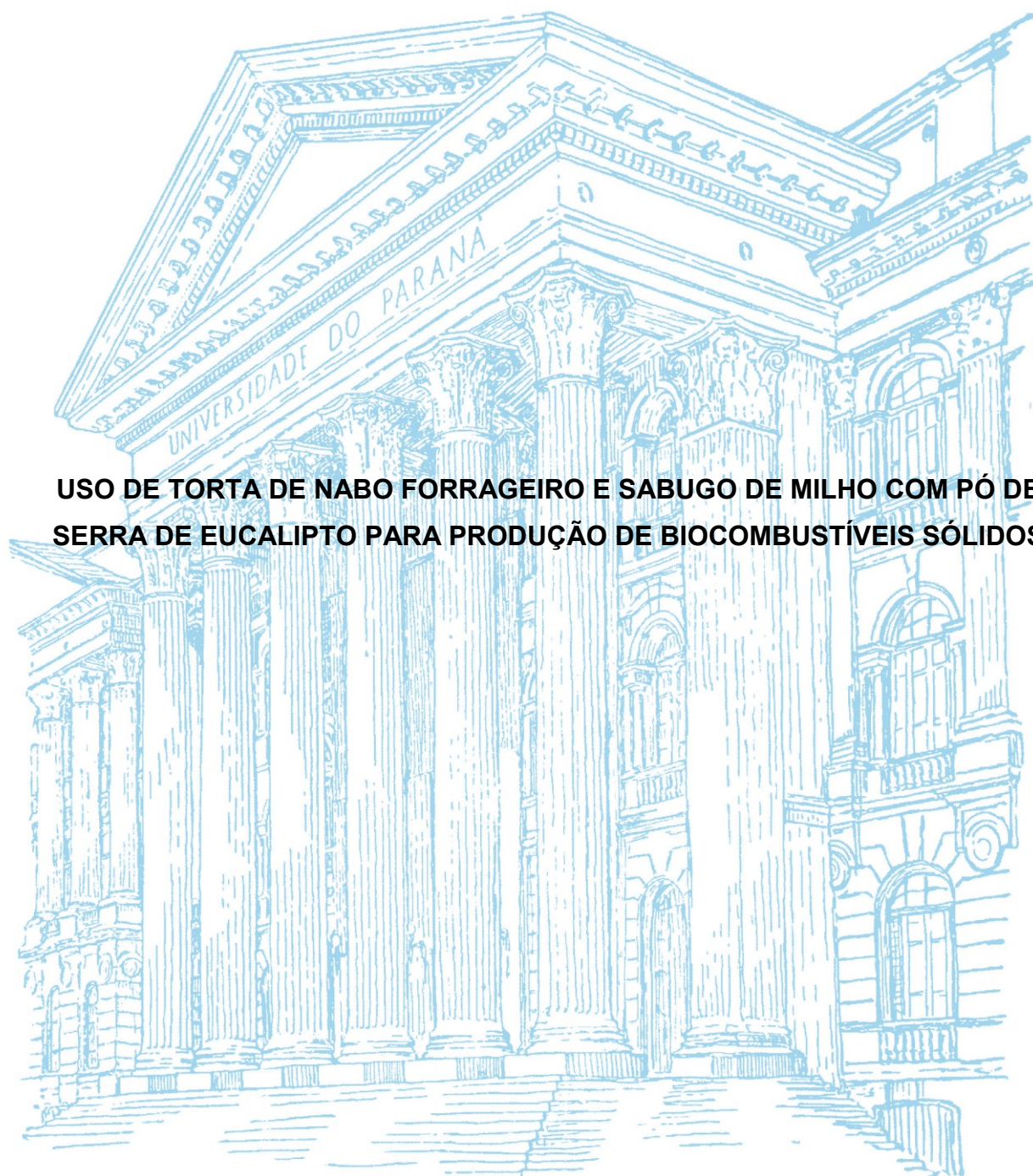


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA VIANA DE ARAÚJO



USO DE TORTA DE NABO FORRAGEIRO E SABUGO DE MILHO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

PALOTINA

2017

AMANDA VIANA DE ARAÚJO

**USO DE TORTA DE NABO FORRAGEIRO E SABUGO DE MILHO COM PÓ DE
SERRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em BIOENERGIA, no Curso de Pós-Graduação em Bioenergia, Setor de Palotina, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana Ferla de Oliveira

PALOTINA

2017

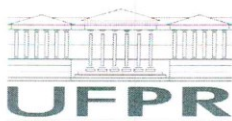
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A658 Araújo, Amanda Viana de
Uso de torta de nabo forrageiro e sabugo de milho com pó de serra de eucalipto para produção de biocombustíveis sólidos / Amanda Viana de Araújo . - Palotina, 2017.
76f.

Orientadora: Graciela Ines Bolzon de Muniz.
Coorientadora: Adriana Ferla de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia.

1. Biomassa. 2. Resíduos agrícolas. 3. Forrageira. 4. Energia 5. Briquetes. I. Muniz, Graciela Ines Bolzon de. II. Adriana Ferla de Oliveira. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDU 620.91



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor PALOTINA
Programa de Pós-Graduação BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO
- UNIOESTE - UFPR

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **AMANDA VIANA DE ARAUJO** intitulada: **USO DE TORTA DE NABO FORRAGEIRO E SABUGO DE MILHO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação.

Palotina, 14 de Março de 2017.

Adriana Ferla de Oliveira
ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

Joel Gustavo Teleken
JOEL GUSTAVO TELEKEN
Avaliador Interno (UFPR)

Fabiano Bisinella Scheufele
FABIANO BISINELLA SCHEUFELE
Avaliador Externo (UFPR)

Jair Antonio Cruz Siqueira
JAIR ANTONIO CRUZ SIQUEIRA
Avaliador Externo (UNIOESTE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por toda força e coragem para realização deste trabalho, por tudo! Aos meus pais, Joaquim Viana de Araújo e Cleusa Marta Jeziorny de Araújo e meus irmãos, Gabriel Viana de Araújo e Daniel Viana de Araújo, por toda força e ajuda, por estarem sempre ao meu lado. Ao meu namorado, Rafael Drago, por toda paciência, auxílio e ombro amigo.

À minha orientadora, Graciela Ines Bolzon de Muniz, e a minha coorientadora, Adriana Ferla de Oliveira por aceitarem desenvolver este trabalho. Agradeço a elas por toda a orientação, não somente neste, mas nos demais trabalhos que me auxiliaram, além da força nos momentos que achei que não conseguiria vencer. Agradeço ao professor Alexandre pelo auxílio em análises. De forma geral, agradeço aos professores da Universidade Federal Do Paraná – Setor Palotina, e aos professores do programa de Pós-Graduação em Bioenergia, pelos ensinamentos e dedicação ao longo desses anos.

À Unila, de forma especial à equipe do Departamento dos Laboratórios de Ensino, por toda ajuda e compreensão em todos os momentos que precisei. Aos meus amigos, pela amizade, carinho e conforto durante essa trajetória. E a todos os quais os nomes não foram citados, mas que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização deste trabalho final.

O dominado não se liberta se ele não vier a dominar aquilo que os dominantes dominam. Então, dominar o que os dominantes dominam é condição de libertação.

(SAVIANE, D., 2007)

RESUMO

A cada dia aumenta o cultivo de florestas com finalidades energéticas e para indústria da madeira. O processamento da madeira gera, em sua maioria, subprodutos, que muitas vezes são descartados inadequadamente, além destes, existem os resíduos gerados no processamento de grãos que podem levar o mesmo destino. Tais subprodutos podem ser utilizados com finalidades energéticas. Entretanto, é necessário o conhecimento sobre as propriedades físico-químicas dos materiais utilizados e dos biocombustíveis produzidos para que de fato seja possível utilizá-los com tais objetivos. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físico-químicas e energéticas de resíduos agroindustriais (torta de nabo forrageiro, sabugo de milho, pó de serra de Eucalipto) e de briquetes produzidos a partir de suas mistura. As misturas propostas resultaram em briquetes com diferentes proporções (15 – 50%). O material foi compactado em briquetadeira modelo Lippel BL 95/210. Os briquetes foram caracterizados por análise imediata; densidade aparente e energética; resistência a compressão diametral, poder calorífico superior e inferior e análise termogravimétrica. Para a realização das análises estatísticas utilizou-se metodologia de mínimos quadrados no procedimento GLM (Modelos Lineares Generalizados) implementada pacote estatístico SAS 9.1. Os contrastes entre as médias foram por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também realizou-se análise de correlação linear entre as variáveis estudadas. Não houve diferença estatística para umidade no tratamento contendo torta de nabo forrageiro; para o tratamento contendo sabugo de milho, houve diferença, sendo que 35% de sabugo de milho x 65% pó de serra de Eucalipto, 25% de sabugo de milho x 75% pó de serra de Eucalipto, 15% de sabugo de milho x 85% pó de serra de Eucalipto, apresentaram menores valores. Não houve diferença estatística para teor de carbono fixo para ambos os tratamentos. Para teor de materiais voláteis houve diferença para o tratamento com torta de nabo forrageiro, sendo que 50% de torta de nabo-forrageiro x 50% pó de serra de Eucalipto, 35% de torta de nabo-forrageiro x 65% pó de serra de Eucalipto, e 25% de torta de nabo-forrageiro x 75% pó de serra de Eucalipto, apresentaram os menores teores; não houve diferença estatística para materiais voláteis para o tratamento contendo sabugo de milho. Houve diferença estatística para teor de cinzas, nos diferentes tratamentos. O tratamento com 50% de torta de nabo-forrageiro x 50% pó de serra de Eucalipto, apresentou o menor teor de cinzas. E, para o tratamento contendo 35% de sabugo de milho x 65% pó de serra de Eucalipto, 25% de sabugo de milho x 75% pó de serra de Eucalipto tiveram menores valores. Para o poder calorífico superior e inferior, não houve diferença estatística para o tratamento contendo sabugo de milho. O tratamento 50% de torta de nabo-forrageiro x 50% pó de serra de Eucalipto, sobressaiu-se aos demais 17,74 MJ kg⁻¹ e 16,38 MJ kg⁻¹, respectivamente. Para densidade aparente e densidade energética, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Nos termogramas, há semelhanças entre os diferentes tratamentos, as poucas diferenças estão associadas a mínima variação dos picos máximos de degradação. Para teste de resistência, os resultados não apresentaram um padrão diante da adição dos resíduos. Considerando as análises realizadas, foi possível verificar que tanto os briquetes produzidos a partir de torta de nabo forrageiro, quanto os de sabugo de milho apresentam potencial energético.

Palavras-chave: Biomassa, Resíduos agrícolas, Forrageira, Energia, Briquetes.

ABSTRACT

The cultivation of forests with energetic purposes and for the wood industry increases day by day. Wood processing mostly generates by-products, which are often disposed inappropriately. In addition to these, there are residues generated in grain processing that can have the same fate. Such by-products may be used for energy purposes. However, appropriate knowledge of the physicochemical properties of the materials used and biofuels produced in order to be able to use them for energy purposes. In this sense, the main objective of this work was to evaluate the physicochemical and energetic properties of agroindustrial residues, such as forage turnip greens, corn cob and residue of Eucalyptus dust and briquettes produced from the mixture of these. The proposed mixtures resulted in briquettes with different proportions between 15-50% of turnip greens with eucalyptus powder and between of corncob with residue of eucalyptus powder. The material was compacted in briquette machine model Lippel BL 95/210. The briquettes were characterized by immediate analysis (moisture content, volatile materials, fixed carbon and ash); apparent and energetic densities; diametral compression and strength, upper and lower calorific value and thermogravimetric analysis. Statistical analysis was performed using the least squares methodology in the GLM procedure (Generalized Linear Models), implemented statistical package SAS 9.1. The differences between the averages were by means of the Tukey test at 5% of probability. Linear correlation analysis was also performed between variables studied. There was no statistical difference for moisture in containing fodder turnip pie treatment; there being differences in containing corn cob: 35% corn cob x 65% Eucalyptus powder, 25% corn cob x 75% Eucalyptus powder, 15% corn cob x 85% Eucalyptus powder showing lower values. There was no statistical difference for fixed carbon content for both treatments. For the volatile material content, there was a difference for fodder turnip pie treatment, with 50% fodder turnip pie x 50% Eucalyptus powder, 35% fodder turnip pie x 65% Eucalyptus powder, and 25% fodder turnip pie x 75% Eucalyptus powder, presenting the lowest levels; there being no statistical difference for corn cob. There was a statistical difference for ash content in the different treatments. For Treatment with 50% fodder turnip x 50% Eucalyptus powder, presented the lowest ash content. And, for the treatment containing 35% corn cob x 65% Eucalyptus powder, 25% corn cob x 75% Eucalyptus powder. For the upper and lower calorific power, there was no statistical difference for corn cob. For 50% fodder turnip pie x 50% Eucalyptus powder treatment was superior to the others 17.74 MJ kg⁻¹ and 16.38 MJ kg⁻¹, respectively. For apparent density and energy density, there was no significant difference between treatments. In the thermograms, there are similarities between the different treatments; the few differences are associated to the minimum variation of the maximum peaks of degradation. For strength testing, the results did not present a pattern when adding the residues. Considering the analyzes carried out, it was possible to verify that both briquettes produced from fodder turnip pie and corn cob presented energy potential.

Keywords: Biomass, Agricultural residues, Forage, Energy, Briquette.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE EUCALIPTO NO BRASIL (1970-2014)..... | 17 |
| FIGURA 2 – PRODUÇÃO DE MILHO ENTRE OS ANOS DE 1984-2017 NO ESTADO DO PARANÁ..... | 20 |
| FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES LIGNOCELULOSICOS | 22 |
| FIGURA 4: SEÇÃO CARBONIZADA DA MADEIRA | 27 |
| FIGURA 5: FLUXOGRAMA DE ANÁLISES REALIZADAS | 31 |
| FIGURA 6: BRIQUETADEIRA UTILIZADA PARA COMPACTAÇÃO DO MATERIAL. | 32 |
| FIGURA 7: OBTENÇÃO DE DADOS PARA DENSIDADE..... | 35 |
| FIGURA 8: BRIQUETES PRODUZIDOS PARA TRATAMENTO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO X TORTA DE NABO FORRAGEIRO | 38 |
| FIGURA 9: BRIQUETES PRODUZIDOS PARA TRATAMENTO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO X SABUGO DE MILHO | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DIFERENTES BIOMASSAS (%MS)..... | 22 |
| TABELA 2: COMPOSIÇÃO IMEDIATA PARA MADEIRA DE EUCALIPTO (%) | 24 |
| TABELA 3: FAIXAS TEÓRICAS DE TEMPERATURA PARA CONTROLE DE CARBONIZAÇÃO..... | 27 |
| TABELA 4: RELAÇÃO DE PORCENTAGENS DE CADA RESÍDUO PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS..... | 30 |
| TABELA 5: RAMPA DE AQUECIMENTO DA DETERMINAÇÃO DE CINZAS..... | 33 |
| TABELA 6: ANÁLISE IMEDIATA DO MATERIAL SEM MISTURAS ANTES DA COMPACTAÇÃO (%)..... | 39 |
| TABELA 7: ANÁLISE IMEDIATA DOS TRATAMENTOS ANTES DA COMPACTAÇÃO (%)..... | 41 |
| TABELA 8: ANÁLISE IMEDIATA DOS TRATAMENTOS APÓS COMPACTAÇÃO (%) | 42 |
| TABELA 9: PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS RESÍDUOS ANTES DA COMPACTAÇÃO (MJ KG ⁻¹)..... | 44 |
| TABELA 10: PODER CALORÍFICO DOS BRIQUETES (MJ KG ⁻¹). | 44 |
| TABELA 11: RELAÇÃO DOS EVENTOS OBSERVADOS NOS TERMOGRAMAS.. | 45 |
| TABELA 12: DENSIDADE APARENTE (KG M ⁻³) E DENSIDADE ENERGÉTICA (MJ M ⁻³) DOS BRIQUETES DO TRATAMENTO TN E S. | 46 |
| TABELA 13: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS BRIQUETES (MPA)..... | 49 |
| TABELA 14: ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS..... | 50 |
| TABELA 15: ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR PARA O TRATAMENTO CONTENDO SABUGO DE MILHO. | 52 |
| TABELA 16: ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR PARA O TRATAMENTO CONTENDO TORTA DE NABO FORRAGEIRO..... | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------------|--|
| %MS | --Materia Seca |
| ABNT | --Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASTM | --American Society for Testing and Materials |
| BEN | --Balança Nacional de Energia |
| CEPER | --Centro de Estudos em Pequenos Ruminantes |
| CF | --Carbono Fixo |
| CZ | --Cinzas |
| d | --Diâmetro |
| EM | --Espiga de Milho |
| EUC | --Ecalipto |
| F | --Carga Máxima alcançada no ensaio |
| f | --Resistência à compressão |
| IBÁ | --Indústria Brasileira de Árvores |
| IPARDES | --Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social |
| I | --Altura |
| LATECOM | --Laboratório de Análises Térmicas e Espectrométricas de Materiais e Combustíveis |
| LPB | --Laboratório de Produção de Biocombustíveis |
| m | --Massa |
| MC | --Massa Cinzas |
| MCC | --Massa Carbono mais Cinzas |
| Min | --Minuto |
| MS | --Massa Amostra Seca |
| MU | --Massa Amostra Umida |
| MV | --Materiais Voláteis |
| PCI | --Poder Calorífico Inferior |
| PCS | --Poder Calorífico Superior |
| PNPB | --Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel |
| SO₂ | --Dióxido de Enxofre |
| SO₃ | --Trióxido de Enxofre |
| TNF | --Torta de Nabo Forrageiro |

| | |
|----------------------------|---|
| U(%) | --Umidade |
| UTFPR | --Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| V | --Volume |
| π | --"Pi" – 3,14 |
| ρ | --Densidade |
| ρE | --Densidade Energética |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA..... | 15 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 16 |
| 1.3 | OBJETIVO GERAL..... | 16 |
| 1.4 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 17 |
| 2.1 | EUCALIPTO | 17 |
| 2.2 | SERRAGEM..... | 18 |
| 2.3 | TORTA DE NABO FORRAGEIRO | 18 |
| 2.4 | SABUGO DE MILHO..... | 19 |
| 2.5 | CONSTITUINTES DA BIOMASSA | 21 |
| 2.6 | PROCESSO DE COMPACTAÇÃO DA BIOMASSA..... | 22 |
| 2.7 | COMPOSIÇÃO IMEDIATA | 23 |
| 2.8 | PODER CALORÍFICO | 25 |
| 2.9 | ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA | 26 |
| 2.10 | DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA | 28 |
| 2.11 | RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES | 29 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 30 |
| 3.1 | PROCESSO DE BRIQUETAGEM..... | 32 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS..... | 32 |
| 3.2.1 | Análise imediata | 32 |
| 3.2.1.1 | Determinação da umidade..... | 33 |
| 3.2.1.2 | Determinação de voláteis | 33 |
| 3.2.1.3 | Determinação de cinzas | 33 |
| 3.2.1.4 | Determinação de carbono fixo..... | 34 |
| 3.3 | DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO..... | 34 |
| 3.4 | ANÁLISE TÉRMICA – TERMOGRAVIMÉTRIA (TG)..... | 34 |
| 3.5 | DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA..... | 35 |
| 3.6 | DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS BRIQUETES (COMPRESSÃO DIAMETRAL)..... | 36 |
| 3.7 | ANÁLISE ESTATÍSTICA | 36 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 38 |
| 4.1 | AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS | 38 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DAS AMOSTRAS | 39 |
| 4.2.1 | Análise imediata | 39 |
| 4.3 | PODER CALORÍFICO | 43 |
| 4.4 | ANÁLISE TÉRMICA – TERMOGRAVIMETRIA (TG)..... | 45 |
| 4.5 | DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA | 46 |
| 4.6 | RESISTÊNCIA DOS BRIQUETES | 48 |
| 4.7 | ANÁLISE DE CORRELAÇÕES | 50 |
| 4.8 | ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR | 52 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 54 |
| 5.1 | RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 55 |
| | REFERÊNCIAS | 56 |
| | ANEXO A – TÍTULO DO ANEXO | 71 |

1 INTRODUÇÃO

No mundo, 86% da energia primária provêm de fontes energéticas não-renováveis. No ano de 2010, o Brasil produzia 47,5% de energia renovável em sua matriz energética, destes, 29,6% provenientes da biomassa. (BEN, 2011). Segundo o Balanço Energético Nacional (2014), em 2013 a matriz energética brasileira utilizava 46,4% de energia renovável, das quais 28,6% eram de biomassa. Ainda segundo o Balanço Energético Nacional (2016), em 2015 a produção de energia primária no Brasil foi de 41,9%, e destes, 26,4% oriundos de biomassa. Mesmo com os incentivos globais à utilização de uma matriz energética renovável, o Brasil apresentou queda desta utilização nos últimos 5 anos. (BEN, 2016).

