserido numa mufla de marca *Termolab – Fornos Eléctricos* e modelo *MLM*. Para o processo de carbonização, foi necessário 2 horas de tempo para se atingir a temperatura de 400°C, permanecer por 3 horas a temperatura de 400°C e arrefecer até a temperatura de 105°C durante 2 horas (Figura 11-b). Após o processo de carbonização, foi calculado o rendimento gravimétrico de carbonização, expresso pela razão entre a quantidade de carvão produzido por unidade de peso de biomassa antes da carbonização (VIEIRA, 2017). O rendimento gravimétrico de carbonização é dado pela Equação 1:

$$RGC = \frac{m_{Final}}{m_{Inicial}} \times 100\% \quad (\text{Eq.1}); \text{ Onde: } RGC - \text{Rendimento Gravimétrico de Carbonização, } m_{Final} - \text{massa da biomassa carbonizada (g ou Kg), } m_{Inicial} - \text{massa da biomassa antes da carbonização.}$$

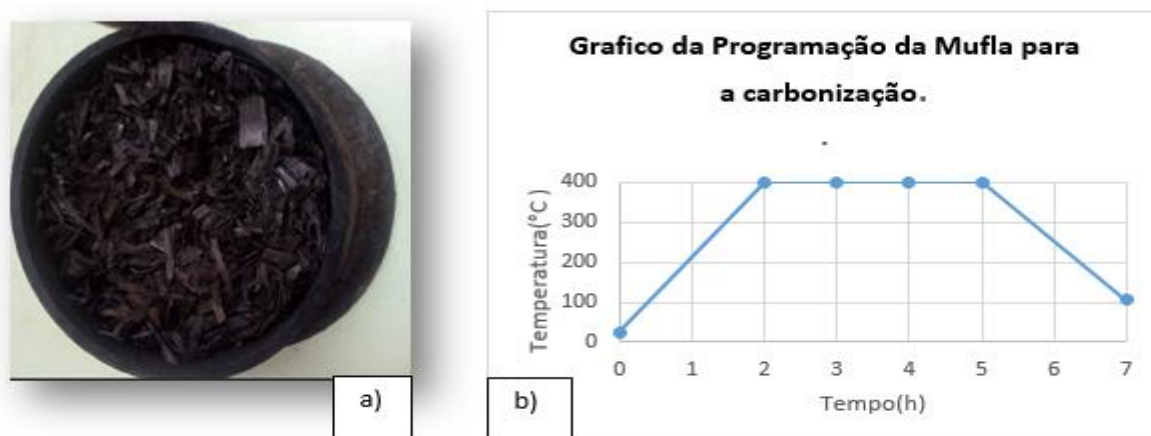


Figura 11: Amostra carbonizada (a); Gráfico da programação da mufla para carbonização (b). Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2.1.4. Moagem

O tamanho das partículas é muito importante para determinar a qualidade e durabilidade de um *pellet* ou briquete (DIAS, 2012). A moagem foi realizada com o intuito de obter partículas menores de modo a possibilitar a compactação da matéria-prima, garantindo que as partículas interajam melhor durante o processo de briquetagem e que o briquete possua boas propriedades mecânicas. Contudo, antes do processo de moagem da amostra *in natura*, o tamanho da amostra foi reduzido com auxílio de uma tesoura.

Para o processo de moagem foi utilizado um moinho ultra centrífugo de marca *Restch ZM 200*, conforme ilustra a Figura 12. As amostras foram introduzidas gradualmente no moinho para evitar sobrecarregar o equipamento e consequente redução da eficiência. Após a moagem, as amostras foram cuidadosamente retiradas do moinho para evitar perdas da matéria-prima.



Figura 12: Moinho ultra centrífugo. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2. Caracterização física, química e térmica das amostras.

A caracterização das amostras incluiu as seguintes análises: **Análise morfológica**, na qual se fez o teste de peneiração, que é uma característica física da amostra; **Análise Imediata**, que incluiu a densidade a granel (Característica Física), o teste de teor de humidade, cinzas, voláteis e carbono fixo (Características químicas); **Análise Elementar**, onde determinou-se o teor de Hidrogénio, Carbono e Oxigénio (Características Químicas); **Calorimetria**, onde determinou-se o poder calorífico (Superior, inferior e útil) e a densidade Energética (Características Térmicas).

3.2.2.1. Peneiração.

A peneiração é uma técnica que permite a realização da análise granulométrica da amostra com diferente tamanho de partículas, normalmente amostra obtida após o processo de moagem (FREITAS, 2020). Para a realização do ensaio de peneiração, foram aplicados os seguintes procedimentos experimentais:

- I. Escolheu-se os peneiros que pretendia realizar o ensaio de peneiração, neste caso foram escolhidos peneiros com abertura de 2,5; 2; 1,6; 1,25; 1; 0,9 e 0 milímetros (mm) respectivamente;
- II. Montou-se os peneiros escolhidos num vibrador de peneiros de marca *Retsch* (Figura 13), na ordem crescente da abertura dos peneiros, iniciando de baixo para cima;
- III. Pesou-se 100 g de amostra na balança analítica (marca: Denver Instrument; modelo: M-310) e colocou-se sob os peneiros montados;
- IV. Ligou-se o vibrador de peneiros a uma frequência de vibração de 40 Hertz (Hz) durante 5 minutos;
- V. Depois da peneiração, a amostra retida em cada peneiro foi cuidadosamente retirada com recurso a um pincel e escova, e em seguida foi pesada, e registada a sua massa;
- VI. Repetiu-se três vezes, o passo II, III, IV e V, para cada tipo de amostra.



Figura 13: Vibrador de Peneiros. Fonte: Elaborado pelo autor.

As fracções retidas foram calculadas dividindo-se as massas retidas nos respectivos peneiros pela massa total da amostra, conforme representa a equação 2:

$$X_i = \frac{\text{massa retida}}{\text{massa total}} \times 100\% \quad (\text{Eq.2}); \text{ Onde: } X_i - \text{Fracção Retida } [\%].$$

3.2.2.2. Densidade a granel.

A densidade a granel é importante, uma vez que fornece informações úteis para a logística, o transporte e o armazenamento dos resíduos. Esta análise considera os espaços vazios entre as partículas que os compõem e fornece os dados reais sobre o volume necessário para o transporte. Para a determinação da densidade a granel seguiu-se a norma ASTM E-873-06, onde foram seguidos os procedimentos experimentais:

- I. Pesou-se um balão volumétrico vazio de 50 ml, e registou-se a massa;
- II. Com auxílio de uma espátula e um funil, introduziu-se a amostra no interior do balão volumétrico ate estar preenchido no limite dos 50 ml e compactado, em seguida, pesou-se o balão e foi registada a massa;
- III. Repetiu-se três vezes, o passo I e II, para cada tipo de amostra.

A densidade a granel foi determinada pela equação 3:

$$\rho = \frac{m_{\text{amostra}}}{V_{\text{balão}}} \quad (\text{Eq.3}); \text{ Onde: } \rho - \text{Densidade a granel } [\text{g}/\text{cm}^3]; m_{\text{amostra}} - \text{Massa da amostra } [\text{g}] \text{ e } V_{\text{balão}} - \text{Volume do balão } [\text{cm}^3].$$

3.2.2.3. Teor de humidade.

O teor de humidade das amostras (pós secagem) foi determinado usando a mesma metodologia descrita anteriormente na determinação da Humidade in natura, com o recurso ao analisador de humidade de marca *Sartorius*, modelo MA 35, com calibragem de teor de humidade mássica (%M/M). Este procedimento foi realizado em triplicata para cada amostra.

3.2.2.4. Teor de Cinzas.

Cinzas são resíduos sólidos inorgânicos resultantes da queima completa de um determinado combustível. Fazem partes dos seus elementos primários, o Dióxido de Silício (SiO_2), Óxido de Alumínio (Al_2O_3), Óxido de Ferro III (Fe_2O_3) e Óxido de Cálcio (CaO), assim como pequenas quantidades de Magnésio (Mg), Titânio (Ti), Sódio (Na) e Potássio (K) (CHEN, XING, & HANA, 2009). O teor de cinzas foi determinado de acordo com o protocolo D-1102 da norma ASTM, onde foram seguidos os procedimentos experimentais:

- I. Para cada tipo de amostra, foram lavados três (3) cadinhos vazios de porcelana (sem tampas), e em seguida foram colocados na estufa para secar durante 24 horas a 105°C ;
- II. Com recurso a uma balança analítica (marca: Denver Instrument; modelo: M-310), pesou-se 12 g para cada tipo de amostra, com granulometria inferior a 0,475 mm, e em seguida, as amostras foram colocadas na estufa para secar durante 24 horas a 105°C ;
- III. Após 24 horas, com recurso a uma pinça (para evitar a introdução de digitais nos cadinhos), os cadinhos e as amostras foram retiradas para o dessecador em separado, de forma a arrefecer até atingir a temperatura ambiente;
- IV. Pesou-se o cadinho vazio (sem tampa) e foi registada a massa, em seguida, pesou-se 2 g da amostra, e o cadinho contendo amostra foi transferida ao dessecador;
- V. Repetiu-se três vezes o passo IV para cada tipo de amostra;
- VI. Os cadinhos contendo amostras (sem tampas) foram transferidos para a mufla (marca Termolab – Fornos Eléctricos e modelo MLM) (Figura 14). Neste processo, foi programado como condição de operação, 3 horas até atingir a

temperatura de 550°C, permanecer por 9 horas a temperatura de 550°C, e arrefecer até 105°C durante 3 horas;

- VII. Após o cumprimento do programa na mufla, com recurso a uma pinça, os cadinhos foram transferidos da mufla para o dessecador, de forma a arrefecer a atingir a temperatura ambiente;
- VIII. Após o arrefecimento, os cadinhos foram pesados, e registou-se as massas.

O teor de cinzas foi calculado com base na seguinte expressão:

$$TC = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (\text{Eq.4}); \text{ Onde: TC – Teor de Cinzas [\%]; } m_2 \text{ – massa (Cinzas + Cadinho) [g]; } m_1 \text{ – massa do cadinho vazio [g] e } m_0 \text{ – massa da amostra fresca [g].}$$



Figura 14: Mufla com os cadinhos para determinação do teor de cinzas. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2.5. Teor de Voláteis.

A matéria volátil de um combustível são vapores condensáveis e não condensáveis libertados quando um determinado combustível é queimado. As suas quantidades dependem da taxa de aquecimento e da temperatura final. Para a determinação da matéria volátil, o combustível é queimado a uma temperatura padrão a uma taxa padrão num ambiente controlado (FREITAS, 2020). Para efeito, recorreu-se a norma ASTM, protocolo E-872 com os seguintes procedimentos experimentais:

- I. Com recurso a uma balança analítica (marca: Denver Instrument; modelo: M-310), pesou-se 6 g para cada tipo de amostra, com granulometria inferior a 0,475 mm, e em seguida, as amostras foram colocadas na estufa para secar durante 24 horas a 105°C;

- II. Para cada tipo de amostra, foram lavados três (3) cadinhos vazios de Níquel com tampas, e em seguida foram colocados na estufa para secar durante 20 minutos a 105°C;
- III. Com recurso a uma pinça (para evitar a introdução de digitais nos cadinhos), os cadinhos e as amostras foram retiradas para o dessecador em separado, deforma a arrefecer até atingir a temperatura ambiente;
- IV. Pesou-se o cadinho de Níquel vazio com tampa e foi registada a massa. Em seguida, pesou-se 1 g da amostra, e o cadinho contendo amostra foi transferida ao dessecador;
- V. Repetiu-se três vezes o passo IV para cada tipo de amostra;
- VI. Os cadinhos contendo amostras (com tampas) foram transferidos para a mufla (marca Termolab – Fornos Eléctricos e modelo MLM), que se encontrava a temperatura de 950°C (Figura 15 – a), e os cadinhos foram queimados durante 7 minutos;
- VII. Após 7 minutos, os cadinhos foram retirados da mufla, e por questões de segurança para não danificar o dessecador foram deixados ao ar livre durante 2 minutos deforma a arrefecer (Figura 15 – c), e em seguida, os cadinhos foram transferidos para o dessecador para arrefecer até atingir a temperatura ambiente;
- VIII. Após o arrefecimento, pesou-se os cadinhos e registou-se a massa.

O teor de cinzas foi calculado com base na equação 5: $TV = \left(1 - \frac{m_2 - m_1}{m_0}\right) \times 100\%$ (Eq.5); Onde: TV – Teor de Voláteis [%]; m_2 – massa (Carvão + Cadinho) [g]; m_1 – massa do cadinho vazio [g]; m_0 – massa da amostra fresca [g].



Figura 15: Cadinhos a serem introduzidos na mufla (a); Mufla fechada após a introdução dos cadinhos (b); Cadinhos a resfriarem ao ar livre após a retirada na mufla (c). Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2.6. Teor de Carbono Fixo.

O teor de carbono fixo foi determinado de acordo com a norma ASTM E870-82, que representa a massa restante, após a libertação dos compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de humidade, efectuando a diferença entre a massa total da amostra e os teores de materiais voláteis e cinzas. O Cálculo de Teor de Carbono Fixo é determinado pela equação 6.

$TCF = 100 - TC - TV$ (Eq.6); Onde: TCF – Teor de Carbono Fixo [%]; TC – Teor de Cinzas [%] e TV – Teor de Voláteis [%].

3.2.2.7. Análise Elementar (Teor de Carbono, Hidrogénio e Oxigénio).

A análise elementar determina a percentagem da massa que representa um elemento químico. A Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane não tinha um equipamento para a realização da análise elementar. Portanto, a análise elementar foi feita por meio de correlações matemáticas de acordo com Parikh (2007). As fórmulas de correlações matemáticas estão descritas abaixo:

$C(\%) = 0,637 \times TCF + 0,455 \times TV$ (Eq.7); $H(\%) = 0,052 \times TCF + 0,062 \times TV$ (Eq.8);

$O(\%) = 0,304 \times TCF + 0,476 \times TV$ (Eq.9). Onde: C – Teor de Carbono [%]; H – Teor de Hidrogénio [%]; O – Teor de Oxigénio [%]; TCF – Teor de Carbono Fixo [%] e TV – Teor de Voláteis [%].

3.2.2.8. Poder Calorífico Superior, Inferior e Útil.

O poder calorífico é a quantidade de energia libertada por unidade de massa ou volume na combustão completa de um combustível. O poder calorífico depende basicamente da composição química de cada combustível, sendo comumente expressa em KJ/kg, Kcal/kg, KJ/m³ ou Kcal/m³. O Poder calorífico Superior é a quantidade de calor libertado na combustão de uma unidade de massa (ou de volume) de combustível considerando o calor gasto na vaporização da água (BRITO, 1993). O poder calorífico Inferior é a quantidade de energia libertada durante a combustão completa de um combustível por unidade de massa ou volume, sem considerar o calor latente de condensação da água vaporizada durante a combustão (CORTEZ, *et al.*,

2008). Poder calorífico útil é a quantidade de calor libertado útil num determinado processo ou sistema, descontando a quantidade de calor usada para evaporar a água de formação e a humidade do combustível (BRITO, 1993). O poder calorífico superior, inferior e útil, foi determinado de acordo com as correlações matemáticas empíricas produzidas por Ferreira, *et al.*, (2014).

$$PCS = 84,5104 \times TCF + 37,2601 \times TV - 1,8642 \times TC \text{ (Eq.10);}$$

$PCI = PCS - 600 \times 0,09 \times H$ (Eq.11); $PCU = PCI \times (1 - 0,01 \times TH) - 600 \times 0,01 \times TH$ (Eq.12). Onde: PCS – poder calorífico Superior, na base seca [Kcal/Kg]; PCI – poder calorífico Inferior, na base seca [Kcal/Kg]; PCU – poder calorífico útil, na base húmida [Kcal/Kg]; TCF – Teor de carbono fixo [%]; TV – Teor de Voláteis [%]; TC – Teor de Cinzas [%]; H – Teor de Hidrogénio [%] e TH – Teor de Humidade [%].

3.2.3. Produção de Briquetes.

Para a produção dos briquetes utilizou-se uma briquitadeira de prensa hidráulica (Figura 16), e um molde cilíndrico feito de aço inoxidável de diâmetro 51 mm e altura 45 mm, onde 60 g de amostra foi introduzida no molde e colocada na prensa hidráulica. A placa superior (Fig.16 – 3) e a placa inferior (Fig. 16 – 4) possuíam resistências eléctricas e termopares que se encontravam ligados a um controlador de temperatura das placas (Fig.16 – 2). O controlador de temperatura das placas tem como função de fornecer corrente eléctrica nas resistências eléctricas que se encontravam nas placas e aqueciam a amostra na posição superior e inferior. Os termopares das placas serviram para fazer a leitura da temperatura nas placas e acionar o alarme de controlo. A resistência eléctrica cilíndrica (Fig. 16 – 6) foi utilizada para revestir o molde e aquecer a amostra na superfície, garantindo a distribuição uniforme da temperatura na superfície da amostra. Dois termopares (Fig. 16 – 9) foram conectados nos dois orifícios existente no molde para monitorar a evolução da temperatura fornecido pela resistência eléctrica cilíndrica que se encontrava ligado a um controlador de temperatura do molde (Fig. 16 – 1). A compactação foi realizada aplicando-se uma pressão de 10 MPa e temperatura de 120°C de forma constante. Após a compactação, utilizou-se duas ventoinhas (Fig. 16 – 5) de modo a permitir um arrefecimento mais rápido.

Para a produção de briquetes carbonizados, foi necessário o uso de aglutinante, de forma que os briquetes tivessem ótimas propriedades físicas e mecânicas. Para o efeito, utilizou-se o capim super napier *in natura* como aglutinante, e testou-se as seguintes proporções: 90% de C.S.N. carbonizado + 10% C.S.N. *in natura*, 80% de C.S.N. Carbonizado + 20% de C.S.N *in natura*, 70% de C.S.N. carbonizado + 30% C.S.N *in natura* e 60% de C.S.N. carbonizado + 40% C.S.N *in natura*. Todas as misturas foram preparadas em triplicada, tomando em consideração que quanto maior for a quantidade da amostra carbonizada, na mistura (carbonizado + aglutinante), maior será a quantidade de carbono fixo.

Durante o processo de aquecimento, a biomassa atinge uma temperatura chamada "temperatura vítrea", que normalmente varia de 60 a 95°C. Neste intervalo de temperatura, a lignina na biomassa se torna uma cadeia flexível e desorganizada. No entanto, quando o briquete é resfriado, ou seja, após atingir a sua "temperatura de cura", a lignina volta a ficar rígida e adquire uma textura semelhante ao vidro, processo conhecido como "transição vítrea" (DEMIRBAS, 2004). Essa característica é muito benéfica na produção de briquetes, pois permite que o material seja remodelado e mantenha sua forma sólida e definida. Contudo, para o presente trabalho a retirada do briquete após o resfriamento ocorreu depois de atingir a temperatura de cura, neste caso 60°C.

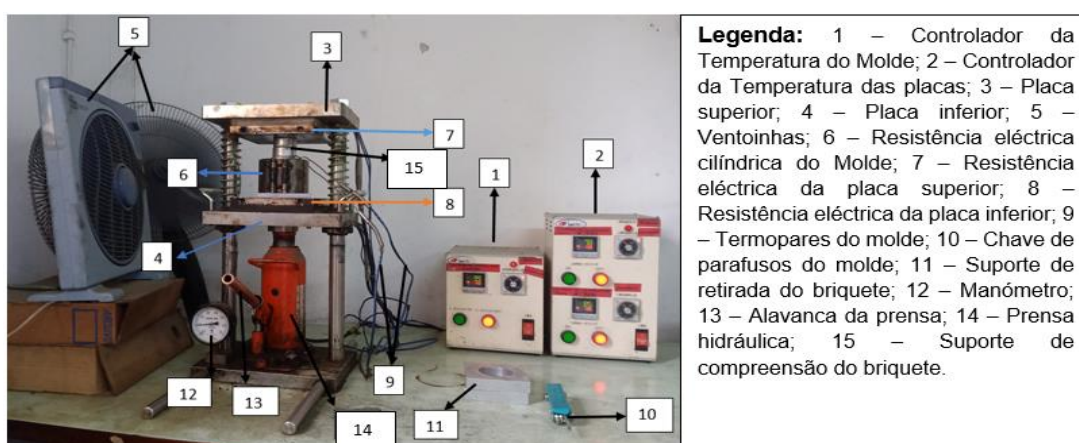


Figura 16: Sistema de Briquetagem Laboratorial. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4. Caracterização física, mecânica e térmica dos briquetes.

A caracterização de briquetes incluiu as seguintes análises: Características físicas (Estabilidade Dimensional, Densidade aparente e Densidade Energética), característica mecânica (Friabilidade) e característica térmica (Teste de índice de Combustão).

3.2.4.1. Estabilidade Dimensional.

Após o processo de briquetagem, fez-se a medição da altura dos briquetes com auxílio de um paquímetro digital (marca: *Mitutoyo*; modelo: CD-6"CSX), num intervalo de 0, 48, 72, 120, 144 e 168 horas. A estabilidade dimensional tem a finalidade de monitorar a expansão longitudinal dos briquetes, até que não se verifique alterações significativas nas suas dimensões. Estas medições possibilitaram a determinação dos valores da expansão longitudinal, fornecendo conclusões sobre a estabilidade dimensional. Para tal, foram seleccionados três briquetes de cada amostra e controladas as respectivas alturas. Para determinar a expansão longitudinal do briquete a um certo período de tempo, usou-se a equação 13.

Expansão_(t=t) = $\frac{h_{(t=t)} - h_{(t=0)}}{h_{(t=0)}} \times 100\%$ (Eq.13); Onde: $h_{(t=t)}$ – Altura do briquete a um certo período de tempo, em milímetros (mm), e $h_{(t=0)}$ – Altura do briquete para tempo igual a zero, em milímetros (mm).

3.2.4.2. Densidade Aparente.

A massa de cada briquete foi determinada em uma balança analítica (Marca *Powder* – modelo *Startious*) e o volume estimado, com base nas medidas mensuradas com auxílio do paquímetro digital no momento do ensaio de teste de expansão longitudinal. A densidade aparente foi determinada através do quociente entre massa e volume de cada briquete, conforme representa a equação 14.

$\rho_{\text{aparente}} = \frac{m_{\text{briquete}}}{V_{\text{briquete}}}$ (Eq.14); Onde: ρ_{aparente} – Densidade Aparente [kg/m³]; m_{briquete} – Massa do briquete [kg] e V_{briquete} – Volume do briquete [m³].

3.2.4.3. Densidade Energética.

A densidade energética ou quantidade de calor por unidade de volume é uma propriedade que avalia o desempenho da biomassa como combustível, pois resume as características físicas, químicas e térmicas (densidades, composição química e poder calorífico) e é definida como o produto entre o poder calorífico útil e a densidade. Para o cálculo da densidade energética do resíduo e dos briquetes, fez-se a aplicação das seguintes correlações matemáticas:

Densidade energética do resíduo: $\rho_{\text{energética}} = \rho_{\text{a granel}} \times \text{PCU}$ (Eq.15)

Densidade energética do briquete: $\rho_{\text{energética}} = \rho_{\text{aparente}} \times \text{PCU}$ (Eq.16); Onde: $\rho_{\text{energética}}$ – Densidade Energética [Kcal/m³]; $\rho_{\text{a granel}}$ – Densidade a granel dos resíduos [Kg/m³]; ρ_{aparente} – Densidade aparente [Kg/m³] e PCU – Poder calorífico Útil [Kcal/Kg].

3.2.4.4. Friabilidade.

O teste de friabilidade visa determinar a resistência dos briquetes quando expostos à acção combinada entre a abrasão e a queda, apresentando a produção de finos quando este material é submetido às acções mecânicas que simulam o manuseio, transporte e armazenamento (FREITAS, 2020). Para a realização do ensaio de friabilidade dos briquetes, utilizou-se o método de “Tamboramento”, que consistiu na pesagem de três briquetes de cada amostra, em seguida, introduziu-se os briquetes num moinho de bolas (marca *Anand A.C Induction Motor*), conforme ilustra a Fig.17. Os briquetes foram submetidos à acção mecânica com uma velocidade rotacional de 40 rotações por minuto (rpm) durante 5 minutos. Após o processo de tamboramento, os briquetes foram retirados do moinho e pesados novamente. Para determinação da perda de massa, recorreu-se a equação 17.

