

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
ENGENHARIA FLORESTAL

WILLIAN SOUSA WILK

**CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DE BRIQUETES DE  
RESÍDUOS DE SEMENTES AGRÍCOLAS E MADERIA DE EUCALITPO**

Goiânia/GO

2016

**WILLIAN SOUSA WILK**

**CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DE BRIQUETES DE  
RESÍDUOS DE SEMENTES AGRÍCOLAS E MADERIA DE EUCALITPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência parcial para obtenção do título  
de bacharel no curso de Engenharia Florestal  
ofertado pela Universidade Federal de Goiás.  
Área de concentração: bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Jr.

Goiânia/GO

2016

WILLIAN SOUSA WILK

**CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DE BRIQUETES DE  
RESÍDUOS DE SEMENTES AGRÍCOLAS E MADERIA DE EUCALÍPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como exigência parcial para obtenção do título  
de bacharel no curso de Engenharia Florestal  
ofertado pela Universidade Federal de Goiás.  
Área de concentração: bioenergia.

Defendido e aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_.

Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Francine Neves Calil  
Universidade Federal de Santa Maria

---

Bel.Macksuel Fernandes da Silva  
Universidade Federal de Goiás

---

Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Jr.  
Universidade de São Paulo– orientador

Goiânia/GO

2016

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por me dar a oportunidade de mostrar meu conhecimento através destas singelas palavras, aos meus pais, e a minha família que me inspiraram a lutar por meus sonhos e sempre me apoiaram nesta trajetória.

## AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso primeiramente agradeço à todos de coração.

Este trabalho representa a realização um sonho, uma nova etapa que se inicia em minha vida. Não posso deixar de expressar minha gratidão ao receber a chance de conhecer pessoas maravilhosas na Universidade, agradeço aos meus colegas de classe, o corpo docente que proporcionaram o conhecimento, ferramenta a qual levarei por todos os dias de minha vida.

Gostaria de agradecer especialmente o apoio dos meus pais, Mirce Meire Gonçalves de Sousa Wilk e Willian Wilk, pela luta e determinação na minha formação e dos meus irmãos.

Agradeço meus irmãos, Nicole Sousa Wilk e Yan Sousa Wilk, que por mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência, confiança e ampararam os ensinamentos de meus pais, mantendo-nos sempre unidos.

Agradeço aos meus avôs, que acompanharam minha luta e sabem os desafios que enfrentei para concluir este curso e redigir este trabalho, e todos os dias me conferiam carinho e paciência.

Agradeço aos meus padrinhos e madrinhas pelo apoio e estímulo para enfrentar as barreiras da vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Jr, que no pouco tempo que lhe coube, me guiou no desenvolvimento deste projeto, obrigado por suas correções, por ter me mostrado o caminho das obras científicas, um excelente professor e profissional.

A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte desta minha jornada o meu muito obrigado, por terem acreditado num sonho que agora é de todos, e que com dedicação, presteza e competência conduz sua profissão.

E finalmente agradeço a Deus, por proporcionar este momento, viver é o meu modo de agradecer sempre.

## SUMÁRIO

Resumo .....	7
Abstract.....	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
RESULTADOS .....	20
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

## RESUMO

A presente pesquisa tem como foco os estudos da Produção de Briquetes através de resíduos de limpeza em unidade de beneficiamento de sementes que permeiam o cenário de energia limpa envolvendo reflexões sobre a biomassa e o processo de compactação. O objetivo da pesquisa é analisar a qualidade dos briquetes produzidos com a biomassa de resíduos da Usina de Beneficiamento de Sementes (UBS), em diferente condição de composição aliado a serragem de eucalipto clone I144. As condições de briquetagem foram definidas experimentalmente a partir de testes preliminares de tempo de prensagem e de resfriamento, sendo escolhidos aqueles em que os briquetes apresentaram as melhores formações. Concluiu-se que os resultados mostraram todos os tratamentos analisados podem ser utilizados na produção de briquetes.

Palavras-chaves: Energia limpa, biomassa, briquetes, compactação, serragem.

## **ABSTRACT**

The present research focuses on studies of Briquette Production through cleaning residues in a seed processing unit that permeate the clean energy scenario involving reflections on the biomass and the compaction process. The objective of the research is to analyze the quality of the briquettes produced with the biomass of residues of the Seed Processing Plant (UBS), in different condition of composition allied to eucalyptus clone I144. The briquetting conditions were experimentally defined from preliminary tests of pressing time and cooling, being chosen those in which the briquettes presented the best formations. It was concluded that the results showed all the treatments analyzed can be used in the production of briquettes.