A produção de combustíveis alternativos aos fósseis é incentivada mundialmente, principalmente, pela preocupação ambiental, uma vez que por não emitirem dióxido de enxofre (SO₂) e trióxido de enxofre (SO₃), são considerados limpos, além da busca por qualidade de vida. (CORTEZ, 2010; KHORSHIDI; HO; WILEY, 2014). Pode-se citar como exemplos, a produção de biodiesel, bioetanol, biogás, biohidrogênio, combustíveis dendroenergéticos, dentre outros. (GARCEZ; VIANNA, 2009; PANT; ADHOLEYA, 2007; POTTMAIER et al., 2013).

Entre a década de 70/80, o governo brasileiro lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), visando desenvolver a economia rural (LEITE et al., 2013). A legislação (Lei n.º 11.097/05) previa a adição, parcial, de 2% de biodiesel no diesel até 2007 e a partir de 2008, se tornaria obrigatório. Em 2013, passaria para 5%. Atualmente, a Lei nº 13.033/14, determinou o aumento da adição de biodiesel ao diesel de 5% à 6% para julho de 2014 e aumento para 7% em novembro do mesmo ano. Com este aumento, a produção de biodiesel cresceu 15,1% em relação ao ano de 2014. (BEN, 2016).

A produção de biodiesel a partir de oleaginosas, produz ao final do processo, resíduos (torta e glicerina). A destinação adequada é fundamental para que sejam evitados diversos danos (dentre eles, pode-se citar os danos ambientais). Segundo a Lei Federal n.º 12.305/2010, é responsabilidade das indústrias realizar o gerenciamento de seus resíduos, desta forma, o custo é embutido à produção. Toneladas de torta são geradas nesta fase inicial de produção. Atualmente, essas tortas são empregadas como complementos para ração animal. (LIMA et al., 2009;

KRAUSE, 2008). Entretanto é possível utilizá-las com finalidades energéticas, agregando valor à este material.

Além disto, é possível utilizar resíduos agroindustriais. Em sua maioria, a colheita do milho mantém os resíduos no próprio campo, servindo de proteção ao solo. Entretanto, uma grande quantidade de resíduos ainda seguem para as cerealistas, que os armazenam até que sejam descartados. Neste sentido, utilizá-los com finalidades energéticas é uma alternativa, além de agregar maior valor a este material.

Sendo assim, é possível utilizar tais resíduos (torta de nabo forrageiro e sabugo de milho), juntamente à serragem de eucalipto (comercialmente conhecido por suas propriedades energéticas) a fim de melhorar e potencializar o uso, para tanto se faz necessário a compactação destes. A compactação visa diminuir o volume dos resíduos e aumentar sua densidade energética, além de facilitar o transporte, visto que muitas vezes o local de produção é longe do consumidor final.

1.1 JUSTIFICATIVA

O custo de produção do biodiesel frente ao petróleo, é considerado elevado, um dos fatores que impede o desenvolvimento e competitividade do biodiesel no Brasil. (BENEDETTI et al., 2006). A geração de resíduos durante o processo e o destino a estes são exemplos, de causas que influenciam o valor final da produção. A torta (subproduto do biodiesel), em sua maioria, é utilizada como alimento animal, devido ao valor proteico, entretanto pode ser utilizada para fins energéticos na própria indústria, reduzindo o impacto ambiental e energético gerado nas empresas. (RANGEL et al., 2004 apud MOTA; PESTANA, 2011).

Como exemplo de utilização deste resíduo para fins energéticos, pode-se empregá-lo à carbonização ou no processo de gaseificação. A carbonização da biomassa é um tratamento térmico empregado com a finalidade de aumentar a densidade energética e diminuir a umidade, este procedimento melhora a qualidade da biomassa favorecendo sua comercialização. (PRINS et al., 2006). Já a gaseificação é um processo termoquímico no qual há a conversão do material sólido em um gás. (LORA et al., 2008).

O emprego dos gases gerados neste processo em máquinas térmicas são exemplos de utilização dos gases em pequenas propriedades, ou na própria

indústria, favorecendo a independência energética do produtor. (FERNÁNDEZ; SÁNCHEZ, 2010). Além disto, os gases gerados podem ser utilizados para produzir outros produtos químicos de grande importância no setor químico (como gasolina, diesel, metanol, etanol) ou gerando hidrogênio, como vetor energético. (ANDRADE; LORA, 2013).

É importante conhecer os constituintes químicos da biomassa que sofrerá processos físico, químico ou/e energético de transformação, seja gaseificação, carbonização, briquetagem ou peletização. Isto porque, cada qual irá reagir e produzir produtos de diferentes características que influenciarão em sua utilização. Além disto, podem influenciar no rendimento e manutenção de equipamentos. (SOUZA et al., 2012; SILVA et al., 2005).

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo verificar o potencial energético de briquetes produzidos à partir de resíduos agroindustriais.

1.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades físico-químicas e energéticas de resíduos agroindustriais, como torta de nabo forrageiro, sabugo de milho e resíduo de pó de serra de Eucalipto e dos briquetes produzidos a partir de suas misturas.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Produzir briquetes a partir das misturas de diferentes proporções de torta de nabo forrageiro e sabugo de milho, juntamente com resíduo de pó de serra de Eucalipto;
- b) Determinar os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas por análise imediata para os resíduos e os briquetes;
- c) Estimar o Poder Calorífico Superior e Inferior dos resíduos e briquetes;
- d) Realizar a análise termogravimétrica para os resíduos e os briquetes;
- e) Determinar a densidade aparente e energética dos briquetes;
- f) Determinar a resistência mecânica dos briquetes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

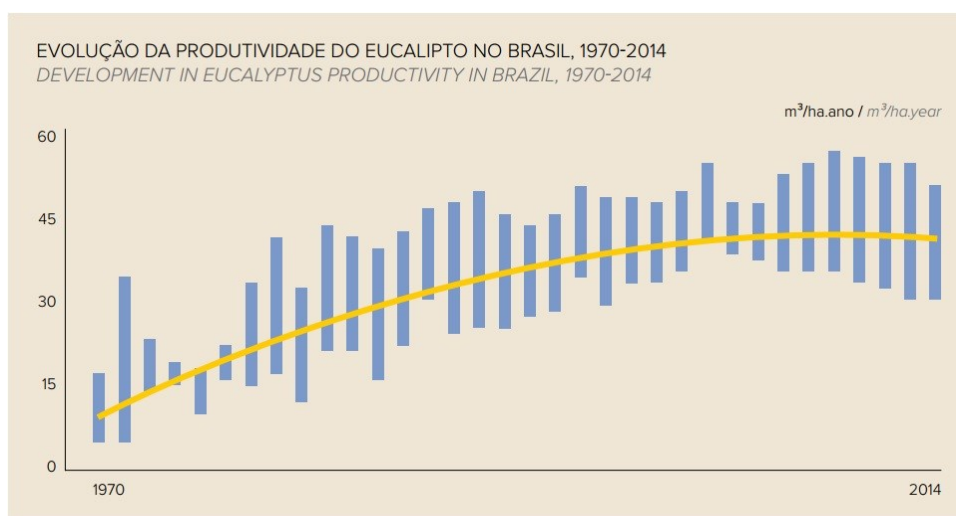
2.1 EUCALIPTO

O Eucalipto tem sua origem na Austrália e possui mais de 700 espécies. No Brasil foi introduzido em 1904, pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, e o principal objetivo era a produção de lenhas e dormentes (madeira de construção civil). (ANDRADE, 1928). O eucalipto pode ser utilizado como madeira, finalidades energéticas, e como matéria prima para produção de papel, papelão, dentre outros. (ZHU et al., 2015).

O rápido desenvolvimento das espécies de Eucaliptos no Brasil, decorrente do clima local, desenvolveu o interesse pelo estudo de seu cultivo. Mesmo com o esforço em conhecer sua estrutura e comportamento é difícil observar um padrão de características, devido a existência de diferentes espécies de eucaliptos. (SANTOS et al., 2012b).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2015), tendo por base o ano de 2014, a área de árvores plantadas, para fins industriais correspondia à 0,9% do território brasileiro (7,74 milhões de hectares). Destes, 71,9% (5,56 milhões de hectares) equivalem à área destinada ao plantio de eucalipto. É possível visualizar na Figura 1, o crescimento da produtividade de eucalipto no Brasil.

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE EUCALIPTO NO BRASIL (1970-2014)



FONTE: IBÁ (2015).

As maiores concentrações de plantio/produção de eucalipto no Brasil, estão localizadas nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. No Paraná, a área ocupada com Eucalipto cresceu no período de 2007-2014, passando de 123.070 de ha para 224.089. (IBÁ, 2015).

2.2 SERRAGEM

Há geração de resíduos durante o processamento da madeira, do campo à indústria. Em 2014, o setor de árvores plantadas, gerou aproximadamente 47,0 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Deste quantitativo, a atividade florestal foi responsável por 33,60 milhões de toneladas e as atividades industriais, 13,40 milhões. (IBÁ, 2015).

Nas atividades florestais, o resíduo sólido (99,7%) é constituído principalmente por galhos, casca e folhas, e geralmente é mantido no campo. Enquanto que os demais resíduos (0,03%), constituído por óleos, graxas e embalagens de agroquímicos, são destinados conforme orientação legal. (IBÁ, 2015).

Já nas indústrias, os resíduos são utilizados em caldeiras, a fim de gerar energia por meio do vapor gerado no momento da queima e posterior geração de energia elétrica. Esta prática diminui a utilização de combustíveis fósseis. (IBÁ, 2015).

2.3 TORTA DE NABO FORRAGEIRO

O nabo forrageiro pertence à família das *Brassicaceae*, originário da Ásia. Na Europa e na Ásia Oriental esta espécie foi pioneira e produz elevado teor de óleo, na faixa de 40 a 54%. (CALEGARI et al., 2005). É uma planta originária do Sul da Europa, anual de inverno, herbácea, ereta, possui pelos ásperos, raiz pivotante, apresenta ramificações, pode atingir comprimento de 1,80 m, com folhas alternadas, a inflorescência ocorre na base do caule em racemos longos e flores, em sua maioria, brancas. (PEREIRA, 2006).

O nabo forrageiro é uma planta que apresenta tolerância a temperaturas mais baixas e resistência à acidez dos solos, possui elevada capacidade de reciclar nutrientes, tem desenvolvimento considerado rápido (150 - 200 dias), e no Brasil

(nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste), é utilizada principalmente como adubação verde de inverno e para proteger o solo. (CLEEF, 2008).

Por apresentar elevado teor de óleo (40-54%), a semente desta oleaginosa apresenta potencial como matéria prima e pode ser utilizada para a produção de biocombustíveis, atenuando os efeitos da crescente demanda por fontes alternativas aos combustíveis de origem fóssil. (SOUZA; RESENDE; COSTA, 2013).

Como exemplo de utilização, pode-se citar a produção de biodiesel a partir do óleo assim como outras oleaginosas, como a soja, algodão, mamona, palma, girassol, amendoim, nabo forrageiro. (SALOMOM; FILHO, 2007).

A produção de biodiesel gera, ao final do processo, resíduos. Os principais são glicerina e torta (OLIVEIRA et al., 2013; MOTA; PESTANA, 2011). A torta é um resíduo gerado no processo de extração do óleo de sementes oleaginosas (biomassa sólida). Segundo, Wilhem et al. (2006), a torta de nabo forrageiro possui alto valor de mercado para alimentação de animais, devido à sua extração sem solventes e apresentar elevado teor de proteínas e gorduras.

2.4 SABUGO DE MILHO

O milho (*Zea mays L.*), é uma planta pertencente à família Poaceae, originária da América do Norte. Pode ser utilizada in natura (alimentação) ou após seu processamento (óleo, farinha, amido, margarina, dentre outros.). (SILVEIRA et al., 2015).

Este cultivar, requer umidade adequada em cada fase de crescimento, sendo maior em seu processo de germinação e de formação dos grãos. Entretanto, programas de melhoramento genético auxiliam para mudar esta realidade. Fatores edafoclimáticos e econômicos são os principais interferentes que influenciam no rendimento da produção de milho. De modo que a produção varia de safra para safra. (MAGALHÃES et al., 2002).

Segundo o IPARDES (2017), a produção de milho (em grãos) no estado do Paraná foi de 15.777.409 toneladas. Deste montante, 272.650 toneladas foram produzidos em Palotina. É possível visualizar na Figura 2, uma tabela contendo informações sobre a produção de milho em grãos no estado do Paraná.

FIGURA 2 – PRODUÇÃO DE MILHO ENTRE OS ANOS DE 1984-2017 NO ESTADO DO PARANÁ.

| ANO | MILHO | | |
|---------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| | Área Colhida (ha) | Produção (t) | Produt. (kg/ha) |
| 1984 | 2 447 000 | 5 400 000 | 2 207 |
| 1985 | 2 332 840 | 5 803 713 | 2 488 |
| 1986 | 2 300 000 | 4 300 000 | 1 870 |
| 1987 | 2 846 000 | 7 641 800 | 2 685 |
| 1988 | 2 269 862 | 5 558 805 | 2 449 |
| 1989 | 2 137 234 | 5 296 080 | 2 478 |
| 1990 | 2 079 784 | 5 160 823 | 2 481 |
| 1991 | 2 358 797 | 4 827 112 | 2 046 |
| 1992 | 2 610 000 | 7 370 000 | 2 824 |
| 1993 | 2 703 000 | 8 158 000 | 3 018 |
| 1994 | 2 512 859 | 8 162 472 | 3 248 |
| 1995 | 2 727 800 | 8 960 400 | 3 285 |
| 1996 | 2 463 000 | 7 911 000 | 3 212 |
| 1997 | 2 503 003 | 7 752 217 | 3 097 |
| 1998 | 2 229 524 | 7 935 376 | 3 559 |
| 1999 | 2 520 818 | 8 777 465 | 3 482 |
| 2000 | 2 233 858 | 7 367 262 | 3 298 |
| 2001 | 2 820 597 | 12 689 549 | 4 499 |
| 2002 | 2 461 816 | 9 857 504 | 4 004 |
| 2003 | 2 843 704 | 14 403 495 | 5 065 |
| 2004 | 2 464 652 | 10 953 869 | 4 444 |
| 2005 | 2 003 080 | 8 545 711 | 4 266 |
| 2006 | 2 507 903 | 11 697 442 | 4 664 |
| 2007 | 2 730 179 | 13 835 369 | 5 068 |
| 2008 | 2 969 632 | 15 414 362 | 5 191 |
| 2009 | 2 783 036 | 11 159 845 | 4 010 |
| 2010 | 2 261 992 | 13 540 981 | 5 986 |
| 2011 | 2 470 694 | 12 441 626 | 5 036 |
| 2012 | 3 013 870 | 16 516 036 | 5 480 |
| 2013 | 3 031 691 | 17 353 450 | 5 724 |
| 2014 | 2 558 644 | 15 807 349 | 6 178 |
| 2015 | 2 465 012 | 16 223 473 | 6 581 |
| 2016 ⁽¹⁾ | 2 619 319 | 13 489 032 | 5 150 |
| 2017 ⁽²⁾ | 2 782 009 | 17 879 865 | 6 427 |

FONTE: IPARDES (2017).

No decorrer do processamento do milho vários resíduos são formados, dentre eles pode-se citar o sabugo, colmo (caule), folhas e palha. Segundo Koopmans e Koppejan (1997) apud Preto e Mortoza (2010), para cada tonelada de milho colhida, gera-se aproximadamente 2,3 toneladas de resíduos. Porém, a utilização dos resíduos da produção de milho como fontes energéticas ainda está em fase inicial, visto que só é possível sua utilização quando a colheita for da espiga, para posterior processamento. Indústrias de milho verde e produção de sementes, são exemplos.

2.5 CONSTITUINTES DA BIOMASSA

A hemicelulose é um polissacarídeo de estrutura primária, apresenta diferentes tipos de monossacarídeos (hexoses, pentoses, dentre outros). (FENGEL; WENEGER, 1984). Segundo Oliveira (2003) e Neves et al. (2011), as ramificações presentes na estrutura lhe causam instabilidade. Na madeira, a hemicelulose está presente com porcentagens de 15-25%. (ROWELL, 2005).

A estrutura química da hemicelulose influencia diretamente nos processos de degradação. Sua decomposição inicia-se em temperaturas de aproximadamente 260°C, e finalizam-se próximo à 290°C. (ÓRFÃO; FIGUEREDO, 2001).

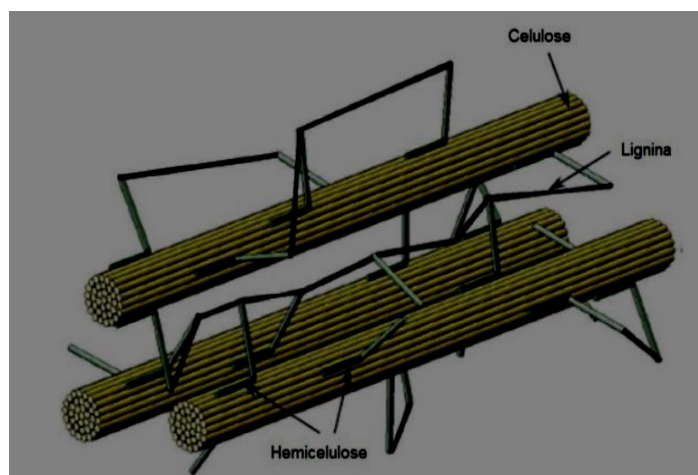
A celulose é constituída por unidades de D-Glicopiranoose, interligadas por ligações glicosídicas β 1-4 e sua porcentagem na madeira corresponde de 40-45%. (ROWELL, 2005). A faixa de degradação da celulose ocorre entre 200-280°C, e ocorre em três estágios, vigorosa decomposição, decomposição contínua e evolução dos produtos voláteis. (ROFFAEL; SCHALLER, 1971; OLIVEIRA et al., 1982).

A lignina, é um constituinte de alta complexidade, corresponde entre 18-25% em árvores folhosas e de 25-35% nas coníferas (ROWELL, 2005). A degradação da lignina ocorre em faixas de temperaturas entre 400-470°C, porém, é possível verificar alteração na estrutura em temperaturas mais baixas (150°C). (OLIVEIRA et al., 1982, BARRICHELO; BRITO, 1985).

Segundo Oliveira et al. (2010), nesta etapa ocorre a concentração do carbono fixo e redução da emissão de compostos voláteis. A lignina é responsável pela fixação de aproximadamente 50% do carbono fixo no carvão vegetal. (FREDERICO, 2009).