Friabilidade = $\frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$ (Eq.17); Onde: m_0 – Massa inicial do briquete [g] e m_1 – Massa final do briquete [g]



Figura 17: Moinho de Bolas. Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4.5. Índice de Combustão.

O índice de combustão (ICOM) é um parâmetro que integra num só valor o tempo de combustão, a temperatura gerada durante a combustão e a massa consumida durante a combustão. Para realizar o teste e avaliar o comportamento dos briquetes na combustão, construiu-se um sistema semelhante ao desenvolvido por Quirino e Brito (1991). O sistema foi montado conforme ilustra a Figura 18 – a, sendo composto pelo combustor, um anteparo de chapa metálica (para proteger a combustão do movimento do ar), uma balança de precisão 5 g (marca: ADAM; modelo: SA 1422) e uma placa de madeira (para proteger a balança do calor da combustão). Também fizeram parte do conjunto de teste, um cronômetro e um termopar para registrar o tempo e a temperatura, respectivamente. Inicialmente a base de madeira e o combustor acoplado ao anteparo foram colocados sob a balança, de modo a controlar a perda de massa. O combustor foi carregado com 300 g de briquetes e deu-se início a ignição usando 40 ml de petróleo. Em seguida, posicionou-se o termopar para permitir a medição da temperatura.



Figura 18: Esquema do sistema para determinação das variáveis do ICOM (a); Sistema de ICOM montado (b); Briquetes em combustão (c). Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível avaliar o comportamento dos briquetes durante a combustão através da verificação da temperatura e da massa consumida a cada minuto durante os 120 minutos do ensaio, conheceu-se a temperatura máxima de combustão, o tempo necessário para atingir a temperatura máxima durante a queima, o consumo de massa do combustível e pôde-se determinar o ICOM. Foi realizado três ensaios para cada tipo de briquete, de forma a garantir a reprodutibilidade dos mesmos resultados. Para efeito de comparação, este teste de índice de combustão também foi realizado em triplicado para a lenha de mafurreira e o carvão vegetal. O índice de combustão que, é um número adimensional, foi calculado pela equação 18.

$ICOM = \frac{A \times B}{C \times 100}$ (Eq.18); Onde: A – Percentagem do tempo de teste na qual a temperatura permaneceu acima de 150°C, tomada em relação ao tempo total de 120 min. $\left(A = \frac{\text{tempo acima de } 150^{\circ}\text{C}}{120} \times 100\% \right)$; B – Percentagem da temperatura máxima atingida no teste, em relação à temperatura de 150°C. $\left(B = \frac{\text{Temperatura máxima} - 150^{\circ}\text{C}}{\text{Temperatura máxima}} \times 100\% \right)$; C – Percentagem da massa total consumida gerando temperaturas acima de 150°C. $\left(C = \frac{\text{Massa consumida a Temperaturas acima de } 150^{\circ}\text{C}}{\text{Massa Total consumida}} \times 100\% \right)$.

3.2.5. Ensaio em Equipamento de Combustão de Combustível Sólido (Teste de Fervura da Água).

O teste de fervura da água, também conhecido como WBT (Water Boiling Test), simula o procedimento padrão de cozimento de alimentos e é usado para comparar o desempenho de diferentes combustíveis. Seguindo o protocolo WBT 4.2.3, no teste utilizou-se 2,5 kg de água e consistiu em três fases: Alta Potência (partida a frio), Alta potência (partida a quente) e Baixa Potência. A fase de alta potência (partida a frio) envolveu o aquecimento da quantidade padrão de água desde a temperatura ambiente até a ebulição, e a fase de alta potência (partida a quente) consistiu em manter a água a ferver durante 15 minutos a partir do ponto de ebulição. A fase de baixa potência consistiu em reduzir a potência do fogão a um nível mais baixo, suficiente para manter a água a 3°C abaixo da temperatura normal de ebulição durante um período de 45 minutos. O teste é inválido se a temperatura da água na panela na fase de baixa potência for abaixo de 6°C da temperatura de ebulição.

Os procedimentos experimentais para a recolha de dados do ensaio realizado no equipamento mostrado na figura 20 foram:

- I. Pesou-se o fogão vazio, e registou-se a massa;
- II. Pesou-se 600 g do combustível (Briquetes, Lenha de Mafurreira e Carvão Vegetal);
- III. Pesou-se a panela com tampa, e registou-se a massa;
- IV. Pesou-se 2,5 Kg de água;
- V. Mediu-se a Temperatura da água;
- VI. Montou-se o sistema do teste de fervura da água (Fig. 19 – b), e mediu-se 40 ml do petróleo para acender o combustível (Briquetes, Lenha de Mafurreira e Carvão Vegetal);
- VII. Acendeu-se o combustível (Briquetes, Lenha de Mafurreira e Carvão Vegetal), e iniciou-se a cronometrar o tempo;
- VIII. Registou-se o tempo de início da fervura da água, a temperatura de ebulição da água, pesou-se a panela contendo água incluindo a tampa e o fogão contendo combustível;
- IX. Novamente, colocou-se a panela contendo água a ferver durante 15 minutos;
- X. Exactamente 15 minutos após o início da fervura, rapidamente: anotou-se o tempo, pesou-se a panela com a água incluindo a tampa e o fogão contendo o combustível;
- XI. Nos seguintes 45 minutos, manteve-se o fogo a um nível suficiente para manter a temperatura da água na panela a 3°C abaixo da temperatura de ebulição;
- XII. Depois dos 45 minutos, pesou-se a panela contendo água incluindo a tampa e o fogão contendo o combustível.

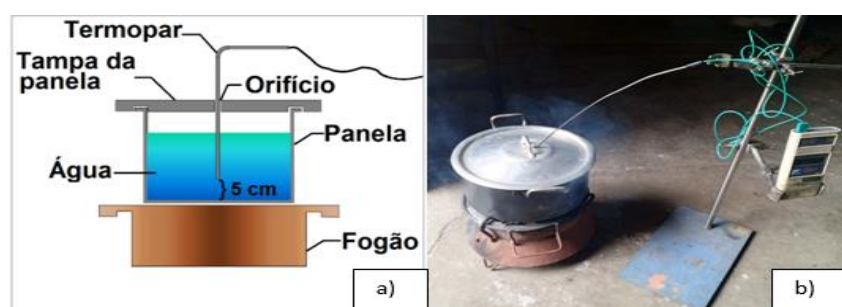


Figura 19: Esquema do sistema do teste de fervura da água (a). Fonte: Adaptado pelo autor do protocolo WBT; Sistema montado para a realização do teste de fervura (b). Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizou-se três ensaios para cada tipo de combustível (Briquetes, Lenha de mafurreira e Carvão Vegetal) de forma a garantir a reprodutibilidade dos resultados. Para a avaliação do desempenho dos combustíveis, foram feitos os seguintes cálculos:

- **Calor libertado durante a combustão (Q_{lib} , Kcal):** corresponde a quantidade de calor libertado durante a combustão total de uma unidade de massa de combustível. $Q_{lib} = PCI \times \Delta m_{cc}$ (Eq.19); Onde: Q_{lib} – Calor libertado durante a combustão [Kcal]; PCI – Poder calorífico inferior [Kcal/Kg] e Δm_{cc} – Massa do combustível consumido [kg];
- **Calor absorvido pela água (Q_{ab} , kcal):** é o calor necessário para elevar a temperatura de uma certa massa de água até a ebulição.

$Q_{ab} = m_{ia} \times C_a \times (T_{fa} - T_{ia})$ (Eq.20); Onde: Q_{ab} – Calor absorvido pela água [Kcal]; m_{ia} – Massa inicial da água [Kg]; C_a – Calor específica da água, $C_a = 1 \text{ Kcal/ (Kg.K)}$; T_{fa} – Temperatura final da água [K] e T_{ia} – Temperatura inicial da água [K];

- **Calor latente de vaporização (Q_{vap} , Kcal):** é a quantidade de calor necessário para transformar uma certa massa de água em vapor. $Q_{vap} = \Delta m_a \times L_v$ (Eq.21); Onde: Q_{vap} – Calor latente de vaporização [Kcal]; Δm_a – massa de água evaporada [kg] e L_v – Calor latente de vaporização da água, $L_v = 540 \text{ Kcal/Kg}$;
- **Rendimento (η , %):** é uma grandeza que caracteriza a eficiência do sistema e é dado pela razão entre o calor efectivamente utilizado para o fim previsto e a quantidade de calor libertado pelo combustível durante a combustão.

$\eta = \frac{Q_{ab} + Q_{vap}}{Q_{lib}} \times 100\%$ (Eq.22); Onde: η – Rendimento [%]; Q_{ab} – Calor absorvido pela água [Kcal]; Q_{vap} – Calor latente de vaporização [Kcal] e Q_{lib} – Calor libertado durante a combustão [Kcal];

- **Potência (P, KW):** exprime a quantidade de calor libertado pelo combustível por unidade de tempo. $P = \frac{4,18 \times Q_{lib}}{t}$ (Eq.23); Onde: P – Potencia (KW); Q_{lib} – Calor libertado durante a combustão [Kcal] e t – tempo [s];

- **Consumo específico:** é razão entre a massa de combustível consumido e a massa de água evaporada. $C_c = \frac{\Delta m_{cc}}{\Delta m_a}$ (Eq.24); Onde: C_c – Consumo específico; Δm_{cc} – Massa do combustível consumido [Kg]; Δm_a – Massa da água evaporada [Kg].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Neste capítulo, são apresentados os resultados do presente estudo, e as respectivas discussões em relação à caracterização das amostras, produção dos briquetes e suas características físicas, mecânicas e térmicas, assim como os resultados dos ensaios em equipamentos de combustão de combustíveis sólidos.

4.1. Humidade.

Os resultados da humidade, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Resultados do teor de humidade na base húmida e seca. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	TH _{BH} (%)	TH _{BS} (%)
Capim Super Napier (C.S.N) <i>in natura</i> .	73,71±0,0008	10,58±0,0016
C.S.N Carbonizado.	-	1,84±0,0008
Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).	-	4,14±0,0008
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).	-	6,36±0,0004
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).	-	8,51±0,0004
Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>).	-	9,52±0,0004
Lenha de Mafurreira.	-	15,93±0,0004
Carvão Vegetal.	-	6,38±0,0004

Onde: TH_{BH} – Teor de Humidade na base húmida [%] e TH_{BS} – Teor de Humidade na base seca [%]

4.1.1. Teor de humidade na base húmida.

Para o capim super napier, o resultado obtido do teor de humidade na base húmida foi de 73,71%. Este resultado mostrou que, a amostra precisava de passar pelo processo de secagem, uma vez que, alto teor de humidade dificulta o processo de moagem e pode prejudicar a compactação do material, resultando em briquetes de menor densidade e durabilidade. Além disso, um teor elevado de humidade reduz o poder calorífico da biomassa, uma vez que parte da energia será utilizada para evaporar a água durante a combustão (FREITAS, 2020). Este valor de teor de humidade na base húmida era de se esperar, uma vez que a humidade de capim elefante verde varia em torno de 71-80% (EMBRAPA, 2008). Vieira (2017), obteve para capim elefante 72% de teor de humidade na base húmida. Alves (2012), encontrou um teor de humidade na base húmida para o capim elefante em torno de 74,28%.

A secagem do capim super napier na estufa a 105°C durante 24 horas, serviu para reduzir a sua humidade inicial para valores em torno de 8-12%, intervalo recomendado para a briquetagem (NAKASHIMA G. T., *et al.*, 2014), e que permitiu posteriormente exercer o processo de moagem.

4.1.2. Teor de humidade na base seca.

Após o processo de secagem e carbonização, as amostras apresentaram um teor de humidade na base seca de 10,58%, 9,52%, 8,51%, 6,36%, 4,14% e 1,84% para C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado +40% de C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado + 20% de C.S.N *in natura*, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura* e C.S.N carbonizado, respectivamente (Tabela 1). Vieira (2017), em seu estudo de Produção de Carvão Vegetal para Fins Energéticos a partir da Carbonização de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) e sua Briquetagem com Diferentes Agentes Aglutinantes encontrou 10% de teor de humidade de capim elefante e 5,85% de teor de humidade de capim elefante carbonizado. Silva (2020) em seu estudo de Producao e caracterizacao de briquetes de biomassas lignocelulosicas em diferentes granulometrias obteve 10,36% de teor de humidade na base seca para o capim elefante.

O teor de humidade desempenha um papel importante, pois influencia no processo de briquetagem da biomassa, na estabilidade dos briquetes, durabilidade, eficiência energética e na qualidade final do produto. Segundo Magalhães, *et al.* (2019), durante o processo de briquetagem, o teor de humidade pode facilitar a solubilização da lignina, mas em grande quantidade, pode vir a reduzir a densidade e a resistência mecânica do produto final. Contudo, para o presente trabalho produziu-se briquetes com teor de humidade controlado de 10,58%.

4.2. Carbonização lenta ou Pirolise.

A carbonização lenta, também conhecida como *slow pyrolysis*, é um processo térmico na qual a biomassa é aquecida em uma atmosfera com pouco ou nenhum oxigénio, geralmente em temperaturas entre 300°C e 600°C, por tempo prolongado (horas a dias), este processo favorece a produção de biochar (carvão vegetal), em detrimento de líquidos pirolíticos e gases combustíveis (LEHMANN & JOSEPH, 2015). Processos de carbonização a temperaturas mais baixas possíveis, geralmente exigem menos energia para aquecer a biomassa até a temperatura de carbonização (MOHAN, *et al.*, 2006). Isso pode resultar em economias significativas de energia, o que é benéfico, em termos de custos operacionais.

Numa primeira fase, submeteu-se a biomassa na mufla a uma temperatura de 400°C, num tempo de residência de 2 horas, e verificou-se que não ocorreu a carbonização, devido as características específicas desta biomassa (Teor de humidade elevado, Tamanho e densidade das partículas e a composição química). Estudos realizados para biomassas semelhantes, reportam que para o capim elefante, o processo de pirolise decorre a temperaturas de 400°C, 500°C e 600°C com o tempo de residência superior a 2 horas (MOHAN, *et al.*, 2006). Neste caso, manteve-se a temperatura de 400 °C como forma a evitar elevado consumo de energia, e aumentou-se o tempo de residência para 3 horas, reduziu-se o teor de humidade para 10,58%, e verificou-se que, ocorreu a carbonização.

O rendimento gravimétrico do processo de carbonização de capim super napier foi de 46,08%. Este resultado era de se esperar, pois segundo Lehmann & Joseph (2015), a carbonização lenta para capim elefante resulta em maior rendimento de gravimétrico de carbonização de 30-48%, com maior teor de carbono fixo e menor geração de bio-

óleo e gases, dependo da variedade de capim elefante. Vieira (2017) obteve 37% de rendimento de carbonização para capim elefante, realizado a temperatura de 450°C, com tempo de residência de duas horas.

4.3. Análise granulométrica.

O resultado da distribuição granulométrica após o processo de moagem e peneiração das amostras é ilustrado na Figura 20.

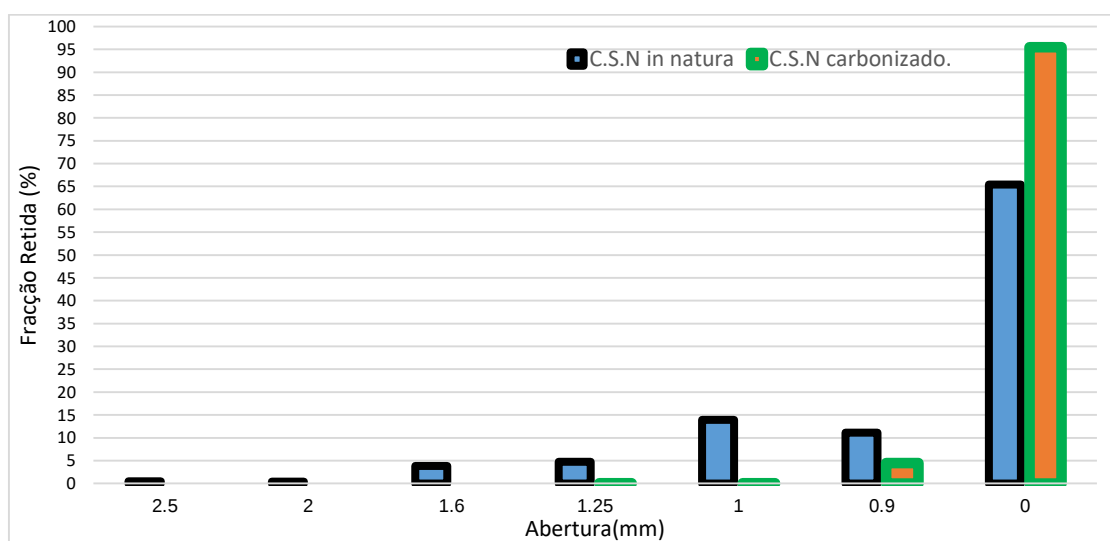


Figura 20: Gráfico da distribuição granulométrica das partículas. Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Figura 20, pode-se observar que, depois do processo de moagem e peneiração, houve uma maior retenção das partículas no peneiro de abertura de 0 mm (base), o que significa que as duas amostras (C.S.N *in natura* e C.S.N carbonizado) demonstraram-se majoritariamente compostas por partículas de tamanho menor que 0,9 mm. Silva (2020), produziu briquetes de capim elefante com granulometria de 2 mm e 8 mm, e constatou que, briquetes com granulometria de 2 mm apresentavam boas propriedades mecânicas em relação a briquetes de granulometria de 8 mm, o que indica que, a granulometria influencia a capacidade de compactação da biomassa.

Partículas muito finas (< 0,5 mm) tendem a aumentar a densidade dos briquetes, mas podem causar maior consumo de energia no processo de moagem (ASTM D6913-04, 2009). Partículas Médias (0,5 mm - 2 mm) são consideradas ideais para briquetagem, pois combinam boa compactabilidade com menor consumo de energia

no processo de moagem e partículas muito grossas (> 2 mm) podem dificultar a compactação reduzindo a densidade do briquete (ISO 17892-4, 2016). Uma distribuição granulométrica equilibrada (partículas finas e médias) pode melhorar a eficiência de combustão, proporcionando uma maior área de contacto e uma queima mais homogênea (NBR NM 248, 2003). No entanto, para a produção de briquetes no presente trabalho utilizou-se as partículas com tamanho menor que 0,9 mm, de forma a garantir obter boas propriedades mecânicas, e uma queima mais homogênea.

4.4. Densidade a granel.

Os resultados obtidos da densidade a granel das amostras encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da densidade a granel das amostras. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	Densidade a granel (g/cm ³)
Capim Super Napier (C.S.N) <i>in natura</i> .	0,3027±0,00025
C.S.N Carbonizado.	0,375±0,0003
Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).	0,367±4,72*10 ⁻⁵
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).	0,359±0,0002
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).	0,356±0,0001
Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>).	0,352±8,175*10 ⁻⁵

Os resultados obtidos da densidade a granel das amostras variaram de 0,3027 a 0,375 g/cm³. Estes resultados estão de acordo com os resultados citados na literatura para biomassa de capim elefante. Os valores da densidade a granel encontrados no presente estudo, com teor de humidade na base seca entre 2 a 11% e granulometria menor que 0,9 mm, evidenciaram que, a amostra de C.S.N carbonizado é mais densa do que a amostra de C.S.N *in natura*. Este resultado sugere que a medida que se aumenta a quantidade de aglutinante na amostra da mistura, a densidade a granel tende a diminuir. A densidade a granel é inversamente proporcional a quantidade de aglutinante aplicada em cada mistura.

Silva (2020), obteve a densidade a granel de capim elefante de 0,2559 g/cm³. Por sua vez, Quirino e Brito (1991) encontraram valores de densidade a granel compreendidos entre 0,133 a 0,557 g/cm³ para amostras de carvão de diferentes proveniências.

A relação que existe entre a densidade a granel e o tamanho das partículas é controversa, isto é, à medida que o tamanho das partículas diminui, maior é a densidade a granel e, por conseguinte, maior é a massa que pode ser armazenada ou transportada em um recipiente de volume fixo. Por este motivo, é de extrema importância conhecer os valores da densidade a granel, pois fornece informações úteis para aplicação da biomassa em escala industrial, visto que esta grandeza física considera os espaços vazios entre as partículas que a compõem e fornece dados reais sobre o volume necessário para o transporte.

4.5. Teor de Cinzas, Voláteis e Carbono Fixo.

Os resultados correspondentes à análise imediata das amostras (Teor de cinzas, voláteis e carbono fixo) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do teor de cinzas, voláteis e carbono fixo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra				TC (%)	TV (%)	TCF (%)
Capim Super Napier (C.S.N) <i>in natura</i> .				21,9±0,013	61±0,03	17,1±0,027
C.S.N Carbonizado.				31,915±0,0005	26,536±0,066	41,549±0,066
Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).				29,62±0,02	30,867±0,044	39,512±0,025
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).				30,118±0,224	33,23±0,06	36,65±0,17
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).				28,591±0,009	40,561±0,061	30,848±0,069

Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	29,18±0,009	41,71±0,05	29,115±0,041
Lenha de Mafurreira.	12,612±0,012	69,872±0,028	17,516±0,029
Carvão Vegetal.	8,032±0,0008	9,976±0,028	81,992±0,028
Onde: TC – Teor de cinzas; TV – Teor de Voláteis e TCF – Teor de Carbono Fixo.			

4.5.1. Teor de Cinzas.

Conforme indicado na Tabela 3, o C.S.N *in natura* apresenta um teor de cinzas de 21,9% que é relativamente baixo, quando comparado com o teor de cinzas de C.S.N carbonizado, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que é de 31,915%, 29,62%, 30,118%, 28,591% e 29,18% respectivamente. Para a lenha de mafurreira e o carvão vegetal usados para a comparação, e obteve-se 12,612% e 8,032%. Estes resultados são inferiores aos das amostras de C.S.N em estudo. O alto teor de cinzas nesta biomassa, deve se a facto de ser uma biomassa não lenhosa (herbácea), em que o seu teor de cinzas varia de 10% a 30% (COLLAZZO, *et al.*, 2017).

Collazzo, *et al.*, (2017), em seu estudo de cinética de pirolise com e sem temperatura constante de capim elefante em diferentes modelos, obteve 13,86% de cinzas para capim elefante. Quintanilla (2012), obteve 19,4% de cinzas de carvão de capim elefante, e Vieira (2017) obteve 13,82% de cinzas de carvão de capim elefante.

Teores de cinzas maiores que 10% são indesejáveis, pois reduzem o poder calorífico e aumentam a necessidade de remoção de resíduos após a combustão. Teores de cinzas elevados também podem causar problemas de acúmulo em fornalhas e sistemas de combustão, reduzindo a eficiência, e teor de cinzas menor que 5% indica uma maior proporção de material combustível, o que melhora o rendimento energético dos briquetes, isso é desejável para minimizar o acúmulo de resíduos e facilitar o manejo das cinzas (ISO 18122, 2022).

4.5.2. Teor de Voláteis.

De acordo com os resultados da tabela 3, verificou-se que, o C.S.N *in natura* apresenta alto teor de voláteis de 61% quando comparado a C.S.N carbonizado, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que apresenta teor de voláteis de 26,535%, 30,867%, 33,23%, 40,561% e 41,71%, respectivamente. O capim Super Napier, sendo uma biomassa lignocelulósica, geralmente apresenta um teor de voláteis alto, entre 60-80% (OLIVEIRA, 2017). Os resultados encontrados no presente estudos são próximos aos resultados obtidos por Quintanilla (2012), e Vieira (2017), valores de 37,5% e 21,18% respectivamente. Teor de voláteis alto favorece uma ignição mais rápida e uma combustão eficiente, tornando os briquetes mais adequados para aplicações onde uma queima rápida é desejada (ISO 18122, 2022).

Entretanto, a lenha de mafurreira apresentou um alto teor de voláteis de 69,872% comparativamente a todas as amostras em estudo. O carvão vegetal resultou de um teor de voláteis de 9,976%. Este valor mostra que o carvão vegetal é um combustível de difícil ignição comparativamente a todos combustíveis analisados neste estudo, e a lenha de mafurreira é o combustível mais fácil de sofrer ignição, e em seguida vem o C.S.N *in natura*. Contudo, combustível com elevado teor de voláteis pode gerar maior produção de gases durante a combustão, o que pode exigir controle adequado para minimizar a formação de fumaça e compostos indesejados (ISO 18122, 2022).