**Keywords:** Clean energy, biomass, briquettes, compaction, sawdust.



## **1. INTRODUÇÃO**

A energia obtida através da queima dos combustíveis fósseis, principalmente derivados do petróleo, é consideravelmente farta, sendo base fundamental para o desenvolvimento humano. Porém, com novos estudos e a demanda energética mundial crescente, a necessidade por diferentes alternativas se faz presente aliada ao desenvolvimento sustentável (ANEEL, 2008).

Com isso o termo “Energia Limpa” está se difundindo e sendo consolidado como substituto às tradicionais fontes de energia, uma vez que a crescente demanda por energia, principalmente dos países emergentes, é fundamental para o crescimento econômico e da competitividade nos mercados globais.

Com o aumento dessa demanda, a disponibilidade por estes recursos deve se manter no mesmo patamar, entretanto, as fontes pioneiras de energia ainda estão buscando se aliar as novas alternativas sustentáveis que provocam um menor impacto ambiental. É importante que vários países busquem inserir políticas energéticas que exerçam um papel mais rentável, visando a sustentabilidade do sistema energético através da diversificação de sua matriz (COSTA e PRATES, 2005).

Considerada uma das principais fontes alternativas para diversificação da matriz energética a biomassa contribui para redução do uso de combustíveis fósseis. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), em 2016, o Brasil obteve com a biomassa 8,0% de participação na matriz energética, sendo a terceira principal fonte de energia. Foi superada apenas hidroeleticidade e gás natural, que juntas somam 76,9% da oferta total (ANEEL, 2016).

A biomassa pode ser utilizada nos estados líquido, sólido e gasoso, porém o que dificulta seu uso são as condições em que a biomassa geralmente é encontrada, com baixa densidade, alta umidade e formas inviáveis para transporte e armazenagem, sendo assim uma alternativa para desfrutar desse material é a compactação (CHRISOSTOMO, 2011).

O processo de compactação aliado à uma temperatura específica resulta em um corpo sólido de maior densidade denominado pellets e briquetes (DIAS et al., 2012). Por meio deste processo os finos de diversos materiais e subprodutos do beneficiamento na agroindústria, são convertidos em produtos de maior atratividade comercial (ANTUNES, 1982).

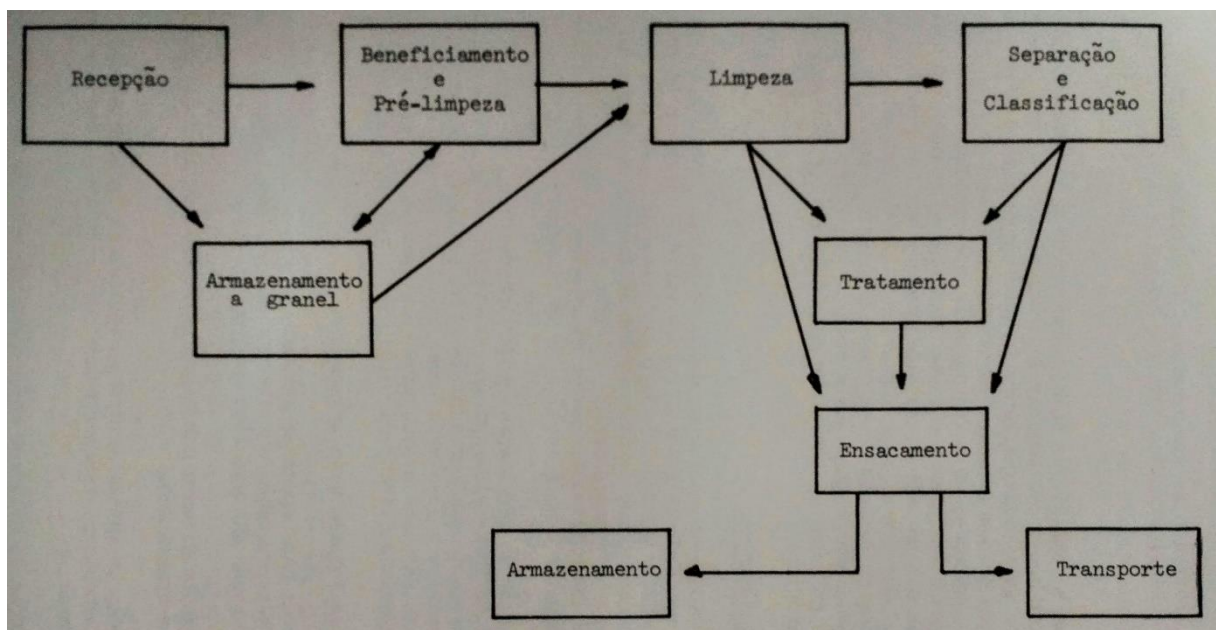
Segundo Dias et. al. (2012) dentre inúmeras biomassas geradas nos processos agroindustriais as gramíneas forrageiras podem ser de grande utilidade uma vez que são encontradas em todas regiões do país, “A área de produção de sementes de forrageiras no Brasil está estimada em 140 mil hectares/ano, com uma produtividade de cerca de 20 toneladas de massa seca/ha. Considerando tais valores há disponibilidade anual média de 2,8 milhões de toneladas de biomassa”. Com isso os resíduos gerados a partir desse processo são de grande importância para o setor energético.