O teor de lignina apresenta relação positiva e linear entre a produção energética e o poder calorífico, significando que quanto maior for o teor de lignina, maior será o poder calorífico. (DEMIRBAS, 2001). É possível visualizar na Figura 3 os componentes da biomassa.

FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES LIGNOCELULOSICOS



FONTE: TABIL et al. (2011).

TABELA 1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DIFERENTES BIOMASSAS (%MS)

| | | Celulose | Hemicelulose | Lignina |
|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------|----------------|
| Cleef (2008) | TNF ¹ | 12,05 | 8,00 | 3,74 |
| Gomide et al. (2005) | EUC. ² | 44,4 | 20,5 | |
| Gomide et al. (2005) | EUC. ² | 48,6 | 21,6 | |
| Soares et al. (2014) | EUC. ² | 42,3 | 30,3 | 21,5 |
| Santos et al. (2012b) | EM ³ | 45 | 35 | 15 |

FONTE: A autora (2017). ¹Torta de Nabo Forrageiro; ²Eucalipto Grandis; ³Espiga de Milho.

2.6 PROCESSO DE COMPACTAÇÃO DA BIOMASSA

O processo de briquetagem iniciou-se no século XX, na Europa. Segundo Carvalho e Brink (2010), o processo de briquetagem é caracterizado por aglomerar partículas finas por meio de pressão, com a presença, ou não, de aglutinantes. O material compactado passa a ter forma, tamanho e parâmetros mecânicos que atendem as especificações desejadas. Ainda segundo os autores, os benefícios não são apenas tecnológicos, mas também de transporte e armazenamento mais econômico, conforme citado por outros autores, Kaliyan e Morey (2009). A compactação do material faz com que haja maior concentração de energia por unidade de volume, sendo assim um método eficiente para elevar a densidade da biomassa. (PARIKKA, 2004).

Para realizar a compactação do material é necessário que a umidade esteja entre 8-15% (GONÇALVES et al., 2009). O processo de briquetagem do material ocorre por meio de pistão mecânico, este por sua vez, aumenta a pressão e

posteriormente, há o aumento térmico. O aumento térmico provoca alteração na estrutura da lignina, processo conhecido como transição vítrea que atua como aglomerante de partículas e forma uma película que protege o briquete da umidade. (FURTADO et al., 2010). Segundo Figueiroa e Moraes (2009):

“Durante o aquecimento da madeira, a lignina torna-se uma cadeia polimérica mais desordenada e móvel, pois é um polímero termoplástico. Entretanto, após a secagem do briquete, ele volta a ser rígida e apresenta um aspecto vitrificado num processo denominado transição vítrea, que é a passagem de um estado desordenado rígido (vítreo) do polímero para um estado desordenado maior, no qual as cadeias poliméricas possuem uma maior mobilidade.”

A dimensão do briquete varia conforme sua matriz, entretanto recomenda-se que, para queima, a dimensão seja de 7,5 - 10 cm de diâmetro por 25 - 35 cm de comprimento. (KALIYAN; MOREY, 2009; QUIRINO et al., 2012).

A qualidade e as propriedades energéticas dos briquetes são influenciadas pela característica do material compactado, como por exemplo, teor de umidade, tamanho da partícula, densidade do material, pressão, temperatura, uso de aglutinante, tempo do processo, dentre outros. (YAMAJI et al., 2013).

O material compactado possui vantagens quando comparado ao mesmo material, mas considerado natural. Esta característica é decorrente da alta densidade energética e baixo teor de umidade. (PROTÁSIO et al., 2011). Mesmo com vantagens, há as desvantagens quanto ao alto investimento, gastos de energia no processo e tendência de desmancharem-se quando expostos à água ou a umidade excessiva. (BHATTACHARYA, 2004).

2.7 COMPOSIÇÃO IMEDIATA

A biomassa é composta basicamente por substâncias macromoleculares, como celulose, hemicelulose e lignina, e por componentes minoritários com baixo peso molecular, como extrativos e substâncias minerais. As características químicas do material podem ser determinadas por meio da análise química imediata. Esse método, rápido e fácil, visa determinar o teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis e teor de cinzas. (KLOK; MUNIZ, 2005; MACHADO et al., 2014).

A composição da biomassa pode sofrer influência de espécie para espécie, sistema de produção e solo. (OLIVEIRA et al., 2006). A quantidade de água

presente na biomassa é determinada por meio do teor de umidade. Esta variável influencia diretamente no poder calorífico do material, de forma que quanto maior for o teor de umidade menor será a quantidade de energia útil para geração de energia, isto ocorre porque parte do calor gerado é consumido para evaporar a água e aquecer o vapor até que atinja a temperatura dos demais gases. (VITAL et al., 2013).

O carbono fixo é relacionado à fração do carvão que é queimado no estado sólido, sendo representado pela massa que sobra após a liberação de compostos voláteis e sem a presença de cinzas. (MCKENDRY, 2002; PEREIRA, 2000).

O teor de voláteis representa a parte da biomassa que evapora com o aquecimento. Após sofrer processo de evaporação, a fração volátil mistura-se com o oxigênio do ar e entram em combustão. (PEREIRA et al., 2000; MORAIS et al., 2004).

O material volátil influencia na ignição do material, sendo que elevado teor de voláteis implica em maior reatividade/ignição do material, facilitando a queima quando o objetivo é a queima rápida. (LEWANDOWSKI; KICHERER, 1996; CORTEZ et al., 2008).

Após a queima do material, gera-se a cinza, que resulta dos resíduos da combustão de componentes orgânicos da biomassa e oxidação dos inorgânicos. (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

É possível visualizar na Tabela 2 o teor de umidade, teor de voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas para a madeira de eucalipto, propriedades que devem ser consideradas para a utilização da madeira para fins energéticos. (VALE, SARMENTO; ALMEIDA, 2005).

TABELA 2: COMPOSIÇÃO IMEDIATA PARA MADEIRA DE EUCALIPTO (%)

| | Umidade | Teor de voláteis | Teor de carbono fixo | Teor de cinzas |
|----------------------------------|---------|------------------|----------------------|----------------|
| Nones et al. (2015) ^a | 12 | 81,47 | 18,28 | 0,25 |
| Nones et al. (2015) ^b | 12 | 82,74 | 16,83 | 0,43 |
| Nogueira e Lora (2003) | - | 81,42 | 17,82 | 0,79 |

FONTE: A autora (2017). NOTA: ^a para *Eucalyptus benthamii* de 5 anos; ^b para *Eucalyptus benthamii* de 13 anos.

A análise imediata é uma das metodologias utilizadas para caracterização química da biomassa. É realizada para determinar o teor de umidade, teor de

materiais voláteis, teor de carbono fixo e cinzas, fatores que influenciam diretamente na queima do material e conseqüentemente em seu desempenho energético. É importante que a madeira apresente baixo teor umidade, pois perde-se energia ao “secar” a madeira caso esta seja elevada. (VALE et al., 2007; PEREIRA et al., 2000; MORAIS et al., 2004; QUIRINO et al., 2005).

Além disto, o elevado teor de umidade presente no material no momento da compactação produz briquetes de baixa estabilidade, visto que a elevada temperatura no momento da compactação faz com que vapores de água sejam formados, aumentando a pressão interna e conseqüente “explosões”, enquanto que quando muito secas dificultam a agregação entre as partículas. (QUIRINO et al., 2012). Muazu e Stegemann (2015), relatam que segundo as normativas europeias para combustíveis sólidos (CEN/TS 14961), a umidade ideal para briquetes de boa qualidade é de $\leq 12\%$.

É desejado que o teor de voláteis também seja baixo, isto porque ele é responsável por favorecer ignição e ocorrer queima rápida e não homogênea, esse parâmetro se altera caso o objetivo seja queima rápida. Já o teor de carbono fixo deve ser elevado, para que a queima seja mais homogênea. Carvões com queima mais lenta e homogêneas são mais procurados. (VALE et al., 2007; PEREIRA et al., 2000; MORAIS et al., 2004; QUIRINO et al., 2005).

Após a combustão de componentes orgânicos, podem permanecer resíduos, estes são conhecidos por cinzas. (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008). A quantidade de cinzas presente no material afeta diretamente o poder calorífico e conseqüentemente o processo de geração de energia. Neste sentido, espera-se que o material tenha o menor teor de cinzas possível. (MCKENDRY, 2002).

2.8 PODER CALORÍFICO

O poder calorífico é definido como quantidade de calor, que uma unidade de massa ou volume do combustível, pode liberar durante a combustão completa. (NOGUEIRA; LORA, 2003; PROTÁSIO et al., 2011). O poder calorífico pode ser subdividido em superior (PCS) e inferior (PCI). É denominado poder calorífico superior (PCS) a combustão que ocorre em volume constante, e que além disto, há a condensação da água formada durante o processo e o calor latente do vapor d'água não é perdido. (BRAND, 2010; FRIEDL et al., 2005; ABNT, 1984).

Segundo Tillman (1991), é possível estimar o PCS de uma biomassa vegetal por meio de correlações com resultados de análise elementar, isto é possível devido a fração de carbono presente na biomassa que é determinada por esta análise.

Já o Poder Calorífico Inferior (PCI), diz respeito a quantidade de calor necessária para poder produzir um quilo de combustível por meio da combustão deste com ar em excesso e gases de descarte, que são resfriados até o ponto de ebulição da água para que não ocorra sua condensação. (JARA, 1989 apud QUIRINO et al., 2005).

O poder calorífico representa o calor liberado durante o processo de combustão. Este parâmetro varia entre as diferentes matérias primas de biomassa, visto que possuem constituintes diferente. Materiais que apresentam alto teor de carbono e hidrogênio refletem em alto poder calorífico e além disto, a presença de resinas ou outros produtos presentes no material podem interferirem diretamente em maior ou menor poder calorífico. (HAKKILA, 1987 apud CALEGARI et al. 2005).

2.9 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A análise termogravimétrica e termodiferencial são utilizadas para caracterizar e estudar o processo de decomposição térmica da madeira. A análise diferencial é responsável por verificar as mudanças energéticas que ocorrem na madeira durante o aquecimento e/ou arrefecimento. (ZETARRA *et al.*, 2005).

Com a análise termogravimétrica (TGA), é possível registrar a constante perda de massa de uma amostra de biomassa submetida a um programa de temperatura (inicial e final), com variação de tempo ou temperatura, em uma atmosfera controlada. Tendo por base esta análise, é possível interpretar o comportamento da madeira durante sua composição térmica e fornecer informações sobre as faixas de temperatura de decomposição. Conhecer a temperatura inicial e final da decomposição do material é de fundamental importância, principalmente no controle de processos industriais. (CONI et al., 2004; SANTOS et al., 2012a).

O processo de decomposição térmica da madeira está ligado diretamente à sua composição. De modo geral, a madeira é composta por hemicelulose, celulose, lignina, lipídios, proteínas, açúcares, amido, hidrocarbonetos, dentre outros. Após a degradação dos polissacarídeos, via decomposição térmica, há a transformação da madeira em carvão vegetal. (ROCCA *et al.*, 1999; VITAL; CARNEIRO; PEREIRA,

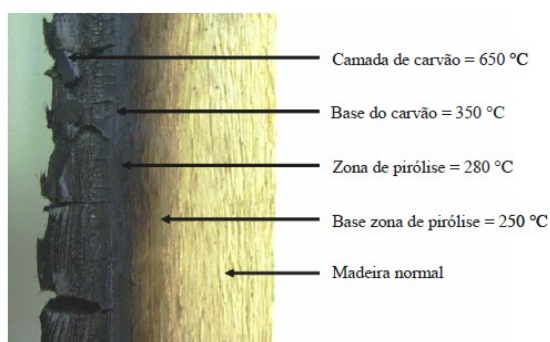
2013). Tal mudança pode ser visualizada na Tabela 3, por meio de fases e na Figura 4.

TABELA 3: FAIXAS TEÓRICAS DE TEMPERATURA PARA CONTROLE DE CARBONIZAÇÃO

| Fase | Faixa de temperatura (°C) | Fenômeno |
|------|---------------------------|--|
| I | 100 - 150 | Processo denominado pirólise lenta; Liberação de vapor de água – secagem da madeira – e gases; Não ocorre ignição da madeira; Mudança de cor; Fase endotérmica. |
| II | 150 - 275 | Processo conhecido como pirólise rápida; Degradação das hemiceluloses; Eliminação dos gases; Fase endotérmica. |
| III | 275 - 400 | Produção de grandes quantidades de destilados, principalmente ácidos acéticos e metanol; Degradação da celulose; Grande produção dos gases; Fase exotérmica; Formação do carvão vegetal. |
| IV | 400 - 470 | Redução da emissão dos gases; Produção de ácido acético, metanol, alcatrão e diversas substâncias gasosas condensáveis; Fase exotérmica; Aumento da Concentração de carbono no carvão vegetal |

FONTE: OLIVEIRA et al. (2010); FIGUEROA; MORAES (2009).

FIGURA 4: SEÇÃO CARBONIZADA DA MADEIRA



FONTE: FIGUEROA; MORAES (2009).

2.10 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA

A densidade é utilizada para caracterizar substâncias e pode ser definida como a média da massa pela média do volume, Equação 1. (BROWN, 2004).

$$\rho = \frac{m (kg)}{V (m^3)} \quad (1)$$

A madeira possui, em sua estrutura, poros, que podem ser inclusos ou não na determinação da densidade. A densidade aparente é determinada quando se considera a presença dos poros. Por sua vez, quando esta é desprezada, denomina-se densidade real ou densidade verdadeira (massa real do sólido / volume real do sólido ($V_{\text{sólido}} - V_{\text{vazios}}$)). (PANSHIN; ZEEW, 1982).

A densidade aparente dos briquetes aumenta consideravelmente quando comparado a densidade da madeira, a baixa granulometria do material compactado lhe proporciona melhor aproveitamento de espaço, reduzindo o volume total dos resíduos de 4 a 6 vezes. Além disto, por haver necessidade de possuir baixo teor de umidade para realizar o processo de compactação, os briquetes são menos higroscópicos e mais resistentes ao apodrecimento ou a fermentação quando comparado ao resíduo em sua condição natural. (QUIRINO, 1991).

Madeiras com baixa densidade resultam em queima rápida e com menor produção de energia por unidade de volume, o inverso também ocorre, madeiras com maior densidade resultam em queimas mais lentas e uniformes. (BARROS *et al.*, 2012).

Nesse sentido, a densificação de resíduos, seja eles de origem florestais ou agroindustriais favorece o aumento do potencial energético presente nos briquetes, elevando materiais que apresentam baixa densidade energética. A densidade energética nada mais é do que a energia que pode ser liberada após a combustão completa de um determinado volume de combustível. E pode ser determinado a partir da densidade aparente, auxilia no transporte e aumento da resistência mecânica do carvão. (BRAND, 2010; NEVES *et al.*, 2011; PROTÁSIO *et al.*, 2015).

2.11 RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS BRIQUETES

A resistência máxima dos briquetes é um parâmetro físico utilizado para verificar a resistência dos briquetes para o transporte, isto porque, ela está diretamente relacionada à estabilidade e integridade dos briquetes, que serão transportados da fábrica ao consumidor final. Uma vez que valores inadequados de resistência resultam em possíveis rupturas e abrasão (FURTADO et al., 2010; PROTÁSIO et al., 2011).

Segundo Dias et al. (2012), a compactação de diferentes tamanhos de partículas favorece o melhor agrupamento destas, resultando em briquetes de maiores resistência. Além disto, o pré-aquecimento também auxilia na compactação do material. Isto ocorre devido à maior área exposta quando as partículas dos resíduos são moídas, aumentando a exposição da lignina e favorecendo ligações mais fortes após a compactação, principalmente pelo evento de “plastificação” da lignina, neste momento há queda na pressão necessária para a compactação do material.

3 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de torta de nabo forrageiro foram coletadas na Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, estas foram decorrentes da extração de óleo (extração mecânica) para produção de biodiesel no Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB).

Permaneceram armazenadas no Centro de Estudos em Pequenos Ruminantes – CEPER, em sacos de rafia em local coberto. Após a coleta, permaneceu sob sol por dois dias e posteriormente ajustou-se a granulometria em trilhadeira (1 mm). O material foi armazenado em local arejado, suspenso do chão, ao abrigo do tempo.

O resíduo de sabugo de milho foi doado por uma cerealista no município de Palotina/PR. Este material estava armazenado em abrigo, protegido do sol e da chuva. Após a coleta passou por trilhadeira para ajuste de granulometria (1 mm), sendo armazenado nas mesmas condições da torta de nabo forrageiro

As amostras de resíduo de pó de serra de Eucalipto utilizada para briquetagem foram doadas pela empresa LENECO, instalada em de Capitão Leônidas Marques/PR. Estavam armazenadas na própria empresa, protegida do tempo e com umidade adequada para briquetagem (10-15% para prensa de pistão).

As misturas foram realizadas na empresa Leneco, por revolvimento manual, antes de realizar-se a compactação. As proporções das misturas foram (TABELA 4):

TABELA 4: RELAÇÃO DE PORCENTAGENS DE CADA RESÍDUO PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS.

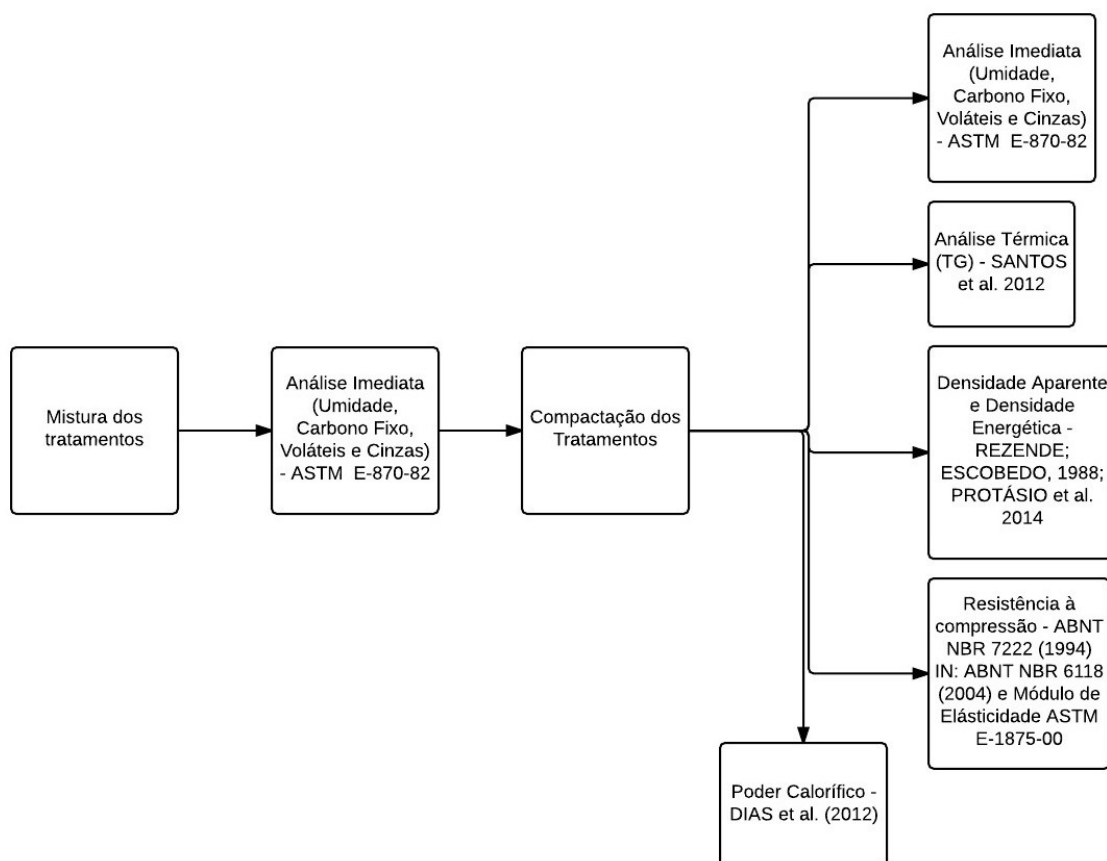
| Tratamentos | Porcentagens de cada resíduo |
|-------------|---|
| TN50 | 50% Torta de Nabo Forrageiro X 50% Pó de serra de Eucalipto |
| TN35 | 35% Torta de Nabo Forrageiro X 65% Pó de serra de Eucalipto |
| TN25 | 25% Torta de Nabo Forrageiro X 75% Pó de serra de Eucalipto |
| TN15 | 15% Torta de Nabo Forrageiro X 85% Pó de serra de Eucalipto |
| S50 | 50% Sabugo de Milho X 50% Pó de serra de Eucalipto |
| S35 | 35% Sabugo de Milho X 65% Pó de serra de Eucalipto |
| S25 | 25% Sabugo de Milho X 75% Pó de serra de Eucalipto |
| S15 | 15% Sabugo de Milho X 85% Pó de serra de Eucalipto |

FONTE: A autora (2017).