4.5.3. Teor de Carbono Fixo.

Tendo como base o teor de cinzas e voláteis, determinou-se o teor de carbono fixo apresentado na tabela 3. O C.S.N carbonizado apresentou alto teor de carbono fixo de 41,549%, quando comparado com o teor de carbono fixo de C.S.N *in natura*, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que é de 17,1%, 39,512%, 36,65%, 30,848% e 29,115%, respectivamente, estes resultados mostram que, quando se carboniza uma biomassa, a tendência é de

aumentar o teor de carbono fixo. O capim super napier tende a ter um teor de carbono fixo menor em comparação com resíduos de madeira, mas pode ser melhorado através de tratamentos térmicos (torrefação ou carbonização lenta) antes da briquetagem (PARIKH J., 2007). Quintanilla (2012), obteve 43,1% de teor de carbono fixo de carvão de capim elefante, que é um valor próximo aos resultados obtidos no presente estudo, da amostra de C.S.N carbonizada, e Vieira (2017) obteve 65% de teor de carbono fixo de carvão de capim elefante.

Teor de carbono fixo maior que 20% indica que a biomassa é eficiente na geração de calor, pois esta fracção contribui para uma combustão prolongada e estável, e é ideal para aplicações onde uma queima mais longa e estável é necessária, como em fornalhas industriais, e teor de carbono fixo menor que 15% pode indicar uma combustão mais rápida e menos eficiente, especialmente em aplicações que requerem uma fonte de calor constante por períodos mais longos (ISO 18122, 2022). Entretanto, no presente estudo, o carvão vegetal apresenta alto teor de carbono fixo que é de 81,992% em comparação com todas as amostras analisadas neste trabalho, este é o motivo que leva o carvão vegetal a ter uma combustão mais prolongada e estável em relação as outras amostras analisadas neste estudo, e a lenha de mafurreira apresenta teor de carbono fixo de 17,516%, o que significa que, a lenha de mafurreira tem uma combustão mais rápida e menos eficiente.

4.6. Análise Elementar.

A análise elementar do capim super napier focado no teor de carbono (C), hidrogénio (H) e oxigénio (O), é essencial para compreender seu potencial energético e aplicações industriais. Portanto, os resultados obtidos na análise elementar das amostras do presente trabalho estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Resultados da análise elementar. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	C (%)	H (%)	O (%)
Capim Super Napier (C.S.N) <i>in natura</i> .	38,648±0,008	4,671±0,0008	34,234±0,007
C.S.N Carbonizado.	38,54±0,012	3,806±0,0007	25,262±0,011

Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).	39,214±0,006	3,968±0,001	26,705±0,014
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).	38,466±0,133	3,966±0,012	26,96±0,08
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).	38,106±0,017	4,119±0,0003	28,685±0,008
Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>).	37,522±0,004	4,1±0,0009	28,703±0,011
Lenha de Mafurreira.	42,949±0,009	5,243±0,0007	38,584±0,006
Carvão Vegetal.	56,768±0,005	4,882±0,0003	29,674±0,005

4.6.1. Teor de Carbono.

De acordo com a tabela 4, a amostra da mistura de 90% de C.S.N carbonizado +10% de C.S.N *in natura*, apresenta o teor de carbono de 39,214% comparativamente maior em relação a amostra de C.S.N *in natura*, C.S.N carbonizado, mistura de mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% C.S.N *in natura*, que é de 38,648%, 38,54%, 38,466%, 38,106% e 37,522%, respectivamente. Contudo, a diferença numérica entre o teor de carbono de uma amostra *in natura* e carbonizada não é tão significativa, o que leva a afirmar que, independentemente de carbonizar uma amostra, assim como não, o teor de carbono da amostra não sofre variações significativas.

Embora dados específicos de teor de carbono de capim super napier sejam limitados, estudos relacionados ao capim elefante (*Pennisetum purpureum*) indicam que sua composição elementar de carbono é aproximadamente de 30% a 50% na base seca (SILVA T. , 2021). Silva (2020), obteve 43,9% de teor de carbono de capim elefante, e Caroline (2012), obteve 33% de teor de carbono no capim elefante.

Teor de carbono é o elemento fundamental na estrutura da matéria orgânica, influencia directamente o poder calorífico da biomassa, isto é, elevado teor de carbono torna a biomassa uma fonte promissora para a produção de energia (ZHANG, 2020). Contudo, no presente trabalho, determinou-se o teor de carbono para carvão vegetal e lenha de mafurreira, e obteve-se 56,768% e 42,949% respectivamente, o facto de o carvão vegetal e a lenha possuir teor de carbono elevado em relação as amostra de capim super napier, deve se ao facto de que o carvão vegetal e a lenha de mafurreira é de origem lenhosa, enquanto que, capim super napier, não é uma biomassa lenhosa.

4.6.2. Teor de Hidrogénio.

Conforme apresentado na tabela 4, o C.S.N *in natura*, apresenta alto teor de hidrogénio de 4,671% comparativamente ao C.S.N carbonizado, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que tem teor de hidrogénio de 3,806%, 3,968%, 3,966%, 4,119% e 4,1%, respectivamente. Estes resultados mostram que, a medida que carboniza se a amostra, ocorre a libertação de teor de hidrogénio. O hidrogénio, embora presente em menores proporções, desempenha um papel crucial na combustão e no valor energético da biomassa. Estudos mostram que o teor de hidrogênio no capim elefante varia de 3-6% na base seca (SILVA F. , 2015). Caroline (2012), obteve 4,8% de teor de hidrogénio de capim elefante, e Vieira (2017) no seu estudo, obteve 3,57% de teor de hidrogénio no carvão de capim elefante, que é um valor próximo encontrado no presente trabalho para amostras carbonizadas.

O teor de hidrogénio contribui para o valor energético, isto é, uma maior proporção de hidrogênio pode aumentar o poder calorífico (SILVA F. , 2015). No entanto, neste estudo, determinou-se também o teor de hidrogénio da lenha de mafurreira e carvão vegetal, e obteve-se 5,243% e 4,882% respectivamente, e é de verificar que, a biomassa nas condições naturais apresenta alto teor de hidrogénio.

4.6.3. Teor de Oxigénio.

De acordo com a Tabela 4, o C.S.N *in natura*, apresenta alto teor de oxigénio de 34,234% comparativamente ao C.S.N carbonizado, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura*, mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que tem teor de oxigénio de 25,262%, 26,705%, 26,96%, 28,685% e 28,703% respectivamente. Estes resultados mostram que, a medida que carboniza se a amostra, reduz se o teor de oxigénio presente na amostra.

No capim elefante, o teor de oxigénio varia de 30-50% na base seca (ZHANG, 2020). No estudo realizado por Silva (2020), obteve 49,6% de teor de oxigénio de capim elefante, e Vieira (2017) obteve 15,66% de teor de oxigénio no carvão de capim elefante. Alto teor de oxigénio pode reduzir o poder calorífico e a densidade energética da biomassa, no entanto, técnica de pré-tratamento, como a carbonização pode ser aplicada para melhorar as características energéticas da biomassa (KUMAR, 2022). Contudo, no presente trabalho, também determinou-se o teor de oxigénio da lenha de mafurreira e carvão vegetal, obteve-se 38,584% e 29,674% respectivamente, e é de verificar que, a biomassa nas condições naturais apresenta alto teor de oxigénio, e para maximizar a sua eficiência energética, é necessário aplicar técnicas de pré-tratamento.

4.7. Poder Calorífico.

Os resultados de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU), estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Resultados de poder calorífico superior, inferior e útil. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra			PCS (Kcal/Kg)	PCI (Kcal/Kg)	PCU (Kcal/Kg)
Capim	Super	Napier	3677,138±1,44	3674,615±1,438	3285,203±1,266
(C.S.N) <i>in natura</i> .					
C.S.N Carbonizado.			4440,53±3,116	4438,473±3,116	4356,702±3,086

Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).	4434,1±0,653	4431,956±0,654	4248,223±0,605
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).	4279,362±16,757	4277,22±16,751	4004,834±15,703
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).	4065,01±3,595	4062,785±3,595	3716,536±3,303
Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>).	3960,073±1,581	3957,859±1,582	3580,498±1,425
Lenha de Mafurreira.	4060,196±1,61	4057,365±1,609	3410,069±1,337
Carvão Vegetal.	7285,921±1,304	7283,285±1,305	6818,231±1,25

De acordo com a tabela 4, o C.S.N carbonizado apresenta poder calorífico superior, inferior e útil de 4440,53Kcal/Kg, 4438,473Kcal/Kg e 4356,702Kcal/Kg respectivamente, deste modo, possuindo poder calorífico superior, inferior e útil maior em relação a C.S.N *in natura*, mistura de 90% de C.S.N carbonizado + 10% de C.S.N *in natura*, mistura de 80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N *in natura*, mistura de 70% de C.S.N carbonizado +30% de C.S.N *in natura* e mistura de 60% de C.S.N carbonizado + 40% de C.S.N *in natura*, que é de (3677,138Kcal/Kg; 36774,615Kcal/Kg; 3285,203Kcal/Kg), (4434,1Kcal/Kg; 4431,956Kcal/Kg; 4248,223Kcal/Kg), (4279,362Kcal/Kg; 4277,22Kcal/Kg; 4004,834Kcal/Kg), (4065,01Kcal/Kg; 4062,785Kcal/Kg; 3716,536Kcal/Kg) e (3960,073Kcal/Kg; 3957,859Kcal/Kg; 3580,498Kcal/Kg) respectivamente.

Este elevado PCS do C.S.N carbonizado em relação as outras amostras de C.S.N, deve ao facto de o C.S.N carbonizado apresentar alto teor de carbono fixo em relação as mesmas amostras. Rocha (2009), obteve valores de PCS de 4100Kcal/Kg a 4500Kcal/Kg de capim elefante, e Silva (2020) obteve 4408,5Kcal/Kg de capim elefante.

No entanto, estes valores da literatura apresentados de PCS se aproximam dos valores obtidos nas amostras carbonizadas, e é de referir que os valores de PCS encontrado na literatura para capim elefante foram obtidos em condições laboratoriais diferentes das condições que foram obtidos os resultados de capim super napier. Em um estudo conduzido pela EMBRAPA (2016) de poder calorífico do capim elefante para a geração de energia térmica, obteve valores de PCI médio que variam de 3941 Kcal/Kg a 4052 Kcal/Kg para as variedades de capim elefante. No estudo realizado por Tavares e Santos (2013), obtiveram PCI de 4061,17Kcal/Kg para carvão de capim elefante. Os valores de PCI da literatura aproximam se dos valores obtidos no presente trabalho. O PCU é influenciado directamente pelo teor de humidade da biomassa. Silva (2012) demonstrou que a redução da humidade do capim elefante de 50% para 10% aumentou o PCU de 1746 Kcal/Kg para 3624 Kcal/Kg. Esse aumento evidencia a importância de processos de secagem adequados para otimizar o aproveitamento energético da biomassa.

Contudo, no presente estudo, determinou-se também o poder calorífico superior, inferior e útil de carvão vegetal e da lenha de mafurreira, e obteve se (7285,921Kcal/Kg; 7283,285Kcal/Kg; 6818,231Kcal/kg) e (4060,196Kcal/Kg; 4057,365Kcal/Kg; 3410,069Kcal/kg) respectivamente, e verificou-se que, o carvão vegetal possui elevado PCS em relação a todas amostras analisadas neste trabalho, isto deve se ao facto de, o carvão vegetal possuir alto teor de carbono fixo e provem de uma biomassa lenhosa, por conseguinte, a lenha de mafurreira possui PCU próximo das amostras carbonizadas, o que significa que, a lenha de mafurreira pode ser substituída por briquetes de C.S.N no âmbito do processo de produção de energia.

4.8. Produção de Briquetes

Produziu-se briquetes *in natura* de capim super napier, a 10,58% de humidade, granulometria menor que 1 mm, pressão de 10MPa e temperatura de 120°C, conforme ilustra a figura 21 – a).

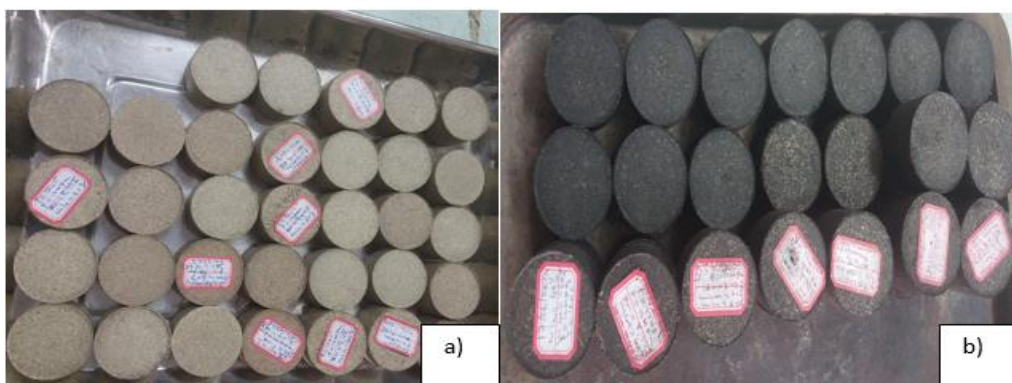


Figura 21: Briquetes *in natura* de C.S.N (a); Briquetes de 60% de C.S.N carbonizado + 40%C.S.N *in natura* (b). Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a produção de briquetes carbonizados de capim super napier (Figura 21 – b), recorreu-se ao uso de aglutinante (Capim super napier *in natura*) com diferentes proporções mássicas. Os briquetes carbonizados foram produzidos com as mesmas condições de humidade, granulometria, pressão e temperatura que foram produzidos os briquetes *in natura* de capim super napier.

No final do processo de produção de briquetes carbonizados, a seleção da melhor proporção mássica do aglutinante foi feita com base no teste de friabilidade. A figura 22 foi elaborada com o objectivo de determinar a melhor proporção mássica do aglutinante para utilização na produção de briquetes carbonizados. A decisão da melhor proporção mássica do aglutinante baseou-se no briquete carbonizado que apresentou menor perda de massa no teste de friabilidade.

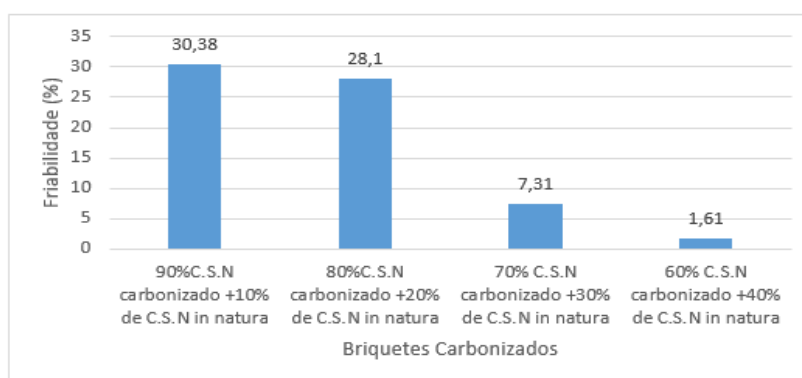


Figura 22: Friabilidade de briquetes carbonizados de C.S.N. Fonte: Elaborado pelo autor.

Constatou-se que, a melhor proporção mássica do aglutinante é de 40% de capim super napier *in natura*, isto é, briquetes carbonizados constituído por 60% de C.S.N

carbonizado e 40% de C.S.N *in natura*, apresenta boas propriedades mecânicas em relação a briquetes carbonizados constituídos por outras proporções mássicas de C.S.N *in natura* analisadas neste estudo, e foi este tipo de briquete carbonizado que foi caracterizado no presente estudo.

4.9. Estabilidade Dimensional.

Os briquetes após a produção sofrem alterações nas suas dimensões (altura, diâmetro e massa) ao longo tempo. A figura 23 mostra a variação da expansão longitudinal de briquetes *in natura* de C.S.N e briquete carbonizado de 60% de C.S.N carbonizado +40% de C.S.N *in natura*.

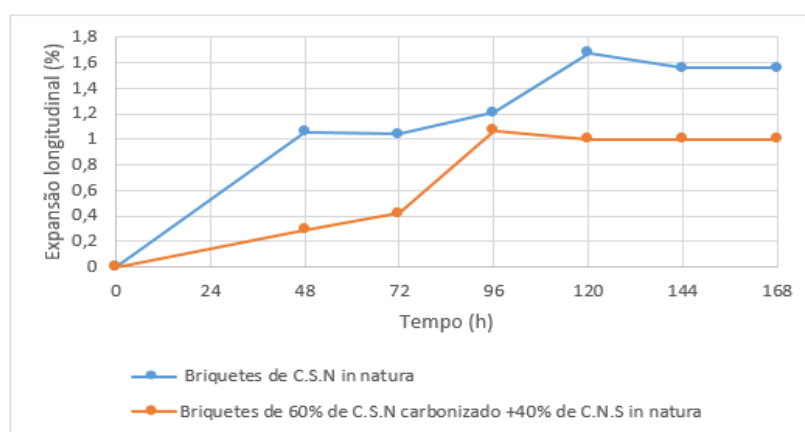


Figura 23: Estabilidade dimensional de briquetes *in natura* de C.S.N e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N *in natura*. Fonte: Elaborado pelo autor.

No presente trabalho, verificou-se que, os briquetes *in natura* de C.S.N não sofrem variações nas suas dimensões a partir de 144 horas (6 dias) após a produção, e os briquetes carbonizados não sofrem variações nas suas dimensões a partir de 120 horas (5 dias) após a produção. Os briquetes *in natura* de C.S.N sofrem expansão longitudinal de até 1,68% após 120 horas (5 dias) de produção e os briquetes carbonizado sofrem expansão longitudinal de até 1,07% após 96 horas (4 dias) de produção.

Estes resultados estão relativamente abaixo dos valores observados na literatura, e isto indica que, o processo de compactação e a interacção entre as partículas no presente estudo foi efectivos e, por conseguinte, ocorreu a produção de briquetes de qualidade e com estabilidade dimensional satisfatória.

Estudos específicos sobre a expansão longitudinal de briquetes produzidos exclusivamente com capim super Napier são escassos. No entanto, pesquisas relacionadas ao capim elefante (*Pennisetum purpureum*), variedade semelhante ao super napier, fornecem informações relevantes. No Estudo conduzido por Paterlinim (2013), foi observada uma expansão longitudinal de 35% em briquetes de capim elefante. Portanto, embora não haja dados específicos sobre a expansão longitudinal de briquetes de capim super Napier, é razoável inferir que os briquetes de C.S.N podem apresentar comportamentos semelhantes aos observados em briquetes de capim elefante, com expansões longitudinais variando entre 18% e 35%, dependendo das condições de produção e armazenamento (YAMAJI, 2013).

Na produção dos briquetes, o mais esperado é que haja menos expansão, pois maior expansão indica que o briquete absorve facilmente humidade que desfavorece a eficiência energética do combustível. Factores como a densidade aparente do briquete, o teor de humidade, a presença de aglutinantes e as condições de armazenamento influenciam directamente a estabilidade dimensional (SILVA R. , *et al.*, 2014).

Briquetes com maior densidade aparente tendem a apresentar menor expansão devido à redução de espaços vazios internos, limitando a absorção de humidade. Além disso, a utilização de aglutinantes adequados pode melhorar a coesão das partículas, reduzindo a deformação longitudinal. Entretanto, pesquisas relacionadas a outros materiais lignocelulósicos sugerem que o controle rigoroso das condições de produção e armazenamento é essencial para minimizar a expansão e recomenda-se manter os briquetes em ambientes com humidade controlada e protegidos de variações térmicas significativas.

4.10. Densidade aparente e energética.

Os resultados da densidade aparente e energética dos briquetes estão apresentados na Tabela 6. As densidades energéticas dos resíduos e dos briquetes foram calculadas por meio da multiplicação do PCU pela densidade a granel dos resíduos e pela densidade aparente dos briquetes, respectivamente.

Tabela 6: Resultados da densidade energética dos resíduos e briquetes. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	Densidade aparente dos briquetes (Kg/m³)	Densidade Energética dos resíduos (Mcal/m³)	Densidade Energética dos briquetes (Mcal/m³)
Capim Super Napier (C.S.N) <i>in natura</i> .	1159,1±1,42	994,383±1,057	3897,668±4,456
C.S.N Carbonizado.	–	1632,110±1,242	–
Mistura (90% de C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>).	–	1557,682±0,313	–
Mistura (80% de C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>).	–	1435,685±5,249	–
Mistura (70% de C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>).	–	1322,9±0,645	–
Mistura (60% de C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	1191,77±2,62	1206,289±0,213	4265,726±7,783

4.10.1. Densidade aparente.

Após os briquetes atingirem a estabilidade dimensional, estes foram submetidos a medições de massa e volume, de modo a determinar a densidade aparente. Verificou-se que a densidade aparente de briquete *in natura* de C.S.N e de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* é de 1159,1Kg/m³ e 1191,77Kg/m³ respectivamente. Fazendo uma análise comparativa entre os valores da densidade a granel dos resíduos de C.S.N *in natura* e mistura de 60% C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* que é de 302,67Kg/m³ e 352Kg/m³ respectivamente, com os valores da densidade aparente dos briquetes destes resíduos.

Constatou-se que, a densidade aparente é 3 vezes maior do que a densidade a granel dos resíduos, isto é, no âmbito do processo de produção de briquetes, o volume do briquete é reduzido a 3 vezes em comparação com o volume da biomassa antes do processo de briquetagem.

Souza & Vale (2016), obtiveram valores da densidade aparente de briquetes de capim elefante que variam de 1000 a 1200Kg/m³, e o valor encontrado no presente estudo esta dentro do intervalo da densidade aparente obtido por estes autores. No estudo realizado por Nakashima, *et al.*, (2014), obteve densidade aparente de briquetes de capim elefante que varia de 1100 a 1300Kg/m³.

A densidade aparente elevada é desejável, pois briquetes mais densos permitem uma maior concentração de energia por volume, facilitando seu armazenamento e transporte, além de reduzir a higroscopicidade e melhorar a estabilidade mecânica. A formação de briquetes com densidade aparente elevada pode ser contribuída por uma combinação de uma temperatura de prensagem elevada e o uso de partículas com granulometria fina que favorece a interação entre as fibras.

4.10.2. Densidade energética.

A tabela 5 apresenta os resultados da densidade energética dos resíduos e briquetes analisado no presente trabalho. Verificou-se que, os briquetes carbonizados (60%C.S.N carbonizado +40% de C.S.N *in natura*) apresentam maior densidade energética do que os briquetes *in natura* de C.S.N, isto deve se ao facto de amostra de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* possuir maior teor de carbono fixo e poder calorífico útil em relação a amostra de C.S.N *in natura*.

Na tabela 5 é perceptível o aumento que a compactação das amostras proporcionou à densidade energética dos resíduos que apresentava valor de 994,383Mcal/m³ e 1206,289Mcal/m³ para C.S.N *in natura* e mistura de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*, respectivamente, e por meio da produção de briquetes a densidade energética passou a ser de 3897,668Mcal/m³ e 4265,726Mcal/m³ para briquetes de C.S.N *in natura* e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*, respectivamente.

No estudo realizado por Souza & Vale (2016) demonstraram que, para briquetes de capim elefante que possuem densidade aparente que varia de 1000 a 1200Kg/m³, a sua densidade energética pode atingir 4500Mcal/m³. Os resultados obtidos no presente trabalho, encontra se dentro do intervalo estabelecido por estes autores. No estudo realizado por Silva (2020), obteve valores da densidade energética que variam de 3100 a 3690Mcal/m³ de densidade energética para capim elefante. Quando a amostra apresenta elevado poder calorífico (que é influenciado pelo teor de carbono fixo, material volátil e cinzas) e elevada densidade aparente se traduz em briquetes com densidade energética elevada, potencializando sua aplicação como combustível.

4.11. Friabilidade.

Os resultados do teste de friabilidade estão apresentados na figura 24.

