

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DOIS VIZINHOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ALINE PATRICIA BERSCH

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DIFERENTES
MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2016

ALINE PATRICIA BERSCH

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DIFERENTES
MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Alves Pereira.

DOIS VIZINHOS

2016

B535c Bersch, Aline Patricia.
Caracterização energética da madeira de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus sp.* – Dois Vizinhos : [s.n], 2016.
35f.

Orientadora: Flávia Alves Pereira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, 2016.
Bibliografia p.31-35

1. Biomassa florestal. 2. Eucalipto 3. Calor –
Transmissão I. Pereira, Flávia Alves, orient. II.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. III. Título

CDD: 620.12

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos



Curso de Engenharia Florestal

TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DIFERENTES MATERIAIS
GENÉTICOS DE *Eucalyptus* sp.

ALINE PATRICIA BERSCH

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Flávia Alves Pereira
Orientadora

Prof. Dr. Eleandro José Brun
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

BERSCH, Aline Patricia. **Caracterização energética da madeira de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* sp.** 2016. 35f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Dois Vizinhos, 2016.

O conhecimento sobre as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira é relevante para que este material tenha o uso adequado. Dentre as características mais indicadas para geração de energia está a massa específica, o poder calorífico e a teor de carbono fixo. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp., sendo os clones H-13 e GFMO-27 e o híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*, plantados no município de Dois Vizinhos, sudoeste do Paraná. Esses três materiais foram escolhidos por se destacaram em incremento médio anual em volume, aos cinco anos de idade, dentre quatorze materiais genéticos plantados em uma mesma área. Três árvores de cada um dos materiais genéticos foram abatidas e, três discos de madeira, de cada árvore, foram retirados a 0%, 50% e 100% da altura comercial. Esses discos foram descascados e pesados. Posteriormente, determinou-se a massa específica básica (NBR 11941:2003), o poder calorífico (NBR 8633:1984), a análise química imediata (MB 15) e a energia disponível na biomassa. Os dados foram analisados com o auxílio da análise de variância e do teste de Tukey. Os valores de massa específica básica e teor de cinzas não apresentaram diferença estatística entre os materiais. O clone H – 13 apresentou o maior valor médio de material volátil e conseqüentemente, menor valor de carbono fixo. O clone GFMO – 27 apresentou maior valor médio de PCU. Contudo, os valores de estimativa de energia disponível na madeira não apresentaram diferença estatística entre os materiais genéticos.

Palavras-chave: Lenha. Poder calorífico. Massa específica. Biomassa florestal.

ABSTRACT

BERSCH, Aline Patricia. **Characterization energy of wood of different genetic materials of *Eucalyptus* sp.** 2016. 35f. Work Course Conclusion. Undergraduate in Forest Engineering the Federal Technological University of Paraná – UTFPR campus Dois Vizinhos, 2016.

The knowledge of properties the physical, chemical and energetic wood is relevant to this material has the proper use. One of the characteristics most suitable for power generation is the density, the calorific value and the content of fixed carbon. The aim of this work was to carry out the energy characterization of three genetic material of *Eucalyptus* sp., being clones H-13 and GFMO-27 and the hybrid *E. pellita* x *E. tereticornis*, planted in the municipality of Dois Vizinhos, southwest of Paraná. These three were chosen by outstanding materials in average annual increment in volume, at the age of five, one of fourteen genetic material planted in the same area. Three trees of each of the genetic materials were shot down and three wooden discs, of every tree, were removed the 0%, 50% and 100% of commercial height. These discs were peeled and heavy. Subsequently, it was determined the basic density (NBR 11941:2003), the calorific value (NBR 8633:1984), the immediate chemical analysis (MB 15) and the available energy on wood. Data were analyzed using the analysis of variance and the Tukey test. The values of basic density and ash content showed no statistical difference between the materials. The clone H-13 presented the highest average value of volatile material and consequently, minor fixed carbon. The clone GFMO-27 showed the highest average value of PCU. However, the estimated values of energy available in the wood showed no statistical difference between the genetic material.