Dentro desse contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos briquetes produzidos com a biomassa de resíduos da UBS, em diferente condição de composição aliado a serragem de eucalipto.

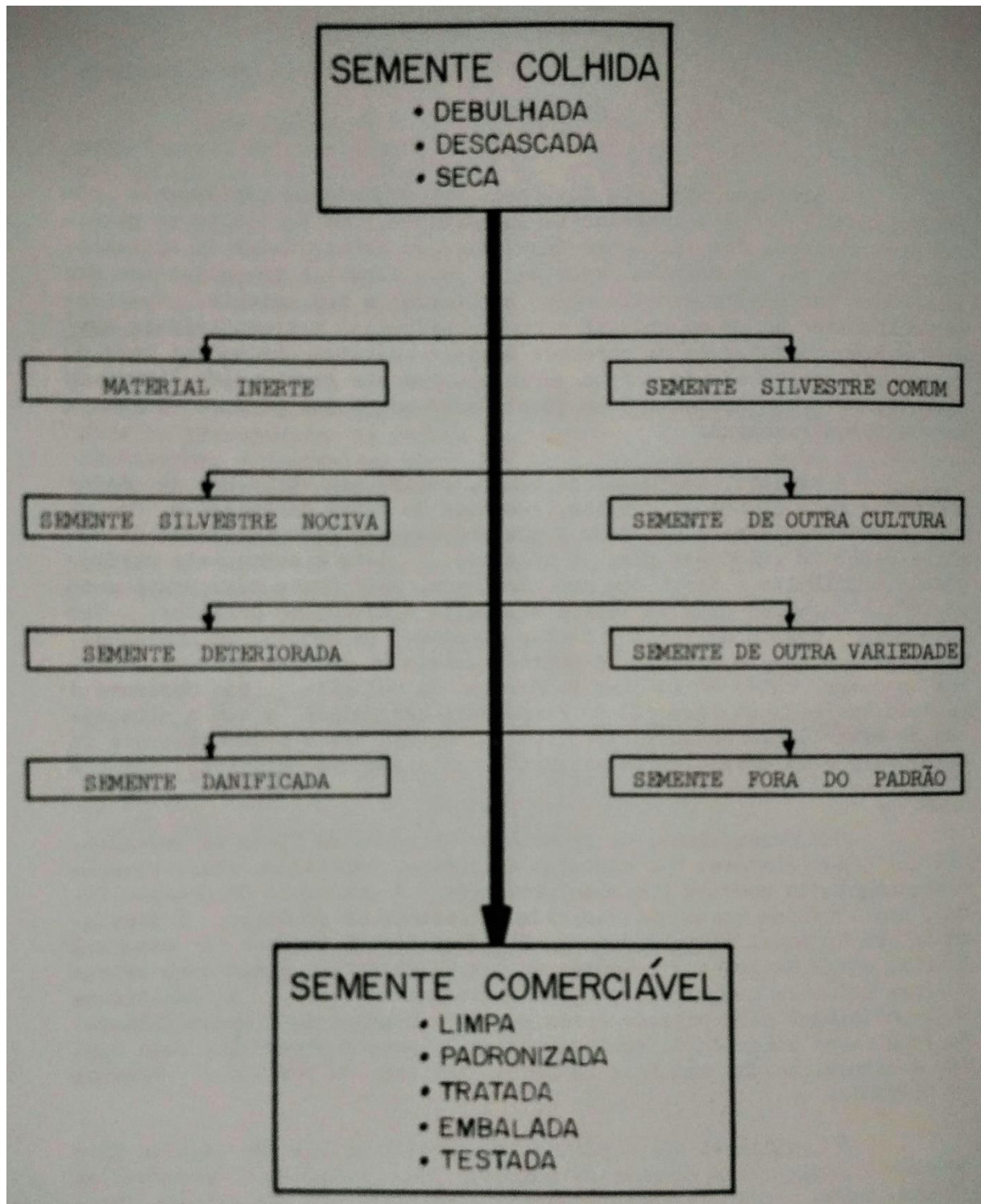
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Seleção e preparo das amostras