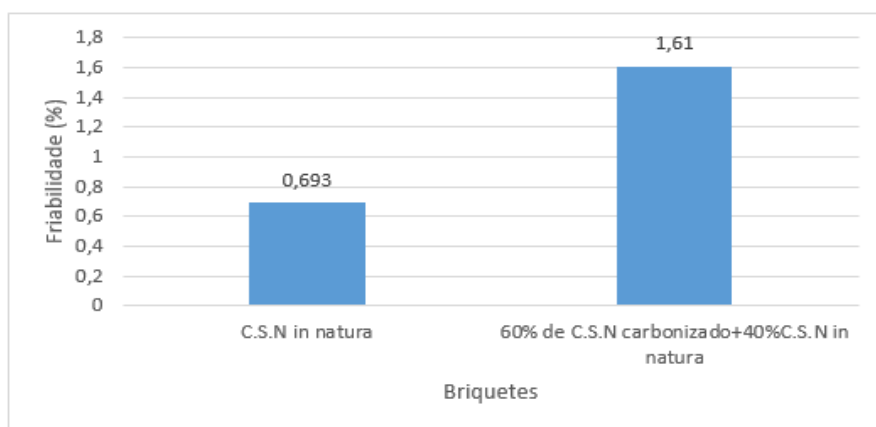


Figura 24: Resultados do teste de friabilidade de briquetes *in natura* de C.S.N e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*. Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustra a figura 24, os briquetes de C.S.N *in natura* possui friabilidade de 0,693%, que é um valor ligeiramente menor, quando comparado com a friabilidade de briquetes constituído por 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* que é de 1,61%. Esta ligeira diferença deve ao facto de o C.S.N *in natura* possuir 100% da proporção mássica do aglutinante, enquanto que o briquete carbonizado possui somente 40% da proporção mássica do aglutinante.

Segundo Lima, *et al.*, (2016), briquetes com perdas de massa inferior a 5% são classificados como muito pouco friável, briquetes com perda de massa de 5-10% são classificados como pouco friável, briquetes com perda de massa de 10-15% são

classificados como moderadamente friável e briquetes com perda de massa superior a 15% são classificados como muito friável. Desta forma, os briquetes de C.S.N *in natura* e briquetes constituídos por 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* são classificados como muito pouco friáveis. Quirino e Brito (1991) obtiveram valores de friabilidade com intervalo variando de 2,48 a 56,44% para briquetes feitos de carvão vegetal de diferentes origens, considerados muito friáveis.

Entretanto, se os briquetes apresentarem alta friabilidade, isso pode indicar compactação inadequada ou um teor de humidade baixo em relação ao intervalo de humidade estabelecido para a produção de briquetes. Briquete com alta friabilidade pode se desintegrar facilmente, formando poeira e reduzindo a eficiência de combustão. Quanto menor a friabilidade, mais resistente é o briquete, e é desejável que os briquetes apresentem menores valores no ensaio de friabilidade. Para diminuir a friabilidade, é recomendável aumentar a pressão de compactação e garantir uma granulometria adequada (partículas de 0,5 a 2 mm).

4.12. Índice de Combustão.

Os resultados do teste de índice de combustão (ICOM) das amostras do presente estudo estão descritos na tabela 7.

Tabela 7: Resultados do teste de ICOM para os combustíveis analisados. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	ICOM
Briquetes de C.S.N <i>in natura</i>	0,2879±0,0004
Briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N <i>in natura</i>	0,4751±0,0006
Lenha de Mafurreira	0,09761±0,0004
Carvão Vegetal	0,6114±0,0006

O valor de ICOM observado no presente estudo para briquetes de C.S.N *in natura* e briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* é de 0,2879 e 0,4751, respectivamente. No estudo realizado por Lima, *et al* (2016), obteve valores de ICOM para capim elefante que variam de 1,93 a 3,3. Segundo Spadim (2020), os valores de ICOM podem ser classificados em alto, se ICOM for maior que 3, Moderado, se o ICOM esteve dentro do intervalo de 2 a 3, e baixo, se o ICOM for menor que 2.

Entretanto, os briquetes produzidos no presente estudo, possuem ICOM baixo, significa que os briquetes queimam de forma lenta, o que pode ser vantajoso em situações que requerem calor sustentado, mas pode reduzir a eficiência quando se precisa de alta intensidade térmica inicial.

Briquetes que possuem alto ICOM possuem boa eficiência de queima, o que significa uma combustão rápida e eficiente, isso é desejável em aplicações que exigem calor imediato, como fogões e caldeiras residenciais, mas pode indicar uma queima rápida demais, o que pode não ser ideal para aplicações que requerem uma fonte de calor prolongada e constante (ISO17225-3, 2014).

Por sua vez, analisou-se o ICOM da lenha de mafurreira e do carvão vegetal no presente estudo, e obteve 0,6114 e 0,09761 respectivamente. Quirino e Brito (1991) ao produzirem briquetes a partir de carvão vegetal, obtiveram índices de combustão compreendidos entre 0,3124 e 1,2307. Na Figura 25 e Figura 26, é possível observar o comportamento dos briquetes no que diz respeito a variação da temperatura e a perda da massa em função do tempo durante a combustão, respectivamente.

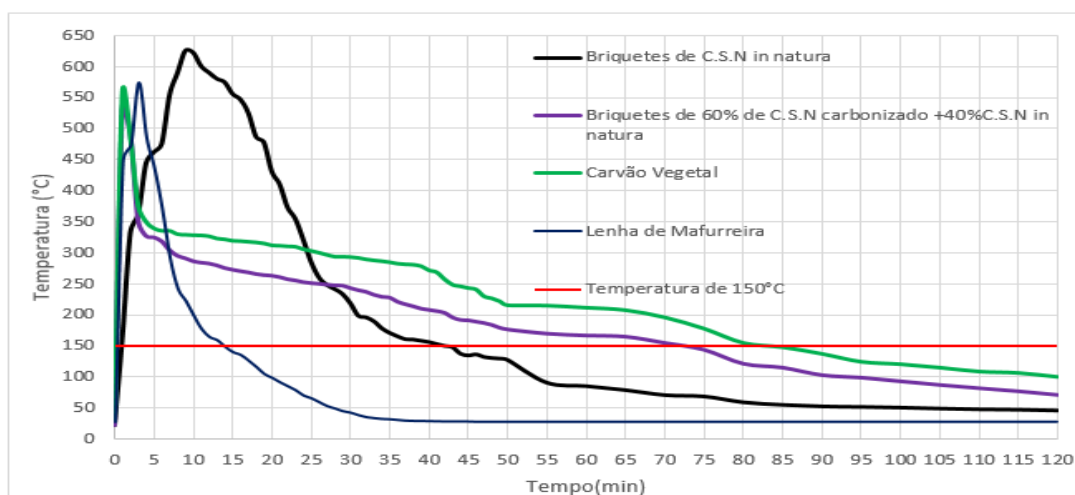


Figura 25: Variação da temperatura em função do tempo dos combustíveis analisados no teste de ICOM. Fonte: Elaborado pelo autor.

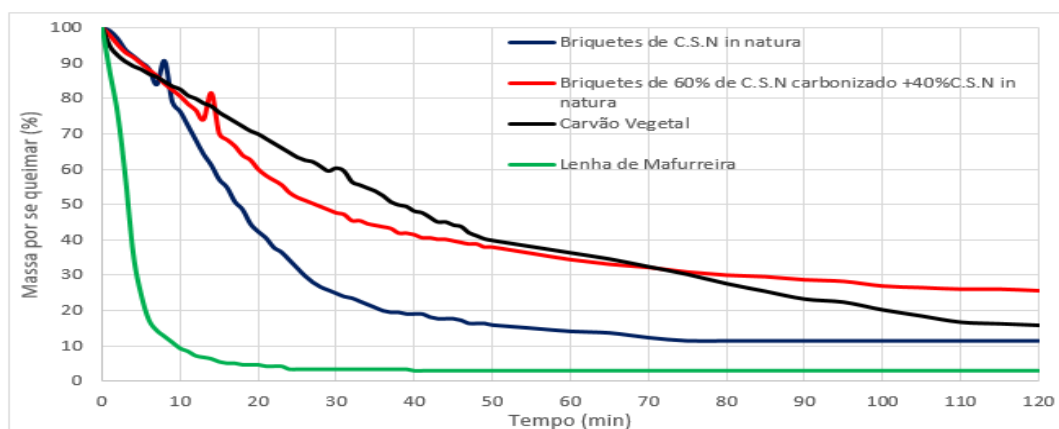


Figura 26: Variação do consumo da massa do combustível em função do tempo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 25, que corresponde a variação da temperatura em função do tempo, verificou-se que, os briquetes de C.S.N *in natura* atingiram a sua temperatura máxima de 625°C aos 9 minutos e permanecem aceso por 80 minutos, enquanto que, os briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* e carvão vegetal atingiram temperaturas máxima de 491,33°C e 486,67°C respectivamente, aos 2 minutos e permaneceram aceso por 120 minutos para ambos. A lenha de mafurreira atingiu a sua temperatura máxima de 575°C, aos 3 minutos do início da combustão e permaneceu aceso por 30 minutos. Entretanto, os briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* apresentaram temperaturas próximas as temperaturas do carvão vegetal, isto deve ao facto de o carvão vegetal apresentar baixo teor de material volátil em relação aos briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* (Tabela 3), e a lenha de mafurreira queima mais rápido e se esgota rapidamente do que outros combustíveis analisados neste estudo, devido ao seu alto teor de material volátil em relação aos mesmos combustíveis.

Na figura 26, que corresponde a variação da massa em função do tempo, observou-se que, a massa dos briquetes de C.S.N *in natura* é consumida por 70 minutos e em seguida permanece cinzas, a massa dos briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* e a massa do carvão vegetal é consumida de forma gradual durante 110 e 120 minutos respectivamente, e a massa da lenha de mafurreira é consumida de uma forma rápida durante 10 minutos, e foi este motivo que levou a lenha de mafurreira a ter baixo ICOM em relação aos combustíveis analisados no presente estudo.

Entretanto, aos 70 minutos a massa consumida dos briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* é igual a massa consumida do carvão vegetal, mas como o carvão vegetal tem baixo teor de cinzas em relação aos briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*, então, o carvão vegetal tende a ser consumido ao longo de tempo, enquanto que os briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* tende a estabilizar a massa formando cinzas.

4.13. Ensaio em equipamentos de combustão de combustíveis sólidos (Teste de fervura da água).

Os resultados do teste de fervura da água, utilizando os combustíveis em análise no presente estudo, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados do teste de fervura da água. Fonte: Elaborado pelo autor.

Amostra	Tempo (min)			Potência (KW)			Consumo Específico			η (%)
	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	
Briquetes de C.S.N <i>in natura</i>	14	15	45	4,27	3,44	0,49	1,37	1,08	0,42	24,98
Briquetes (60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N <i>in natura</i>)	26	15	45	3,13	0,95	0,59	2,67	0,84	0,39	23,87
Carvão Vegetal	27	15	45	4,23	1,58	1,17	0,96	0,35	0,18	24,74
Lenha de Mafurreira	15	15	45	5,09	4,99	0,27	1,75	1,7	0,23	19,13
Onde: A.P.F – Alta potência partida a frio; A.P.Q – Alta potencia partida a quente; B.P – Baixa potência, e η – Rendimento do sistema.										

De acordo com a Tabela 8, os briquetes de C.S.N *in natura* apresentaram uma potência que varia de 1,37 a 4,27KW, com um consumo específico que varia de 0,42 a 1,37, e rendimento de 24,98%. Os briquetes constituídos por 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* apresentaram uma potência que varia de 0,59 a 3,13KW (potência relativamente baixa em relação aos briquetes de C.S.N *in natura*), com um consumo específico relativamente alto em comparação com os briquetes de C.S.N *in natura*, que varia de 0,39 a 2,67, e um rendimento de 23,87%. Por sua vez o carvão vegetal apresentou rendimento de 24,74%, com uma potência que varia de 1,17 a 4,23 e o seu consumo específico varia de 0,18 a 0,96. A lenha de mafurreira apresentou uma potência que varia de 0,29 a 5,09KW, com consumo específico que varia de 0,23 a 1,75 e rendimento de 19,13%.

Victorino (1995), obteve para o carvão vegetal uma potência que varia de 1,5 a 4,3KW, com consumo específico que varia de 0,9 a 2,1 e um rendimento de 22,3% num fogão de boca quadrada, e no mesmo estudo, obteve para carvão vegetal uma potência que varia de 1,2 a 5,3KW, com consumo específico que varia de 0,5 a 0,7 e um rendimento de 31,5% num fogão protótipo de boca cilíndrica. Entretanto, é de se observar que, os valores encontrados no presente estudo para carvão vegetal, assim como briquetes são próximos aos valores encontrados pelo Victorino.

Os briquetes constituídos por 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* apresentaram o maior consumo específico na fase de alta potência partida a frio, facto que representa uma desvantagem, pois o valor encontrado representa a necessidade de 2,67 kg de combustível para evaporar 1 kg de água. Assim sendo, são desejáveis menores valores de consumo específico. Os briquetes de C.S.N *in natura* apresentaram um rendimento elevado em relação ao carvão vegetal, sugerindo que os briquetes de C.S.N *in natura* possuem uma eficiência comparável à do carvão, como combustível, isto significa que, os briquetes de C.S.N *in natura* torna se uma alternativa viável em situações onde se busca uma opção mais sustentável.

Embora o carvão vegetal tenha elevado poder calorífico em relação aos combustíveis em estudo, isto não significa que o carvão vegetal leve menos tempo para iniciar a fervura da água. Conforme observado na Tabela 8, a água levou mais tempo para atingir a temperatura de ebulição quando o carvão foi utilizado. O tempo necessário para ferver água é influenciado por vários factores, como a quantidade de água, o teor de voláteis do combustível (volatilização), eficiência na transferência de calor, potência de aquecimento e temperatura inicial da água (KALIAYAN & MOREY, 2009). A variação da temperatura da água em função tempo para cada tipo de combustível utilizado no presente trabalho está ilustrado nas figuras 27, 28, 29 e 30.

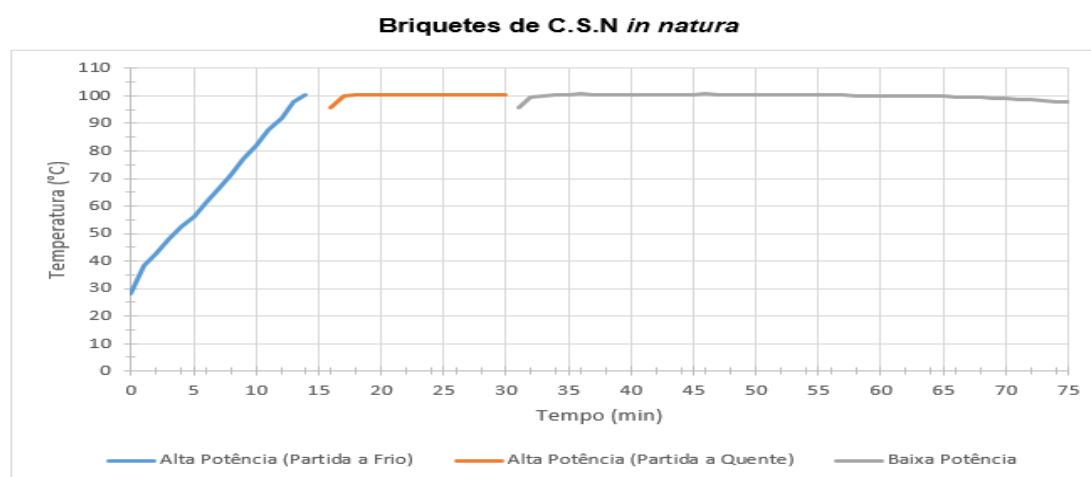


Figura 27: Variação da temperatura da água em função do tempo para briquetes de C.S.N *in natura*. Fonte: Elaborado pelo autor.

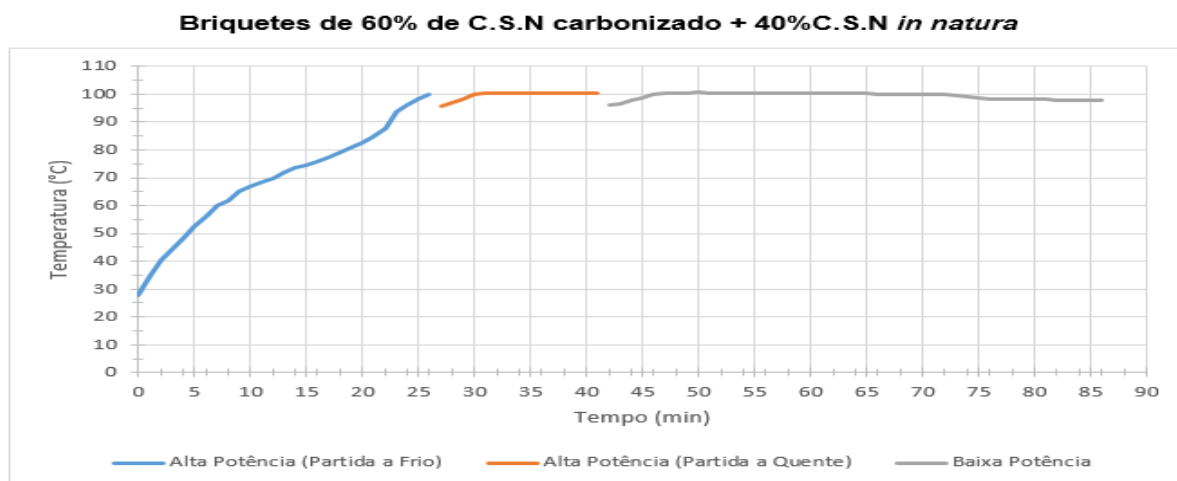


Figura 28: Variação da temperatura da água em função do tempo para briquetes de 60% de C.S.N carbonizado + 40% C.S.N *in natura*. Fonte: Elaborado pelo autor.

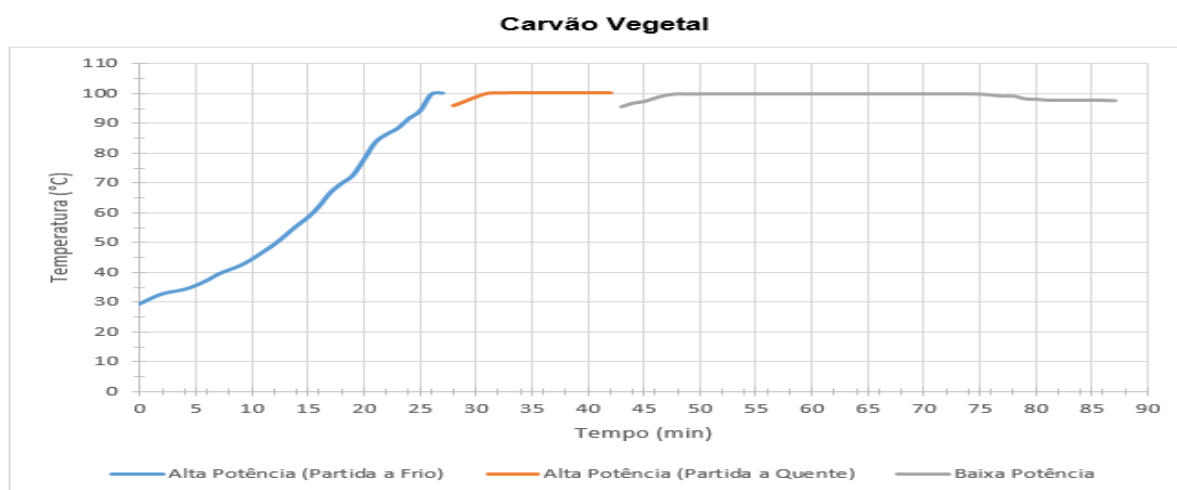


Figura 29: Variação da temperatura da água em função do tempo para Carvão vegetal. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 30: Variação da temperatura da água em função do tempo para lenha de mafurreira. Fonte: Arquivo do autor.

Analisando a primeira fase dos gráficos (alta potência partida a frio), observou-se que a temperatura da água cresce desde a sua temperatura inicial até a temperatura de

ebulição, sendo que os briquetes de C.S.N *in natura* levaram menos tempo para iniciar a fervura em relação aos outros combustíveis analisados neste estudo, e o carvão vegetal levou mais tempo para iniciar a fervura da água. No entanto, é importante ressaltar que o poder calorífico não é o único factor que determina o tempo de fervura da água. O teor de humidade e a eficiência da ignição resultante da presença de alto teor de material volátil também desempenha um papel significativo na geração do calor de forma mais rápida e consistente, acelerando o processo de aquecimento. O facto de os briquetes C.S.N *in natura* serem os primeiros a iniciar a fervura da água deve-se à presença de alto teor de material volátil, e baixo teor de humidade em relação à lenha de mafurreira, o teor de humidade é o factor que faz com que a lenha seja o segundo combustível a iniciar a fervura da água embora que tenha alto teor de material volátil em relação a todos combustíveis analisados no presente estudo.

Na fase de alta potência partida a quente, todos os combustíveis analisados levaram 15 minutos para estabilizar a temperatura da água em relação ao ponto de ebulição. Na fase de baixa potência não se observaram muitas variações de temperatura, pois o calor transmitido serve para vaporizar a água e, por conseguinte, a temperatura permanece constante em torno do ponto de ebulição da água e nos últimos minutos do teste, a temperatura da água começa a decrescer 2 ou 3°C do ponto de ebulição. De maneira geral, pode dizer-se que os briquetes produzidos apresentaram comportamento similar ao carvão vegetal e a lenha de mafurreira no teste de fervura da água, com destaque para os briquetes de C.S.N *in natura* que apresentaram um elevado rendimento em relação a todos combustíveis analisados no presente estudo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

5.1. Conclusões

Após a análise e discussão dos resultados concluiu-se que, a amostra de capim super napier *in natura* e carbonizada apresentou características físicas, químicas e térmicas satisfatórias para fins energético, apresentando valores de teor de cinzas, voláteis, carbono fixo e poder calorífico dentro dos intervalos recomendados.

Entretanto, na preparação da amostra carbonizada constatou-se que, é de extrema importância determinar o teor de humidade *in natura*, de forma a definir as condições ideais para o processo de carbonização, uma vez que, para C.S.N verde a carbonização ocorre a temperaturas acima de 400°C e a tempo de residência superior a 2 horas. Foi possível produzir briquetes *in natura* e carbonizado de C.S.N a 10,58% de humidade, pressão de 10 Mpa e temperatura de 120°C, e verificou-se que, para a

produção de briquetes carbonizados, a melhor proporção mássica do aglutinante foi de 40% de C.S.N *in natura*.

Os briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* apresentaram condições energética superiores em relação aos briquetes *in natura* de C.S.N, facto que pode ser constatado verificando o aumento no teor de carbono fixo, poder calorífico e densidade energética, mas os briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* apresentaram maior friabilidade quando comparado com os briquetes *in natura* de C.S.N, mas ambos foram classificados como sendo muito pouco friáveis.