Keywords: Firewood. Calorific value. Specific mass. Forest biomass.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios dos teores de umidade da madeira (%) nas posições de 0%, 50% e 100% da altura comercial do clone H – 13.....	22
Tabela 2: Valores médios do poder calorífico útil (kcal/ton) da madeira nas posições 0%, 50% e 100% da altura comercial do clone GFMO – 27 a 20% de umidade base seca.....	24
Tabela 3: Valores médios do poder calorífico útil (kcal/ton) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido <i>E. pellita</i> x <i>E. tereticornis</i> e clone H – 13 a 20% de umidade base seca.	24
Tabela 4: Valores médios de materiais voláteis (%) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido <i>E. pellita</i> x <i>E. tereticornis</i> e clone H – 13.	25
Tabela 5: Valores médios de carbono fixo (%) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido <i>E. pellita</i> x <i>E. tereticornis</i> e clone H – 13.....	27
Tabela 6: Correlação simples entre as variáveis analisadas.....	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 GERAL	7
2.2 ESPECÍFICOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 BIOMASSA FLORESTAL PARA FINS ENERGÉTICOS	8
3.2 O EUCALIPTO	11
3.3 TEOR DE UMIDADE	12
3.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	13
3.5 PODER CALORÍFICO E PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA	14
3.6 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DA MADEIRA.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1 DESCRIÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	16
4.2 METODOLOGIA DE ESTUDO	16
4.2.1 Coleta do Material	17
4.2.2 Determinação do Teor de Umidade da Madeira	17
4.2.3 Massa Específica Básica da Madeira.....	18
4.2.4 Poder Calorífico da Madeira.....	18
4.2.5 Análise Química Imediata da Madeira.....	19
4.2.6 Massa Seca de Madeira por Hectare	20
4.2.7 Estimativa de Energia Disponível por Hectare	21
4.2.8 Análise Estatística dos Dados.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 TEOR DE UMIDADE	22
5.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	23
5.3 PODER CALORÍFICO ÚTIL	23
5.4 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA	25
5.5 MASSA SECA DE MADEIRA POR HECTARE	27
5.6 ESTIMATIVA DE ENERGIA DISPONÍVEL POR HECTARE	28
6. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

A madeira é amplamente utilizada pelo homem para diversas utilidades, como para produção de papel e celulose, móveis, painéis, dormentes, construção civil, construções rurais e também para fins energéticos.

Com a conscientização da população sobre o esgotamento das florestas nativas, em consequência da intensa exploração, começaram a ser desenvolvidas técnicas de plantio e manejo de espécies florestais, visando aumentar sua produtividade. Novos padrões de formação de florestas homogêneas foram desenvolvidos para atender as exigências de madeiras para fins industriais, como para a produção de energia.

Com o termo sustentabilidade em alta, nos dias atuais, e a preocupação do Brasil em reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), a implantação de florestas energéticas, em substituição ao desmatamento de florestas nativas e as fontes de energia não renováveis, auxilia o país a cumprir estas metas.

A expressão florestas energéticas vem sendo utilizada para definir os maciços florestais que tem, por finalidade, obter maior quantidade de energia por área em menor espaço de tempo. Rotações de 2 a 4 anos com menor espaçamento, geralmente 2 x 2 metros, resultam em maior número de árvores por hectare. Normalmente as espécies mais adaptadas são as do gênero *Eucalyptus* (NOGUEIRA; LORA, 2003, p. 31). Este engloba mais de 600 espécies, adaptadas as mais diferentes condições de clima e solo, oferecendo uma diversificação de usos. O uso da madeira para energia não é restritivo, mas depende de características internas, como por exemplo, a massa específica. Este é um dos índices de qualidade da madeira mais representativos, estando diretamente ligada a produção de massa seca.

Para a utilização direta da madeira como lenha, combustão, é indicado que as espécies com alto poder calorífico sejam utilizadas. Essa propriedade é diretamente relacionada ao rendimento energético, assim como a produção de massa seca, incremento médio anual e a quantidade de carbono fixo.

Quanto maior a quantidade de carbono fixo no combustível, melhor será seu uso para fins energéticos, visto que a queima acontecerá mais lentamente e haverá

liberação de energia por mais tempo. Já os materiais voláteis queimam rapidamente durante a combustão, diminuindo esta eficiência energética.

A geração de energia a partir da madeira, em Dois Vizinhos – PR e entorno, tem como principais destinos a combustão direta (lenha) em caldeiras, a cocção de alimentos, produção de calor em residências e, principalmente, o aquecimento de aviários na criação de frangos de corte. O município é considerado a capital nacional do frango.

Em virtude às exigências que a avicultura requer quanto ao aquecimento para manter o conforto térmico ao frango, as principais opções são os fornos a lenha e as campânulas a gás, porém, devido à busca pela utilização de combustíveis renováveis, o consumo de lenha é grande.

Neste contexto, a escolha de materiais genéticos com maior incremento e propriedades energéticas é relevante para atender a demanda de geração de calor nos aviários da região.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar as propriedades energéticas da madeira dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*, plantados em Dois Vizinhos – PR.

2.2 ESPECÍFICOS

1 - Determinar a massa específica básica da madeira dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*;

2 - Calcular o poder calorífico útil da madeira dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*;

3 - Determinar o teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo (análise química imediata) dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*;

4 - Estimar a quantidade de energia por hectare/ano dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*.

5 - Correlacionar a massa específica básica, a análise química imediata e os valores de poder calorífico útil da madeira dos clones H-13 e GFMO-27 e híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*;

6 - Indicar qual o melhor material genético para produção de energia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMASSA FLORESTAL PARA FINS ENERGÉTICOS

Segundo Brito (2007, p. 185), o aumento do consumo mundial de energia de combustíveis fósseis levou a população a uma matriz energética cara, insegura e negativa ao meio ambiente. Esse fato tem conduzido vários países a pensar na necessidade de mudanças profundas, intensificando o uso de outras fontes energéticas, principalmente as renováveis, incluindo a madeira.