No presente estudo, dentre os diversos resíduos gerados no ciclo produtivo das gramíneas forrageiras, o foco destina-se à Usina de Beneficiamento de Sementes (UBS). Ao longo das operações do processo de beneficiamento é gerado um passivo ambiental nas fases de pré-limpeza e limpeza (Figura 1) que consiste em diversos materiais, como material inerte (palha, terra e pó) e sementes variadas que são removidos antes do ensacamento das sementes (Figura 2).



**Figura 1** – Fluxograma do processo de beneficiamento de sementes.



**Figura 2** – Fluxograma dos materiais presentes na pré-limpeza e limpeza.

Foram selecionados aleatoriamente resíduos advindos da pré-limpeza e limpeza durante o processo de beneficiamento de sementes que estavam armazenados em bags no pátio externo da Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) da Empresa Agrocria

Comércio e Indústria na região do Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA), com coordenadas geográficas de 16°24'04.0"S 48°55'35.6"W (Figura 3) e também resíduos de eucalipto clone I144 provenientes do Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio) da Universidade Federal de Goiás (UFG) localizado na Escola de Agronomia - Campus Samambaia.



**Figura 3** – Usina de beneficiamento de sementes, com resíduos ocupando o pátio.

No LQMBio os resíduos da UBS e do eucalipto clone I144 foram separados em três tratamentos: **T1** – 100% resíduos sementes, **T2** – 50% resíduos sementes + 50% resíduos eucalipto clone I144 e **T3** – 100% resíduos eucalipto clone I144. Depois de caracterizada a biomassa se deu início a preparação do material para a produção dos briquetes.

A biomassa da UBS foi transformada em serragem utilizando um triturador e um moinho de facas do tipo Willey e submetida a uma separação mecânica no agitador orbital de peneiras com batidas intermitentes para a seleção da fração retida na peneira número 24 internacional, com malha de 60 mesh e 40 mesh. Em seguida, a serragem moída foi seca a 120°C ( $\pm$  2°C) até atingir peso constante e assim ajustado o teor de umidade para 12%, com auxílio de um borrifador e de uma balança de precisão. Já a biomassa do eucalipto clone I144 se encontrava no LQMBio triturada, separada em 60 mesh e 40 mesh e com o teor de umidade ajustado para 12%.

## **2.2 Avaliação das características da biomassa**

Os procedimentos para a avaliação das características da biomassa dos tratamentos foram realizados em triplicada e obtida a média aritmética (ARRANZ et al., 2015). A análise química imediata de um combustível determina o teor de água do material (umidade), o teor de material que se queima no estado gasoso (material volátil), e também o teor de material



residual após a combustão (cinzas). A análise imediata baseia-se na norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), tendo sido determinados os teores de cinza, materiais voláteis e carbono fixo realizados parte do processo em forno tipo Mufla (Figura 4).



**Figura 4** – Forno Tipo Mufla.

A umidade dos resíduos foi determinada nas condições em que foram coletados na fonte geradora. As amostras dos resíduos, contidas em béqueres, foram pesadas e secas em estufa 105°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), com o posterior resfriamento em dissecador com sílica gel. Foram utilizadas amostras de 100gramas de cada resíduo na análise. As amostras secas e resfriadas foram pesadas em uma balança analítica. A diferença de peso após secagem permitiu determinar o teor de umidade dos resíduos. O teor de umidade da biomassa (U%) foi obtido através da equação 1 e de acordo com a norma ABNT NBR 14929 (ABNT, 2003).