Os resultados do teste de ICOM indicaram a viabilidade da produção de briquetes *in natura* e carbonizado de C.S.N, resultando em um combustível eficiente comparável ao carvão vegetal e a lenha de mafurreira, uma vez que os briquetes *in natura* e carbonizado apresentaram valores superiores de ICOM em relação ao valor da lenha de mafurreira. Os briquetes *in natura* de C.S.N apresentaram maior rendimento de 24,98% no teste de fervura em relação aos outros combustíveis analisados no presente trabalho, logo, isto mostra que, dependendo da aplicabilidade da energia a um determinado sistema, os briquetes *in natura* e carbonizado pode substituir a lenha e o carvão vegetal, por exemplo, para sistemas que requerem calor para aquecimento rápido e eficiente (Fogões e fornos a lenha) é mais pratico utilizar os briquetes *in natura* de C.S.N, e para sistema que requer um fluxo de calor constante por um período prolongado (Caldeiras industriais e sistemas de aquecimento em edifícios) é mais pratico utilizar briquetes carbonizados de C.S.N

5.2. Recomendações.

Com base nos resultados apresentados e nas limitações observadas durante a realização do trabalho, recomenda-se a análise de outros tipos de aglutinantes para a produção de briquetes carbonizados, uma vez que, pode existir aglutinantes que possibilite produzir com maior proporção mássica da amostra carbonizada em relação a melhor proporção mássica do carbonizado obtido neste trabalho, desta forma, aumentando o poder calorífico e a densidade energética, e recomenda-se a realização do teste de emissões para briquetes *in natura* e carbonizado de C.S.N, uma vez, o C.S.N apresenta alto teor de material volátil podendo contribuir na libertação de quantidades elevadas de material particulado e gases que podem prejudicar o meio ambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ADENE. (2014). A Utilização Racional de Energia nos Edifícios Públicos. (p. 28). Lisboa: Agência para energia.
- AGENAL. (2019, Agosto 25). *Energia*. Retrieved from WWW.agenal.pt.
- ALCÂNTARA, P., & BUFARAH, G. (1983). *Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas*. São Paulo: Nobel.
- ALER. (2017). Energias Renovaveis Em Moçambique.
- ALER. (2021). *Renovaveis em Moçambique*.
- ALER. (2022). *Renovaveis em Moçambique*.
- ALMEIDA, R. F., & COSTA, M. G. (2019). Biomassa e sustentabilidade: oportunidades para o desenvolvimento regional. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 12(3), 45-63.
- ANDREAE, M. O., & MERLET, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 955-956.
- ANEEL. (2015). Atlas de Energia Elétrica do Brasil., (p. 199). Brasil.
- ANTUNES, R. A., & OLIVEIRA, M. C. (2013). Corrosion in biomass combustion: amaterials selection analysis and its interaction with corrosion mechanisms and mitigation strategies Corrosion Science. Cambrige.
- ASTM D6913-04. (2009). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*.
- BRITO, J. O. (1993). *Expressão da produção florestal em unidades energéticas*. Rio de Janeiro .
- CEPAGRI. (2023). *Cultivation of Napier Grass in Zambézia*. Retrieved from Centro de Promoção da Agricultura: <http://www.CEPAGRI>
- CEPAGRI. (2023). *Estudo sobre a Produção de Forragem*. Retrieved from <http://www.CEPAGRI>
- CHEN, L., XING, L., & HANA, L. (2009). Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2689-2695.
- CHIES, V. (2008). Pesquisa investe em capim como fonte de energia. *Embrapa Agroenergia*.
- CIBIO, C. i. (2018). Biomassa. *Revista Brasileira de Biomassa e Energia*, 1-4.
- COLLAZZO, G., Broetto, C., Perondi, D., Junges, J., Dettmer, A., Dornelles Filho, A., . . . Godinho, M. A. (2017). Non-Isothermal Kinetic Study of Elephant Grass Pyrolysis from Different Models.

- CORTEZ, L. A., LORA, E. E., & GÓMEZ, E. O. (2008). *Biomassa para energia*. Campinas: UNICAMP.
- COSTA, A. L., & SILVA, J. P. (2015). A utilização de resíduos agrícolas na produção de energia: Potencialidades e desafios. *Anais do Simpósio Nacional de Energias Renováveis*. São Paulo, Brasil.
- CPF. (2024, Novembro 04). *Ciencias das Plantas Forrageiras*. Retrieved from <http://www.botanical-online.com/cereales.htm>
- DEMIRBAS, A. (2000). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 41(11), 1067-1068.
- DEMIRBAS, A. (2004). Briquetting properties of biomass waste materials. *Energy sources*, 83-91.
- DEREZ, F. (1999). Utilização do capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne. *Embrapa-CNPGL*, 29p.
- DIAS, J. (2012). Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. *Embrapa*, 40-59.
- EDENHOFER, O., PICHS-MADRUGA, R., & SOKONA, Y. (. (2011, Fevereiro 12). *Special report of intergovernmental panel on climate changes*. Retrieved from Geneva: Intergovernmental Panel on Climatechange: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf
- ELECTRICITY. (2018, Fevereiro 19). *Genesis Energy*. Retrieved from WWW.electrocity.co.nz.
- EMBRAPA. (2016). Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 115, 1-24.
- EMBRAPA. (2016). Uso da Biomassa para a Geração de Energia.
- EMBRAPA, P. L. (2008). *Capim Napier: Manejo e Qualidade para Silagem*.
- ESTATÍSTICAS AGRÍCOLAS. (2022). *Instituto Nacional de Estatística de Moçambique*. Retrieved from <http://www.INE Mozambique>
- FAO. (2020). *Agricultural Development in Maputo Province*. Retrieved from Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.FAO.org>
- FERREIRA, I. T. (2014). *Estimativa do Potencial Energético de Resíduos Celulósicos de Fabricação de Papel Através da Análise*.
- FERREIRA, L. S., SOUZA, M. A., & RIBEIRO, D. O. (2017). Processos térmicos aplicados à conversão de biomassa: uma abordagem experimental e teórica. *Engenharia Ambiental*, 23(2), 89-107.
- FILHO, J. (2013). *Análise Térmica e Energética de Briquetes de Capim Braquiária*. Rio de Janeiro-Brazil: Universidade Federal de Uberlândia.

- FREITAS, H. (2020). *Briquetagem*. Rio de Janeiro-Brazil.
- GODISH, T. D. (2014). *Air Quality*. CRC Press.
- GOLDEMBERG, J., COELHO, S. T., & GUARDABASSI, P. (2008). The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*, 2086-2097.
- GOLDER ASSOCIATES. (2014). *Projecto de Desenvolvimento do Âmbito do Acordo de Partilha de Produção (APP) e Projecto de Produção de Gás de Petróleo Liquefeito (GPL) em nome da Sasol Petroleum Moçambique Limitada & Sasol Petroleum Temane Limitada*.
- GOMES, E. F., LIMA, C. R., & PACHECO, A. M. (2017). Economia circular e a utilização de resíduos agrícolas na matriz energética: estudo de caso do capim super Napier. *Revista de Sustentabilidade e Inovação*, 4(1), 112-130.
- GROVER, P. D. (1996). *Biomass briquetting: Technology and practices*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- HANKINS. (2009). *A renewable energy plan for Mozambique*. Maputo-Moçambique: Justiça Ambiental.
- IEA. (2016, Maio 15). *Energy Statistics Manual*. Retrieved from http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/statistics_manual.pdf.
- IFAD. (2023). *Rural Development Projects in Nampula*. Retrieved from International Fund for Agricultural Development: <http://www.IFAD.org>
- INE. (2019). *Agricultural Census Report: Gaza Province*. Retrieved from Instituto Nacional de Estatística: <http://www.INE Mozambique>
- IRENA. (2021). *Renewables Readiness Assessment - Country case study- Mozambique Preliminary findings*. Abu Dhabi.
- ISO 17892-4. (2016). *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle size distribution*.
- ISO 18122. (2022). *Solid biofuels – Determination of ash content*.
- ISO 17225-3. (2021). *Norma para biocombustíveis sólidos*.
- JAIN, R., & SHARMA, T. (2019). Effect of Biomass Characteristics on Briquette Quality. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- JAYANEGARA A., M. H. (2019). Utilização de Capim Super Napier na Alimentação Animal: Revisão de Literatura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 110-120. Retrieved from Revista Brasileira de Zootecnia: <https://www.scielo.br/j/rbz>
- KALIYAN, N. M. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 333-359.
- KLIMONT, Z. K. (2017). *Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon*. Atmospheric Chemistry and Physics.

- KUMAR, A. S. (2022). Characterization of Napier grass for bioenergy production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111763>
- LEHMANN, J & JOSEPH. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Retrieved from Routledge: <https://www.routledge.com/Biochar-for-Environmental-Management/Lehmann-Joseph/p/book/9780415772031>
- LIMA, J. S., RIBEIRO, M. X., AMORIM, F. S., BORGES, C. H., SOUZA, M. P., & ABREU, Y. K. (2016). Produção e avaliação de briquetes de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivados com doses de nitrogênio. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11, 29-36.
- LOPES, B. A. (2004). Capim Elefante. *Seminário apresentado à disciplina de ZOO 645*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Brazil.
- MAGALHÃES, A. S. (2019). Produção e caracterização de briquetes a partir de resíduos sólidos e prensagem semi-manual. *Advances Forestry Science*, 705-710.
- MANI, S. T. (2006). Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 648-654.
- MANICKAM, L., & DURAISAMY, G. (2020). Characterization of biomass and biochar: an overview of techniques and their limitations. *Renewable Energy and Sustainability Reviews*.
- MARQUES. (2007). *Energias Fósseis versus Energias Renováveis: Proposta de Intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico*. Universidade do Minho-Braga.
- MENDES, P. R., & OLIVEIRA, D. S. (2016). Impactos ambientais e estratégias de mitigação: o papel dos combustíveis renováveis na redução de emissões de carbono. *Journal of Environmental Science*, 8(4), 201-217.
- MINISTERIO DA AGRICULTURA. (2021). *Modern Agricultural Practices in Manica*. Retrieved from Ministério da Agricultura de Moçambique: <http://Agricultura.org.mz>
- MINISTERIO DE ENERGIA. (2023). *Estatística de Energia*. Maputo-Moçambique.
- MOHAN, D. (2006). *Pyrolysis of wood/biomass for Bio-oil: A Critical Review*. Retrieved from Energy & Fuels: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef0502918>
- NAKASHIMA, G. T., MARTINS, M. P., DA SILVA, D. A., CHRISOSTOMO, W., YAMAJI, F., & DOLLAR, A.N. (2014). Aproveitamento de Resíduos Vegetais Para a Produção de Briquetes. 22-29.
- NAPIER, R. T. (2023). *Instituto de Pesquisa Agrícola de Moçambique*. Retrieved from <http://www.IIAM>

- NASCIMENTO JR., D. (1981). *Informações sobre plantas forrageiras*. MG-Brazil: UFV-Imprensa Universitária.
- NBR NM 248. (2003). *Agregados - Determinação da composição granulométrica, aplicável para biomassa em processos industriais*.
- NOGUEIRA, M. F., & RENDEIRO, G. (2008). Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. In C. e. Solida, *Soluções energéticas para a Amazônia*. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia (pp. 52-63).
- OLIVEIRA & SOLLENBERG, L. E. (2015). *Capim Elefante: Forragem versátil para a produção animal*. Retrieved from Embrapa Gado de Leite: <https://www.embrapa.br>
- OLIVEIRA. (2017). Aproveitamento de resíduos madeireiros de Pinus sp. para a produção de briquetes. *Revista de Ciências Agrárias*.
- PARIKH J., C. S. (2007). A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. *Fuel*, 1710-1719.
- PARIKH, J. C. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. 487-494.
- PATERLINI, F. (2013). Avaliação dos briquetes de capim-elefante e bagaço de cana-de-açúcar: aspectos de estabilidade dimensional e expansão longitudinal. Retrieved from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20163127608>
- PEREIRA, L. M., SANTOS, A. P., & RODRIGUES, T. F. (2019). Inovação tecnológica na briquetagem: Avaliação econômica e ambiental de briquetes de biomassa. *Congresso Internacional de Energias Renováveis*. Recife, Brazil.
- QUINTANILLA, J. E. (2012). Reatividade ao CO₂ de Carvões Minerais de Biomassas e coques. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos)*. Rio de Janeiro, Brazil: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- QUIRINO, W. F., & BRITO, J. O. (1991). Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. *Dissertação apresenta a Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo*. São Paulo (Brazil).
- RAMOS, L. (2010). *Producao e avaliacao de Briquetes de residuos lignocelulosicos*. Minas Gerais -Brazil: LAVRAS.
- REIS, B. d. (2015). *PRODUÇÃO DE BRIQUETES ENERGÉTICOS A PARTIR DE CAROÇOS DE AÇAÍ*. Minas Gerais-Brazil: UFPA.
- ROCHA, G. (2009). Avaliação do potencial energético do capim-elefante para produção de bioenergia. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, 3(2), 45-53.
- RODRIGUES, L. R., RODRIGUES, T. J., CASTRO, P. R., FERREIRA, S. O., YAMANDA, T., & FERREIRA, A.F. (2001). fisiologia de plantas forrageiras. In P. R. CASTRO, *Ecofisiologia da produção agrícola* (pp. 200-230). Piracicaba:POTAFÓS.

- RODRIGUES, M. C., ALMEIDA, F. H., & SOUZA, R. M. (2018). Capim super Napier: potencial energético e aplicações sustentáveis. *Revista Agroenergia*, 10(2), 77-95.
- SALES, C. (2012). PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CAPIM ELEFANTE COM VISTAS À SUA APLICAÇÃO COMO POZOLANA. *Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense*.
- SAMPAIO, LAURA, COSTA, ANDRADE, MARCELO, & CHIQUINHO. (2022). Ensaios contínuos de briquetagem em bancadas e piloto. Rio de Janeiro.
- SBRISSIA, A. (2004). *Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu sob lotação contínua*. Piracicaba: Tese de doutorado, USP:ESALQ.
- SEINFELD, J. H. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons.
- SENGAR, A. (2012). Study on Briquetting of Biomass with Binder. *Renewable energy*, 37(1), 33-39.
- SEYE, O. (2003). *Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (Pennisetumpurpureum Schaum)*. Campinas: Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
- SILVA, F. (2015). Características físico-químicas do Capim Napier. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 123-130.
- SILVA, J. M., ALMEIDA, C. P., & FERNANDES, R. T. (2020). Tecnologias emergentes na conversão de biomassa: Desafios e perspectivas para a produção de briquetes. *Energia e Desenvolvimento*, 15(1), 33-50.
- SILVA, R. G. (2020). *Produção e caracterização de briquetes de biomassas lignocelulosicas em diferentes granulometrias*. Rio Largo, AL: Universidade Federal de Alargos.
- SILVA, R., ALMEIDA, P., & COSTA, M. (2014). Estudo da estabilidade dimensional de briquetes produzidos a partir do capim super Napier. *Revista Brasileira de Engenharia de Recursos Naturais*, 8, 134-145.
- SILVA, T. (2012). Influência do teor de umidade no poder calorífico útil do capim elefante. *Anais do Congresso Brasileiro de Biomassa*, 5, 123-130.
- SILVA, T. (2021). Chemical composition and bioenergy potential of elephant grass genotypes. *Industrial Crops and Products*, 170. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113762>
- SINNOTT, E., NICOLAU, J., & LOPEZ, J. (2011). Clean Energy Assessment Report - Sustainable energy pathways: opportunities and challenges for Mozambique. *WWF Mozambique*, 45.

- SMEETS, FAAIJ, A., LEWANDOWSKI, I., & TURKENBURG, W. (2007). A Bottom-Up Assessment And Review Of Global Bio-Energy Potentials To 2050 Progress in Energy and Combustion Science.
- SOUZA, F., & VALE, A. T. (2016). Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), 405-413.
- SPADIM, E. R. (2020). Desenvolvimento de dispositivo automático para determinação do índice de combustão de briquetes. *Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista (Unesp)*.
- TAVARES, S. R., & SANTOS, T. E. (2013). Uso de Diferentes Fontes de Biomassa Vegetal para Produção de Biocombustíveis sólidos. *Holos*, 5, 19-27.
- TCACENCO, F., & BOTREL, M. (1997). Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In M. CARVALHO, M. ALVIN, & D. XAVIER, *Capim elefante: produção e utilização*. (pp. 1-30). Brasília: Embrapa-SPI e Juiz de Fora:Embrapa-Gado de Leite.
- VASCO, H., & COSTA, M. (2009). Quantification And Use Of Forest Biomass ResiduesIn Maputo Province, Mozambique, Biomass and Bioenergy.
- VAZ, K., STOREY, P., CIPRIANO, A., CUAMBA, B., D'ADDARIO, P., FALCÃO, P., & LEHMAN, N. (2010). Green Investments In Mozambique. *Banco de Moçambique, Agence Française de Development*.
- VICTORINO, A. (1995). Estudo sobre o fogão a carvão vegetal e o ensino de Física em Moçambique. *Monografia (Ensino de Física)*. Universidade Pedagógica, Beira.
- VIEIRA, S. M. (2017). *Produção de Carvão Vegetal para Fins Energéticos a partir da Carbonização de Capim Elefante (Pennisetum purpureum Schum.) e sua Briquetagem com Diferentes Agentes Aglutinantes*. Ouro Branco: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI .
- YAMAJI, M. (2013). Comportamento higroscópico e expansão longitudinal em briquetes de biomassa. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Briquetes-apos-acondicionamento-a-20C-e-60-UR-A-Nativa-B-Acicula-de_fig1_276508100
- YAMAN, S., ŞAHAN, M., HAYKIRI, ACMA, H., ŞESEN, K., & KUCUKBAYRAK, S. (2000). Production of fuel briquettes from olive refuse and paper mill waste. *Fuel Processing Technology*, 23-31.
- ZANELLA, K. (2018). Produção de briquetes de carvão vegetal por meio do beneficiamento do bagaço da laranja (Citrus sinensis). *Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas*. Campinas(Brazil).
- ZANINE, A. M., & SANTOS, E. M. (2016). *Potencial do Capim Elefante e Seus Híbridos*. Retrieved from Universidade Federal de Viçosa: <https://www.scielo.br/j/aa>

ZHANG, Y. (2020). Thermochemical conversion of Napier grass for biofuel production: A review. *Bioresource Technology*, 124083, 318. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124083>

APÊNDICES

Apêndice 1 – Características físicas, químicas e térmicas das amostras.

Tabela A.1. 1: Determinação da humidade *in natura* de C.S.N na base húmida.

Humidade <i>in natura</i>								
Amostra	Índice	Massa (g)	Tempo de Secagem (min)	Humidade (%)	Humidade Média (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de Confiança
Capim Super Napier	1	1	5,4	73,71		0,02	0,0008	73,71±0,0008
	2	1,0001	5,3	73,69	73,71			
	3	1,0001	5,4	73,73				

Tabela A.1. 2: Determinação do teor de humidade das amostras na base seca.

Teor de Humidade na base seca								
Amostra	Índice	Massa (g)	Tempo de Secagem (min)	Humidade (%)	Humidade Média (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança.	Intervalo de confiança.
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	1	5,2	10,58	10,58	0,04	0,0016	10,58±0,0016
	2	1,0001	5,4	10,54				
	3	1,0001	5	10,62				
Mistura (60% C.S.N carbonizado+40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	1,0001	3	9,52	9,52	0,01	0,0004	9,52±0,0004
	2	1,0002	4	9,51				
	3	1,0003	3,5	9,53				
Mistura (70% C.S.N Carbonizado+ 30% C.S.N <i>in natura</i>)	1	1,0002	3,4	8,51	8,51	0,01	0,0004	8,51±0,0004
	2	1,0002	3,1	8,52				
	3	1,0001	3,4	8,5				
Mistura (80% C.S.N Carbonizado+ 20% C.S.N <i>in natura</i>)	1	1	2,6	6,36	6,36	0,01	0,0004	6,36±0,0004
	2	1,0001	2,7	6,35				
	3	1,0001	2,8	6,37				
Mistura (90% C.S.N Carbonizado+10% C.S.N <i>in natura</i>)	1	1,0001	3,7	4,14	4,14	0,02	0,0008	4,14±0,0008
	2	1	3,9	4,12				
	3	1,0001	4	4,16				
C.S.N carbonizado	1	1,0002	5,2	1,84				
	2	1,0003	5,4	1,82				

		3	1,0001	5	1,86	1,84	0,02	0,0008	1,84±0,0008
Lenha de Mafurreira	1	1	1,0001	5	15,93	15,93	0,01	0,0004	15,93±0,0004
	2	1	1,0002	5,2	15,92				
	3	1	1	5,1	15,94				
Carvão Vegetal	1	1	1,0001	2,6	6,38	6,38	0,01	0,0004	6,38±0,0004
	2	1	1	2,4	6,37				
	3	1	1	2,6	6,39				

Tabela A.1. 3: Determinação do rendimento de carbonização da amostra de C.S.N

Rendimento de carbonização.									
Amostra	Tempo de residência (h)	Índice	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Rendimento gravimétrico (%)	Rendimento gravimétrico medio (%)	Desvio Padrão.	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim Super Napier	3	1	500	228,3	45,66	46,08	0,5048	0,0206	46,08±0,02
		2	500	233,2	46,64				
		3	500	229,7	45,94				

Tabela A.1. 4: Determinação das características granulométricas dos resíduos de C.S.N in natura.

Análise granulométrica de C.S.N in natura							
Abertura (mm)	Massas Retidas (g)			Massa Media (g)	Fracção Retida (%)	Fracção Retida Acumulada (%)	Fracção Acumulada Passante (%)
2,5	0,63	0,43	0,42	0,49333	0,50	0,5	99,50
2	0,49	0,39	0,39	0,42333	0,43	0,93	99,07
1,6	8,21	1,67	1,5	3,79333	3,82	4,75	95,25
1,25	4,91	4,82	4,46	4,73000	4,76	9,51	90,49
1	15,4	14,14	12,01	13,85000	13,95	23,46	76,54
0,9	8,13	11,99	13,1	11,07333	11,15	34,62	65,38
0	61,5	65,81	67,43	64,91333	65,39	100,00	0,00
Total	99,27	99,25	99,31	99,27667	100,00		

Tabela A.1. 5: Determinação das características granulométricas de C.S.N carbonizado.

Análise granulométrica de C.S.N Carbonizado							
Abertura (mm)	Massas Retidas (g)			Massa Média (g)	Fração Retida (%)	Fração Retida Acumulada (%)	Fração Acumulada Passante (%)
2,5	0	0	0	0,00000	0,00	0,00	100,00
2	0	0	0	0,00000	0,00	0,00	100,00
1,6	0	0	0	0,00000	0,00	0,00	100,00
1,25	0,03	0,02	0,03	0,02667	0,03	0,03	99,97
1	0,04	0,05	0,04	0,04333	0,04	0,07	99,93
0,9	4,44	4,45	4,47	4,45333	4,47	4,54	95,46
0	94,58	95,4	95,39	95,12333	95,46	100,00	0,00
Total	99,09	99,92	99,93	99,64667	100,00		

Tabela A.1. 6: Determinação da densidade a granel das amostras.

Densidade a granel									
Amostra	Índice	Massa do Balão Vazio (g)	Volume do Balão (ml)	Massa (Balão + Amostra) (g)	Densidade a granel (g/ml)	Densidade a granel média (g/ml)	Desvio Padrão.	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	34,3	50	49,5	0,304	0,303	0,006	0,0002	0,3027±
	2	34,3	50	49,1	0,296				0,0002
	3	34,3	50	49,7	0,308				
Mistura (60% C.S.N carbonizado+40%C.S.N <i>in natura</i>)	1	34,3	50	51,8	0,35	0,352	0,002	8,18*10 ⁻⁵	0,352±
	2	34,3	50	52	0,354				8,18*10 ⁻⁵
	3	34,3	50	51,9	0,352				
Mistura (70%C.S.N Carbonizado+ 30% C.S.N <i>in natura</i>)	1	34,3	50	52,2	0,358	0,356	0,004	0,0001	0,356±
	2	34,3	50	52,2	0,358				0,0001
	3	34,3	50	51,9	0,352				
Mistura (80%C.S.N Carbonizado+ 20% C.S.N <i>in natura</i>)	1	34,3	50	52	0,354	0,359	0,005	0,0002	0,359±
	2	34,3	50	52,2	0,358				0,0002
	3	34,3	50	52,5	0,364				
Mistura (90%C.S.N	1	34,3	50	52,6	0,366				
	2	34,3	50	52,6	0,366	0,367	0,001	4,72*10 ⁻⁵	

Carbonizado+ 10% C.S.N in natura	3	34,3	50	52,7	0,368				0,367± 4,72*10 ⁻⁵
C.S.N Carbonizado	1	34,3	50	52,6	0,366	0,375	0,008	0,0003	0,375±
	2	34,3	50	53,3	0,38				
	3	34,3	50	53,2	0,378				0,0003

Tabela A.1. 7: Determinação de Teores de cinzas das amostras.