Quenó (2009, p. 1) relata que, atualmente, a busca por combustíveis alternativos ao petróleo tornou-se um assunto importante para o futuro do planeta. Além da escassez, este combustível possui alto preço, contribui para o aumento da emissão de CO₂ na atmosfera, o que propicia o aquecimento global. No Brasil, a biomassa se evidencia como oportunidade a médio e longo prazo, pois nosso país dispõe de quantidade suficiente de terra para atingir uma produção expressiva.

As energias renováveis são derivadas de ciclos naturais de transformação da radiação solar e, por esse motivo, são praticamente inesgotáveis e não modificam o balanço térmico do planeta. Caracterizam-se como um conjunto não convencional de fontes de energia que se renovam de forma cíclica, em um curto período de tempo (PACHECO, 2006, p. 5).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2009, p. 67), biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica. Pode ser de origem florestal, agrícola e resíduo urbano e industrial.

Pacheco (2006, p. 6) define biomassa como sendo “a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese”. Seu uso como combustível pode ser na forma bruta ou por meio de seus derivados. As formas de biomassa que podem ser utilizadas como energia são a madeira, resíduos florestais, produtos agrícolas e seus resíduos, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais e vegetais, gás pobre e biogás.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (2009) e Nogueira, Bispo e Franco (2014, p. 2) consideram a biomassa um dos principais combustíveis para produção de energia em um futuro bem próximo, pois ela é tida como uma das melhores opções para diversificar a matriz energética, tanto no mercado brasileiro como no

internacional. Com isso, poderá haver redução da dependência de combustíveis fósseis.

A produção de biomassa, com objetivos energéticos, possui muitos benefícios ambientais, que a intensifica como alternativa aos combustíveis fósseis e norteia seu uso visando minimizar as emissões dos gases de efeito estufa (SANTOS, 2012, p. 143).

Cortez, Lora e Gómez (2008, p. 15) afirmam que a biomassa possui várias tecnologias para o processamento e transformação em energia, porém, as técnicas utilizadas possuem dois problemas principais, o preço e o rendimento energético de sua cadeia produtiva.

O uso da biomassa é habitualmente associado ao desmatamento, porém, as florestas energéticas podem ser cultivadas unicamente com o objetivo de produção de lenha, carvão e briquetes. Neste caso, o correto manejo da plantação proporciona a retirada planejada de árvores adultas e a reposição de mudas, aumentando a capacidade de absorção de CO₂ (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009, p. 73).

Puentes (2010, p. 21) define as florestas energéticas como sendo “plantações arbóreas de curta duração como opção potencial de fonte energética”, ou seja, são florestas plantadas que tem a finalidade de expandir a viabilidade do uso de opções energéticas renováveis.

A renovação da biomassa, segundo Pacheco (2006, p. 6), ocorre pelo ciclo do carbono, no qual a matéria orgânica ou seus derivados, através da decomposição ou queima, libera CO₂ para o ambiente. As plantas, por meio da fotossíntese, convertem este gás mais a água em hidratos de carbono, que formam sua massa viva e liberam oxigênio.

Brand (2007, p. 1) ressalta que a madeira foi a primeira fonte de energia da humanidade, utilizada inicialmente para aquecimento e cocção de alimentos, depois começou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso em processos de produção de energia elétrica, mecânica e térmica.

Até a década de 1970 a madeira era a principal fonte de energia primária no Brasil. A partir de então, foi superada pelo petróleo e depois pela hidroeletricidade, pois houve um maior incentivo para o uso dessas matérias primas, visando atender as novas demandas energéticas (BRITO, 2007, p. 187).

São muitas as características da biomassa florestal que as impulsionam como fonte energética, quando comparadas com outras fontes de energia renováveis. Entre elas está a versatilidade na origem, podendo ser de uso múltiplo das florestas ou de florestas energéticas, de resíduos florestais, industriais ou urbanos; maior geração de empregos no meio rural; balanço neutro entre sequestro e emissão de carbono; tecnologias eficientes para conversão da biomassa em energia; entre outras (BRAND, 2007, p. 1).

Brand (2007, p. 2) ainda ressalta que apesar das vantagens, os altos teores de umidade, o baixo poder calorífico e da massa específica, os custos de colheita e transporte, a imprescindibilidade de preparar e a dificuldade de manuseio, são algumas das desvantagens da biomassa florestal. Por isso, precisam ser dominadas para o aumento da eficiência energética e a competitividade dessa fonte de energia.

Brito e Barrichelo (1978, p. 63) ressaltam que o Brasil tem vastas e completas condições para utilizar a madeira como fonte energética. Entretanto, necessita da implantação de um sistema racional para utilização das florestas. Desde o final da década de 1970, já eram desenvolvidas pesquisas sobre as características da madeira que influenciam nas propriedades energéticas. O objetivo de tais estudos era atingir o máximo aproveitamento da energia produzida, contribuindo na escolha da espécie para o uso energético.

No Brasil, a utilização da madeira para fins energéticos é relacionada à geração de carvão vegetal, principalmente para uso no setor siderúrgico e também em residências, indústrias e na agropecuária (SANTOS, 2012, p. 143).

Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2009, p. 74), a lenha é um combustível de importância social para algumas regiões do Brasil, como o Rio Grande do Norte, pelo grande número de empregos diretos gerados nos processos silviculturais.

Conforme Cortez, Lora e Gómez (2008, p. 18), os resíduos florestais representam uma parcela significativa na disponibilidade de biomassa em alguns países pelas amplas quantidades produzidas na colheita e na ação industrial. Essa matéria prima vem encontrando mercado, por causa do avanço tecnológico que possibilita sua utilização e seu baixo custo.

Soares et al. (2006, p. 7) afirmam que a biomassa florestal é uma excelente alternativa energética para o Brasil, porém é necessário que haja reconhecimento de

sua importância como agente de desenvolvimento regional e sustentável, com vista a oferta de empregos e melhoria da qualidade de vida da comunidade e região.

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013, p. 91), o aumento do volume de lenha oriundo de florestas plantadas no Brasil se deu pelo crescimento das indústrias de papel e celulose, de cerâmicas, da indústria siderúrgica a carvão vegetal e das agroindústrias, que utilizam a lenha para geração de energia.

Entre 2002 e 2012, a produção de lenha no país aumentou em média 1,2% ao ano. Em 2012, cerca de 52,2 milhões de m³ foram produzidas a partir de florestas plantadas. As regiões Sul e Sudeste são responsáveis por 92,5% desse total (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013, p. 91).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015, p. 22), a lenha em 2014 representava 9,1% de toda produção de energia primária consumida no Brasil.

3.2O EUCALIPTO

O eucalipto é uma árvore nativa da Austrália e possui inúmeras espécies adaptadas a diferentes condições de solo e clima. Grande parte dessas são de grandes alturas, atingindo cerca de 30 a 50 metros, outras são arbustivas (MORA; GARCIA, 2000, p. 21).

No início do século XIX começou a propagação de sementes de eucalipto pelo mundo. O Chile, em 1823, foi o primeiro país da América do Sul a introduzir o gênero *Eucalyptus*, seguido da Argentina e do Uruguai. Em 1850, Portugal, Espanha e Índia começaram a testar o eucalipto. As espécies mais utilizadas eram o *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. uruphylla*, *E. viminalis*, *E. saligna* e *E. citriodora* (MORA; GARCIA, 2000, p. 25).

No Brasil, a ampliação das estradas de ferro, no começo do século XX, levou ao aumento da demanda por madeira. A escassez das florestas nativas próximas às ferrovias fez com que a Companhia Paulista de Estradas de Ferro buscasse novas alternativas para atender a requisição de lenha, utilizada como energia nas locomotivas (QUENÓ, 2009, p. 9). Com isso, Navarro de Andrade, considerado o “pai da eucaliptocultura” no Brasil, realizou trabalhos experimentais no Horto de Jundiaí-SP, entre 1904 a 1909, comparando espécies nativas com o

eucalipto, na qual este se destacou. Em 1909, a Companhia Paulista de Estradas de Ferro iniciou plantios de eucalipto em escala comercial (MORA; GARCIA, 2000, p. 35).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2015, p. 28), em 2014 a área de florestas plantadas no Brasil era de 7,74 milhões de hectares (0,9% do território brasileiro), destes, 5,56 milhões de hectares eram plantios de eucalipto, representando 71,9% do total. Os estados com maior produção eram Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%).

A Indústria Brasileira de Árvores (2015, p. 31) destaca a evolução da produtividade do eucalipto no Brasil, tendo um aumento de 5,7% ao ano entre os anos de 1970 a 2008, em contraste com os 2,6% da América Latina, 0,9% dos países desenvolvidos e 1,9% nos países em desenvolvimento.

Para Angeli (2005), grande parte do consumo de eucalipto no Brasil não é quantificado. Trata-se do consumo doméstico da lenha que resulta em parcela significativa do consumo total. Para a autora, as espécies de eucalipto indicadas para produção de lenha e carvão vegetal são *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. crebra*, *E. deglupta*, *E. exserta*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna*, *E. tereticornis* e *E. urophylla*.

Ribeiro et al. (2010), estudando a sobrevivência de diferentes espécies de *Eucalyptus* sp. aos seis meses de idade na região sudoeste do Paraná (mesmo local do presente estudo), verificaram que a taxa de sobrevivência do híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* foi de 86,6%, do clone GFMO-27 foi de 75% e do clone H-13 foi de 63,4%. Os autores destacam que o estresse hídrico, o ataque de pragas e a competição podem ter sido os fatores relacionados à alta mortalidade das mudas, mas que também já é possível analisar qual material genético é mais resistente a essas condições adversas.

3.3 TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade da madeira é o conteúdo de água presente nela. Em árvores vivas esse valor pode variar de aproximadamente 35 a 200%, dependendo da espécie, massa específica da madeira e condições climáticas da região onde a árvore se desenvolve (KLITZKE, 2007, p. 1).