$$\text{TU}\% = ((M_i - M_f) / M_f) \times 100 \quad (1)$$

Para a determinação de teor de voláteis os resíduos foram picados em um minimoinho de facas tipo Willey e secos em estufa 105°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Foi utilizado aproximadamente 1000 gramas de amostra isenta de umidade e com granulometria entre 40 e 60 mesh. A amostra foi adicionada em um cadinho de porcelana com tampa e posicionada na porta do forno tipo Mufla previamente aquecida a 900°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ), permanecendo nessa posição durante 3 minutos. Após este período, o cadinho foi colocado na Mufla 900°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) durante 7 minutos com a porta fechada. Após o aquecimento o cadinho foi esfriando em dissecador com sílica gel, até massa constante.

O teor de material volátil é determinado pela equação 2.

$$\text{MV} = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100 \quad (2)$$

Na qual:  $MV$  é o teor de material volátil, em %;  $M_1$  é a massa inicial do cadinho mais a amostra,  $M_2$  é a massa final do cadinho mais a amostra e  $M$  é a massa da amostra seca.

Para a determinação de teor de cinzas os resíduos foram picados em um mini- moinho de facas tipo Willey e secos em estufa  $105^{\circ}\text{C}(\pm 2^{\circ}\text{C})$ . Foi utilizado aproximadamente 1000gramas de amostra isenta de umidade e com granulometria entre 40 e 60 mesh. A amostra foi adicionada em um cadinho de porcelana, previamente seco e tratado e levado a Mufla  $700^{\circ}\text{C}(\pm 10^{\circ}\text{C})$  por um período de 3 horas. Após a queima o cadinho foi esfriado em dissecador com sílica gel, até massa constante.

O teor de cinzas foi calculado com base na massa seca do resíduo, de acordo com a equação 3.

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (3)$$

Na qual:  $CZ$  é o teor de cinza, em %,  $m_0$  é a massa do cadinho,  $m_1$  a massa do cadinho mais o resíduo após combustão e  $m$  é a massa da amostra seca a 0% de umidade, ambos em gramas.

O percentual de carbono fixo refere-se à fração de carvão que se queima no estado sólido.

Segundo a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), o teor de carbono fixo é calculado subtraindo-se de 100% a soma dos teores de materiais voláteis e de cinzas conforme a equação 4.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (4)$$

Sendo o  $CF$  teor de carbono fixo,  $CZ$  teor de cinzas e  $MV$  teor de voláteis, ambos em porcentagem.

### 2.3 Produção de briquetes

A compactação da biomassa dos tratamentos em diferentes misturas foi realizada em uma briquetadeira de laboratório com temperatura de  $120^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$ , pressão de  $140 \text{ kgf.cm}^2$ , tempo de compactação de 5 minutos e resfriamento de 15 minutos com ventilação forçada (Figura 5A).



**Figura 5** – (A) - Briquetadeira de laboratório LIPPEL. (B) - Produção de briquetes.

As condições de briquetagem foram definidas experimentalmente a partir de testes preliminares de tempo de prensagem e de resfriamento, sendo escolhidos aqueles em que os briquetes apresentaram as melhores formações, conforme proposto por Vilas Boas (2011).

A temperatura utilizada teve como objetivo a plastificação da lignina uma vez que conforme recomendado por Chen et al. (2009), o aumento da temperatura faz com que a lignina se torne plástica e atue como ligante natural das partículas durante a compactação e a pressão exercida está dentro da faixa utilizada por diversos trabalhos (PAULA et al., 2011; PROTÁSSIO et al., 2011; QUIRINO et al., 2012).

Para cada briquete utilizou-se 40 gramas de biomassa moída, obtendo-se ao final um briquete de aproximadamente 4 centímetros de comprimento e 3 centímetros de diâmetro (Figura 5B), tendo sido produzidos 10 briquetes por tratamento, totalizando 30 briquetes.

## **2.4 Propriedades físicas e mecânicas dos briquetes**

Foram determinados o teor de umidade do briquete (U%), obtido através da equação 5 e de acordo com a norma ABNT NBR 14929 (ABNT, 2003).

$$U\% = ((M_i - M_f) / M_f) \times 100 \quad (5)$$

A densidade aparente das amostras dos briquetes foram determinadas para calcular a razão de compactação dos resíduos. As amostras foram pesadas em uma balança analítica e

medidas com um paquímetro digital, 72 horas após a compactação. A densidade aparente de cada briquete ( $d_{ap}$  em  $g/cm^3$ ) foi obtida através equação 6, tendo sido determinado o volume individual ( $V$  em  $cm^3$ ) pela equação 7.