A análise imediata (teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo) realizada para os materiais *in natura* seguiu a norma ASTM (E-870-82) apud Sánchez (2010), descrita no item 4.2.

O poder calorífico dos resíduos *in natura* (torta de nabo forrageiro, sabugo de milho e pó de serra de eucalipto) foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (1984). O poder calorífico foi realizado em bomba calorimétrica IKA KV 600 digital, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Medianeira, no Laboratório Análises Térmicas e Espectrométricas de Materiais e Combustíveis (LATECOM). Para os briquetes, o poder calorífico foi estimado. Pode-se visualizar o esquema de análises realizadas para os briquetes por meio do Figura 5.

FIGURA 5: FLUXOGRAMA DE ANÁLISES REALIZADAS



FONTE: A autora (2017).

3.1 PROCESSO DE BRIQUETAGEM

O material foi compactado na empresa Leneco, Ind. e Com. De Briquetes Capitão Ltda; Rodovia de Acesso à PRC163, Km 1, Zona Rural, Capitão L. Marques – PR. O pó de serra utilizado era proveniente da madeira de *Eucalyptus ssp.* O material foi compactado em briquetadeira modelo Lippel; BL 95/210 (Trifásica), com pistão (FIGURA 06). A alimentação foi realizada em batelada (200 batidas por minuto). Cada impacto correspondia a 130 toneladas. Seguiu-se o mesmo procedimento que a empresa utiliza para produção das lenhas ecológicas (briquetes). Após a compactação, 5 briquetes de cada tratamento, escolhidos ao acaso, foram utilizados para realizar as análises.

FIGURA 6: BRIQUETADEIRA UTILIZADA PARA COMPACTAÇÃO DO MATERIAL.



FONTE: A autora (2017).

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS

3.2.1 ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata (teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo) foi realizada para os tratamentos antes e após a compactação pela norma ASTM (E-870-82) apud Sánchez (2010). Para realizar a análise imediata dos materiais in natura e das misturas antes da compactação, foram realizadas triplicatas. Após compactar os materiais, foram coletados 5 briquetes ao acaso, e para cada, duplicata, totalizando 10 amostras por tratamento.

3.2.1.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Determinou-se o teor de umidade das amostras colocando-se os cadinhos e as tampas por 1 hora na estufa a 110 °C (104 à 110 °C), em seguida, colocou-se os cadinhos e as tampas no dessecador por 30 minutos. Pesou-se os cadinhos com as tampas. Colocou-se amostra suficiente para encher $\frac{3}{4}$ dos cadinhos, tampou-se e pesou-se. Colocou-se os cadinhos destampados e as tampas na estufa por 2 horas a 110 °C. Colocou-se os cadinhos tampados no dessecador por 30 minutos. Pesou-se. Repetiu-se o procedimento até que não havia mais variação no peso. Determinou-se o teor de umidade conforme Equação 2.

$$U (\%) = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (2)$$

3.2.1.2 DETERMINAÇÃO DE VOLÁTEIS

Para realizar a determinação do teor de materiais voláteis aqueceu-se a mufla a 850 °C (850 ± 20 °C), colocou-se os cadinhos tampados na mufla (um de cada vez), por 6 minutos, retirou-se e colocou-se em dessecador. Após esfriar pesou-se. Determinou-se o teor de materiais voláteis conforme Equação 3.

$$MV (\%) = \frac{MS - MCC}{MS} \times 100 \quad (3)$$

3.2.1.3 DETERMINAÇÃO DE CINZAS

Para a análise do teor de cinzas colocou-se os cadinhos destampados na mufla fria. Aqueceu-se lentamente até 750 °C, segundo a rampa de aquecimento (TABELA 5) e mantém-se nessa temperatura durante 2 horas.

TABELA 5: RAMPA DE AQUECIMENTO DA DETERMINAÇÃO DE CINZAS

| Temperatura (°C) | Tempo de aquecimento (min) | Rampa de aquecimento (°C min ⁻¹) |
|------------------|----------------------------|--|
| 25-500 | 60 | 8 |
| 500-750 | 60 | 4 |

FONTE: SÁNCHEZ (2010).

Colocou-se no dessecador e tampou-se. Após esfriar, pesou-se. Determinou-se o teor de cinzas conforme a Equação 4.

$$CZ (\%) = \frac{MC}{MS} \times 100 \quad (4)$$

3.2.1.4 DETERMINAÇÃO DE CARBONO FIXO

A determinação do teor de carbono fixo foi feita por diferença entre massa conforme descrito na Equação 5.

$$CF (\%) = \frac{MCC - MC}{MS} \times 100 \quad (5)$$

3.3 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

O poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) foi calculado em MJ kg⁻¹. Utilizando correlação proposta por FAO (2012), baseado-se no teor de cinzas e umidade das amostras, foi possível estimar o PCI e PCS para os briquetes, conforme Equações 6 e 7, respectivamente:

$$PCS = 20,0 \times (1 - \%CZ - \%U) \quad (6)$$

$$PCI = 18,7 \times (1 - \%CZ) - (21,2 \times \%U) \quad (7)$$

Em que %CZ é o teor de cinzas e %U é o teor de umidade do combustível, determinados na análise imediata.

3.4 ANÁLISE TÉRMICA – TERMOGRAVIMÉTRIA (TG)

A análise térmica de variação de massa, termogravimetria foi realizada no Laboratório da Anatomia da Madeira, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Para determinação da termogravimetria e sua derivada. O equipamento utilizado foi um SETARAM SETSYS EVOLUTION TGA-DTA/DSC em cadinho de Alumina, utilizou-se aproximadamente 10 mg da amostra.

A análise foi realizada de temperatura ambiente à 600 °C, a 10 °C min⁻¹ e em fluxo de Argônio de 20 mL min⁻¹, com alteração do fluxo de Nitrogênio para Argônio, gás utilizado pelo laboratório citado, inerte assim como o Nitrogênio (SANTOS et al., 2012a).

3.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA

A densidade aparente foi determinada a partir da relação entre massa de amostras dos briquetes e seu respectivo volume. (REZENDE; ESCOBEDO; FERRAZ, 1988). A massa foi obtida por meio de balança semi-análítica e o volume determinado por meio das dimensões medidas com paquímetro, na sequência a densidade foi determinada conforme Equação 8. Pode-se visualizar na Figura 7, a obtenção dos dados.

$$\rho = \frac{m \text{ (kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}} \quad (8)$$

FIGURA 7: OBTENÇÃO DE DADOS PARA DENSIDADE.



FONTE: A autora (2017)

A densidade energética dos briquetes foi determinado por meio do produto da densidade básica média pelo poder calorífico superior (EQUAÇÃO 9), conforme realizado por Protásio et al. (2014).

$$\rho E = \rho \text{ (Kg m}^{-3}\text{)} \times PCS \text{ (MJ Kg}^{-1}\text{)} \quad (9)$$

3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS BRIQUETES (COMPRESSÃO DIAMETRAL)

O ensaio de resistência dos briquetes foi realizado no Laboratório de Concreto, Itaipu. Para realização dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico utilizou-se a normativa ABNT NBR 7222 (1994) com algumas adaptações, normativa de método de ensaio referente à ABNT NBR 6118 (2004). No qual utiliza-se corpos de provas cilíndricos. Mede-se altura e diâmetro dos corpos de prova. Coloca-se o corpo de prova sobre o prato base e se inicia o carregamento (contínuo e sem choques), com velocidade de carregamento $0,05 \text{ MPa s}^{-1}$ (constante). A queda de força indica sua ruptura. A resistência à compressão é determinada por meio da Equação 10.

$$f = \frac{2 \times F \text{ (kN)}}{\pi \times d \text{ (mm)} \times l \text{ (mm)}} \quad (10)$$

Em que:

f = resistência à compressão;

F = carga máxima alcançada no ensaio;

d = diâmetro do corpo de prova;

l = altura do corpo de prova.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis analisadas foram teor de umidade, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis, teor de cinzas, poder calorífico superior e inferior, densidade e densidade energética para os briquetes. Sendo realizados contrastes entre as médias em função dos tratamentos e dos tipos de resíduos (torta e sabugo).

Realizou-se também análises de regressão em função das porcentagens de inclusão dos resíduos nos briquetes. Sendo 15%, 25%, 35% e 50% de inclusão de um tipo de resíduo em cada briquete de eucalipto.

Para a realização das análises utilizou-se metodologia de mínimos quadrados no procedimento GLM (Modelos Lineares Generalizados) implementada pacote estatístico SAS 9.1. Os contrastes entre as médias realizadas foram por meio

do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também realizou-se análise de correlação entre as variáveis estudadas.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS

Na empresa em que foi coletado o pó de serra de *Eucalypto ssp.* para produção dos briquetes, o recebimento ocorre em etapas e permanece armazenado até o momento da compactação dos briquetes, o que não garante que o material utilizado tenha total homogeneidade.

Considerando que a quantidade de material a ser compactado, no presente trabalho, seria baixa (em comparação à produção diária da empresa), o responsável pela empresa diminuiu o percurso a ser realizado pelos briquetes na saída da briquetadeira, de modo que saiam ainda quentes (aquecidos pelo atrito da compactação) e caíam de uma altura de aproximadamente 100 cm e geralmente quebravam com o impacto, resultando em briquetes de tamanhos variados, mas com diâmetros aproximados de 99,00 mm. Além disto, a alimentação foi realizada em bateladas (diferente do cotidiano, que é contínua), o que resultou em briquetes com e sem fissuras. Após a compactação, os briquetes permaneceram em local arejado, sobre abrigo da luz e em temperatura ambiente (~25 °C). É possível visualizar nas Figuras 8 e 9 os briquetes produzidos.

FIGURA 8: BRIQUETES PRODUZIDOS PARA TRATAMENTO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO X TORTA DE NABO FORRAGEIRO



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 9: BRIQUETES PRODUZIDOS PARA TRATAMENTO COM PÓ DE SERRA DE EUCALIPTO X SABUGO DE MILHO



FONTE: A autora (2017).

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DAS AMOSTRAS

4.2.1 ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata dos materiais *in natura* e das misturas realizadas foram realizadas em triplicata. É possível visualizar nas Tabelas 6 e 7, os resultados da análise imediata para os diferentes tipos de resíduos e as diferentes misturas realizadas antes de sua compactação.

TABELA 6: ANÁLISE IMEDIATA DO MATERIAL SEM MISTURAS ANTES DA COMPACTAÇÃO (%)

| | Umidade | Materiais Voláteis | Carbono Fixo | Cinzas |
|--------------------------|---------|--------------------|--------------|--------|
| Pó de serra de Eucalipto | 8,81 | 83,74 | 13,94 | 2,31 |
| Torta de Nabo Forrageiro | 10,45 | 77,03 | 15,31 | 7,66 |
| Sabugo de Milho | 10,79 | 82,30 | 16,73 | 0,97 |

FONTE: A autora (2017).

A diferença da composição química entre pó de serra de eucalipto, torta de nabo forrageiro e sabugo de milho é o principal fator de influência sobre os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas.

A umidade ideal para compactar o material varia conforme a prensa a ser usada, caso seja prensa de pistão, a umidade recomendada varia entre 10 - 15%, enquanto que para prensa de extrusão, 8 - 9%. (NOGUEIRA; LORA, 2003). Neste

sentido, com a umidade observada neste estudo (TABELAS 5 e 6), foi possível realizar a densificação do material com prensa de pistão.

Nones et al. (2015), verificaram teores de materiais voláteis, para *Eucalyptus benthamii*, de 81,47% e 82,74%, para idades de 5 e 13 anos, respectivamente. Trugilho et al. (2001a), relata teor de materiais voláteis entre 77,58% e 81,59% para diferentes clones de *Eucalyptus*. Para o mesmo parâmetro, Silva et al. (2015), registraram valor de 83,98%. Valores próximos ao observado no presente trabalho para os resíduos de pó de serra de Eucalipto (83,74%).

Para pó de serra de Eucalipto, Trugilho et al. (2001a), observaram teor de carbono fixo entre 18,05% e 21,91%, para diferentes clones de Eucalipto. Silva et al. (2015), observaram valores de 15,78%. Valores superiores ao deste trabalho (13,94%), diferenças inerentes a amostra analisada e a metodologias utilizadas.

Barrichelo e Brito (1978), realizaram análise química imediata de diferentes espécies de eucalipto no qual se observou que a casca apresenta maior teor de cinzas quando comparado com a madeira, variando de valores desde 0,30% a 6,40%. Silva et al. (2015), em seu estudo sobre as propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia, relatam teor de cinzas de 0,24% para a madeira de Eucalipto. Trugilho et al. (2001a), relatam teor de cinza entre 0,33% e 0,53% para diferentes clones de *Eucalyptus*, valores inferiores ao observado neste (2,31%).

Para a torta de nabo forrageiro, o valor de material volátil foi de 77,03% e de carbono fixo 15,31%. Na literatura não é descrito análise de teor de materiais voláteis e carbono fixo para torta de nabo forrageiro. Em trabalho sobre a caracterização química de diferentes sementes de oleaginosas, dentre elas torta de nabo forrageiro, Souza et al. (2009), observaram 5,25% de teor de cinzas para a torta de nabo forrageiro, valor inferior ao observado no presente trabalho (7,66%).

Vale, Dantas e Zambrzyck (2013), verificaram teor de materiais voláteis de 84,68% e de carbono fixo 13,67% para sabugo de milho. Enquanto Paula et al. (2011) e Raveendran, Ganesh e Khilar (1995), determinaram para teores de materiais voláteis e carbono fixo 81,31% e 18,32%; e 85,40% e 11,80%, respectivamente. Os valores citados para materiais voláteis e carbono fixo estão próximos ao observado no presente trabalho 82,30% e 16,73%.

No trabalho sobre o potencial energético dos resíduos da cultura do milho, realizado por Vale, Dantas e Zambrzycki (2013), determinou-se o teor de cinzas para

o sabugo desta cultura e obteve-se 1,65%, valor superior ao do presente trabalho (0,97%). Tal diferença pode ser atribuída a algumas diferenças na metodologia empregada.

TABELA 7: ANÁLISE IMEDIATA DOS TRATAMENTOS ANTES DA COMPACTAÇÃO (%)

| | Umidade | Materiais Voláteis | Carbono Fixo | Cinzas |
|------|----------------|---------------------------|---------------------|---------------|
| TN50 | 12,51 | 80,02 | 16,70 | 3,28 |
| TN35 | 12,29 | 81,69 | 16,14 | 3,15 |
| TN25 | 12,48 | 82,29 | 16,51 | 3,18 |
| TN15 | 12,54 | 83,43 | 15,30 | 2,27 |
| S50 | 12,48 | 83,88 | 15,72 | 2,39 |
| S35 | 12,16 | 82,98 | 15,79 | 2,36 |
| S25 | 12,20 | 82,51 | 14,42 | 3,02 |
| S15 | 11,72 | 85,52 | 11,41 | 3,05 |

FONTE: A autora (2017).

Araújo et al. (2016), em estudo sobre os efeitos da torrefação para produção de briquetes de madeira de eucalipto sob diferentes pressões de compressão, verificaram que pó de serra de eucalipto sem tratamento térmico possuem teor de materiais voláteis de 86,13%, teor de carbono fixo de 13,05% e teor de cinzas de 0,82%. Silva et al. (2015), observaram 80,54% para materiais voláteis, carbono fixo de 17,90% e teor de cinzas de 1,57%. Não é descrito na literatura análise imediata para misturas contendo torta de nabo forrageiro.

Ebeling e Jenkins (1985), relataram para análise imediata para sabugo de milho 18,54% de carbono fixo, 80,10% de teor de voláteis e 1,36% de cinzas.

No presente trabalho, o teor de umidade para briquetes de pó de serra de eucalipto X torta de nabo forrageiro variaram de 12,29 - 12,54% e para pó de serra de eucalipto X sabugo de milho variaram de 11,73 - 12,49%. Para teor de voláteis, briquetes de pó de serra de eucalipto X torta de nabo forrageiro variaram de 80,02 - 83,43% e para pó de serra de eucalipto X sabugo de milho variaram de 85,51 - 85,52%. Para teor de carbono fixo, os briquetes de pó de serra de eucalipto X torta de nabo forrageiro variaram de 15,30 - 16,70% e para pó de serra de eucalipto X sabugo de milho variaram de 11,73 - 12,48%. E teor de cinzas, os briquetes de pó de serra de eucalipto X torta de nabo forrageiro variaram de 2,26 - 3,28% e para pó de serra de eucalipto X sabugo de milho variaram de 2,36 - 3,05%.

Nesse sentido, as misturas propostas para produção de briquetes (tanto as contendo torta de nabo forrageiro, quantosabugo de milho), apresentam potencial para serem utilizadas. A umidade favorece à compressão por prensa pistão. A porcentagem de carbono fixo é próxima à da madeira de Eucalipto, o que pode incentivar a produção, uma vez que o eucalipto é uma das madeiras mais utilizadas para fins energéticos. (COUTO; MULLER, 2013).

Na Tabela 8 é possível visualizar a análise imediata para os briquetes.

TABELA 8: ANÁLISE IMEDIATA DOS TRATAMENTOS APÓS COMPACTAÇÃO (%)

| | Umidade | | Materiais Voláteis | | Carbono Fixo | | Cinzas | |
|------|---------|----|--------------------|---|--------------|---|--------|----|
| TN50 | 8,89 | A | 76,39 | A | 17,34 | A | 6,27 | C |
| TN35 | 8,94 | A | 77,47 | A | 17,40 | A | 5,13 | BC |
| TN25 | 8,79 | A | 78,01 | A | 17,28 | A | 4,71 | B |
| TN15 | 8,07 | A | 79,88 | B | 16,87 | A | 3,25 | A |
| S50 | 9,79 | B | 79,61 | A | 18,18 | A | 2,21 | A |
| S35 | 9,58 | AB | 81,10 | A | 16,81 | A | 2,09 | A |
| S25 | 8,94 | A | 80,08 | A | 17,15 | A | 2,77 | B |
| S15 | 8,93 | A | 80,07 | A | 17,28 | A | 2,65 | B |
| CV% | 9,73 | | 1,36 | | 5,63 | | 13,00 | |

FONTE: A autora (2017). NOTA: Letras iguais (à direita da média) indicam igualdade estatística a 5 % de probabilidade. Letras diferentes indicam diferença estatística a 5 % de probabilidade. CV%: Coeficiente de Variação.