Teor de cinzas.									
Amostra	Índice	Massa do cadinho vazio (g)	Massa da Amostra (g)	Massa do cadinho +Cinzas (g)	Teor de Cinzas (%)	Teor de cinzas medio (%)	Desvio Padrão.	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	27,9446	2,0008	28,377	21,611	21,9	0,317	0,013	21,9±
	2	29,1101	2,0005	29,5472	21,85				
	3	16,601	2	17,0458	22,24				0,013
Mistura (60%C.S.N carbonizado+ 40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	12,3469	2,0009	12,9356	29,422	29,18	0,213	0,009	29,18±
	2	12,8452	2,001	13,4259	29,02				
	3	27,3959	2,0006	27,978	29,096				0,009
Mistura (70%C.S.N Carbonizado+30% C.S.N <i>in natura</i>)	1	16,605	2,0006	17,1814	28,811	28,59	0,228	0,009	28,591±
	2	41,8158	2,0017	42,3884	28,606				
	3	27,3689	2,0014	27,9364	28,355				0,009
Mistura (80%C.S.N Carbonizado+20% C.S.N <i>in natura</i>)	1	25,984	2	26,6026	30,93	30,12	5,478	0,224	30,118±
	2	25,2029	2,0008	25,6887	24,28				
	3	25,0971	2,0003	25,8001	35,145				0,224
Mistura (90%C.S.N Carbonizado+10% C.S.N <i>in natura</i>)	1	29,1028	2,001	29,7055	30,12	29,62	0,493	0,02	29,62±
	2	27,9252	2,0016	28,5178	29,606				
	3	27,4023	2	27,985	29,135				0,02
C.S.N carbonizado	1	51,1028	2,0014	51,7414	31,908	31,92	0,013	0,001	31,915±
	2	38,5466	2,0006	39,1854	31,93				
	3	40,6397	2,0011	41,2782	31,907				0,001
Lenha de Mafurreira	1	51,3552	2,0008	51,6138	12,925	12,61	0,302	0,012	12,612±
	2	40,6357	2,0001	40,8875	12,589				
	3	25,0949	2,0006	25,3414	12,321				0,012
Carvão Vegetal	1	41,8149	2,0003	41,9751	8,009	8,032	0,02	0,001	8,032±
	2	29,1028	2,0006	29,2637	8,043				
	3	27,3666	2,0001	27,5275	8,045				0,001

Tabela A.1. 8: Determinação do teor de voláteis das amostras.

Teor de voláteis.									
Amostra	Índice	Massa do cadinho vazio (g)	Massa da Amostra (g)	Massa do cadinho + carvão (g)	Teor de voláteis (%)	Teor de voláteis medio (%)	Desvio padrão.	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier <i>in natura</i>	1	58,1625	1,0009	58,5556	60,725	61	0,667	0,03	61± 0,03
	2	48,316	1,0008	48,6987	61,761				
	3	48,0512	1,0001	48,4461	60,514				
Mistura (60% C.S.N car.+ 40% <i>in natura</i>)	1	48,3287	1,0001	48,9248	40,395	41,71	1,202	0,05	41,71± 0,05
	2	57,9218	1,0003	58,4944	42,757				
	3	48,3283	1,0004	48,9089	41,963				
Mistura (70% C.S.N car.+ 30% <i>in natura</i>)	1	58,2775	1,0009	58,8643	41,373	40,561	1,483	0,061	40,561± 0,061
	2	57,8889	1,0007	58,4747	41,461				
	3	46,776	1,0008	47,388	38,849				
Mistura (80% C.S.N car. + 20% <i>in natura</i>)	1	47,6308	1,0013	48,3091	32,258	33,232	1,521	0,062	33,23± 0,06
	2	47,2492	1,0016	47,9004	34,984				
	3	46,8598	1,0002	47,5354	32,454				
Mistura (90% C.S.N car + 10% <i>in natura</i>)	1	46,8389	1,0007	47,5429	29,649	30,867	1,077	0,044	30,867± 0,044
	2	47,558	1,0017	48,2466	31,257				
	3	47,3022	1,0014	47,9862	31,697				
C.S.N carbonizado	1	58,009	1,0021	58,757	25,357	26,536	1,622	0,066	26,536± 0,066
	2	57,9103	1,0013	58,6526	25,866				
	3	47,031	1,0005	47,7475	28,386				
Lenha de Mafurreira	1	47,0537	1,0006	47,3594	69,448	69,872	0,685	0,028	69,872± 0,028
	2	57,6102	1,0001	57,9036	70,663				
	3	58,2302	1,0002	58,5352	69,506				
Carvão Vegetal	1	47,0556	1,0005	47,9539	10,215	9,976	0,684	0,028	9,976± 0,028
	2	57,9759	1,0006	58,8844	9,204				
	3	57,8641	1,0002	58,7592	10,508				

Tabela A.1. 9: Determinação do teor de carbono fixo das amostras.

Teor de carbono fixo.								
Amostra	Índice	Teor de cinzas (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Teor de Carbono Fixo Medio (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	21,611	60,725	17,663	17,1	0,649	0,027	17,1± 0,027
	2	21,85	61,761	16,39				
	3	22,24	60,514	17,246				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40%C.S.N <i>in natura</i>)	1	29,422	40,396	30,182	29,115	0,992	0,041	29,115± 0,041
	2	29,02	42,757	28,222				
	3	29,096	41,963	28,941				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30%C.S.N <i>in natura</i>)	1	28,811	41,373	29,816	30,848	1,688	0,069	30,848± 0,069
	2	28,606	41,461	29,933				
	3	28,355	38,849	32,796				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20%C.S.N <i>in natura</i>)	1	30,93	32,258	36,812	36,65	4,169	0,17	36,65± 0,17
	2	24,280	34,984	40,736				
	3	35,145	32,454	32,402				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10%C.S.N <i>in natura</i>)	1	30,12	29,649	40,231	39,512	0,622	0,025	39,512± 0,025
	2	29,606	31,257	39,137				
	3	29,135	31,696	39,169				
C.S.N Carbonizado	1	31,908	25,357	42,736	41,549	1,617	0,066	41,549± 0,066
	2	31,93	25,866	42,203				
	3	31,907	28,386	39,707				
Lenha de Mafurreira	1	12,925	69,448	17,627	17,516	0,719	0,029	17,516± 0,029
	2	12,589	70,663	16,748				
	3	12,321	69,506	18,173				
Carvão Vegetal	1	8,009	10,215	81,776	81,992	0,679	0,028	81,992± 0,028
	2	8,043	9,204	82,753				
	3	8,045	10,508	81,448				

Tabela A.1. 10: Determinação do teor de hidrogénio das amostras.

Teor de hidrogénio.								
Amostra	Índice	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Teor de Hidrogénio (%)	Teor Medio de Hidrogénio (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de Confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	60,725	17,663	4,683	4,671	0,02	0,0008	4,671± 0,0008
	2	61,761	16,39	4,681				
	3	60,514	17,246	4,649				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	40,396	30,182	4,074	4,1	0,023	0,0009	4,1± 0,0009
	2	42,757	28,222	4,119				
	3	41,963	28,941	4,107				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30%C.S.N <i>in natura</i>)	1	41,373	29,816	4,116	4,119	0,007	0,0003	4,119± 0,0003
	2	41,461	29,933	4,127				
	3	38,849	32,796	4,114				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20%C.S.N <i>in natura</i>)	1	32,258	36,812	3,914	3,966	0,299	0,012	3,966± 0,012
	2	34,984	40,736	4,287				
	3	32,454	32,402	3,697				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10%C.S.N <i>in natura</i>)	1	29,649	40,231	3,93	3,968	0,036	0,001	3,968± 0,001
	2	31,257	39,137	3,973				
	3	31,696	39,169	4,002				
C.S.N carbonizado	1	25,357	42,736	3,794	3,806	0,016	0,0007	3,806± 0,0007
	2	25,866	42,203	3,798				
	3	28,386	39,707	3,825				
Lenha de Mafurreira	1	69,448	17,627	5,222	5,243	0,018	0,0007	5,243± 0,0007
	2	70,663	16,748	5,252				
	3	69,506	18,173	5,254				
Carvão Vegetal	1	10,215	81,776	4,886	4,882	0,007	0,0003	4,882± 0,0003
	2	9,204	82,753	4,874				
	3	10,508	81,448	4,887				

Tabela A.1. 11: Determinação do Teor de carbono das amostras.

Teor de carbono.								
Amostra	Índice	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Teor de Carbono (%)	Teor Medio de Carbono (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de confiança.
Capim super napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	60,725	17,663	38,882	38,648	0,203	0,008	38,648± 0,008
	2	61,761	16,39	38,541				
	3	60,514	17,246	38,52				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	40,396	30,182	37,606	37,522	0,087	0,004	37,522± 0,004
	2	42,757	28,222	37,432				
	3	41,963	28,941	37,528				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30%C.S.N <i>in natura</i>)	1	41,373	29,816	37,817	38,106	0,404	0,017	38,106± 0,017
	2	41,461	29,933	37,932				
	3	38,849	32,796	38,567				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20%C.S.N <i>in natura</i>)	1	32,258	36,812	38,127	38,466	3,243	0,133	38,466± 0,133
	2	34,984	40,736	41,866				
	3	32,454	32,402	35,406				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10%C.S.N <i>in natura</i>)	1	29,649	40,231	39,117	39,214	0,138	0,006	39,214± 0,006
	2	31,257	39,137	39,152				
	3	31,696	39,169	39,372				
C.S.N carbonizado	1	25,357	42,736	38,76	38,54	0,292	0,012	38,54± 0,012
	2	25,866	42,203	38,653				
	3	28,386	39,707	38,209				
Lenha de Mafurreira	1	69,448	17,627	42,827	42,949	0,218	0,009	42,949± 0,009
	2	70,663	16,748	42,82				
	3	69,506	18,173	43,201				
Carvão Vegetal	1	10,215	81,776	56,739	56,768	0,122	0,005	56,768± 0,005
	2	9,204	82,753	56,902				
	3	10,508	81,448	56,663				

Tabela A.1. 12: Determinação do teor de oxigénio nas amostras.

Teor de Oxigénio.								
Amostra	Índice	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Teor de oxigénio (%)	Teor Medio de Oxigénio (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo Confiança
Capim super napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	60,725	17,663	34,275	34,234	0,17	0,007	34,234± 0,007
	2	61,761	16,39	34,381				
	3	60,514	17,246	34,047				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40%C.S.N <i>in natura</i>)	1	40,396	30,182	28,404	28,703	0,271	0,011	28,703± 0,011
	2	42,757	28,222	28,932				
	3	41,963	28,941	28,772				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30%C.S.N <i>in natura</i>)	1	41,373	29,816	28,757	28,685	0,197	0,008	28,685± 0,008
	2	41,461	29,933	28,835				
	3	38,849	32,796	28,462				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20%C.S.N <i>in natura</i>)	1	32,258	36,812	26,546	26,96	1,903	0,078	26,96± 0,078
	2	34,984	40,736	29,036				
	3	32,454	32,402	25,298				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10%C.S.N <i>in natura</i>)	1	29,649	40,231	26,343	26,705	0,332	0,014	26,705± 0,014
	2	31,257	39,137	26,776				
	3	31,696	39,169	26,995				
C.S.N carbonizado	1	25,357	42,736	25,061	25,262	0,28	0,011	25,262± 0,011
	2	25,866	42,203	25,142				
	3	28,386	39,707	25,582				
Lenha de Mafurreira	1	69,448	17,627	38,416	38,584	0,157	0,006	38,584± 0,006
	2	70,663	16,748	38,727				
	3	69,506	18,173	38,609				
Carvão Vegetal	1	10,215	81,776	29,722	29,674	0,119	0,005	29,674± 0,005
	2	9,204	82,753	29,538				
	3	10,508	81,448	29,762				

Tabela A.1. 13: Determinação do poder calorífico superior das amostras.

Poder calorífico superior.									
Amostra	Índice	Teor de cinzas (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Poder calorífico Superior (Kcal/Kg)	Poder calorífico Superior medio (Kcal/Kg)	Desvio Padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier <i>in natura</i>	1	21,611	60,725	17,66	3715,071	3677,138	35,181	1,438	3677,138 ±1,44
	2	21,85	61,761	16,39	3645,582				
	3	22,24	60,514	17,25	3670,761				
Mistura (60%C.S.N carbonizado+ 40% <i>in natura</i>)	1	29,422	40,396	30,18	4001,022	3960,073	38,696	1,582	3960,073 ±1,582
	2	29,02	42,757	28,22	3924,113				
	3	29,096	41,963	28,94	3955,083				
Mistura (70%C.S.N carbonizado+ 30% <i>in natura</i>)	1	28,811	41,373	29,82	4007,591	4065,009	87,939	3,595	4065,01 ±3,595
	2	28,606	41,461	29,93	4021,188				
	3	28,355	38,849	32,8	4166,248				
Mistura (80%C.S.N carbonizado+ 20% <i>in natura</i>)	1	30,93	32,258	36,81	4255,267	4279,362	409,953	16,76	4279,362 ±16,76
	2	24,28	34,984	40,74	4700,831				
	3	35,145	32,454	32,4	3881,987				
Mistura (90%C.S.N carbonizado+ 10% <i>in natura</i>)	1	30,12	29,649	40,23	4448,504	4434,099	15,981	0,653	4434,1 ±0,653
	2	29,606	31,257	39,14	4416,907				
	3	29,135	31,696	39,17	4436,885				
Capim super napier Carbonizado	1	31,908	25,357	42,74	4496,912	4440,528	76,224	3,116	4440,53 ±3,116
	2	31,93	25,866	42,2	4470,866				
	3	31,907	28,386	39,71	4353,806				
Lenha de Mafurreira	1	12,925	69,448	17,63	4053,202	4060,196	39,376	1,61	4060,196 ±1,61
	2	12,589	70,663	16,75	4024,786				
	3	12,321	69,506	18,17	4102,601				
Carvão Vegetal	1	8,009	10,215	81,78	7276,625	7285,921	31,913	1,304	7285,921 ±1,304
	2	8,043	9,204	82,75	7321,45				
	3	8,045	10,508	81,45	7259,689				

Tabela A.1. 14: Determinação do poder calorífico inferior das amostras.

Poder calorífico inferior.								
Amostra	Índice	Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	Teor de Hidrogénio (%)	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)	Poder calorífico inferior medio (Kcal/Kg)	Desvio Padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	3715,071	4,683	3712,542	3674,615	35,178	1,438	3674,615 ±1,438
	2	3645,582	4,681	3643,054				
	3	3670,761	4,649	3668,25				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	4001,022	4,074	3998,822	3957,859	38,709	1,582	3957,859 ±1,582
	2	3924,113	4,119	3921,889				
	3	3955,083	4,107	3952,865				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>)	1	4007,591	4,116	4005,369	4062,785	87,941	3,595	4062,785 ±3,595
	2	4021,188	4,127	4018,959				
	3	4166,248	4,114	4164,027				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>)	1	4255,267	3,914	4253,153	4277,22	409,793	16,751	4277,22 ±16,751
	2	4700,831	4,287	4698,516				
	3	3881,987	3,697	3879,99				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>)	1	4448,504	3,93	4446,381	4431,956	15,991	0,654	4431,956 ±0,654
	2	4416,907	3,973	4414,762				
	3	4436,885	4,002	4434,724				
Capim super napier Carbonizado	1	4496,912	3,794	4494,863	4438,473	76,233	3,116	4438,473 ±3,116
	2	4470,866	3,798	4468,815				
	3	4353,806	3,825	4351,741				
Lenha de Mafurreira	1	4053,202	5,222	4050,381	4057,365	39,374	1,609	4057,365 ±1,609
	2	4024,786	5,252	4021,95				
	3	4102,601	5,254	4099,764				
Carvão Vegetal	1	7276,625	4,886	7273,987	7283,285	31,916	1,305	7283,285 ±1,305
	2	7321,45	4,874	7318,818				
	3	7259,689	4,887	7257,05				

Tabela A.1. 15: Determinação do poder calorífico útil das amostras.

Poder calorífico útil								
Amostra	Índice	Teor de Humidade (%)	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)	Poder Calorífico Útil (Kcal/Kg)	Poder calorífico Útil medio (Kcal/Kg)	Desvio padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim super napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	10,58	3712,542	3319,12	3285,203	30,965	1,266	3285,203 ±1,266
	2	10,54	3643,054	3258,444				
	3	10,62	3668,25	3278,045				
Mistura (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N <i>in natura</i>)	1	9,52	3998,822	3617,563	3580,498	34,869	1,425	3580,498 ±1,425
	2	9,51	3921,889	3548,347				
	3	9,53	3952,865	3575,585				
Mistura (70%C.S.N carbonizado +30% C.S.N <i>in natura</i>)	1	8,51	4005,369	3664,001	3716,536	80,798	3,303	3716,536 ±3,303
	2	8,52	4018,959	3676,032				
	3	8,5	4164,027	3809,574				
Mistura (80%C.S.N carbonizado +20% C.S.N <i>in natura</i>)	1	6,36	4253,153	3982,271	4004,834	384,16	15,703	4004,834 ±15,703
	2	6,35	4698,516	4399,779				
	3	6,37	3879,99	3632,453				
Mistura (90%C.S.N carbonizado +10% C.S.N <i>in natura</i>)	1	4,14	4446,381	4262,053	4248,223	14,793	0,605	4248,223 ±0,605
	2	4,12	4414,762	4232,626				
	3	4,16	4434,724	4249,99				
C.S.N carbonizado	1	1,84	4494,863	4412,047	4356,702	75,506	3,086	4356,702 ±3,086
	2	1,82	4468,815	4387,373				
	3	1,86	4351,741	4270,687				
Lenha de Mafurreira	1	15,93	4050,381	3404,2	3410,069	32,7	1,337	3410,069 ±1,337
	2	15,92	4021,95	3380,701				
	3	15,94	4099,764	3445,305				
Carvão Vegetal	1	6,38	7273,987	6809,524	6818,231	30,587	1,25	6818,231 ±1,25
	2	6,37	7318,818	6852,227				
	3	6,39	7257,05	6792,941				

Tabela A.1. 16: Determinação da densidade Energética dos resíduos.

Densidade Energética dos resíduos.								
Amostra	Índice	Densidade a granel (g/cm ³)	Poder Calorífico Útil (Kcal/Kg)	Densidade Energética dos resíduos (Kcal/m ³)	Densidade energética dos resíduos Média (Kcal/m ³)	Desvio Padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de Confiança
Capim super Napier <i>in natura</i>	1	0,304	3319,12	1009012,5	994383,3	25882,1	1058	994383,3 ±1058
	2	0,296	3258,444	964499,4				
	3	0,308	3278,045	1009637,8				
Mistura (60% C.S.N car. + 40% <i>in natura</i>)	1	0,35	3617,563	1266147	1260289,3	5223,6	213,5	1206289,3 ±213,5
	2	0,354	3548,347	1256114,8				
	3	0,352	3575,585	1258606				
Mistura (70% C.S.N car. + 30% <i>in natura</i>)	1	0,358	3664,001	1311712,4	1322900,7	15796,1	645,7	1322900,7 ±645,7
	2	0,358	3676,032	1316019,6				
	3	0,352	3809,574	1340970,1				
Mistura (80% C.S.N car. + 20% <i>in natura</i>)	1	0,354	3982,271	1409724,1	1435685,9	128437,2	5250	1435685,9 ±5250
	2	0,358	4399,779	1575120,8				
	3	0,364	3632,453	1322212,8				
Mistura (90% C.S.N car. + 10% <i>in natura</i>)	1	0,366	4262,053	1559911,3	1557682,9	7674,1	313,7	1557682,9 ±313,7
	2	0,366	4232,626	1549141,2				
	3	0,368	4249,99	1563996,3				
C.S.N Carbonizado	1	0,366	4412,047	1614809,1	1632110,2	30391,3	1242,3	1632110,2 ±1242,3
	2	0,38	4387,373	1667201,9				
	3	0,378	4270,687	1614319,6				

Apêndice 2 – Características físicas, mecânicas e térmicas dos briquetes.

Tabela A.2. 1: Determinação da Expansão longitudinal de briquetes de C.S.N in natura.

Expansão longitudinal de briquetes de C.S.N in natura										
Tempo (h)	Altura (mm)			Expansão Longitudinal (%)			Expansão longitudinal Media (%)	Desvio Padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.1	Exp.2	Exp.3				
0	26,29	25,87	24,76	0	0	0	0	0	0	0
48	26,54	26,11	25,08	0,95	0,93	1,29	1,06	0,20	0,008	1,06±0,008
72	26,52	26,18	25,02	0,87	1,20	1,05	1,04	0,16	0,007	1,04±0,007
96	26,61	26,16	25,08	1,22	1,12	1,29	1,21	0,09	0,004	1,21±0,004
120	26,71	26,32	25,18	1,60	1,74	1,70	1,68	0,07	0,003	1,68±0,003
144	26,72	26,3	25,1	1,64	1,66	1,37	1,56	0,16	0,007	1,56±0,007
168	26,72	26,3	25,1	1,64	1,66	1,37	1,56	0,16	0,007	1,56±0,007

Tabela A.2. 2: Determinação da Expansão longitudinal de briquetes (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N in natura)

Expansão longitudinal de briquetes (60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N in natura)										
Tempo (h)	Altura (mm)			Expansão Longitudinal (%)			Expansão longitudinal Media (%)	Desvio padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.1	Exp.2	Exp.3				
0	36,02	34	35,43	0	0	0	0	0	0	0
48	36,12	34,16	35,47	0,28	0,47	0,11	0,29	0,18	0,007	0,29±0,007
72	36,14	34,2	35,55	0,33	0,59	0,34	0,42	0,15	0,006	0,42±0,006
96	36,48	34,34	35,76	1,28	1,00	0,93	1,07	0,18	0,007	1,07±0,007
120	36,4	34,4	35,7	1,05	1,18	0,76	1,00	0,21	0,009	1±0,009
144	36,4	34,4	35,7	1,05	1,18	0,76	1,00	0,21	0,009	1±0,009
168	36,4	34,4	35,7	1,05	1,18	0,76	1,00	0,21	0,009	1±0,009

Tabela A.2. 3: Determinação da densidade aparente dos briquetes.

Densidade Aparente de Briquetes.										
Amostra	Índice	Massa (g)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (m ³)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Densidade aparente medio (kg/m ³)	Desvio padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de confiança
Capim super Napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	59,8	26,72	50,1	5,26*10 ⁻⁵	1135,8	1159,1	34,75	1,42	1159,1 ±1,42
	2	59,2	26,3	50,1	5,18*10 ⁻⁵	1142,4				
	3	59,3	25,1	50,1	4,95*10 ⁻⁵	1199				
Mistura (60% C.S.N car. + 40% <i>in natura</i>)	1	59,4	36,4	50,23	5,22*10 ⁻⁵	1137	1191,8	64,13	2,62	1191,8 ±2,62
	2	58,9	34,4	50,23	4,67*10 ⁻⁵	1262,3				
	3	59,1	35,7	50,23	5,03*10 ⁻⁵	1176				

Tabela A.2. 4: Determinação da densidade energética dos briquetes.

Densidade Energética dos Briquetes.								
Amostra	Índice	Densidade aparente (Kg/m ³)	Poder Calorífico Útil (Kcal/Kg)	Densidade Energética (Kcal/m ³)	Densidade energética Media (Kcal/m ³)	Desvio Padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo de Confiança
Capim super napier (C.S.N) <i>in natura</i>	1	1135,8	3319,1	3770010,7	3807668,9	109021,1	4456,3	3897668,9 ±4456,3
	2	1142,4	3258,4	3722469,2				
	3	1199	3278	3930526,9				
Mistura (60% C.S.N car. + 40% <i>in natura</i>)	1	1137	3617,6	4113077,9	4265726,9	190423,6	7783,7	4265726,9 ±7783,7
	2	1262,3	3548,3	4479109,3				
	3	1176	3575,6	4204993,6				

Tabela A.2. 5: Determinação da friabilidade dos briquetes.