O teor de umidade relaciona-se negativamente com o poder calorífico, pois a combustão da madeira úmida disponibiliza menos energia devido ao gasto da mesma para o aquecimento e vaporização da água, por isso, o ideal para a combustão é utilizar madeiras com teores de umidade abaixo de 25% (PEREIRA, 2000, p. 13).

Para Oliveira (2005) a variação do teor de umidade nas direções radial e longitudinal no fuste das árvores é inversamente proporcional à massa específica, pois madeiras com maior massa específica apresentam menos espaços vazios, com isso, menos espaço para presença de água livre ou de capilaridade.

3.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Para Pereira (2000, p. 11), a massa específica é uma das principais características na avaliação de qualidade da madeira. Está relacionada com a contração e o inchamento, resistência mecânica, rendimento e qualidade da polpa celulósica, produção e qualidade do carvão vegetal e com os custos ligados ao transporte e armazenamento da madeira. Madeiras com maior massa específica tem maior poder calorífico por unidade de volume. Para fins energéticos, a alta massa específica possui as vantagens de necessitar de menos área de estocagem, maior rendimento no transporte e nas caldeiras.

Quenó (2009, p. 16) afirma que a madeira com maior massa específica tem mais carbono por unidade volumétrica, sendo este a principal fonte de energia durante a combustão, ou seja, para um mesmo volume, aquela de maior massa específica irá produzir mais energia.

Lima (2003) avaliando o potencial energético da madeira de *E. paniculata* e *E. grandis*, observou que o *E. paniculata* apresentou um potencial energético 101,09% superior ao do *E. grandis*. O autor afirma que isso se deve a massa específica do *E. paniculata* ser maior, 740kg/st, e seu incremento médio anual (IMA) de 50st/ha/ano, enquanto a massa específica e o IMA do *E. grandis* foram 460kg/st e 40st/ha/ano.

3.5 PODER CALORÍFICO E PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA

Poder calorífico é a quantidade de caloria liberada na queima completa de uma unidade de massa do combustível. A caloria é a quantidade de calor necessária para aumentar um grau um grama de água. A unidade mais usual para combustíveis sólidos é a kcal/kg ou cal/g e para combustíveis gasosos ou líquidos é kcal/m³ (QUIRINO, 2002, p. 10).

Segundo Klautau (2008, p. 31), o poder calorífico pode ser classificado como poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico superior (PCS). O PCI é definido como a quantidade de calor liberada durante a combustão do combustível, com a água sob a condição de vapor. O PCS é a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água na forma condensada.

O poder calorífico superior (PCS) pode ser obtido experimentalmente em laboratórios utilizando o calorímetro. Este aparelho determina a variação da temperatura da água provocada pela combustão completa da amostra do combustível (KLAUTAU, 2008, p. 31).

Para Campos (2009, p. 2), a diferença entre o poder calorífico superior e o inferior é a energia necessária para evaporar a umidade presente no combustível e a água formada a partir da oxidação do hidrogênio do combustível.

Segundo Trugilho (2015), a madeira apresenta poder calorífico variável, dependendo da espécie florestal, sendo a composição química responsável por essa variação, estando diretamente relacionada aos teores de lignina, cinzas e extrativos.

Nogueira, Bispo e Franco (2014) avaliaram o potencial de utilização do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* para geração de energia elétrica. Concluíram que a espécie tem um grande potencial energético, com valor de PCS médio de 3.954kcal/kg, PCI de 3.458,4 kcal/kg e massa específica básica de 547,21kg/m³.

3.6 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DA MADEIRA

A análise química imediata de uma fonte energética fornece a percentagem de material volátil (material que se queima em estado gasoso), de carbono fixo (material que se queima no estado sólido) e de cinzas (material residual). Essas percentagens influenciam nas propriedades de queima do combustível, pois os

constituintes voláteis se queimam rapidamente e o carbono fixo queima-se aos poucos (BRITO; BARRICHELO, 1978, p. 64).

Klock et al. (2012, p. 8) afirmam que “o teor de cinzas determina a quantidade de material inorgânico presente na madeira, na forma de óxidos”. A quantidade de cinzas é inversamente proporcional ao poder calorífico (CHAVES et al., 2013, p. 536). O teor de cinzas pode variar entre 0,5% a 5% e depende de fatores como casca, quantidade de terra e areia agregadas à madeira (PEREIRA, 2000, p. 13). As cinzas constituem a parte inorgânica dos combustíveis e podem ser compostas por silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe) (KLAUTAU, 2008, p. 29).

Os materiais voláteis se dissipam rapidamente durante a combustão da biomassa, diminuindo o tempo de queima do combustível e contribuindo para diminuição da eficiência energética. O carbono fixo tem relação direta com o poder calorífico, aumentando o tempo de queima da fonte energética. Os teores de materiais voláteis e carbono fixo são dependentes entre si, uma vez que a percentagem de cinzas na sua constituição geralmente é baixa (CHAVES, 2013, p. 536; PEREIRA, 2000, p. 13).