Para teor de umidade, não houve diferença estatística dentro do tratamento TN (Pó de serra de eucalipto X Torta de nabo forrageiro), enquanto que para S (Pó de serra de eucalipto X Sabugo de Milho) houve diferença, sendo que S15 e S25 são iguais estatisticamente, mas diferentes de S50; e S35, é igual tanto de S50.

Para teor de voláteis, houve diferença dentro do tratamento TN, TN50, TN35 e TN25 são estatisticamente diferentes de TN15. Não houve diferença dentro do tratamento S para esta variável.

Não houve diferença estatística dentro dos tratamentos TN e S para teor de carbono fixo. Para teor de cinzas, houve diferença dentro dos tratamentos TN e S. TN50 é igual estatisticamente a TN35, e este é igual a TN25, TN15 difere de todos os tratamentos. Para S, S50 e S35 são iguais entre si e diferentes de S25 e S15, que são iguais entre si.

Dentro do tratamento TN, destaca-se o tratamento TN15, visto que apresenta teor de carbono fixo igual aos demais (estatisticamente) e menor teor de cinzas (3,25%A). Para o tratamento S, destacam-se S50 e S35, que são iguais aos demais para teor de carbono fixo, e menor teor de cinzas (iguais entre si e diferentes dos demais).

Protásio et al. (2011), realizaram a compactação de briquetes de serragem de eucalipto e obtiveram 6,29% de umidade. Não consta na literatura análise imediata para briquetes com torta de nabo forrageiro. Protásio et al. (2011), realizaram a compactação de briquetes de resíduos de milho e obtiveram 6,52% de umidade. Alves; Barcellos; e Abud (2016), realizaram compactação de sabugo de milho e obtiveram teor de umidade de 10,92%, teor de voláteis 88,54%, teor de carbono fixo 9,47% e cinzas 1,99%. Segundo Nogueira e Rendeiro (2008), as características termofísicas típica dos briquetes são: 12% de umidade, 84% para teor de materiais voláteis, 14% para teor de carbono fixo, e 2% de cinzas.

Após a compactação, o teor de umidade e teor de materiais voláteis diminuíram, e o teor de carbono fixo, aumentou. Fator que pode estar associado ao aquecimento que ocorre durante a compactação do material, por atrito. A queima mais lenta e homogênea é uma característica desejada pelo mercado consumidor, fator influenciado pelo baixo teor de voláteis. Além disto, tanto a umidade quanto carbono fixo influenciam (negativamente e positivamente, respectivamente) em outras variáveis. Neste sentido, os briquetes (de ambos os tratamentos) apresentam perspectiva de uso para fins energéticos.

4.3 PODER CALORÍFICO

Pode-se visualizar na Tabela 9 o poder calorífico para os diferentes resíduos (determinado em bomba calorimétrica), e na Tabela 10 o poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) para os diferentes tratamentos (determinado tendo como base teor de umidade e teor de cinzas).

TABELA 9: PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS RESÍDUOS ANTES DA COMPACTAÇÃO (MJ KG⁻¹).

| Resíduos | Poder Calorífico Superior |
|--------------------------|---------------------------|
| Pó de serra de Eucalipto | 17,01 |
| Torta de Nabo Forrageiro | 20,15 |
| Sabugo de Milho | 16,06 |

FONTE: A autora (2017).

TABELA 10: PODER CALORÍFICO DOS BRIQUETES (MJ KG⁻¹).

| | PCS | | PCI |
|------|-------|---|----------|
| TN50 | 16,97 | B | 15,64 B |
| TN35 | 17,19 | B | 15,84 B |
| TN25 | 17,30 | B | 15,96 AB |
| TN15 | 17,74 | A | 16,38 A |
| S50 | 17,60 | A | 16,21 A |
| S35 | 17,67 | A | 16,28 A |
| S25 | 17,66 | A | 16,29 A |
| S15 | 17,68 | A | 16,31 A |
| CV% | 0,99 | | 1,12 |

FONTE: A autora (2017). NOTA: Letras iguais (à direita da média) indicam igualdade estatística a 5 % de probabilidade. Letras diferentes indicam diferença estatística a 5 % de probabilidade. CV%: Coeficiente de Variação.

Quando observa-se somente os resíduos (TABELA 9), o maior poder calorífico obtido foi para torta de nabo forrageiro 20,15 MJ kg⁻¹, seguido do pó de serra de eucalipto 17,01 MJ kg⁻¹ e por fim, sabugo de milho 16,06 MJ kg⁻¹.

Para os tratamentos, houve diferença estatística dentro do tratamento TN tanto para poder calorífico superior (PCS) quanto para poder calorífico inferior (PCI). Para PCS, o tratamento TN15, teve o maior valor médio 17,74 MJ kg⁻¹ e difere estatisticamente de TN35, TN25 e TN15. Para PCI o maior valor médio 16,38 MJ kg⁻¹ foi determinado para o tratamento TN15 que difere de TN50, TN35, no entanto não difere de TN25. Para S não houve diferença estatística para PCS nem para PCI.

Protásio et al. (2011), realizaram a compactação de briquetes de serragem de eucalipto e obtiveram poder calorífico de 18,46 MJ kg⁻¹. Não foi encontrado na literatura poder calorífico para torta de nabo forrageiro. Protásio et al. (2011),

realizaram a compactação de briquetes de resíduos de milho e obtiveram poder calorífico de 18,89 MJ kg⁻¹.

De modo geral, os valores de PCS estimado para o TN estão entre os valores determinados para pó de serra de eucalipto e torta de nabo forrageiro. Os valores estimados para PCS para o tratamento contendo sabugo, são superiores aos determinados para pó de serra de eucalipto e sabugo de milho. Além disto, os valores estão próximos aos observados em literatura, o que propicia o uso dos briquetes para finalidades energéticas.

4.4 ANÁLISE TÉRMICA – TERMOGRAVIMETRIA (TG)

A análise termogravimétrica representa a degradação de massa em função da temperatura. Na Tabela 11 está representado o resumo dos eventos observados nos termogramas (Anexo 1). Partiu-se da temperatura ambiente até 600 °C para todos os tratamentos.

TABELA 11: RELAÇÃO DOS EVENTOS OBSERVADOS NOS TERMOGRAMAS

| Tratamento | Primeiro Evento | Segundo Evento | Terceiro Evento |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Pó de serra de Eucalipto | 90-100 °C | 250-300 °C | 350-400 °C |
| Torta de Nabo Forrageiro | 90-100 °C | 280-290 °C | 310-320 °C |
| Sabugo de Milho | 89-100 °C | 250-300 °C | 300-350 °C |
| TN50 | 98-102 °C | 210-280 °C | 340-350 °C |
| TN35 | 90-100 °C | 210-280 °C | 340-350 °C |
| TN25 | 90-100 °C | 210-280 °C | 340-350 °C |
| TN15 | 90-100 °C | 210-280 °C | 340-350 °C |
| S50 | 90-100 °C | 210-340 °C | 340-350 °C |
| S35 | 90-100 °C | 250-300 °C | 340-350 °C |
| S25 | 90-100 °C | 250-300 °C | 340-355 °C |
| S15 | 90-100 °C | 250-300 °C | 340-350 °C |

FONTE: A autora (2017). OBS.: Termogramas em anexo.

Os tratamentos apresentaram faixa de degradação próximas (TABELA 11). O evento próximo a 100 °C refere-se à perda de umidade do material. A degradação da lignina se inicia desde, aproximadamente, 150 °C e segue até o final do processo, motivo pelo qual não se observa um pico específico para a lignina, conforme ocorre para os demais polissacarídeos. (VITAL; CARNEIRO; PEREIRA, 2013).

A hemicelulose é degradada principalmente entre 150 - 275 °C, enquanto que a celulose, entre 275 - 400 °C. (OLIVEIRA et al., 2010; FIGUEROA; MORAES, 2009). A diferença de temperatura está associada à estrutura destes polissacarídeos. As hemiceluloses podem apresentar um tipo de açúcar na cadeia principal (homopolissacarídicas) ou mais que um tipo em sua cadeia básica (heteropolissacarídicas). (EBRINGEROVA, 2006), tal variedade implica no grau de polimerização, de até 200 unidades. Além disto, apresentam cadeias curtas, logo baixo peso molecular e ramificações

. A celulose, diferentemente, apresenta alto peso molecular, sua cadeia principal é homopolissacarídica (diversas unidades de β -D-glicopiranoose, unidas através de ligações glicosídicas do tipo β -(1-4)) e podem apresentar grau de polimerização de até 25.000 unidades. É importante considerar também que a conformação organizacional da celulose é estável, devido às ligações de hidrogênio resultando em regiões ordenadas. Essas diferenças estruturais entre a celulose e a hemicelulose são responsáveis pela degradação da hemicelulose, primeiramente, seguida da celulose. (JUNIOR; FONSECA; SILVA, 2014).

É importante conhecer as fases de degradação da biomassa, visto que a partir desta é possível determinar a faixa de temperatura a ser empregada para queima completa do material. (VITAL; CARNEIRO; PEREIRA, 2013). Nesse sentido, os briquetes em questão são degradados em temperaturas consideradas baixas, o que propicia sua utilização energética.

4.5 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA

É possível na Tabela 12 verificar as densidades (aparente e energética) para os diferentes tratamentos.

TABELA 12: DENSIDADE APARENTE (KG M⁻³) E DENSIDADE ENERGÉTICA (MJ M⁻³) DOS BRIQUETES DO TRATAMENTO TN E S.

| | Densidade Aparente | | Densidade Energética | |
|------|--------------------|---|----------------------|---|
| TN50 | 890 | A | 15.131 | A |
| TN35 | 830 | A | 14.232 | A |
| TN25 | 910 | A | 15.818 | A |
| TN15 | 1000 | A | 17.730 | A |

Continua.

Continuação Tabela 12

| | Densidade Aparente | | Densidade Energética | |
|-----|--------------------|---|----------------------|---|
| S50 | 960 | A | 16.890 | A |
| S35 | 960 | A | 16.980 | A |
| S25 | 1060 | A | 18.690 | A |
| S15 | 1040 | A | 18.460 | A |
| CV% | 15,35 | | 15,64 | |

FONTE: A autora (2017). NOTA: letras iguais (à direita da média) indicam igualdade estatística a 5 % de probabilidade. Letras diferentes indicam diferença estatística a 5 % de probabilidade. CV%: Coeficiente de Variação.

Não houve diferença estatística para TN e S, tanto para densidade aparente quanto para densidade energética. Protásio et al. (2011), realizaram a compactação de briquetes de serragem de eucalipto e obtiveram 950 kg m⁻³ para densidade aparente e 17.430 MJ m⁻³ para densidade energética. Paula et al. (2011), realizaram compactação de diferentes materiais/resíduos lignocelulósicos e obtiveram densidade aparente de 900 kg m⁻³ para briquetes de serragem de madeira.

Yamaji et al. (2013), observaram em seu estudo sobre a análise do comportamento higroscópico de briquetes, que briquetes de serragem de eucalipto apresentam densidade de 800 kg m⁻³. Já Silva et al. (2015), observaram valores de densidade, para serragem de eucalipto, de 920 kg m⁻³.

Não há na literatura teor de densidade aparente e densidade energética para briquetes que contenham torta de nabo forrageiro.

Protásio et al. (2011), realizaram a compactação de briquetes de resíduos de milho e obtiveram 930 kg m⁻³ para densidade aparente e 17.639,6 MJ m⁻³ para densidade energética. Paula et al. (2011), obtiveram densidade aparente de 870 kg m⁻³ para briquetes de sabugo de milho.

Muazu e Stegemann (2015), observaram densidade dos briquetes entre 366 e 570 kg m⁻³. Segundo este autor, o valor recomendado para biocombustíveis sólidos padrão pela normativa UK de boas práticas deve ser superior à 500 kg m⁻³.

Kaliyan et al. (2009), relatam que para densidade de briquetes produzidos a partir de espigas de milho e/ou palha de milho os briquetes podem ser uniformes, com densidade de 500 - 600 kg m⁻³.

As propriedades da biomassa variam conforme o material utilizado, umas podem ser melhor densificadas que outras. Biomassas que apresentam elevado teor de lignina, teor de amido (agindo como aglutinante) e proteína, apresentam melhor

compactação quando comparado com aqueles que apresentam maior teor celulósico (TUMULURU et al., 2011; MUAZU; STEGEMANN, 2015).

Para espigas de milho, o teor de lignina, proteína e amido são 15,3%, 2,7% e 1,61%, respectivamente (PEROTTI; MOLINA, 1988; STEFFENS, 2012; BAZZANA et al., 2011), para os mesmos parâmetros, Kaliyan e Morey (2010), observaram 5,8%, 2,5% e 2,1%, respectivamente para espigas de milho. Para torta de nabo forrageiro, Souza et al. (2009), relatam teor de proteína bruta de 49,47% e para amido 14,79%.

Kaliyan e Morey (2009), em trabalhos realizados, observaram que algumas variáveis (como tamanho de partícula, teor de umidade e temperatura influenciam na densidade e durabilidade dos briquetes. Conclui-se, no trabalho citado, que o ideal para estas variáveis são partículas com tamanhos entre 0,5 e 1,0 mm; umidade entre 8 e 20% e temperatura de pré-aquecimento de 65 e 100 °C.

As densidades (aparente e energéticas) dos briquetes produzidos, observadas neste trabalho, estão de acordo com o observado na literatura citada. Neste sentido, é possível considerar que briquetes de eucalipto contendo torta de nabo forrageiro e sabugo de milho apresentam-se propícios à utilização para fins energéticos.

4.6 RESISTÊNCIA DOS BRIQUETES

Protásio et al. (2011), em estudos sobre a compactação de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos, obtiveram resistência de tração por compressão diametral de 0,82 MPa para briquetes de serragem de eucalipto. Paula et al. (2011), obtiveram resistência mecânica de 18,65 MPa para briquetes de serragem de madeira.

No mesmo estudo, Protásio et al. (2011), analisaram briquetes com resíduos moídos de milho (palha, sabugo, caule e folhas) e obtiveram valor de 0,91 MPa. Paula et al. (2011), obtiveram resistência mecânica de 7,25 MPa para briquetes produzidos a partir de sabugo de milho.

Não há na literatura teste de resistência à tração por compressão diametral para briquetes de torta de nabo forrageiro ou misturas que o contenham.

A alta resistência mecânica é desejada por diversos fatores, dentre eles a resistência à exposição e ao choque durante o transporte de modo que não sofra

com esmigalhamento, desagregação ou amolecimento durante o aquecimento (REINEKE, 1964).

Os briquetes, dos diferentes tratamentos, apresentaram diferentes valores e não seguiram linearidade esperada (TABELA 13).

TABELA 13: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DIAMETRAL DOS BRIQUETES (MPA)

| | Resistência dos Briquetes |
|------|---------------------------|
| TN50 | 1,53 |
| TN35 | 0,36 |
| TN25 | 0,57 |
| TN15 | 0,77 |
| S50 | 1,57 |
| S35 | 0,99 |
| S25 | 4,90 |
| S15 | 3,13 |

FONTE: A autora (2017).

Vários motivos podem estar atrelados a esta diferença, pode-se citar como exemplo, a homogeneização do material pré-briquetagem, que foi realizada manualmente, a ausência de aglutinante, responsável por manter o empacotamento após o processo e durante o armazenamento (SCHNEIDER; MÜHLEN, 2011), o próprio transporte realizado entre o local de produção e análise.

Diversos pesquisadores relatam a dificuldade em obter-se repetibilidade nos resultados do teste de resistência à compressão, mesmo que os briquetes e/ou peletes possuam mesma origem. (FRANKE; REY, 2006; LI; LIU, 2000). Ainda segundo Li e Liu (2000), o teste de resistência à compressão pode não indicar a verdadeira resistência à compressão do material compactado. Esta dificuldade, pode estar atrelada as interações das partículas.

A resistência e a durabilidade dos materiais densificados dependem das forças físicas que ligam as partículas em conjunto, as principais forças de ligação que atuam entre as partículas são classificadas em 5 grupos: 1^a – Pontes sólidas; 2^a – Forças de atração entre partículas sólidas; 3^a – Ligações mecânicas interligadas; 4^a – Forças de adesão e coesão; e 5^a – Forças interfaciais e pressão capilar. (KALIYAN; MOREY, 2009).

Além disto, a presença de lipídios em briquetes também podem interferir nas forças de atração, adesividade, entre outros fatores que contribuem para que apresentem alta dureza. (MANICKAM et al., 2006). Tal fator pode ter influenciado na resistência dos briquetes, uma vez que briquetes que continham torta de nabo forrageiro apresentaram menores resistências quando comparados aos que continham sabugo de milho.

A temperatura de preaquecimento (entre 65 – 100 °C) e a temperatura empregada e/ou gerada durante a compactação também pode influenciar diretamente nas propriedades finais do briquete e no consumo energético durante a compactação (KALIYAN; MOREY, 2009). Segundo BHATTACHARYA et al. (1989), citado por Quirino et al. (2012), “a resistência do briquete depende da temperatura de compactação, e a resistência máxima é atingida próximo aos 220 °C”, esta dependência está relacionada às forças de ligação atuantes entre as partículas. Outro fator que pode ter influenciado na resistência dos briquetes. Não houve preaquecimento do material para iniciar o processo de briquetagem nem aquecimento (em temperatura controlada), entretanto, após algum tempo o atrito entre os materiais gerou aquecimento, induzindo os tratamentos seguintes a certo preaquecimento. O primeiro tratamento a ser compactado foi o tratamento 1 (TN = Torta de nabo forrageiro com Serragem de Eucalipto), seguido do tratamento 2 (S = Sabugo de Milho com Serragem de Eucalipto).

4.7 ANÁLISE DE CORRELAÇÕES

Observou-se correlações significativas positivas e negativas entre as variáveis analisadas nos briquetes de Eucaliptos com adição dos diferentes resíduos. Segue na Tabela 14 as correlações entre as variáveis analisadas.

TABELA 14: ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS.

| | U | CF | MV | CZ | PCS | PCI | D | DE |
|----|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|----------|
| U | 1 | 0,21641 | 0,10439 | -0,2614 | -0,3425 | -0,41 | -0,21773 | -0,24172 |
| | | 0,1798* | 0,5215* | 0,1033* | 0,0305* | 0,0086* | 0,1771* | 0,1329* |
| CF | 0,21641 | 1 | -0,53713 | 0,00081 | -0,1299 | -0,1429 | -0,00777 | -0,0205 |
| | 0,1798* | | 0,0004* | 0,9961* | 0,4241* | 0,3789* | 0,962* | 0,9001* |

Continua.

Continuação Tabela14

| | U | CF | MV | CZ | PCS | PCI | D | DE |
|-----|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|
| MV | 0,10439 | -0,53713 | 1 | -0,84393 | 0,75912 | 0,72888 | 0,25659 | 0,3189 |
| | 0,5215* | 0,0004* | | <.0001* | <.0001* | <.0001* | 0,11* | 0,0449* |
| CZ | -0,2614 | 0,00081 | -0,84393 | 1 | -0,8173 | -0,7732 | -0,29926 | -0,36503 |
| | 0,1033* | 0,9961* | <.0001* | | <.0001* | <.0001* | 0,0607* | 0,0206* |
| PCS | -0,34252 | -0,12997 | 0,75912 | -0,81731 | 1 | 0,99735 | 0,42126 | 0,4996 |
| | 0,0305* | 0,4241 | <.0001* | <.0001* | | <.0001* | 0,0068* | 0,001* |
| PCI | -0,41 | -0,14294 | 0,72888 | -0,7732 | 0,99735 | 1 | 0,42583 | 0,50374 |
| | 0,0086* | 0,3789* | <.0001* | <.0001* | <.0001* | | 0,0062* | 0,0009* |
| D | -0,21773 | -0,00777 | 0,25659 | -0,29926 | 0,42126 | 0,42583 | 1 | 0,99603 |
| | 0,1771* | 0,962* | 0,11* | 0,0607* | 0,0068* | 0,0062* | | <.0001* |
| DE | -0,24172 | -0,0205 | 0,3189 | -0,36503 | 0,4996 | 0,50374 | 0,99603 | 1 |
| | 0,1329* | 0,9001* | 0,0449* | 0,0206* | 0,001* | 0,0009* | <.0001* | |

FONTE: A autora (2017). NOTA: * indicam igualdade estatística a 5% de probabilidade, quando for superior (a 0,05) e diferença estatística a 5% de probabilidade quando inferior (a 0,05). U = Umidade; CF = Carbono Fixo; MV = Materiais Voláteis; CZ = Cinzas; PCS = Poder Calorífico Superior; PCI = Poder Calorífico Inferior; D = Densidade; DE = Densidade Energética.