Friabilidade dos briquetes.									
Amostra	Humidade (%)	Índice	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa perdida (%)	Massa media Perdida (%)	Desvio padrão	Erro com 95% de Confiança	Intervalo de confiança (%)
Briquete de Capim super napier (C.S.N) <i>in natura</i>	10,58	1	57,8	57,3	0,865	0,693	0,171	0,007	0,693 ±0,007
		2	57,8	57,4	0,692				
		3	57,4	57,1	0,523				
Mistura (70% C.S.N carbonizado + 30% C.S.N <i>in natura</i>)	10,58	1	59,2	55,4	6,419	7,315	0,777	0,032	7,315 ± 0,032
		2	59,4	54,8	7,744				
		3	59,1	54,5	7,783				
Mistura (60% C.S.N carbonizado + 40% C.S.N <i>in natura</i>)	10,58	1	58,6	57,2	2,389	1,608	0,755	0,031	1,608 ±0,031
		2	56,7	56,2	0,882				
		3	57,9	57	1,554				
Mistura (80% C.S.N carbonizado + 20% C.S.N <i>in natura</i>)	10,58	1	58	41,7	28,103	-	-	-	-
		-	-	-	-				
		-	-	-	-				
Mistura (90% C.S.N carbonizado + 10% C.S.N <i>in natura</i>)	10,58	1	59,9	41,7	30,384	-	-	-	-
		-	-	-	-				
		-	-	-	-				

Tabela A.2. 6: Variação da Temperatura na combustão de briquetes *in natura* de C.S.N

Variação da Temperatura no teste de ICOM de briquetes <i>in natura</i> de C.S.N				
Tempo (min)	Temperatura (°C)			Temperatura Media (°C)
	1ª Experiencia	2ª Experiencia	3ª Experiencia	
0	24,2	20,5	21,4	22,03
1	180,1	96,4	220	165,50
2	287	402	306	331,67
3	352	360	372	361,33
4	401,1	539	392	444,03
5	407,5	570	408	461,83
6	420,3	574	431	475,10
7	523	579	560	554,00
8	590	598	580	589,33
9	618	619	638	625,00

10	624	618	624	622,00
11	595	596	610	600,33
12	589	591	590	590,00
13	580	580	580	580,00
14	575	570	578	574,33
15	550	549	568	555,67
16	545	545	550	546,67
17	520	516	540	525,33
18	510	440	509	486,33
19	495	440	497	477,33
20	430	402	460	430,67
21	408	402	420	410,00
22	390	334	395	373,00
23	370	313	380	354,33
24	306	287	370	321,00
25	290	265	299,5	284,83
26	260	250	270	260,00
27	250	246	248	248,00
28	245	239	240	241,33
29	243	222	235	233,33
30	235	201	219	218,33
31	200,1	197	198	198,37
32	198	193	196	195,67
33	190	185	193	189,33
34	181	171,1	182	178,03
35	170	169	173	170,67
36	165	161,3	169	165,10
37	160	160	161,5	160,50
38	160	160	160	160,00
39	159,1	158,1	157	158,07
40	157,3	153,6	156,9	155,93
41	155	150	153,2	152,73
42	150	149,2	150	149,73
43	148	145	149,6	147,53
44	139	134	138,5	137,17
45	135	133,6	134,6	134,40
46	134,6	139,4	134,2	136,07
47	133,5	131,7	130,7	131,97
48	130,4	130,4	130	130,27

49	128,7	129,5	129,7	129,30
50	127	127,5	126,9	127,13
55	90	91,3	90	90,43
60	80	80	95	85,00
65	79	79,8	77	78,60
70	70,8	70,8	70	70,53
75	69	69,1	67	68,37
80	58	59,1	59,7	58,93
85	55	54,5	55	54,83
90	53	52	52	52,33
95	52,4	51	51	51,47
100	51	50	50	50,33
105	49,5	49	48	48,83
110	48	48	47	47,67
115	47	48	46	47,00
120	47,2	45	45	45,73

Tabela A.2. 7: Variação da massa dos briquetes in natura de C.S.N durante o processo de combustão.

Variação da massa dos briquetes <i>in natura</i> de C.S.N no teste de ICOM					
Tempo (min)	Massa (Kg)			Massa Media (Kg)	Massa por se queimar (%)
	1ª Exp.	2ª Exp.	3ª Exp.		
0	0,365	0,375	0,380	0,373	100,00
1	0,360	0,375	0,375	0,370	99,11
2	0,360	0,360	0,365	0,362	96,88
3	0,355	0,345	0,350	0,350	93,75
4	0,355	0,335	0,340	0,343	91,97
5	0,355	0,325	0,330	0,337	90,18
6	0,355	0,315	0,320	0,330	88,39
7	0,350	0,300	0,290	0,313	83,93
8	0,350	0,285	0,380	0,338	90,63
9	0,350	0,270	0,265	0,295	79,02
10	0,345	0,255	0,255	0,285	76,34
11	0,340	0,240	0,230	0,270	72,32
12	0,330	0,225	0,210	0,255	68,30
13	0,315	0,210	0,195	0,240	64,29
14	0,305	0,195	0,185	0,228	61,16
15	0,295	0,175	0,170	0,213	57,14
16	0,285	0,160	0,170	0,205	54,91

17	0,275	0,145	0,150	0,190	50,89
18	0,270	0,130	0,145	0,182	48,66
19	0,255	0,115	0,130	0,167	44,64
20	0,245	0,110	0,120	0,158	42,41
21	0,235	0,105	0,115	0,152	40,63
22	0,220	0,100	0,105	0,142	37,95
23	0,210	0,100	0,100	0,137	36,61
24	0,195	0,095	0,095	0,128	34,38
25	0,180	0,095	0,085	0,120	32,14
26	0,160	0,090	0,085	0,112	29,91
27	0,145	0,090	0,080	0,105	28,13
28	0,135	0,085	0,080	0,100	26,79
29	0,130	0,085	0,075	0,097	25,89
30	0,120	0,085	0,075	0,093	25,00
31	0,115	0,080	0,075	0,090	24,11
32	0,110	0,080	0,075	0,088	23,66
33	0,105	0,080	0,070	0,085	22,77
34	0,100	0,080	0,065	0,082	21,88
35	0,095	0,075	0,065	0,078	20,98
36	0,090	0,075	0,060	0,075	20,09
37	0,090	0,070	0,060	0,073	19,64
38	0,090	0,070	0,060	0,073	19,64
39	0,085	0,070	0,060	0,072	19,20
40	0,085	0,070	0,060	0,072	19,20
41	0,085	0,070	0,060	0,072	19,20
42	0,080	0,070	0,055	0,068	18,30
43	0,080	0,065	0,055	0,067	17,86
44	0,080	0,065	0,055	0,067	17,86
45	0,080	0,065	0,055	0,067	17,86
46	0,075	0,065	0,055	0,065	17,41
47	0,075	0,060	0,050	0,062	16,52
48	0,075	0,060	0,050	0,062	16,52
49	0,075	0,060	0,050	0,062	16,52
50	0,070	0,060	0,050	0,060	16,07
55	0,065	0,060	0,045	0,057	15,18
60	0,060	0,055	0,045	0,053	14,29
65	0,060	0,050	0,045	0,052	13,84
70	0,050	0,050	0,040	0,047	12,50
75	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61

80	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
85	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
90	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
95	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
100	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
105	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
110	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
115	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61
120	0,050	0,045	0,035	0,043	11,61

Tabela A.2. 8: Variação da Temperatura durante a combustão de Briquetes de 60%C.S.N carbonizado +40% C.S.N *in natura*

Variação da Temperatura no teste de ICOM de briquetes (60%C.S.N car.+40% <i>in natura</i>)				
Tempo (min)	Temperatura (°C)			Temperatura media (°C)
	1ª Experiencia	2ª Experiencia	3ª Experiencia	
0	21,8	22,5	23,6	22,63
1	522	550	529	533,67
2	504	494	476	491,33
3	308	367	377	350,67
4	302	362	318	327,33
5	297	360	318	325,00
6	297	350	309	318,67
7	296	309	308	304,33
8	293	293	300	295,33
9	290	290	294	291,33
10	287	285	288	286,67
11	285	283	285	284,33
12	282	283	284	283,00
13	277	283	280	280,00
14	271	281	275	275,67
15	271	278	270	273,00
16	267	277	268	270,67
17	264	276	266	268,67
18	262	275	261	266,00
19	261	275	257	264,33
20	261	272	257	263,33
21	260	271	252	261,00
22	255	269	249	257,67

23	253	266	248	255,67
24	253	264	242	253,00
25	252	263	239	251,33
26	252	263	236	250,33
27	250	262	235	249,00
28	250	258	235	247,67
29	249	258	235	247,33
30	246	254	230	243,33
31	244	247	229	240,00
32	242	241	229	237,33
33	242	238	218	232,67
34	242	235	211	229,33
35	241	233	210	228,00
36	239	225	200	221,33
37	235	224	193	217,33
38	233	217	192	214,00
39	232	210	189	210,33
40	230	208	187	208,33
41	229	205	185	206,33
42	228	205	177,4	203,47
43	220	203	165	196,00
44	218	194	164,6	192,20
45	218	194	162,4	191,47
46	216	189,5	162,4	189,30
47	213	187,2	161,3	187,17
48	209	185	158,5	184,17
49	208	175,1	155,4	179,50
50	202	172,9	155,4	176,77
55	196	162,3	151,9	170,07
60	196	153,6	151,5	167,03
65	195	150,2	150,4	165,20
70	165,5	149,3	150,4	155,07
75	158	135,6	138,7	144,10
80	111,1	125,6	128	121,57
85	102,8	115,5	127,6	115,30
90	94,1	104,2	111,5	103,27
95	89,5	103,1	104,9	99,17
100	82,8	96,6	100,5	93,30
105	76,8	91,8	93,8	87,47

110	67,2	90	89,4	82,20
115	69	79,8	83,1	77,30
120	57,8	79	77,4	71,40

Tabela A.2. 9: Variação da massa de briquetes de 60%C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura* durante a combustão.

Variação da massa no teste de ICOM de briquetes (60%C.S.N car.+40%<i>in natura</i>)					
Tempo (min)	Massa (Kg)			Massa media (Kg)	Massa por se queimar (%)
	1ª Exp.	2ª Exp.	3ª Exp.		
0	0,38	0,385	0,37	0,378	100,00
1	0,375	0,38	0,355	0,370	97,80
2	0,36	0,37	0,35	0,360	95,16
3	0,355	0,36	0,34	0,352	92,95
4	0,35	0,355	0,335	0,347	91,63
5	0,35	0,345	0,325	0,340	89,87
6	0,34	0,34	0,32	0,333	88,11
7	0,33	0,335	0,315	0,327	86,34
8	0,325	0,325	0,305	0,318	84,14
9	0,315	0,32	0,3	0,312	82,38
10	0,31	0,31	0,295	0,305	80,62
11	0,3	0,305	0,285	0,297	78,41
12	0,295	0,3	0,275	0,290	76,65
13	0,285	0,29	0,265	0,280	74,01
14	0,28	0,385	0,26	0,308	81,50
15	0,27	0,275	0,25	0,265	70,04
16	0,26	0,27	0,245	0,258	68,28
17	0,255	0,265	0,235	0,252	66,52
18	0,245	0,255	0,225	0,242	63,88
19	0,24	0,25	0,22	0,237	62,56
20	0,23	0,24	0,21	0,227	59,91
21	0,225	0,235	0,2	0,220	58,15
22	0,22	0,23	0,195	0,215	56,83
23	0,215	0,225	0,19	0,210	55,51
24	0,205	0,22	0,18	0,202	53,30
25	0,2	0,215	0,175	0,197	51,98
26	0,195	0,21	0,175	0,193	51,10
27	0,195	0,205	0,17	0,190	50,22
28	0,19	0,205	0,165	0,187	49,34

29	0,185	0,2	0,165	0,183	48,46
30	0,185	0,195	0,16	0,180	47,58
31	0,18	0,195	0,16	0,178	47,14
32	0,175	0,185	0,155	0,172	45,37
33	0,175	0,185	0,155	0,172	45,37
34	0,17	0,18	0,155	0,168	44,49
35	0,17	0,18	0,15	0,167	44,05
36	0,17	0,175	0,15	0,165	43,61
37	0,165	0,175	0,15	0,163	43,17
38	0,16	0,17	0,145	0,158	41,85
39	0,16	0,17	0,145	0,158	41,85
40	0,16	0,165	0,145	0,157	41,41
41	0,155	0,165	0,14	0,153	40,53
42	0,155	0,165	0,14	0,153	40,53
43	0,155	0,16	0,14	0,152	40,09
44	0,155	0,16	0,14	0,152	40,09
45	0,155	0,16	0,135	0,150	39,65
46	0,15	0,16	0,135	0,148	39,21
47	0,15	0,155	0,135	0,147	38,77
48	0,15	0,155	0,135	0,147	38,77
49	0,145	0,155	0,13	0,143	37,89
50	0,145	0,155	0,13	0,143	37,89
55	0,14	0,145	0,125	0,137	36,12
60	0,13	0,14	0,12	0,130	34,36
65	0,125	0,135	0,115	0,125	33,04
70	0,12	0,13	0,115	0,122	32,16
75	0,115	0,125	0,11	0,117	30,84
80	0,115	0,12	0,105	0,113	29,96
85	0,11	0,12	0,105	0,112	29,52
90	0,105	0,115	0,105	0,108	28,63
95	0,105	0,11	0,105	0,107	28,19
100	0,1	0,105	0,1	0,102	26,87
105	0,095	0,105	0,1	0,100	26,43
110	0,095	0,105	0,095	0,098	25,99
115	0,095	0,105	0,095	0,098	25,99
120	0,095	0,1	0,095	0,097	25,55

Tabela A.2. 10: Variação da temperatura durante a combustão de carvão vegetal.

Variação da Temperatura no teste de ICOM de carvão vegetal.				
Tempo (min)	Temperatura (°C)			Temperatura Media (°C)
	1ª Experiencia	2ª Experiencia	3ª Experiencia	
0	29,9	35,2	30,2	31,77
1	542	576	560	559,33
2	475	487	498	486,67
3	380	372	375	375,67
4	360	350	340	350,00
5	340	339	339	339,33
6	340	337	329	335,33
7	340	337	329	335,33
8	335	335	320	330,00
9	334	333	320	329,00
10	333	332	320	328,33
11	332	332	320	328,00
12	330	331	319	326,67
13	320	331	318	323,00
14	320	327	318	321,67
15	319	322	317	319,33
16	319	320	317	318,67
17	318	320	315	317,67
18	317	318	315	316,67
19	315	315	315	315,00
20	311	312	313	312,00
21	310	312	312	311,33
22	309	311	311	310,33
23	309	310	310	309,67
24	305	303	309	305,67
25	300	303	306	303,00
26	297	303	300	300,00
27	295	300	295	296,67
28	293	294	294	293,67
29	293	294	294	293,67
30	293	293	293	293,00
31	291	292	292	291,67
32	290	289	289	289,33
33	288	289	286	287,67
34	287	288	284	286,33

35	285	287	282	284,67
36	283	284	280	282,33
37	280	284	280	281,33
38	279	283	280	280,67
39	277	281	277	278,33
40	260	280	275	271,67
41	250	280	275	268,33
42	245	263	263	257,00
43	243	252	250	248,33
44	240,5	249	248	245,83
45	232	249	248	243,00
46	232	245	245	240,67
47	230	224	235	229,67
48	229	221	229	226,33
49	221	219	225	221,67
50	220	209	217	215,33
55	219	208	217	214,67
60	218	204	212	211,33
65	210	202	210	207,33
70	205	182	200	195,67
75	182	175,5	175	177,50
80	153	159,8	150,4	154,40
85	145	148,5	149	147,50
90	130,5	141,2	138,9	136,87
95	123	124	125	124,00
100	120	120,5	119,9	120,13
105	115	114,8	114	114,60
110	109,2	108,3	107,4	108,30
115	110,3	103,5	104,3	106,03
120	98,9	100,01	100	99,64

Tabela A.2. 11: Variação da massa de carvão vegetal durante o processo de combustão.

Variação da massa de carvão vegetal no teste de ICOM					
Tempo (min)	Massa (Kg)			Massa média (Kg)	Massa por se queimar (%)
	1ªExp.	2ªExp.	3ªExp.		
0	0,38	0,38	0,385	0,382	100,00
1	0,37	0,355	0,36	0,362	94,76
2	0,355	0,345	0,355	0,352	92,14
3	0,345	0,34	0,35	0,345	90,39
4	0,34	0,335	0,345	0,340	89,08
5	0,335	0,33	0,345	0,337	88,21
6	0,33	0,325	0,34	0,332	86,90
7	0,325	0,325	0,335	0,328	86,03
8	0,32	0,32	0,33	0,323	84,72
9	0,315	0,315	0,325	0,318	83,41
10	0,315	0,31	0,32	0,315	82,53
11	0,31	0,305	0,31	0,308	80,79
12	0,305	0,305	0,305	0,305	79,91
13	0,3	0,3	0,3	0,300	78,60
14	0,3	0,295	0,295	0,297	77,73
15	0,29	0,29	0,29	0,290	75,98
16	0,285	0,285	0,285	0,285	74,67
17	0,28	0,28	0,28	0,280	73,36
18	0,275	0,275	0,275	0,275	72,05
19	0,27	0,27	0,27	0,270	70,74
20	0,265	0,265	0,27	0,267	69,87
21	0,26	0,26	0,265	0,262	68,56
22	0,255	0,255	0,26	0,257	67,25
23	0,25	0,25	0,255	0,252	65,94
24	0,245	0,245	0,25	0,247	64,63
25	0,24	0,24	0,245	0,242	63,32
26	0,235	0,235	0,245	0,238	62,44
27	0,235	0,235	0,24	0,237	62,01
28	0,23	0,23	0,235	0,232	60,70
29	0,225	0,225	0,23	0,227	59,39
30	0,22	0,22	0,25	0,230	60,26
31	0,215	0,215	0,25	0,227	59,39
32	0,21	0,215	0,22	0,215	56,33
33	0,21	0,21	0,215	0,212	55,46
34	0,21	0,205	0,21	0,208	54,58

35	0,205	0,205	0,205	0,205	53,71
36	0,2	0,2	0,2	0,200	52,40
37	0,195	0,195	0,19	0,193	50,65
38	0,19	0,19	0,19	0,190	49,78
39	0,185	0,19	0,19	0,188	49,34
40	0,18	0,185	0,185	0,183	48,03
41	0,175	0,185	0,185	0,182	47,60
42	0,17	0,18	0,18	0,177	46,29
43	0,165	0,175	0,175	0,172	44,98
44	0,165	0,175	0,175	0,172	44,98
45	0,165	0,17	0,17	0,168	44,10
46	0,16	0,17	0,17	0,167	43,67
47	0,155	0,165	0,16	0,160	41,92
48	0,15	0,16	0,16	0,157	41,05
49	0,145	0,16	0,155	0,153	40,17
50	0,14	0,16	0,155	0,152	39,74
55	0,14	0,145	0,15	0,145	37,99
60	0,135	0,135	0,145	0,138	36,24
65	0,13	0,125	0,14	0,132	34,50
70	0,125	0,115	0,13	0,123	32,31
75	0,12	0,105	0,12	0,115	30,13
80	0,11	0,1	0,105	0,105	27,51
85	0,105	0,09	0,095	0,097	25,33
90	0,1	0,085	0,08	0,088	23,14
95	0,095	0,08	0,08	0,085	22,27
100	0,08	0,075	0,075	0,077	20,09
105	0,07	0,07	0,07	0,070	18,34
110	0,06	0,065	0,065	0,063	16,59
115	0,06	0,065	0,06	0,062	16,16
120	0,06	0,06	0,06	0,060	15,72

Tabela A.2. 12: Variação da temperatura durante a combustão da lenha de mafurreira.

Variação da temperatura da lenha de mafurreira no teste de ICOM.				
Tempo (min)	Temperatura (°C)			Temperatura Media (°C)
	1ª Experiencia	2ª Experiencia	3ª Experiencia	
0	26,1	26,7	27,6	26,80
1	509	331	510	450,00
2	541	358	520	473,00
3	597	568	560	575,00
4	510	627	320	485,67
5	420	570	320	436,67
6	377	415	320	370,67
7	264	309	300	291,00
8	241	242	242	241,67
9	214	227	226	222,33
10	167,3	219	210	198,77
11	164,2	207	160	177,07
12	155,6	187	150,2	164,27
13	148,5	178,3	150,1	158,97
14	147,6	157,3	140	148,30
15	144,2	145,1	130	139,77
16	137,7	138,7	129	135,13
17	127	122,6	128	125,87
18	119,2	112,7	115	115,63
19	109,1	98,7	105,4	104,40
20	105,3	91,1	98	98,13
21	95	82,9	95	90,97
22	91,1	77,6	85	84,57
23	84,2	73,2	77	78,13
24	74,7	65,2	69	69,63
25	68,2	63,4	64	65,20
26	63,5	56,2	57	58,90
27	59,4	49,7	49	52,70
28	56,4	44,7	45	48,70
29	52,5	41	40	44,50
30	49,8	37,1	39	41,97
31	44,2	34,8	35	38,00
32	41,1	33,2	30	34,77
33	37,5	32,1	29,8	33,13
34	34,3	31,5	29,8	31,87

35	33,1	31,2	29,8	31,37
36	32	30,9	28	30,30
37	30,8	29	27,7	29,17
38	30	28,7	27,7	28,80
39	29,7	28,4	27,7	28,60
40	29,2	28,3	27,7	28,40
41	28,7	27,9	27,7	28,10
42	28,2	27,6	27,7	27,83
43	28,1	27,6	27,7	27,80
44	27,9	27,6	27,7	27,73
45	27,9	27,6	27,7	27,73
46	26,9	27,6	27,7	27,40
47	26,7	27,6	27,7	27,33
48	26,7	27,6	27,7	27,33
49	26,7	27,6	27,7	27,33
50	26,7	27,6	27,7	27,33
55	26,7	27,6	27,7	27,33
60	26,7	27,6	27,7	27,33
65	26,7	27,6	27,7	27,33
70	26,7	27,6	27,7	27,33
75	26,7	27,6	27,7	27,33
80	26,7	27,6	27,7	27,33
85	26,7	27,6	27,7	27,33
90	26,7	27,6	27,7	27,33
95	26,7	27,6	27,7	27,33
100	26,7	27,6	27,7	27,33
105	26,7	27,6	27,7	27,33
110	26,7	27,6	27,7	27,33
115	26,7	27,6	27,7	27,33
120	26,7	27,6	27,7	27,33

Tabela A.2. 13: Variação da massa da lenha de mafurreira durante o processo de combustão.

Variação da massa da lenha de mafurreira no teste de ICOM					
Tempo (min)	Massa (Kg)			Massa média (Kg)	Massa por se queimar (%)
	1ª Exp.	2ª Exp.	3ª Exp.		
0	0,395	0,395	0,395	0,395	100,00
1	0,345	0,34	0,35	0,345	87,34
2	0,265	0,29	0,34	0,298	75,53
3	0,19	0,21	0,28	0,227	57,38
4	0,125	0,15	0,15	0,142	35,86
5	0,09	0,1	0,1	0,097	24,47
6	0,065	0,07	0,07	0,068	17,30
7	0,055	0,06	0,055	0,057	14,35
8	0,05	0,05	0,05	0,050	12,66
9	0,04	0,045	0,045	0,043	10,97
10	0,035	0,04	0,035	0,037	9,28
11	0,03	0,035	0,035	0,033	8,44
12	0,025	0,03	0,03	0,028	7,17
13	0,025	0,03	0,025	0,027	6,75
14	0,02	0,03	0,025	0,025	6,33
15	0,02	0,025	0,02	0,022	5,49
16	0,015	0,025	0,02	0,020	5,06
17	0,015	0,025	0,02	0,020	5,06
18	0,015	0,02	0,02	0,018	4,64
19	0,015	0,02	0,02	0,018	4,64
20	0,015	0,02	0,02	0,018	4,64
21	0,01	0,02	0,02	0,017	4,22
22	0,01	0,02	0,02	0,017	4,22
23	0,01	0,02	0,02	0,017	4,22
24	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
25	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
26	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
27	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
28	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
29	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
30	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
31	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
32	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
33	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
34	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38

35	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
36	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
37	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
38	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
39	0,01	0,015	0,015	0,013	3,38
40	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
41	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
42	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
43	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
44	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
45	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
46	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
47	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
48	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
49	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
50	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
55	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
60	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
65	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
70	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
75	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
80	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
85	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
90	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
95	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
100	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
105	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
110	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
115	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95
120	0,01	0,015	0,01	0,012	2,95

Tabela A.2. 14: Determinação dos parâmetros do teste de ICOM.