Brito e Barrichelo (1978, p. 64) salientam que ao contrário de quase todos os combustíveis, a madeira possui negligenciável quantidade de enxofre em sua composição. A presença dessa substância não é desejável nas fontes energéticas, pois geram problemas de corrosão e emissão de gás dióxido de enxofre (SO₂) na atmosfera.

Em um de seus estudos, Brito e Barrichelo (1978) observaram valores de 13,4% de carbono fixo, 79,8% de materiais voláteis e 0,3% de teor de cinzas para a madeira de *Eucalyptus camaldulensis*.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

O material foi coletado na Estação Experimental TUME – Teste de Uso Múltiplo de Eucalipto, pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, com coordenadas entre 53°4'30" W e 25°44'35" S e altitude média de 509 metros acima do nível do mar.

O clima característico da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa, subtropical, com temperatura variando entre 18°C a - 3°C no mês mais frio, sendo frequente a ocorrência de geadas. A temperatura no mês mais quente ultrapassa os 23°C. As chuvas são bem distribuídas em todos os meses do ano, sem ocorrência de estação seca, com pluviosidade média de 2025 mm anuais (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2015). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006).

Este trabalho é parte integrante do projeto denominado “Programa de seleção de materiais genéticos em eucaliptocultura para o setor florestal/ madeireiro do Sudoeste do Paraná”. Diferentes características dos materiais genéticos de *Eucalyptus* sp., implantados em área experimental da UTFPR Campus Dois Vizinhos, foram estudados. O objetivo deste projeto foi indicar quais os melhores materiais a serem plantados na região Sudoeste do Paraná.

4.2 METODOLOGIA DE ESTUDO

A escolha dos materiais genéticos para este estudo se deu a partir de um inventário florestal realizado na estação experimental TUME, em julho de 2014, quando o plantio tinha idade de 4,5 anos. Três materiais genéticos se destacaram, com maior incremento médio anual (IMA) em volume, sendo eles o clone H – 13, o híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* e o clone GFMO – 27 com IMA de 68, 62 e 60 m³/ha/ano, respectivamente.

4.2.1 Coleta do Material

Três árvores de cada material genético foram abatidas e cubadas pelo método de Smalian. O diâmetro do tronco foi determinado em diferentes posições até a altura comercial, ou seja, diâmetro mínimo de 5 cm.

Foram retirados três discos de madeira de cada árvore com 5 cm de espessura, das alturas iguais a 0 (base), 50 e 100% da altura comercial do tronco (Figura 1). Esses discos, ainda no campo, foram descascados e pesados em uma balança digital para a obtenção da massa úmida.

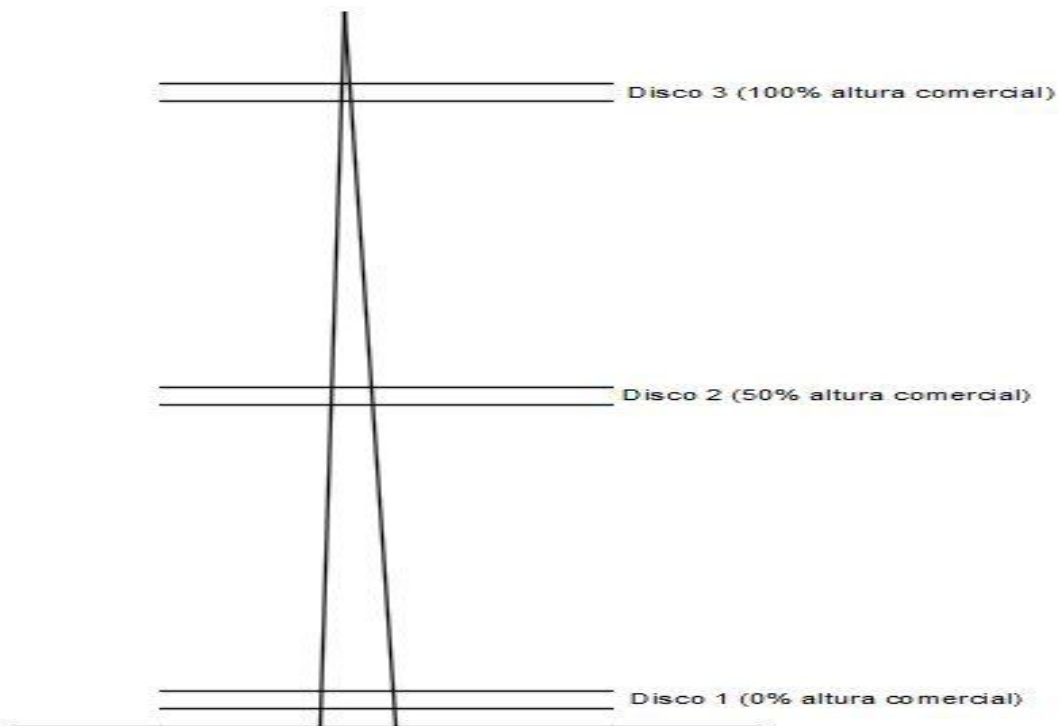


Figura 1: Esquema de retirada dos discos das árvores.
Fonte: O autor, 2015.