A correlação entre variáveis visa determinar o grau de relacionamento entre duas variáveis. Para compreender a Tabela 14, de Correlação entre as variáveis, é preciso, primeiramente verificar se houve ou não diferença estatística. Os números acompanhados do asterisco (*), devem ser observados e verificados se são maiores ou menores que 0,05 (5%), caso sejam maiores, não apresentam diferença significativa enquanto que valores menores apresentam diferença estatística.

As correlações PCS X Umidade; PCI X Umidade; Carbono X Voláteis; Cinzas X Voláteis; PCS X Voláteis; PCI X Voláteis; Densidade Energética X Voláteis; PCS X Cinzas; PCI X Cinzas; Densidade Energética X Cinzas; PCS X PCI; Densidade X PCS; Densidade Energética X PCS; PCI X Densidade; PCI X Densidade Energética apresentaram diferença estatística.

Após verificar a diferença estatística, deve-se observar se o valor das correlações são positivas ou negativas, isto porque o sinal positivo indica que ao aumentar a quantidade de resíduo nos briquetes aumenta as duas variáveis, e quando apresentar sinal negativo, significa que ao adicionar resíduo na composição dos briquetes, uma variável influencia na outra, de modo que aumentará uma e diminuirá a outra.

Para as correlações PCS X Umidade; PCI X Umidade; Carbono X Voláteis; Cinzas X Voláteis; PCS X Cinzas; PCI X Cinzas; Densidade Energética X Cinzas, que houve diferença estatística, o sinal das correlações são negativas, significando

que ao acrescentar em diferentes proporções resíduos (Torta e Sabugo) nos briquetes de serragem de Eucalipto a umidade diminuirá e PCS e PCI aumentará. O mesmo ocorre com cinzas. Se o teor de carbono aumentar, voláteis diminuirá; se aumentar Cinzas, diminuirá voláteis; e se aumentar a densidade energética diminuirá cinzas, respectivamente e o inverso destas situações pode ocorrer.

Para as demais correlações em que houve diferença significativa, apresentaram sinal positivo, indicando que nas mesmas condições de acréscimo de resíduos, ao aumentar uma variável, a outra aumentará (ocorrendo o inverso também).

Trugilho e Silva (2001b), realizaram análise para verificar a correlação entre algumas variáveis da madeira, e obtiveram correlação negativa para teor de carbono fixo e teor de voláteis (-0,7933).

4.8 ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR

A partir da análise de correlação pode-se realizar análise de regressão, a fim de obter-se modelos de regressão para estimativa indireta das características dos briquetes. É possível visualizar nas Tabelas 15 e 16 as análises de regressão realizadas para os tratamentos com sabugo de milho e torta de nabo forrageiro.

TABELA 15: ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR PARA O TRATAMENTO CONTENDO SABUGO DE MILHO.

| Para sabugo de milho | | | | |
|----------------------|------------------------------------|----------------|----------|--|
| Variável | Equação | R ² | P < 0,05 | |
| Umidade | $Y = 8,44302 + 0,02773 \text{ PM}$ | 0,4259 | 0,0018 | |
| Cinzas | $Y = 2,94650 - 0,01657 \text{ PM}$ | 0,4062 | 0,0025 | |

FONTE: A autora (2017). NOTA: PM = Porcentagem da mistura.

TABELA 16: ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR PARA O TRATAMENTO CONTENDO TORTA DE NABO FORRAGEIRO.

| Para torta de nabo Forrageiro | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------|--|
| Variável | Equação | R ² | P < 0,05 | |
| Voláteis | $Y = 80,86796 - 0,09383 \text{ PM}$ | 0,6356 | <0,0001 | |
| Cinzas | $Y = 2,29393 + 0,08148 \text{ PM}$ | 0,7439 | <0,0001 | |
| PCS | $Y = 17,93801 - 0,02050 \text{ PM}$ | 0,5842 | <0,0001 | |
| PCI | $Y = 16,57164 - 0,01970 \text{ PM}$ | 0,5470 | 0,0002 | |

FONTE: A autora (2017). NOTA: PM = Porcentagem da mistura.

A regressão é uma técnica que tem como resultado uma equação matemática capaz de descrever, da melhor forma, o relacionamento entre as variáveis (dependentes e independentes). A partir desta equação é possível

verificar, dentro de uma porcentagem de resíduo 50 - 15% (torta ou sabugo) na composição final dos briquetes de serragem de Eucalipto, qual o valor de uma determinada variável (umidade, carbono fixo, dentre outras) em função da porcentagem utilizada, neste sentido é possível escolher a porcentagem a ser utilizada e verificar qual será o valor da variável (dependente ou independente). Além disto, pode-se utilizar o valor ótimo para a variável independente e verificar a porcentagem a ser utilizada (variável dependente), desde que dentro da porcentagem testada (50-15%).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os resíduos *in natura*, o teor de umidade estava em conformidade para realizar a compactação do material de modo que foi possível realizar a briquetagem dos resíduos de torta de nabo forrageiro com eucalipto e os resíduos de sabugo de milho com eucalipto. Além disto, o teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas, estavam próximo ao observado em literatura para eucalipto, sugerindo que os briquetes apresentariam qualidades positivas para finalidades energéticas.

Após a compactação, a umidade e o teor de materiais voláteis dos briquetes diminuíram, enquanto que o teor de carbono fixo aumentou. Este fator implica em beneficiamentos ao material após sua compactação, visto que o aumento do teor de carbono fixo indica aumento de potencial energético. Além disto, as densidades aparente e energética estavam de acordo com a literatura, potencializando seu uso para fins energéticos.

Entretando, a resistência à compressão diametral não obteve resultados satisfatórios, sugerindo que novas análises sejam realizadas, a fim de verificar qual dos possíveis interferentes está influenciando negativamente sobre a linearidade e repetibilidade.

Os picos observados nos termogramas são semelhantes entre os diferentes tratamentos, as poucas diferenças estão associadas a mínima variação dos picos máximo de degradação. Considerando a baixa diferença entre a temperatura de maior degradação é possível compreender que tanto o briquete da mistura de pó de serra com torta de nabo forrageiro quanto da mistura com sabugo associado ao fato de ser uma baixa temperatura de degradação, podem ser utilizados como fonte energética.

Neste sentido, ambos os tratamentos apontam viabilidade de utilização. Visto que a utilização de resíduos agroindustriais diminui custos de produção e materiais destinados à aterros. Além disto, apresentam potencial energético, fato que vêm em auxílio à busca por fontes energéticas alternativas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É importante aprofundar análises sobre outros resíduos com finalidades energéticas; observar a influencia do teor de óleo sobre os briquetes, desde aglomeração de partículas até ao aumento do poder calorífico. Além disto, pode-se verificar a real viabilidade econômica da produção de briquetes com tais resíduos e em quanto viabilizaria à produção de Biodiesel a partir do nabo forrageiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, Darline A. H.; BARCELLOS, Karla M.; ABUD, Ana K. S. Caracterização de Briquetes Obtidos a partir de resíduos do beneficiamento da mandioca e do Milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 18, n. 1, p. 41-48, 2016. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev181/rev1815.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ANDRADE, Edmundo, N. **O Eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ. Brasil de Rothschild & Cia, 1928. p. 143.

ANDRADE, Rubenildo V.; LORA, Electo E. S. **Gaseificação da Madeira**. In: __ SANTOS, Fernando; COLODETTE, Jorge; QUEIROZ, José H. **Bioenergia e biorrefinaria: Cana-de-açúcar e espécies florestais**. Viçosa, MG: Os Editores. 2013.

ARAÚJO, Solange; BOAS, Mariana A. V.; NEIVA, Duarte M.; CARNEIRO, Angélica C.; VITAL, Benedito; BREGUEZ, Marcelino; PEREIRA, Helena. Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures. **Biomass and Bioenergy**, v. 90, p. 181-186, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416301209>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**: Carvão vegetal – determinação do poder calorífico. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222**: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 2004.

Balanço Energético Nacional 2014 - Ano Base 2013: Relatório Final. RJ: EPE, p. 288, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

Balanço Energético Nacional 2016 - Ano Base 2015: Relatório Final. RJ: EPE, p. 296, 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

BARRICHELO, L. C.; BRITO, J. O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 125 p. 1985.

BARROS, Sâmia V. S.; NASCIMENTO, Claudete C.; AZEVEDO, Celso P. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no Amazonas: alternativa para produção de Lenha. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 725-732, 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/22514/19830>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

BENEDETTI, Omar; PLÁ, Juan A.; RATHMANN, Régis; PADULA, Antonio D. **Uma proposta de modelo para avaliar a viabilidade do biodiesel no Brasil**. Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, v. 14, p. 81-107, Edição Especial, 2006. Disponível em: <http://aoatools.aua.gr/pilotec/files/bibliography/brasil_rev_esp_2006_art4-2809991936/brasil_rev_esp_2006_art4.pdf>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

BHATTACHARYA, S. C. Fuel for Thought: The status of biomass energy in developing countries. **Renewable Energy World**, v. 07, n. 06, p. 122-130 2004.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BROWN, T. L; LeMay, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: la ciencia central**. Pearson Educación, México, 2004.

CALEGARI, Leandro; FOELKEL, Celso E. B.; HASELEIN, Clovis R.; ANDRADE, José L. S.; SILVEIRA, Paulo; SANTINI, Elio J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa e Energia**, v. 02, n. 01, p. 37-46, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. **Briquetagem. Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia**. Coordenação de Processos Minerais – COPM, Rio de Janeiro, 2010.

CLEEF, Eric H. C. B. V. **Tortas de Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) e de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*): Caracterização e utilização como aditivos na ensilagem de capim elefante**. Dissertação. 2008. Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp049091.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

CONI, E.; PODESTA, E.; CATONE, T. Oxidizability of diferent vegetables oils evaluated by thermogravimetricanalysis. **Thermochemica Acta**, v. 418, p. 11-15, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603104000310#>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

CORTEZ, L. A. B. **Biofuels-sugarcane ethanol: the Brazilian perspective**. 3rd Symposium on the Global Energy Future, 2010.

CORTEZ, Luiz A. B; LORA, Electo E. S.; GOMEZ, Edgardo O. (org). **Biomassa para energia**. Campinas, São Paulo. Ed. Unicamp, 2008.

COUTO, Laércio; MULLER, Marcelo D. **Produção de Florestas Energéticas**. IN: SANTOS, Fernando; COLODETTE, Jorge; QUEIROZ, José H. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana de açúcar e Espécies Florestais**. Viçosa, MG: Os Editores, 2013. 551p.

DEMIRBAS, A. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. **Energy Conversion and Management**, v. 42, n. 2, p. 183-188, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890400000509>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

DIAS, José M. C. S.; SOUZA, Daniela T.; BRAGA, Melissa; ONOYAMA, Marcia M.; MIRANDA, Cesar H. B.; BARBOSA, Patrícia F. D.; ROCHA, José D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 130p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

EBELING, J. M.; JENKINS, B. M. Physical and chemical properties of biomass fuels. **Trans. ASAE**, v. 28, p. 898-902, 1985. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=32359&t=2&redir=&redirType=>>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

EBRINGEROVA, A. **Structural diversity and application potential of hemicelluloses** in: MACROMOLECULAR symposia - hemicelluloses, Fischer K., Heinze, T., (Eds), Wiesbaden, Germany: Wiley-VCH, 2006, p. 1-12.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood Chemistry, Ultra Structure, Reactions. **Walter de Gruyter Publisher**, Edição 23. 1984. 613p. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1002/pol.1985.130231112/abstract>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

FERNÁNDES, Marcelo C.; SÁNCHEZ, Caio G. **Possibilidades tecnológicas: A gaseificação gerando energia elétrica**. In: SÁNCHEZ, Caio G. **Tecnologia da gaseificação de Biomassa**. Editora Átomo, Campinas: SP. 2010.

FIGUEROA, Manuel J. M.; MORAES, Poliana D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/9547/7050>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The briquetting of agricultural wastes for fuel. CHAPTER 4. Technical aspects of briquetting. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0275E/T0275E03.htm>>; Acesso em: 30 de março de 2017.

FRANKE, M.; REY, A. **Pelleting quality**. World Grain 2006 May, pp. 78-79.

FREDERICO, Pedro G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, 2009. 86 f. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3024/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

FRIEDL, A.; PADOUVAS, E.; ROTTER, H.; VARMUZA, K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chimica Acta**, v. 544, n. 1-2, p. 191–198, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267005000735>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

FURTADO, Thielly S.; VALIN, Marina; BRAND, Martha A.; BELLOTE, Antonio F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade dos briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**. V. 30, N. 62, p. 101-106, 2010. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/101>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

GARCEZ, Catherine A. G.; VIANNA, João N. S. Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. **Energy**, v. 34, p. 645-654, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208003149>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

GOMIDE, João L.; COLODETTE, Jorge L.; OLIVEIRA, Rubens C.; SILVA, Cláudio. M. C. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de eucalyptus do Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24242.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

GONÇALVES, José E., SARTORI, Maria M. P., LEÃO, Alcides L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 657–661, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n5/v13n05a21.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

Industria Brasileira de Árvores (IBÁ). 2015, em

<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-iba_2015.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2017.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Caderno Estatístico de Palotina. 2017. Em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85950&btOk=ok>>; Acesso em 23 de março de 2017.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Indicadores econômicos. Em: <http://www.ipardes.gov.br/pdf/indices/produtos_agricolas.pdf>; Acesso em 23 de março de 2017.

JUNIOR, Acácio R. L.; FONSECA, Bruno G.; SILVA, Márcio E. Produtos ecoeficientes na arquitetura: o emprego de materiais lignocelulósicos. **Janus**, Lorena, n. 20, 2014. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZcgofH9NeKQJ:publicacoes.fatea.br/index.php/janus/article/download/1535/1178+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

KALIYAN, Nalladurai; MOREY, Vance R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass e Bionergy**, v 33, p 337-359, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408002146>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

KALIYAN, Nalladurai; MOREY, Vance R. Densification characteristics of corn cobs. **Fuel Processing Technology**, v. 91, p. 559-565, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382010000020>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

KHORSHIDI, Zakieh; HO, Minh T.; WILEY, Dianne E. The impact of biomass quality and quantity on the performance and economics of co-firing plants with and without CO2 capture. **International Journal of Greenhouse Gas Control**. v. 21, p. 191-202, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583613004350>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

KLOCK, Umberto; MUNIZ, Graciela I. B. **Química da madeira**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p. 96. 2005.

KRAUSE, Laíza C. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal**. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação, UFRS. Rio Grande do Sul, UFRS, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14362>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

LEI Nº 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005, disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>; Acesso em: 15 de abril de 2017.

LEI Nº 12.305, DE 02 DE AGOSTO DE 2010, disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>; Acesso em: 15 de abril de 2017.

LEITE, João G. D. B.; BIJMAN, Jos; GILLER, Ken; SLINGERLAND, Maja. Biodiesel policy for family farms in Brazil: One-size-fits-all? **Environmental Science & Policy**, v. 23, p. 195-205, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901113000051>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. **European Journal of Agronomy**, v. 6 p. 163- 177, 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030196020448>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

LI, Yadong; LIU, Henry. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 177-186, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340000026X>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

LIMA, Claudivan C.; MENDONÇA, Eduardo S.; SILVA, Ivo R.; SILVA, Luis H. M.; ROIG, Asunción. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 334-340, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n3/v13n03a16.pdf>>; Acesso em 25 de abril de 2017.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; SANCHEZ, C. G.; GÓMEZ, E. O.; SALES, C. A. V. B. **Gaseificação**. In: CORTEZ , B; LORA , S; GÓMEZ, O. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. p. 241 – 332.

MACHADO, Gilmara O.; VOGEL, Franciele; SILVA, Matheus. M. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas, químicas e energéticas do carvão de cinamomo (*Melia azedarach L.*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 10, n. 1, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/1967/2217>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

MAGALHÃES, Paulo C.; DURÃES, Frederico O. M.; CARNEIRO, Newton P.; PAIVA, Edilson. **Fisiologia do Milho**. Embrapa. Circular Técnica 22, 65 p., 2002. Disponível em: <<https://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

MANICKAM, I. N.; RAVINDRAN, D.; SUBRAMANIAN, P. Biomass densification methods and mechanism. **Cogeneration e Distrib Generation J**, v. 21, n. 4, p. 33-45, 2006. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15453660609509098>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

McKENDRY, Peter. Energy Production from Biomass: part 2: Conversion Technologies. **Bioresource Technology**, n. 83, p. 47-54, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001195>>; Acesso: 19 de janeiro de 2016.

Balanço Energético Brasileiro (BEN) 2010 - Relatório Final. 2011. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2011&anoFimColeta=2010>>; Acesso em 25 de abril de 2017.

MORAIS, Sérgio A. L. de, NASCIMENTO, Evandro A. do, MELO Dárley C. de. Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**. v. 29, n. 3, p. 461-470, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000300014>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

MOTA, Claudio. J. A.; PESTANA, Carolina F. M. Co-produtos da Produção de Biodiesel. **Revista Virtual Química**, v. 3, n. 5, p. 416-425, 2011. Disponível em: <<http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/viewArticle/197>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

MUAZU, Rukayya I.; STEGEMANN, Julia A. Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processind Technology**, v. 133, p. 137-145, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382015000375>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

NEVES, Thiago A.; PROTÁSSIO, Thiago P.; COUTO, Allan M.; TRUGILHO, Paulo F.; SILVA, Vinicius O.; VIEIRA, Carlos M. M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Journal of Forestry Reserach**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/275>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

NOGUEIRA, Luiz A. H.; LORA, Electo E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2ª Ed. - Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NOGUEIRA, Manoel F. M.; RENDEIRO, Gonçalo. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília:

Ministério de Minas e Energia, p. 52-63. 2008. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/863/2/combust%C3%A3o%20e%20gasifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20biomassa%20s%C3%B3lida.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

NONES, Daniela L.; BRAND, Martha A.; CUNHA, Alexsandro B.; CARVALHO, Adriel F.; WEISE, Solange M. K. Determinação Das Propriedades Energéticas Da Madeira E Do Carvão Vegetal Produzido A Partir De *Eucalyptus Benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, 2015. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/30157>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

OLIVEIRA, Alyson C.; CARNEIRO, Angelica C. O.; VITAL, Benedito. R.; ALMEIDA, Wellington; PEREIRA, Bárbara L. C.; CARDOSO, Marco T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v.38, n.87, p.431-439, 2010. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

OLIVEIRA, Elisabeth. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9235/texto%20completo.pdf?sequence=1>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

OLIVEIRA, Elisabeth; VITAL, Benedito R.; PIMENTA, Alexandre S.; LUCIA, Ricardo, M. D.; LADEIRA, Ana M. M.; CARNEIRO, Angélica C. O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200018>; Acesso em 25 de abril de 2017.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA, A. F.; GOMES, P. A. **A produção de carvão vegetal - aspectos técnicos**. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. p. 60-73. CETEC. 1982.