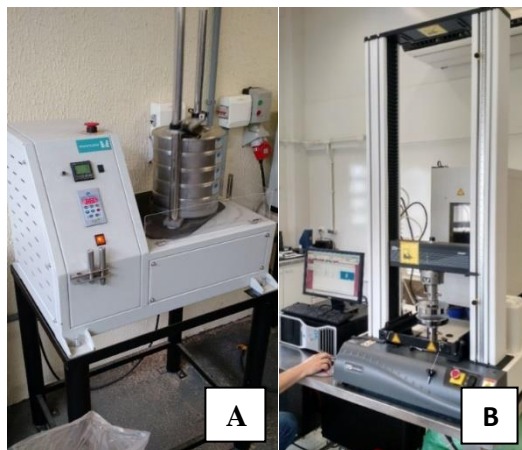
$$D_{ap} = M_i/V \quad (6)$$

$$V = \pi / (4d^2 L) \quad (7)$$

A expansão volumétrica dos briquetes foi calculada pela mensuração da altura e do diâmetro de 5 briquetes por tratamento e posterior cálculo do volume em dois momentos diferentes: (i) imediatamente após a briquetagem e (ii) 72 horas após a briquetagem – intervalo de tempo necessário para a estabilização dimensional dos briquetes. Os briquetes foram acondicionados em sacos plásticos durante as 72 horas após a briquetagem para que não houvesse interferência e/ou alteração de umidade devido a fatores ambientais externos.

A durabilidade dos briquetes ( $Dur$  em %) foi determinada por perda de massa das amostras, conforme descrito por Toscano et al. (2013) e utilizando-se a equação 4. Cinco briquetes de cada tratamento foram pesados para a obtenção da massa inicial ( $m_{id}$  em g) e levados a uma peneira vibratória (Figura 7A), permanecendo por 10 minutos, a 80 rotações por minutos. Após este procedimento, os briquetes foram novamente pesados e obtida a massa final ( $m_{fd}$  em g).

$$Dur = 100 - [(m_{id} - m_{fd})/m_{id} \times 100\%] \quad (8)$$



**Figura 7** – (A) - Peneira vibratória avaliando durabilidade, (B) - Teste de resistência a tração por compressão diametral.



A resistência a tração por compressão diametral consiste em submeter corpos-de-prova cilíndricos a cargas de compressão, onde a tensão de compressão produz uma tensão de tração paralela ao plano de carregamento foi realizada em 5 briquetes por tratamento empregando-se uma máquina universal de ensaios EMIC - DL30000 (Figura 7B), com célula de carga de 100kN/maxload/T489-74, a uma velocidade constante de 3mm.min<sup>-1</sup> (PROTÁSSIO et al., 2011; QUIRINO ET al., 2012; SOUZA, 2014), onde uma carga em sentido transversal é aplicada sobre as amostras. O ensaio foi realizado a partir de uma adaptação da norma ABNT (1994) para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa.

## 2.5 Análise estatística dos dados

Na análise estatística dos resultados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (misturas) e aplicado o programa JMP (SAS INSTITUTE, 1997), sendo aferidos os “outliers” e heterogeneidade da variância. Para os resultados utilizou-se a análise de variância (ANOVA) verificando o efeito das proporções, sendo aplicado o teste de Tukey, ajustado a 95% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química imediata da biomassa são apresentados na Tabela 1 para os três tratamentos.

Tabela 1. Química imediata dos Tratamentos

Tratamento	Carbono Fixo (%)	Teor de Voláteis (%)	de Teor de Cinzas (%)
T1	18,1 <b>a</b> (0,5)	77,2 <b>a</b> (0,1)	4,7 <b>a</b> (0,5)
T2	15,6 <b>b</b> (0,4)	83,9 <b>b</b> (0,3)	0,5 <b>b</b> (0,2)
T3	16,4 <b>b</b> (0,8)	83,2 <b>c</b> (0,5)	0,2 <b>b</b> (0,2)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Os teores médios de carbono dos tratamentos apresentam uma variação de 15,6 a 18,1%. Este resultado indica uma vantagem para o tratamento T1 (100% Resíduo de Sementes), em relação ao T3 (100% Eucalipto I144), uma vez que Oliveira et al. (2010) em estudos com *Eucalyptus pellita* constataram que combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, proporcionando mais tempo de permanência nos aparelhos de queima quando comparado a materiais com menor teor de carbono fixo, normalmente os teores de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis.