4.2.2 Determinação do Teor de Umidade da Madeira

O teor de umidade foi determinado a partir da metodologia descrita pela norma NBR 14929:2003 (Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa). Os discos de madeira coletadas foram pesados logo depois das árvores serem abatidas e levados para o Laboratório de Silvicultura e Proteção Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. Em seguida, foram colocadas na estufa de ventilação forçada à

temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até obtenção de massa constante. A massa é considerada constante quando após sucessivas pesagens não houver mudança na leitura ($\pm 0,5$ g) em um intervalo de tempo de uma hora. O teor de umidade foi calculado conforme a Equação 1.

$$\text{TU} = (\text{MU} - \text{MS} / \text{MS}) * 100 (\%) \quad (1)$$

Onde: TU = Teor de umidade da amostra (%)

MU = Massa úmida da amostra (g)

MS = Massa seca da amostra (g)

4.2.3 Massa Específica Básica da Madeira

A massa específica básica da madeira foi determinada seguindo a norma NBR 11941:2003 (Madeira - Determinação da densidade básica (massa específica)), dividindo-se o valor da massa seca pelo volume verde dos discos (Equação 2).

$$r_b = M_{\text{seca}} / V_{\text{verde}} (\text{g}/\text{cm}^3) \quad (2)$$

Onde: r_b = Massa específica básica da madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

M_{seca} = Massa da amostra seca em estufa (g)

V_{verde} = Volume verde das amostras (cm^3)

4.2.4 Poder Calorífico da Madeira

A determinação do poder calorífico superior (PCS) foi no Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná, câmpus Curitiba, com utilização de uma bomba calorimétrica adiabática, seguindo a NBR 8633:1984 (Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico – Método de ensaio).

Duas cunhas opostas foram retiradas de cada disco, passando pela medula e transformadas em serragem, utilizando um moinho de facas do laboratório. Foi utilizada a fração que passou pela peneira nº 16 internacional, com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira nº 24 internacional, com malha de 60 mesh.

Uma amostra de 1g foi retirada de cada árvore (sendo três árvores de cada material genético), homogeneizadas e novamente separadas em três frações. Essa metodologia foi adotada para cada uma das alturas estudadas (0, 50 e 100% da altura comercial; Figura 1).

Para o cálculo do poder calorífico inferior foi utilizada a equação 3. Para o cálculo do poder calorífico útil, foi utilizado um teor de umidade de 20% na base seca (valor médio no qual é utilizada a madeira para lenha na queima em aviários), o que representa 16,67% de umidade na base úmida, que é o valor utilizado na equação 4.

$$PCI = PCS - (600 * 9 - (H / 100)) \text{ (kcal/kg)} \quad (3)$$

Onde: PCI = Poder calorífico inferior (kcal/kg)

PCS = Poder calorífico superior (kcal/kg)

H = Hidrogênio (%)

$$PCU = PCI * (100 - U / 100) - 6 * U \text{ (kcal/kg)} \quad (4)$$

Onde: PCU = Poder calorífico útil (kcal/kg)

PCI = Poder calorífico inferior (kcal/kg)

U = Umidade base úmida (%)

4.2.5 Análise Química Imediata da Madeira

A análise química imediata foi realizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Dois Vizinhos e seguiu a metodologia do Método Brasileiro – MB 15.

As amostras foram secas a 0% de umidade, utilizando-se uma estufa a temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante e em seguida novamente pesadas.

a) Materiais voláteis

Os materiais voláteis foram determinados utilizando-se um forno mufla, aquecido a 950°C . As amostras foram colocadas em cadinhos tampados e levados até a porta da mufla por dois minutos para aclimatização. Em seguida, foram colocados na borda da mufla com a porta ainda aberta, por três minutos e, finalmente, colocadas no fundo da mufla, com a porta fechada, por seis minutos. As amostras foram colocadas em um dessecador e deixadas por 20 minutos para resfriamento e depois pesadas. A quantidade de material volátil foi calculada pela equação 5.

$$MV = (M1 - M2) / M1 * 100 \quad (\%) \quad (5)$$

Onde: MV = Material volátil (%)

M1 = Massa do cadinho + massa amostra antes de ir à mufla (g)

M2 = Massa do cadinho + massa da amostra depois de retirado da mufla (g)

b) Teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas, o cadinho foi colocado na mufla, à temperatura de 750°C, por seis horas. Terminada a incineração, foi retirado da mufla e colocado em um dessecador por 20 minutos, para resfriamento, e mediu-se sua massa. O teor de cinzas foi calculado pela equação 6.

$$\text{Cinzas (\%)} = (\text{Massa de cinzas} / \text{Massa amostra}) * 100 \quad (\%) \quad (6)$$

c) Carbono fixo

O carbono fixo foi determinado pela soma dos teores de material volátil e cinzas, decrescido de 100 (equação 7).

$$CF = 100 - (MV + \text{Cinzas}) \quad (\%) \quad (7)$$

Onde: CF = Carbono fixo (%)