OLIVEIRA, Jackson S.; ANTONIASSI, Rosemar; FREITAS, Sidnéa. C.; MULLER, Marcelo D. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n3/a7713cr6310.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ÓRFÃO, J. J. M.; FIGUEREDO, J. L. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis Kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. **Thermochimica Acta**, v. 380, p. 67-78. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603101006347>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PANSHIN, A.J.; De ZEEW, C. 1980. **Textbook of technology**. 3. ed., New York, McGraw Hill. 722p.

PANT, Deepak; ADHOLEYA, Alok. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 2321-2334, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406004913>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PARIKKA, Matti. Global biomass fuel resources. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, p. 613-620, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953404001035>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PAULA, Luana E. R.; TRUGILHO, Paulo F.; REZENDE, Raphael N.; ASSIS, Claudinéia O.; BALIZA, Ana E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Brazilian Journal of Forestry Research**. v. 31, n. 66, p. 103-112, 2011. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/253>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PEREIRA, Aloisio R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. Belo Horizonte: FAPI, 2006. 150 p. Disponível em: <<http://deflor.com.br/pdf/LivroSEAD.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PEREIRA, José C. D.; STURION, José A.; HIGA, Antônio R.; HIGA, Rosana C. V.; SHIMIZU Jarbas Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas. Documentos 38. ISSN 1517-536-X, PR. 2000. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/297469/1/doc38.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PEROTTI, Nora I.; MOLINA, Oscar E. Corn cob as a bacterial substrate for the production of forage protein. **Biological Wastes**, v. 26, p. 125-131, 1988. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0269748388901577>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

POTTMAIER, D.; MELO, C. R.; SARTOR, M. N.; KUESTER, S.; AMADIO, T. M.; FERNANDES, C. A. H.; MARINHA, D.; ALARCON, O. E. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 678-691, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006776>>; Acesso: 25 de abril de 2017.

PRETO, Elio V.; MORTOZA, Gladson L. **Geração de Energia Elétrica Utilizando Biomassa**. 2010. Monografia (trabalho de conclusão do curso de Engenharia

Elétrica). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2010. Disponível em: <<http://bdm.unb.br/handle/10483/1381>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. Torrefaction of wood. Part 2. Analysis of products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 77, p. 35-40, 2006.

PROTÁSIO, Thiago P.; ALVES, Isabel C. N.; TRUGILHO, Paulo F.; SILVA, Vinicius O.; BALIZA, Ana E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, p. 273-283, 2011. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Compacta%C3%A7%C3%A3o+de+biomassa+vegetal+visando+%C3%A0+produ%C3%A7%C3%A3o+de+biocombust%C3%ADveis+s%C3%B3lidos&author=Prot%C3%A1sio+T.+P.&author=Alves,+I.+C.+N.&author=Trugilho+P.+F.&author=Silva+V.+O.&author=Baliza+A.+E.+R.&publication_year=2011&journal=Pesquisa+Florestal+Brasileira&volume=31&pages=273-283>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PROTÁSIO, Thiago P.; GOULART, Selma L.; NEVES, Thiago A.; ASSIS, Maíra R.; TRUGILHO, Paulo F. Clones comerciais de Eucalyptus de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 113-127, 2014. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/leitura.asp?Article=11&Number=101>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

PROTÁSIO, Thiago P.; TRUGILHO, Paulo F.; SIQUEIRA, Humberto F.; MELO, Isabel C. N. A.; ANDRADE, Carlos R.; JUNIOR, José B. G. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/843>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

QUIRINO, Waldir B.; PINHA, Isadora V. O.; MOREIRA, Alessandro C. O.; SOUZA, Frederico; FILHO, Mario T. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr96/cap11.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

QUIRINO, Waldir F. **Briquetagem de resíuos Ligno-celulósicos**. Circular Técnica do LPF, Brasília, v. 1, n. 2, p. 69-80, 1991. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/briquetagem.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

QUIRINO, Waldir F.; VALE, Ailton T.; ANDRADE, Ana P. A.; ABREU, Vera L. S.; AZEVEDO, Ana C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005. Disponível: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

2017.

RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K.C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. **Fuel**, v.74, n.12, p.1812-1822, Dec. 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236195800138>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

REINEKE, L. H. Briquets from wood residue. Madison: Forest Products Laboratory, Forest Service, 1964. Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn075.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

REZENDE, Marcos A.; ESCOBEDO, João F.; FERRAZ, Epaminondas. S. B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **Scientia Forestalis**, n. 39, p. 33-40, ago, 1988. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr39/cap04.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ROCCA, P. A. D., CERRELLA, E. G., BONELLI, P. R., CUKIERMAN, A. L. Pyrolysis of hardwoods residues: on Kinetics and chars characterization. **Biomass and Bioenergy**, v. 16, p.79-88. 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953498000671>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ROFFAEL, Edmone; SCHALLER, Konrad. Einfluss Thermischer Behandlung auf Cellulose. **Holz Roh-Werkst**, v. 29, p. 275-278, 1971. Disponível em: <http://download.springer.com/static/pdf/880/art%253A10.1007%252FBF02619208.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2FBF02619208&token2=exp=1493165937~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F880%2Fart%25253A10.1007%25252FBF02619208.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252FBF02619208*~hmac=1d99310e7c9218bbe5ac067328d232e4855dcfc095816a31082edf76fcc7a37f>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ROWELL, R. M., PETTERSEN, R., HAN, J. S., ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor e Francis Group. New York, 2005.

SALOMOM, K. R.; FILHO, G. L. T. **Dendroenergia**. MG: FAPEPE, 2007. 28p.

SÁNCHEZ, Caio G. **Caracterização de Biomassa**. IN: SÁNCHEZ, Caio. G. **Tecnologia da Gaseificação de Biomassa**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010 430p.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.;

CARVALHO, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 143-151, 2012a.

SANTOS, Fernando A.; QUEIRÓZ, José H.; COLODETTE, Jorge L.; FERNANDES, Ssergio A.; GUIMARÃES, Valéria M.; REZENDE, Sebastião. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de Etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e democracia: teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre a educação política**. 39 ed. Campinas: Autores Associados, 2007. Disponível em: <<https://petpedufba.files.wordpress.com/2016/02/savianidermeval-escolaedemocracia.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SCHNEIDER, Anelise; MÜHLEN, Carin. V. Caracterização cromatográfica de compostos orgânicos presentes nos resíduos sólidos provenientes de indústria de reciclagem de papel e sua aplicação na produção de briquetes de carvão vegetal. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1556-1561, 2011. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol34No9_1556_13-AR11026.pdf>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SILVA, Dimas A.; MULLER, Bruna V.; KUIASKI, Elaine C.; ELOY, Elder; BEHLING, Alexandre; COLAÇO, Cecília M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 35, n. 84, p. 481-485. 2015. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/viewFile/677/461>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SILVA, José C.; MATOS, Jorge L. M.; OLIVEIRA, José T. S.; EVANGELISTA, Weslei V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill. ex. Maidem. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a13v29n3.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SILVEIRA, Diógenes. C.; BONETTI, Luiz P.; TRAGNAGO, José L.; MONTEIRO, Vitor. Caracterização agromofológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays l.*) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Tecnologia**, v.1, n.1, p. 01-11, 2015. Disponível em: <<http://revistaeletronica.unicruz.edu.br/index.php/CIENCIAETECNOLOGIA/article/view/592>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SOARES, Vássia C.; BIANCHI, Maria L.; TRUGILHO, Paulo F.; PEREIRA, Ariclene J.; HOFLE, Juliana. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v.38, n.3, p.543-549, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

67622014000300017>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SOUZA, Anderson D. V.; FAVARO, Simone P.; ITAVO, Luis. C. V.; ROSCOE, Renato. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo forrageiro e crambe. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n10/v44n10a17.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SOUZA, Kelly. A.; RESENDE, Osvaldo; COSTA, Lílian. M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.216–222, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n2/v17n02a13.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

SOUZA, Marina M.; SILVA, Dimas A.; ROCHADELLI, Roberto; SANTOS, Rosimeire C. Estimativa de Poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de Pinus taeda. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewArticle/26593>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

Stephane Francois Bazzana; Carl e Camp; Bradley Curt Fox. **AMMONIA PRETREATMENT OF BIOMASS FOR IMPROVED INHIBITOR PROFILE**. US nº WO/2011/046818, 27 out. 2010, 21 abr. 2011. World Intellectual Property Organization. Disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/search/pt/detail.jsf?docId=WO2011046818&recNum=1&tab=PCTDocuments&maxRec;=&office;=&prevFilter;=&sortOption;=&queryString;=>>>. Acesso em: 25 de abril de 2017.

SYNGENTA PARTICIPATIONS AG (Us). John Steffens. Methods for increasing starch content in plant cobs. US nº EP20100746722, 24 fev. 2010, 4 jan. 2012. 2012. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US20120054915>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

TABIL, L.; ADAPA, P.; KASHANINEJAD, M. **Biomass Feedstock Pre-Processing – Part 1: Pre-Treatment**. In: BERNARDES, M.A.S. (Ed.), **Biofuels Engineering and Technology**, Croatia: InTech. Part 2, Cap. 18, p. 411-438, 2011.

TILLMAN, D. A. The combustion of solid fuels and wastes. San Diego: Academic Press, Inc., 1991.

TRUGILHO, Paulo F.; LIMA, José T.; MORI, Fábio A.; LINO, Ana L. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.7, n.2, p.114-201, 2001a. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74470210.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

TRUGILHO, Paulo F.; SILVA, Dimas A. Influência da Temperatura Final de

Carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 02, n. 1, 1-8, 2001b. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/976>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

TUMULURU, Jaya S.; WRIGHT, Christopher T.; HESS, Richard J.; KENNEY, Kevin. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, v. 5, p. 683-707, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.324/full>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

VALE, Ailton T.; GENTIL, Luiz V.; GONÇALEZ, Joaquim C.; COSTA, Alexandre Florian. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*). **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74413410.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

VALE, Ailton. T.; DANTAS, Vandui F. S.; ZAMBRZYCKI, Geraldo. C. Potencial Energético dos resíduos da cultura do Milho (*Zea mays*). **Evidência**, v. 13 n. 2, p. 153-164, 2013. Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/evidencia/article/view/4075>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

VALE, Ailton T.; SARMENTO, Thaise R.; ALMEIDA, Alexandre N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1878>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

VITAL, Benedito R.; CARNEIRO, Angélica C. O.; PEREIRA, Bárbara L. C. **Qualidade da Madeira para fins energéticos**. In:___ SANTOS, Fernando; COLODETTE, Jorge; QUEIROZ, José H. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e Espécies Florestais**. Viçosa, MG. Os Editores. 2013. 551 p.

WILHEM, H. M.; DOMINGOS, A. K.; RAMOS, L. P. Processo de Etanólise em Meio Alcalino do Óleo Bruto de Nabo Forrageiro. In: Anais... CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT, 2006.

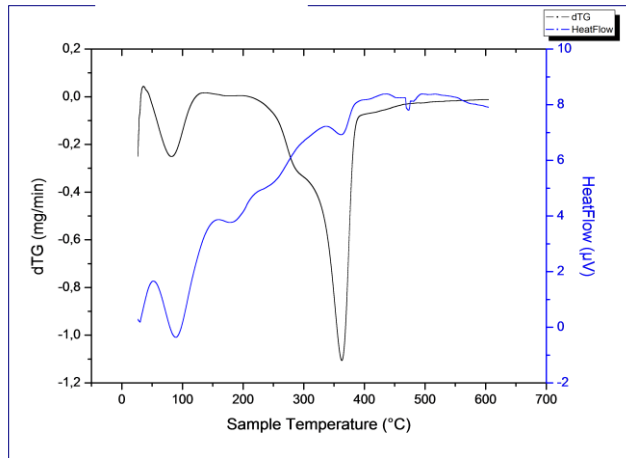
YAMAJI, Fábio M.; VENDRASCO, Lais; CHRISOSTOMO, Walbert; FLORES, Wesley P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na agricultura**. v. 28, n. 1, p. 11 - 15, 2013. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/111/0>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ZATTERA, Ademir J.; BIANCHI, Otávio; ZENI, Mara; FERREIRA, Carlos A.

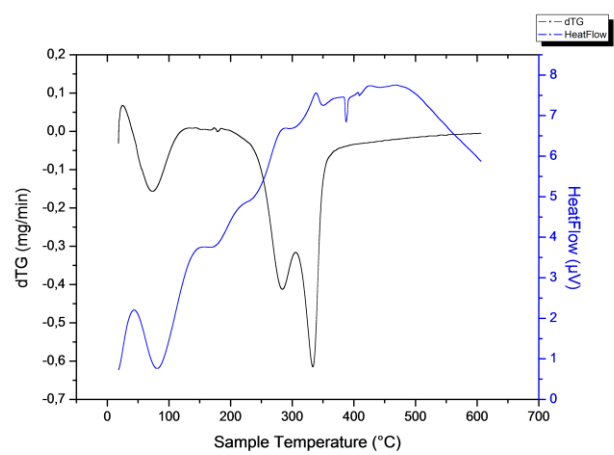
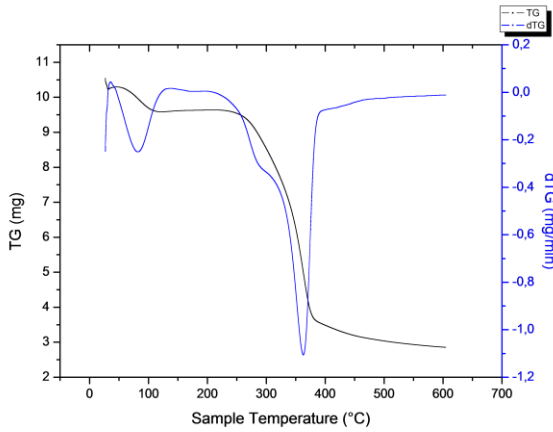
Caracterização de resíduos de copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 15, n. 1, p. 73-78. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v15n1/24199.pdf>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ZHU, L. W.; ZHAO, P.; WANG, Q.; NI, G. Y.; NIU, J. F.; ZHAO, X. H.; ZHANGA, Z. Z.; ZHAOA, P. Q.; GAOA, J. G.; HUANGE, Y. Q.; GRUC, D. X.; ZHANGE, Z. F. Stomatal and hydraulic conductance and water use in a eucalypt plantation in Guangxi, southern China. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 202, p. 61–68, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314003050>>; Acesso em: 25 de abril de 2017.

ANEXO A – TERMOGRAMAS

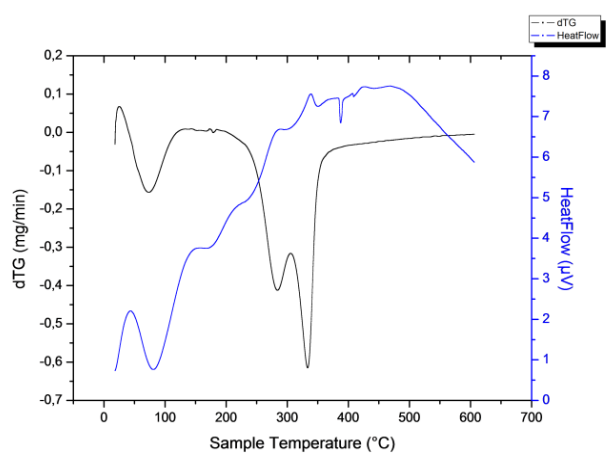
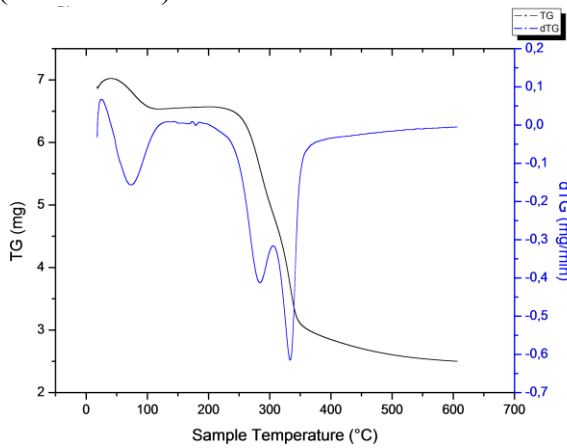


Termograma Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



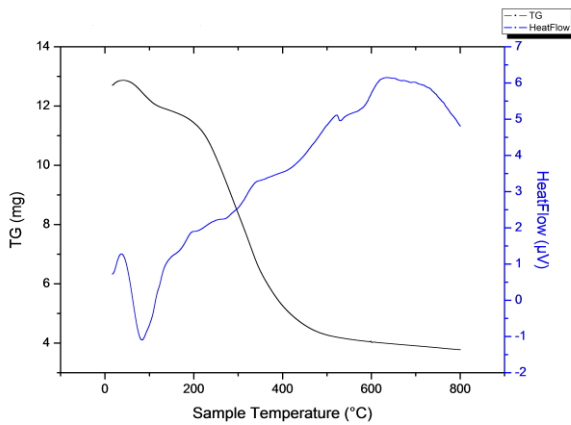
Termograma Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)

Termograma Sabugo (dTGxTxHeatFlow)

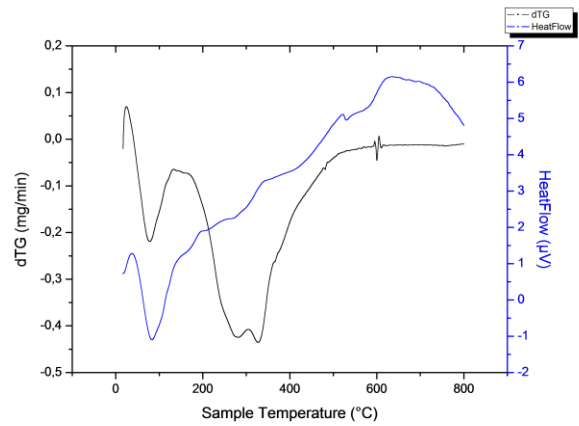


Termograma Sabugo (TGxTxdTG)

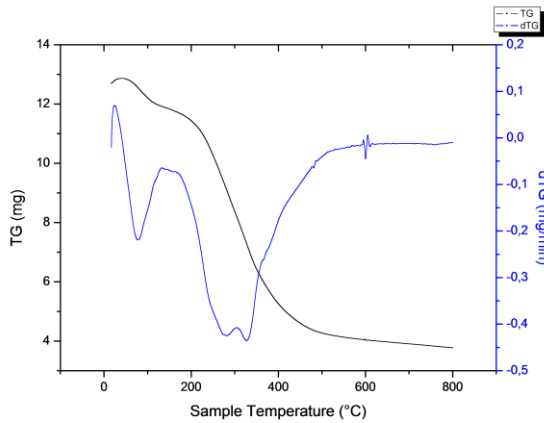
Termograma Sabugo (dTGxTxHeatFlow)



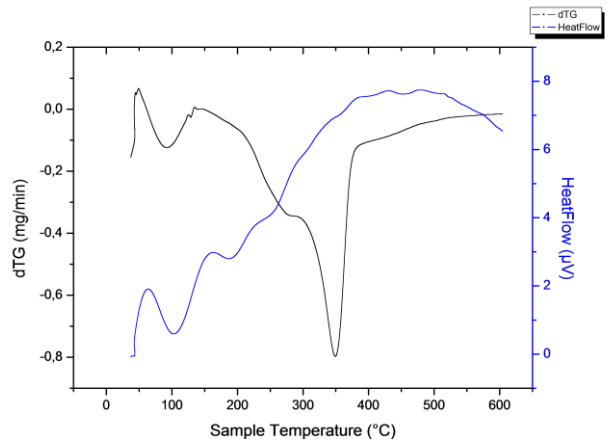
Termograma torta de nabo forrageiro (TGxTxHeatFlow)