Os teores médios de materiais voláteis foram de 77,2% para T1 (100% Res. Semente), 83,9% para T2 (50% Res. Semente + 50% Eucalipto I144) e 83,2% para T3 (100% Eucalipto I144). O tratamento T2 obteve maior porcentagem em relação aos demais, relacionado à queima no processo da carbonização, sendo esta mais rápida quanto maior o teor de voláteis. Segundo Obernberger e Thek (2004), a quantidade de matérias voláteis influencia fortemente na combustão e o comportamento da decomposição térmica de combustíveis sólidos.

Os teores de cinzas, que representa o material que não foi queimado, foram estatisticamente superiores no tratamento T1 (4,7%) se comparados aos outros dois tratamentos (T2 - 0,5 e T3 - 0,2%). Os elevados teores de cinzas das espécies do Tratamento T1 - 100% Res. Sementes podem estar relacionados a origem do material, uma vez que pelo processo existente na indústria o grau de impurezas é bastante elevado como por exemplo (areia, silte e argila) e representam desvantagens para esta biomassa em relação aos outros dois tratamentos, uma vez que as cinzas podem causar danos nas estruturas dos queimadores.

Os resultados médios das características dos briquetes dos tratamentos são apresentados na Tabela 2. Nos tratamentos avaliados a densidade a granel variou entre 0,23 a 0,24 g/cm<sup>3</sup>. A densidade aparente dos briquetes não sofreu influência entre tratamentos, com valores médios de 1,15 a 1,24 g/cm<sup>3</sup> estando de acordo com a faixa de densidade para briquetes de eucalipto observado por diversos autores como Quirino e Brito (1991), Protásio et al. (2011). Brand et al. (2005) e Pincelli (2011) avaliando a densidade a granel de resíduos da colheita florestal e de indústrias madeireiras, encontraram para cavacos de eucalipto valores variando de 0,19 a 0,26 g/cm<sup>3</sup>.

A densificação da biomassa através da produção dos briquetes, promove um aumento de na densidade da biomassa in natura, este incremento da densidade após a compactação, evidencia a importância dos processos de compactação da biomassa para o melhor aproveitamento de materiais lignocelulósicos para a produção de bioenergia, pois o aumento na densidade dos briquetes representa uma diminuição do volume das biomassas, proporcionando uma maior concentração de massa em um mesmo espaço (Silva et al., 2015).

Tabela 2. Características dos briquetes dos tratamentos.

Tratamento	<b>D<sub>Ag</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>D<sub>Ap</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dur(%)</b>	<b>Exp (%)</b>	<b>RTCD (MPa)</b>
T1	<b>0,305 a (0,05)</b>	1,23 <b>a</b> (0,02)	99,24 <b>a</b> (0,31)	1,57 <b>a</b> (0,79)	<b>4,34 a (0,35)</b>
T2	<b>0,245 b (0,06)</b>	1,24 <b>a</b> (0,01)	99,65 <b>a</b> (0,29)	1,78 <b>a</b> (1,07)	<b>3,63 b (0,24)</b>
T3	<b>0,234 b (0,08)</b>	1,15 <b>a</b> (0,16)	98,62 <b>b</b> (0,16)	0,16 <b>b</b> (0,23)	<b>4,48 a (0,20)</b>

D<sub>Ag</sub>=Densidade a granel; D<sub>Ap</sub>=Densidade aparente; Dur=Durabilidade; Exp= Expansão volumétrica; RTCD= Resistência a tração por compressão diametral. Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste F.

A durabilidade do briquete apresentou maior valor para o tratamento T2 (99,65%). Oliveira et al. (1992) propõe que os resultados quantitativos da durabilidade podem fornecer resultados qualitativos do produto. Assim, em todos os tratamentos os briquetes foram classificados como pouco friáveis e boa qualidade.

A expansão do briquete apresentou diferença significativa entre tratamentos. Diferindo dos valores obtidos para os tratamentos T1, T2 e T3. No qual o tratamento 2 apresentou maior expansão longitudinal que os demais sendo significativamente maior que o tratamento 3. Protásio et al. (2011) no trabalho de compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos, na serragem de eucalipto encontrou expansão do briquete de 15,59 % após 72 horas de fabricação. Os briquetes tendem a ter uma expansão longitudinal após o processo de briquetagem, essa expansão varia dependendo do tipo de biomassa e das condições de armazenamento, em especial o teor de umidade dessas condições (Silva et al., 2015).