Resultados do Teste de ICOM									
Amostra	Índice	A (%)	B (%)	C (%)	ICOM	ICOM Medio	Desvio padrão	Erro com 95% de confiança	Intervalo confiança
Briquetes de capim super napier <i>in natura</i>	1	34,167	75,962	87,302	0,2973	0,2879	0,009	0,0004	0,2879 ±0,0004
	2	32,5	75,767	87,879	0,2802				
	3	34,167	76,489	91,304	0,2862				
Briquetes (60%C.S.N car. + 40% <i>in natura</i>)	1	62,5	71,264	91,228	0,4882	0,4751	0,015	0,0006	0,4751 ±0,0006
	2	54,167	72,727	85,965	0,4583				
	3	58,333	71,645	87,273	0,4789				
Carvão Vegetal	1	66,667	72,325	81,25	0,5934	0,6114	0,016	0,0006	0,6114 ±0,0006
	2	66,667	73,958	79,688	0,6187				
	3	66,667	73,214	78,462	0,6221				
Lenha de Mafurreira	1	10	74,874	83,117	0,0901	0,0976	0,01	0,0004	0,0976 ±0,0004
	2	11,667	76,077	81,579	0,1088				
	3	10,833	73,214	84,416	0,094				

Tabela A.2. 15: Variação da Temperatura da água no teste de fervura a base de briquetes *in natura* de C.S.N

Variação da Temperatura da água no teste de Fervura a base de briquetes <i>in natura</i> de C.S.N												
Temperatura (°C)										Temperatura Media		
t (min)	1ªExperiencia			2ªExperiencia			3ªExperiencia			°C)		
	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
0	28,2			28,3			28,1			28,2		
1	37,2			37,2			40			38,1		
2	41,7			41,3			44,8			42,6		
3	47,1			46,6			50,3			48,0		
4	53,3			49,3			54,4			52,3		
5	56,1			53,8			59,3			56,4		
6	61,5			58,9			64,1			61,5		
7	65,9			62,9			69,3			66,0		
8	71,9			67,1			75,6			71,5		
9	76,8			72,4			82,1			77,1		
10	82,5			77,2			86,9			82,2		
11	87,6			81,7			93			87,4		
12	92,3			86,2			97,5			92,0		
13	97,4			97,1			99,5			98,0		

14	100,5			100,3			100,3			100,4		
15		95,6			95,4			95,7			95,6	
16		99,9			99,7			100			99,9	
17		100,5			100,4			100,3			100,4	
18		100,5			100,4			100,4			100,4	
19		100,5			100,4			100,5			100,5	
20		100,5			100,3			100,5			100,4	
21		100,5			100,4			100,5			100,5	
22		100,5			100,4			100,5			100,5	
23		100,5			100,4			100,5			100,5	
24		100,5			100,3			100,6			100,5	
25		100,5			100,4			100,5			100,5	
26		100,5			100,3			100,5			100,4	
27		100,5			100,3			100,5			100,4	
28		100,5			100,3			100,5			100,4	
29		100,5			100,4			100,5			100,5	
30			95,9			95,7			95,5			95,7
31			99,8			99			100			99,6
32			100,1			100			100,2			100,1
33			100,3			100,2			100,6			100,4
34			100,5			100,3			100,7			100,5
35			100,6			100,5			100,8			100,6
36			100,6			100,5			100,7			100,6
37			100,7			100,5			100,5			100,6
38			100,6			100,5			100,6			100,6
39			100,5			100,5			100,7			100,6
40			100,5			100,5			100,7			100,6
41			100,5			100,7			100,6			100,6
42			100,5			100,6			100,7			100,6
43			100,6			100,5			100,7			100,6
44			100,5			100,5			100,7			100,6
45			100,6			100,7			100,7			100,7
46			100,5			100,5			100,7			100,6
47			100,5			100,5			100,6			100,5
48			100,7			100,5			100,6			100,6
49			100,7			100,5			100,5			100,6
50			100,7			100,4			100,4			100,5
51			100,6			100,4			100,3			100,4
52			100,5			100,5			100,3			100,4
53			100,5			100,6			100,4			100,5
54			100,3			100,4			100,3			100,3
55			100,2			100,4			100,2			100,3
56			100,1			100,4			100,1			100,2

57			100			100,3			100,1			100,1
58			99,9			100			100			100,0
59			99,9			100			100			100,0
60			99,9			100			100			100,0
61			99,8			100			100			99,9
62			99,8			100			100			99,9
63			99,8			100			100			99,9
64			99,7			100			100			99,9
65			99,6			99,7			99,6			99,6
66			99,6			99,6			99,3			99,5
67			99,5			99,6			99			99,4
68			99,4			99,4			98,9			99,2
69			99,4			99,2			98,5			99,0
70			99,1			98,8			98,4			98,8
71			98,6			98,8			98,3			98,6
72			98,6			98,6			98,2			98,5
73			98,2			97,8			98			98,0
74			98,1			97,9			97,9			98,0
75			97,6			97,3			97,3			97,4

Tabela A.2. 16: Resultados do teste de fervura da água de briquetes *in natura* de C.S.N

	Resultados do teste de fervura da água de briquetes <i>in natura</i> de C.S.N														
	1ª Experiencia				2ª Experiencia				3ª Experiencia				Parâmetros médios		
Parâmetros	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P. Q	B.P
M Combustível (Kg)	0,605	0,37	0,195	0,08	0,61	0,375	0,155	0,085	0,6	0,37	0,16	0,085			
M H ₂ O (Kg)	2,5	2,31	2,105	1,84	2,5	2,34	2,165	1,97	2,5	2,335	2,15	1,99			
M Fogão (Kg)	4,51				4,495				4,495						
M Panela (Kg)	0,63				0,64				0,64						
M (panela +H ₂ O) (Kg)		2,94	2,735	2,47		2,98	2,805	2,61		2,975	2,79	2,63			
M (Fogão + Combust.) (Kg)		4,88	4,705	4,59		4,87	4,65	4,58		4,865	4,655	4,58			
T. inicial H ₂ O (°C)	28,2	28,2	95,6	95,9	28,3	28,3	95,4	95,7	28,1	28,1	95,7	95,5			
T. Final H ₂ O (°C)		100,5	100,5	97,6		100,3	100,4	97,3		100,3	100,5	97,3			
ΔT (°C)		72,3	4,9	1,7		72	5	1,6		72,2	4,8	1,8			
Δm CC (Kg)		0,235	0,175	0,115		0,235	0,22	0,07		0,23	0,21	0,075			
Δma (Kg)		0,19	0,205	0,265		0,16	0,175	0,195		0,165	0,185	0,16			
Qlib (Kcal)		863,535	643,058	422,581		863,535	808,415	257,223		845,161	771,669	275,596			
Qab (Kcal)		173,5				172,5				173					
Qvap (Kcal)		356,4				286,2				275,4					
Tempo (min)		14	15	45		14	15	45		14	15	45	14	15	45
P (KW)		4,297	2,987	0,654		4,297	3,755	0,398		4,206	3,584	0,427	4,267	3,442	0,493
Cc		1,237	0,854	0,434		1,469	1,257	0,359		1,394	1,135	0,469	1,367	1,082	0,421
η(%)		27,468				23,777				23,694			24,98		

Tabela A.2. 17: Variação da Temperatura da água no teste de fervura a base de briquetes de 60%C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*.

Variação da temperatura da água (Briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40%C.S.N <i>in natura</i>)												
t (min)	Temperatura (°C)									Temperatura Media (°C)		
	1ª Experiencia			2ª Experiencia			3ª Experiencia					
	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
0	28			28			26,6			27,5		
1	36,6			35			33,7			35,1		
2	42,5			40,2			38,7			40,5		
3	44,7			44,5			43,2			44,1		
4	48,1			49,1			47,1			48,1		
5	53,7			53,4			50,4			52,5		
6	57,9			57,3			53,9			56,4		
7	61,8			60,5			57,2			59,8		
8	62,3			62,4			60,6			61,8		
9	66,7			65,2			62,9			64,9		
10	67,9			68,2			65			67,0		
11	69,7			69,7			66,7			68,7		
12	70,2			71,3			68,2			69,9		
13	73,2			72,8			69,5			71,8		
14	74,6			74,7			71			73,4		
15	75			75,8			72,6			74,5		
16	76,8			77,1			73,8			75,9		
17	78,5			78,7			75,4			77,5		
18	80			80,3			77,1			79,1		
19	82,1			82,3			78,1			80,8		
20	84			83,9			79,8			82,6		
21	86,2			86,2			81,7			84,7		
22	89,5			90,1			83,7			87,8		
23	94,3			94,6			92,2			93,7		
24	97,3			97,4			94,3			96,3		
25	98,5			98,6			97,7			98,3		
26	100,2			100			100			100,1		
27		95,6			95,4			96,4			95,8	
28		96,7			97,3			97			97,0	
29		98,6			98			97,9			98,2	
30		100			100			100			100,0	
31		100,2			100,6			100,2			100,3	
32		100,3			100,7			100,5			100,5	
33		100			101			100,3			100,4	
34		100			100,7			100,3			100,3	
35		100,1			100,8			100,4			100,4	
36		100,3			100,7			100,3			100,4	

37		100,1			100,7			100,3			100,4	
38		99,7			100,7			100,3			100,2	
39		100			100,7			100,2			100,3	
40		100			100,7			100,3			100,3	
41		100			100,7			100,3			100,3	
42			95,8			96,3			95,9			96,0
43			96,7			96,5			96,4			96,5
44			97,5			97,9			97,5			97,6
45			98,3			98,5			98,9			98,6
46			100			100,2			100,3			100,2
47			100,5			100,5			100,3			100,4
48			100,7			100,6			100,3			100,5
49			100,7			100,7			100,3			100,6
50			100,7			101			100,3			100,7
51			100,7			100,7			100,3			100,6
52			100,7			100,8			100,3			100,6
53			100,7			100,7			100,2			100,5
54			100,7			100,7			100,2			100,5
55			100,6			100,7			100,3			100,5
56			100,6			100,7			100,3			100,5
57			100,7			100,7			100,2			100,5
58			100,8			100,8			100,2			100,6
59			100,6			100,8			100,2			100,5
60			100,6			100,8			100,2			100,5
61			100,6			100,8			100,2			100,5
62			100,7			100,8			100,2			100,6
63			100,6			100,6			100,2			100,5
64			100,3			100,5			100,2			100,3
65			100,1			100,5			100,2			100,3
66			100			100,2			100,1			100,1
67			100			100,2			100,1			100,1
68			100			100,2			100,1			100,1
69			100			100,2			100			100,1
70			100			100,1			100			100,0
71			99,9			99,9			99,9			99,9
72			99,6			99,8			99,9			99,8
73			99,3			99,8			99,9			99,7
74			98,9			99,8			99,1			99,3
75			98,9			99			98			98,6
76			98,7			98,8			97,9			98,5
77			98,7			98,8			97,6			98,4
78			98,7			98,8			97,6			98,4
79			98,7			98,8			97,6			98,4

80			98,7			98,8			97,6			98,4
81			98,7			98,8			97,6			98,4
82			97,7			98,5			97,7			98,0
83			97,7			98,5			97,7			98,0
84			97,7			98,5			97,7			98,0
85			97,7			98,5			97,7			98,0
86			97,7			98,5			97,7			98,0

Tabela A.2. 18: Resultados do teste de fervura da água de briquetes (60%C.S.N carbonizado +40%C.S.N *in natura*).

	Resultados do teste de fervura de briquetes de 60% de C.S.N carbonizado +40 %C.S.N <i>in natura</i>														
	1ª Experiencia				2ª Experiencia				3ª Experiencia				Parâmetros médios		
Parâmetros	Inicio	A.P.F	A.P.Q	B.P	Inicio	A.P.F	A.P.Q	B.P	Inicio	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P. Q	B.P
M Combustível (Kg)	0,605	0,31	0,28	0,165	0,605	0,31	0,27	0,17	0,605	0,31	0,225	0,15			
M H2O (Kg)	2,5	2,335	2,235	1,86	2,5	2,4	2,34	2,12	2,5	2,41	2,355	2,175			
M Fogão (Kg)	4,495				4,495				4,515						
M Panela (Kg)	0,64				0,64				0,635						
M panela +H2O (Kg)		2,975	2,875	2,5		3,04	2,98	2,76		3,045	2,99	2,81			
M Fogão+Comb (Kg)		4,805	4,775	4,66		4,805	4,765	4,665		4,825	4,74	4,665			
T. inicial H2O (°C)	28	28	95,6	95,8	28	28	95,4	96,3	26,6	26,6	96,4	95,9			
T. Final H2O (°C)		100,2	100	97,7		100	100,7	98,5		100	100,3	97,7			
ΔT (°C)		72,2	4,4	1,9		72	5,3	2,2		73,4	3,9	1,8			
Δm CC (Kg)		0,295	0,03	0,115		0,295	0,04	0,1		0,295	0,085	0,075			
Δ ma (Kg)		0,165	0,1	0,375		0,1	0,06	0,22		0,09	0,055	0,18			
Qlib (Kcal)		1167,57	118,74	455,15		1167,57	158,31	395,79		1167,57	336,42	296,84			
Qab (Kcal)		174,25				176,25				177,75					
Qvap (Kcal)			345,6				205,2				175,5				
Tempo (min)		26	15	45		26	15	45		26	15	45			
P (KW)		3,128	0,551	0,705		3,128	0,735	0,613		3,128	1,562	0,46	3,128	0,95	0,592
Cc		1,788	0,3	0,307		2,95	0,667	0,455		3,278	1,545	0,417	2,672	0,837	0,393
η(%)		29,851				22,156				19,616			23,874		

Tabela A.2. 19:Variação da Temperatura da água no teste de fervura da água a base de carvão vegetal.

Variação da temperatura da água a base de Carvão Vegetal.												
t(min)	Temperatura (°C)									Temperatura Media (°C)		
	1ª Experiencia			2ª Experiencia			3ª Experiencia					
	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
0	29,2			29,6			29,3			29,4		
1	31,4			31			31,1			31,2		
2	33,4			32,2			32,5			32,7		
3	33,8			33,5			33,3			33,5		
4	34			34,6			34,1			34,2		
5	35,3			36			35,2			35,5		
6	37,6			37,1			36,9			37,2		
7	40,4			39			38,5			39,3		
8	40,8			40,9			40,7			40,8		
9	41			43,3			42,5			42,3		
10	42,9			45,7			44,3			44,3		
11	46,5			47,4			46,4			46,8		
12	49,3			49,7			48,9			49,3		
13	53,5			51,9			51,6			52,3		
14	57,1			55			54,4			55,5		
15	60,3			57,4			57,3			58,3		
16	65,7			60			60,5			62,1		
17	70,1			62,9			67			66,7		
18	74			66,2			69			69,7		
19	77,3			70,2			69,8			72,4		
20	82,8			73,6			77			77,8		
21	90			76,5			83,9			83,5		
22	91			80,1			87,5			86,2		
23	92			84,5			88,1			88,2		
24	93			89,2			92,3			91,5		
25	95,4			90,5			96,4			94,1		
26	99,4			99,7			99,8			99,6		
27	100			100			100			100,0		
28		95,6			96,1			95,7			95,8	
29		97,8			97			96,9			97,2	
30		99,9			98			98,3			98,7	
31		100			99,9			100			100,0	
32		100,2			100			100,1			100,1	
33		100,2			100			100,2			100,1	
34		100,2			100			100,2			100,1	
35		100,2			100			100,2			100,1	
36		100,2			100			100,2			100,1	
37		100,2			100			100,2			100,1	

38		100,2			100			100,3			100,2	
39		100,2			100			100,2			100,1	
40		100,2			100			100,2			100,1	
41		100,2			100			100,2			100,1	
42		100,2			100			100,2			100,1	
43			95,3			96			95,4			95,6
44			96,7			96,9			96,8			96,8
45			98			97,2			97			97,4
46			99			98,9			98			98,6
47			99,9			100			99			99,6
48			100,2			100			100			100,1
49			100			100			100,1			100,0
50			100			100			100,2			100,1
51			100			100			100,2			100,1
52			100			100			100,2			100,1
53			100			100			100,2			100,1
54			100			100			100,2			100,1
55			100			100			100,2			100,1
56			100			100			100,2			100,1
57			100			100			100,2			100,1
58			100			100			100,2			100,1
59			100			100			100,2			100,1
60			100			100			100,2			100,1
61			100			100			100,2			100,1
62			100			100			100,2			100,1
63			100			100			100,2			100,1
64			100			100			100,2			100,1
65			100			100			100,2			100,1
66			100			100			100,2			100,1
67			100			100			100,2			100,1
68			100			100			100,2			100,1
69			100			100			100,2			100,1
70			100			100			100,2			100,1
71			100			100			100,2			100,1
72			100			100			100,2			100,1
73			100			100			100,2			100,1
74			100			100			100,2			100,1
75			100			100			100			100,0
76			100			99,9			99			99,6
77			99,9			99			99			99,3
78			99,9			99			99			99,3
79			98			98			99			98,3
80			97,6			98			99			98,2

81			97,6			98			98			97,9
82			97,6			98			97,9			97,8
83			97,6			98			97,9			97,8
84			97,6			98			97,9			97,8
85			97,6			98			97,9			97,8
86			97,6			98			97,9			97,8
87			97,5			97,7			97,9			97,7

Tabela A.2. 20: Resultados do teste de fervura da água a base de carvão vegetal.

	Resultados do teste de fervura da água a base de Carvão Vegetal														
	1ª Experiencia				2ª Experiencia				3ª Experiencia				Parâmetros médios		
Parâmetros	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q.	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
M Combustível (Kg)	0,6	0,375	0,32	0,215	0,6	0,375	0,325	0,225	0,6	0,375	0,34	0,235			
M H ₂ O (Kg)	2,5	2,245	2,105	1,5	2,5	2,265	2,135	1,6	2,5	2,285	2,16	1,595			
M Fogão (Kg)	4,49				4,49				4,49						
M Panela (Kg)	0,64				0,64				0,64						
M panela+H ₂ O (Kg)		2,885	2,745	2,14		2,905	2,775	2,24		2,925	2,8	2,235			
M Fogão+ Comb. (Kg)		4,865	4,81	4,705		4,865	4,815	4,715		4,865	4,83	4,725			
T. inicial H ₂ O (°C)	29,2	29,2	95,6	95,3	29,6	29,6	96,1	96	29,3	29,3	95,7	95,4			
T. Final H ₂ O (°C)		100	100,2	97,5		100	100	97,7		100	100,2	97,9			
ΔT (°C)		70,8	4,6	2,2		70,4	3,9	1,7		70,7	4,5	2,5			
Δm CC (Kg)		0,225	0,055	0,105		0,225	0,05	0,1		0,225	0,035	0,105			
Δ m _a (Kg)		0,255	0,14	0,605		0,235	0,13	0,535		0,215	0,125	0,565			
Q _{lib} (Kcal)		1638,7	400,58	764,74		1638,7	364,16	728,33		1638,7	254,91	764,74			
Q _{ab} (Kcal)		170,75				170,25				171,5					
Q _{vap} (Kcal)		540				486				488,7					
Tempo (min)		27	15	45		27	15	45		27	15	45	27	15	45
P (KW)		4,228	1,86	1,184		4,228	1,691	1,128		4,228	1,184	1,184	4,228	1,579	1,165
C _c		0,882	0,393	0,174		0,957	0,385	0,187		1,047	0,28	0,186	0,962	0,352	0,182
η(%)		25,347				24,028				24,834			24,736		

Tabela A.2. 21: Variação da Temperatura da água no teste de fervura a base da lenha de Mafurreira.

Variação da Temperatura da água no teste de fervura a base da Lenha de Mafurreira												
t(min)	Temperatura (°C)									Temperatura Media (°C)		
	1ª Experiencia			2ª Experiencia			3ª Experiencia					
	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
0	28,5			28,7			29			28,7		
1	39,9			37,2			39,9			39,0		
2	41,8			41,5			47,7			43,7		
3	49,3			47,7			50,8			49,3		
4	53			52,8			55,2			53,7		
5	60,8			60,6			63,9			61,8		
6	71,5			65,9			64,2			67,2		
7	78,1			70			70,1			72,7		
8	78,9			74,5			75,1			76,2		
9	80,7			79,3			78,3			79,4		
10	86,2			84,3			85,2			85,2		
11	90,2			93,1			90,6			91,3		
12	98,9			96			94,3			96,4		
13	99			99			99,8			99,3		
14	99,5			99,3			99,9			99,6		
15	100,2			100			100			100,1		
16		95,8			96,2			95,4			95,8	
17		96			97			96			96,3	
18		98			98			98			98,0	
19		99			99,6			99,3			99,3	
20		100			100			100			100,0	
21		100			100,1			100			100,0	
22		100			100,1			100			100,0	
23		100			100,1			100			100,0	
24		100			100,1			100			100,0	
25		100			100,1			100			100,0	
26		100			100,1			100			100,0	
27		100			100,1			100			100,0	
28		100			100,1			100			100,0	
29		100			100,1			100			100,0	
30		100			100,1			100			100,0	
31			95,2			95,6			95,7			95,5
32			96			97			96			96,3
33			98			98			97,9			98,0
34			99			99,3			99,2			99,2
35			99,9			100			100			100,0
36			100			100,1			100			100,0
37			100			100,1			100			100,0

38			100			100,1			100			100,0
39			100			100,1			100			100,0
40			100			100,1			100			100,0
41			100			100,1			100			100,0
42			100			100,1			100			100,0
43			100			100,1			100			100,0
44			100			100,1			100			100,0
45			100			100,1			100			100,0
46			100			100,1			100			100,0
47			100			100,1			100			100,0
48			100			100,1			100			100,0
49			100			100,1			100			100,0
50			100			100,1			100			100,0
51			100			100,1			100			100,0
52			100			100,1			100			100,0
53			100			100			100			100,0
54			100			100			100			100,0
55			100			100			100			100,0
56			99,9			99,9			99,4			99,7
57			99,9			99,8			99			99,6
58			98,6			99,7			99			99,1
59			98,6			99,6			99			99,1
60			98,6			99,4			99			99,0
61			98,6			99,2			99			98,9
62			98,6			98			97,9			98,2
63			98,6			97,5			97,6			97,9
64			98,6			96,5			97,5			97,5
65			98,6			96,5			97,2			97,4
66			97			96,5			97			96,8
67			96,6			96,5			97			96,7
68			96,6			96,5			97			96,7
69			96,6			96,5			97			96,7
70			96,6			96,5			96,2			96,4
71			96,6			96,5			96			96,4
72			96,6			96,5			96			96,4
73			96,6			96,5			96			96,4
74			96,6			96,5			96			96,4
75			96,6			96,5			96			96,4

Tabela A.2. 22: Resultados do teste de fervura da água a base da Lenha de Mafurreira.

Parâmetros	Resultados do teste de fervura da água a base da Lenha de Mafurreira														
	1ª Experiencia				2ª Experiencia				3ª Experiencia				Parâmetros médios		
	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	Início	A.P.F	A.P.Q	B.P	A.P.F	A.P.Q	B.P
M Combustível (Kg)	0,6	0,33	0,065	0,02	0,6	0,33	0,07	0,02	0,6	0,33	0,06	0,025			
M H2O (Kg)	2,5	2,295	2,085	1,84	2,5	2,34	2,175	2,01	2,5	2,38	2,26	2,095			
M Fogão (Kg)	4,495				4,495				4,495						
M Panela (Kg)	0,64				0,63				0,635						
M Panela+H2O (Kg)		2,935	2,725	2,48		2,97	2,805	2,64		3,015	2,895	2,73			
M Fogão +Comb. (Kg)		4,825	4,56	4,515		4,825	4,565	4,515		4,825	4,555	4,52			
T. inicial H2O (°C)	28,5	28,5	95,8	95,2	28,7	28,7	96,2	95,6	29	29	95,4	95,7			
T. Final H2O (°C)		100,2	100	96,6		100	100,1	96,5		100	100	96			
ΔT (°C)		71,7	4,2	1,4		71,3	3,9	0,9		71	4,6	0,3			
Δm CC (Kg)		0,27	0,265	0,045		0,27	0,26	0,05		0,27	0,27	0,035			
Δ ma (Kg)		0,205	0,21	0,245		0,16	0,165	0,165		0,12	0,12	0,165			
Qlib (Kcal)		1095,5	1075,2	182,6		1095,5	1054,9	202,9		1095,5	1095,5	142			
Qab (Kcal)			170,25				169,5				167,5				
Qvap (Kcal)			356,4				264,6				218,7				
Tempo (min)		15	15	45		15	15	45		15	15	45	15	15	45
P (KW)		5,088	4,994	0,283		5,088	4,899	0,314		5,088	5,088	0,22	5,088	4,994	0,272
Cc		1,317	1,262	0,184		1,688	1,576	0,303		2,25	2,25	0,212	1,752	1,696	0,233
η(%)			22,379				18,447				16,554			19,127	