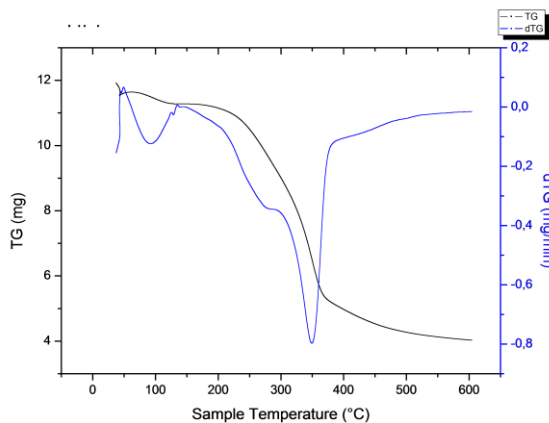
Termograma torta de nabo forrageiro (dTGxTxHeatFlow)



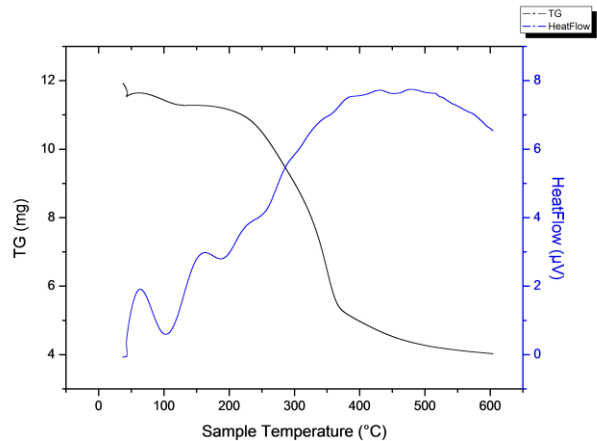
Termograma torta de nabo forrageiro (TGxTxdTG)



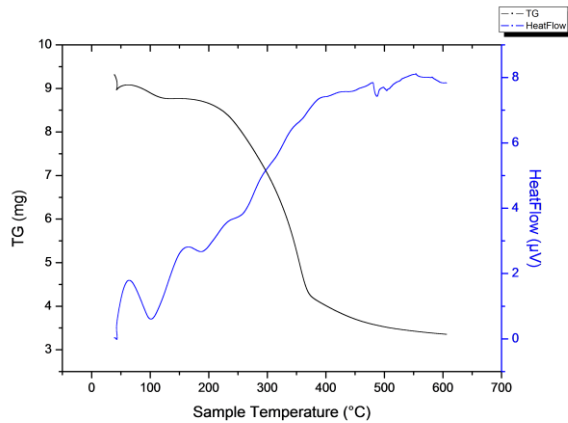
Termograma 50% de torta de nabo forrageiro e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



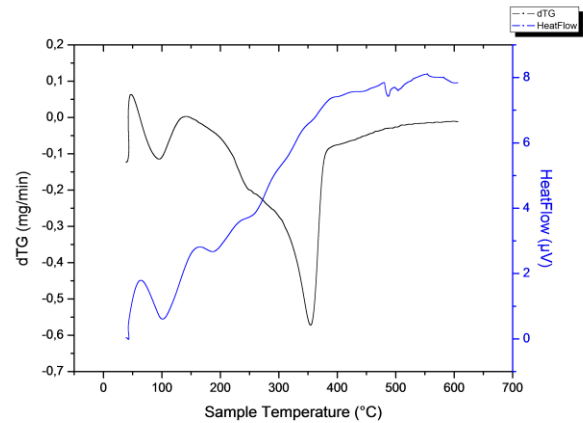
Termograma 50% de torta de nabo forrageiro e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



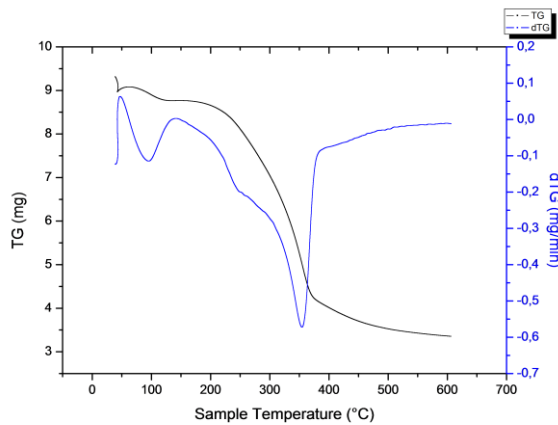
Termograma 50% de torta de nabo forrageiro e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



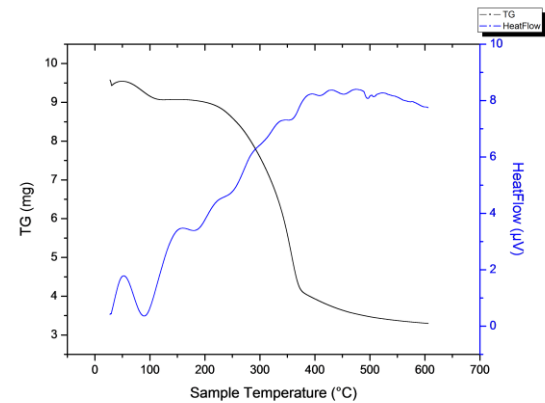
Termograma 35% de torta de nabo forrageiro e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



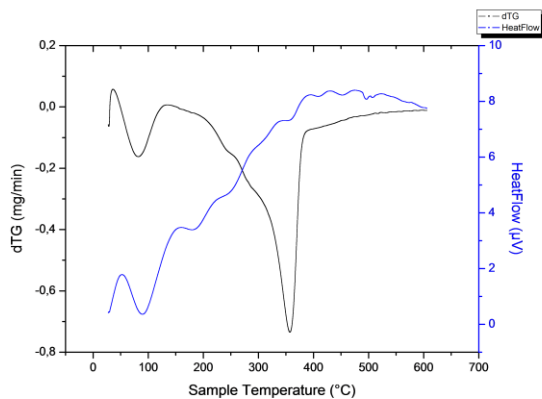
Termograma 35% de torta de nabo forrageiro e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlo)



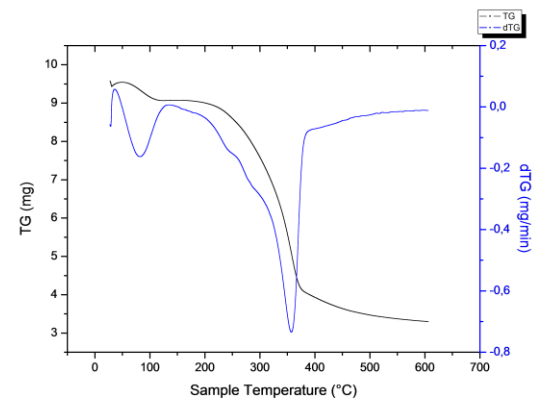
Termograma 35% de torta de nabo forrageiro e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



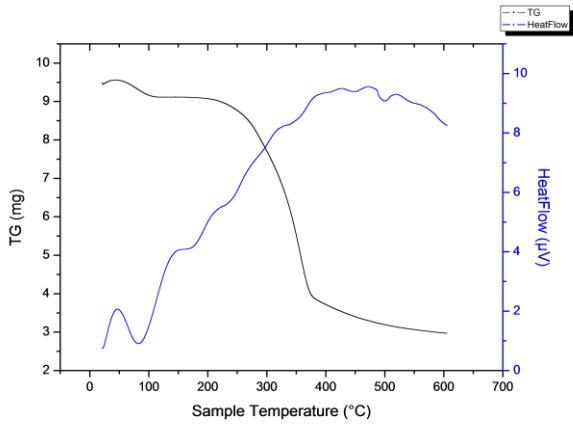
Termograma 25% de torta de nabo forrageiro e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



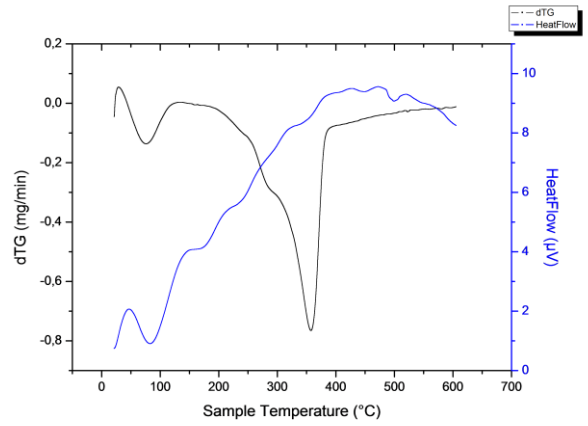
Termograma 25% de torta de nabo forrageiro e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



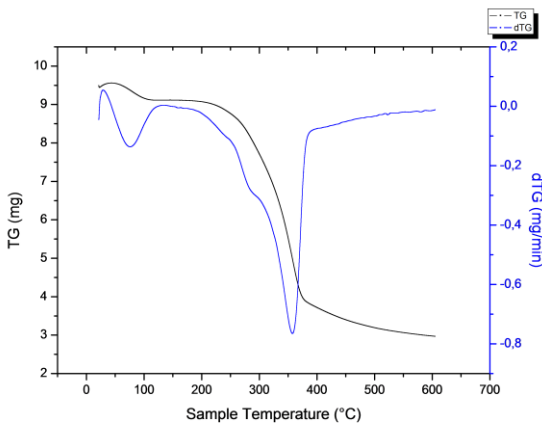
Termograma 25% de torta de nabo forrageiro e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



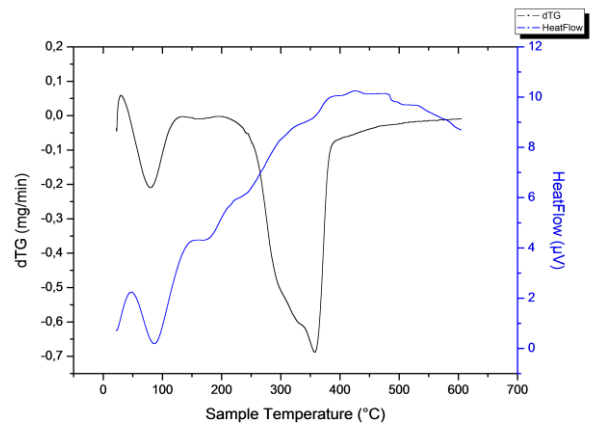
Termograma 15% de torta de nabo forrageiro e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



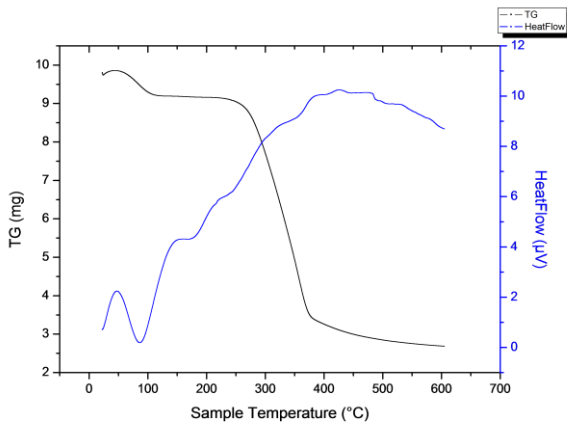
Termograma 15% de torta de nabo forrageiro e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



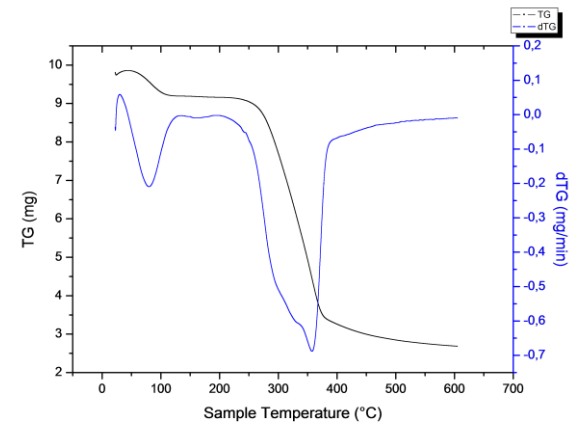
Termograma 15% de torta de nabo forrageiro e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto(TGxTxdTG)



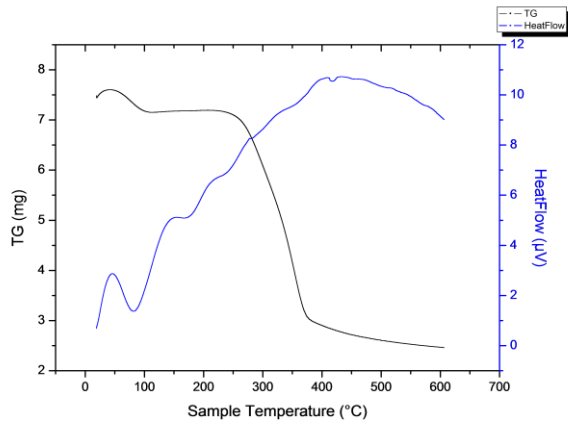
Termograma 50% de sabugo de milho e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



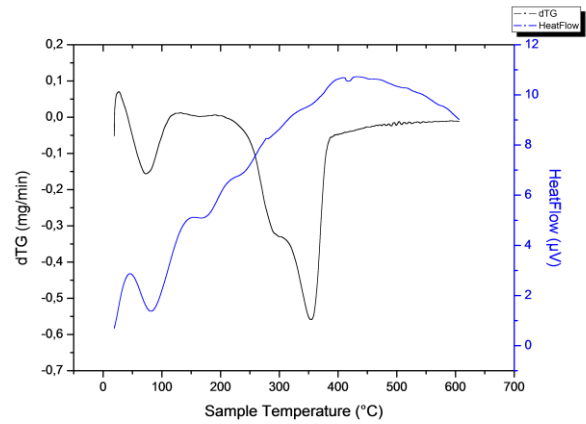
Termograma 50% de sabugo de milho e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



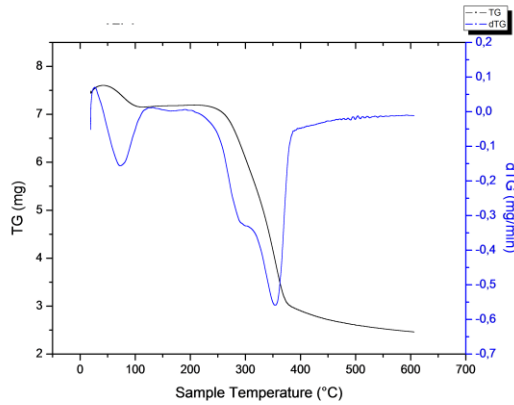
Termograma 50% de sabugo de milho e 50% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



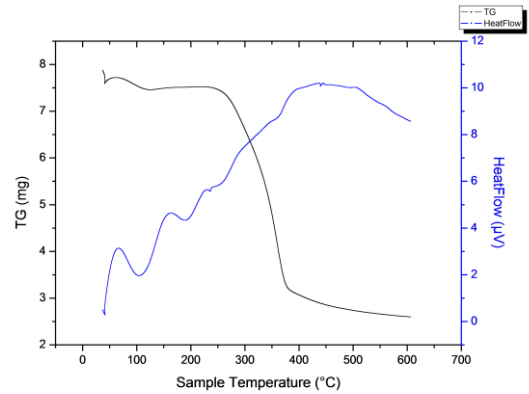
Termograma 35% de sabugo de milho e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



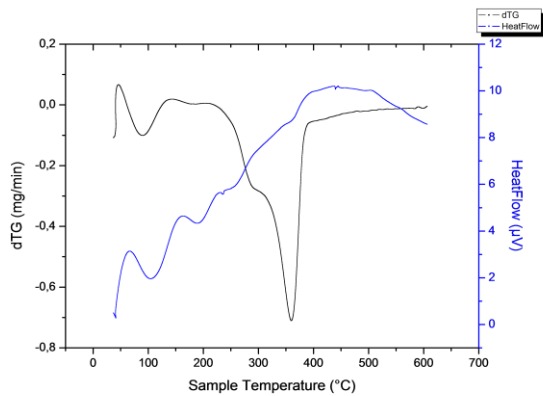
Termograma 35% de sabugo de milho e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



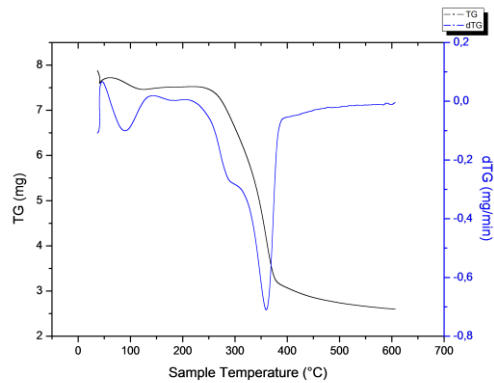
Termograma 35% de sabugo de milho e 65% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



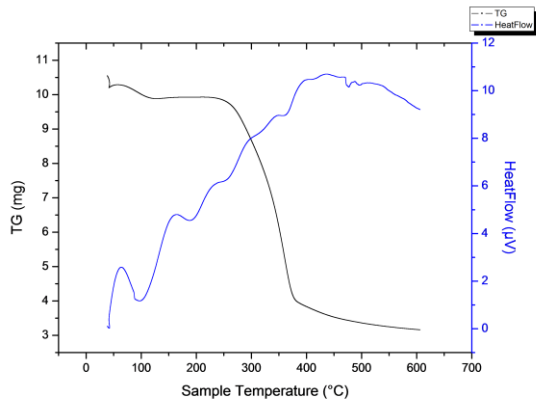
Termograma 25% de sabugo de milho e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



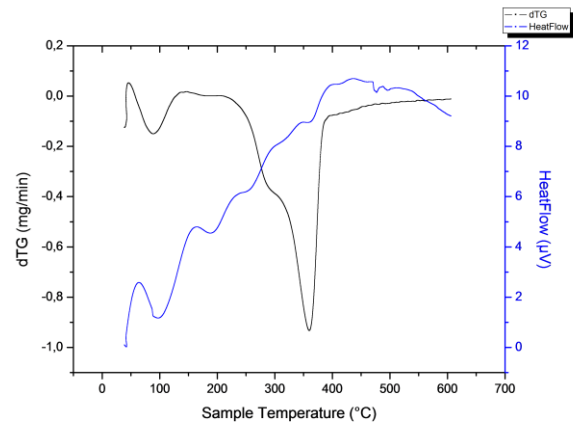
Termograma 25% de sabugo de milho e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



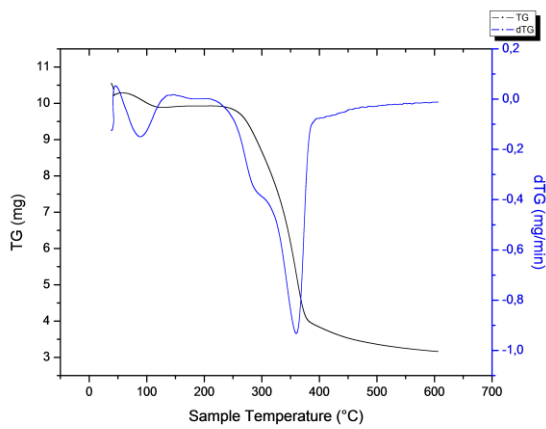
Termograma 25% de sabugo de milho e 75% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)



Termograma 15% de sabugo de milho e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxHeatFlow)



Termograma 15% de sabugo de milho e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (dTGxTxHeatFlow)



Termograma 15% de sabugo de milho e 85% de Resíduo Pó de Serra de Eucalipto (TGxTxdTG)