A resistência mecânica do briquete apresentou diferença significativa entre resíduo de eucalipto e resíduo de semente sendo que a mistura de ambos não se diferenciou estatisticamente do tratamento T1. Essa variável é um indicativo importante referente a durabilidade e aplicabilidade do briquete em sistemas de produção de energia (Protásio et al., 2012). Esta variável é fundamental na avaliação da qualidade de briquetes pois indica a capacidade de empilhamento, o impacto causado pelo transporte; à abrasão, uma vez que os briquetes sofrem atritos podendo esfarelar; e à absorção de água, esse fator possui direta relação com o lugar onde é manuseado e estocado (Sampaio et al., 2007).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que todos os tratamentos analisados podem ser utilizados na produção de briquetes, porém o uso da madeira sozinha T3 ainda é a melhor opção.

Fundamentado no estudo realizado, infere-se que os três tratamentos analisados apresentam similaridade.

- Destacando o tratamento 2 (50% Resíduo semente + 50% Eucalipto I144), que pode apresentar um uso interessante uma vez que permite o aproveitamento do resíduo de sementes e não afeta significativamente para o tratamento 3.
- Os briquetes produzidos a partir da soma dos materiais (tratamento 2) apresentam teor de cinzas estatisticamente igual ao tratamento 3.
- T3 (eucalipto) apresentou menor expansão e maior resistência; não houve diferença nos demais – exceto para a durabilidade – porém ainda são valores altos e considerados pouco friáveis e com menor teor de cinzas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. **Biomassa**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em: 06 junho 2016.
- Antunes, R. C.; Briquetagem de carvão vegetal. Produção e Utilização de Carvão Vegetal, CETEC: Belo Horizonte, 1982.
- ARRANZ, J.I.; MIRANDA, M.T.; MONTERO, I.; SEPÚLVEDA, F.J.; ROJAS, C.V. Characterization and combustion behavior of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. Fuel n. 142, p. 199–207, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7222. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7222. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8112. Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14929. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.
- BRAND, M. A.; COSTA, V.J.; DURIGON, A.; AMORIN, M. Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA. Anais... Florianópolis, 2005.
- CHEN, L. J.; XING, L.; HANA, L. Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Oxford, U.K., v. 13, n. 9, p. 2689-2695, Dec. 2009.

CHRISOSTOMO, W. (2011) Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 56 p. 2011.

COSTA, R. C. & PRATES, C. P. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. BNDES Setorial. Rio de Janeiro. Nº 21, p. 5-30, 2005.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Embrapa Agroenergia, Brasília, 1. ed., 2012.

OBERNBERGER I, THEK G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Biomass and Bioenergy; v.27, p.653–669, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. D. Estudos Preliminares de Normalização de Testes de Controle de Qualidade do Carvão Vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1992.

PAULA, L.E.R.; TRUGILHO, P.F.; REZENDE, R.N., ASSIS, C.O.; BALIZA, A.E.R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.66, p.103-112, 2011.

PINCELLI, A.L.P.S.M. Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética. 127p. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. 2011

PROTÁSIO, T. P. ; ALVES, I. C. N. ; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A.E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos, Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Brasília, 1991.

QUIRINO, W.F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O.; SOUZA, F. de; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, dez. 2012.

SAMPAIO, João Alves; COSTA, Lauro Santos Norbert; ANDRADE, Marcelo Corrêa. Ensaio contínuo de briquetagem em bancada piloto. Comunicação Técnica. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2007.

SAS INSTITUTE. JMP Development Group. JMP Statistics and Graphics Guide, Version 3.1. SAS Institute, Cary, NC. 1997.

SILVA, D.A.; YAMAJI, F.M.; BARRO, J.L.; ROZ, A.L.; NAKASHIMA, G.T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 713 - 722, 2015.

SOUZA, F. (2014) Avaliação da qualidade de briquetes produzidos com seis biomassas agroflorestais por métodos não destrutivos. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 142p. 2014.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCAD. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. Journal Biomass and Bioenergy, v. 56, p. 317-322, 2013.

VILAS BOAS, M. A. (2011) Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 65p. 2011.