MV = Material volátil (%)

Cinzas = Cinzas (%)

4.2.6 Massa Seca de Madeira por Hectare

A massa seca de madeira foi obtida pela multiplicação do incremento médio anual e da massa específica básica da madeira (Equação 8).

$$MSM = IMA * r_b \quad (\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}) \quad (8)$$

Onde: MSM = Massa seca da madeira ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

IMA = Incremento médio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)

r_b = Massa específica básica ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

4.2.7 Estimativa de Energia Disponível por Hectare

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare/ ano, expressa em kW.h, onde foi multiplicada a massa seca da madeira pelo poder calorífico útil (equação 9).

$$\text{Energia disponível} = \text{MSM} * \text{PCU} \text{ (kW.h.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}\text{)} \quad (9)$$

Onde: Energia disponível = energia por hectare por ano (kW.h.ha⁻¹.ano⁻¹)

MSM = Massa seca da madeira (t.ha⁻¹.ano⁻¹)

PCU = Poder calorífico superior da madeira (kcal.ton⁻¹)

4.2.8 Análise Estatística dos Dados

O delineamento inteiramente casualizado foi utilizado para a análise da biomassa florestal (madeira), sendo três árvores de cada material genético, três materiais (clone H-13, clone GFMO-27 e *E. pellita* x *E. tereticornis*) e três discos por árvore (0, 50 e 100% da altura comercial), totalizando 27 amostras.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificar se houve diferença entre as alturas e os materiais genéticos avaliados. Quando estabelecidas diferenças significativas, foi realizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade e 95% de significância para comparar os tratamentos entre si.

As análises dos dados foram processadas no software estatístico ASSISTAT® versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2009), sendo considerado como tratamento as alturas do tronco e os materiais genéticos.

A análise de correlação entre as variáveis massa específica básica, poder calorífico útil e análise química imediata foi feita pelo coeficiente de correlação linear de Pearson, utilizando o software Microsoft Office Excel.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEOR DE UMIDADE

a) Entre alturas do tronco

O teor de umidade, nas diferentes alturas do tronco, não diferiu significativamente no clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 3,4131$; $p \geq 0,05$) e no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* ($F_{2,6} = 0,3582$; $p \geq 0,05$).

O clone H – 13 ($F_{2,6} = 8,0437$; $0,01 \leq p < 0,05$) diferiu significativamente entre as posições 0 e 100% (Tabela 1), pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1: Valores médios dos teores de umidade da madeira (%) nas posições de 0%, 50% e 100% da altura comercial do clone H – 13.

Posição no tronco	Média por tratamento (%)
0%	130,70 a
50%	117,68 ab
100%	93,81 b
C. V. (%)	10,01

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de umidade do clone H – 13 variou entre 130,70%, na altura 0% (base), a 93,81%, na altura 100% (ápice).

Oliveira (2005), testando sete espécies de *Eucalyptus*, concluiu que o teor de umidade foi mais alto na base do tronco, diminuindo até próximo da sua metade, e aumentando novamente a partir do terço superior. Os valores no topo se aproximaram dos da base da árvore.

b) Entre materiais genéticos

Os teores de umidade, entre os materiais genéticos, não diferiram entre si ($F_{2,24} = 1,9854$; $p \geq 0,05$). As médias variaram de 97,76% a 114,07%.

Oliveira et al. (2005), estudando sete espécies de *Eucalyptus* com aproximadamente 16 anos, obtiveram valores médios de teor de umidade variando de 62 a 102%.

5.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

a) Entre alturas do tronco

A massa específica básica não diferiu estatisticamente entre as alturas do tronco em nenhum dos três materiais genéticos. As médias do clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 0,2116$; $p \geq 0,05$) variaram de 0,48 a 0,54 g/cm³, o híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* ($F_{2,6} = 2,3720$, $p \geq 0,05$) variou de 0,44 a 0,65 g/cm³ e o clone H – 13 ($F_{2,6} = 3,2876$; $p \geq 0,05$) de 0,44 a 0,54 g/cm³.

Goulart et al. (2003) verificaram que a massa específica da madeira decresce da base para o DAP do tronco, aumentando até 75% da altura e seguindo uma tendência decrescente até os 100%. Os maiores valores de massa específica foram observados na base e em 75% da altura da árvore.

Oliveira et al. (2005) explicam que, apesar de uma tendência geral, cada material genético mostra um perfil diferenciado de variação de massa específica básica nas diferentes alturas do tronco, devido a isso, comparações entre outros materiais podem apresentar diferença significativa entre as alturas.

b) Entre materiais genéticos

A massa específica básica ($F_{2,24} = 0,9723$; $p \geq 0,05$), entre os três materiais genéticos, variou de 0,49 a 0,55 g/cm³, não apresentando diferenças significativas.

Resultados semelhantes foram obtidos por Alzate et al. (2005) estudando clones de *E. grandis*, *E. saligna* e de *E. grandis* x *E. urophylla*. Os autores verificaram que a massa específica básica média dessas madeiras foram de 0,46 0,47 e 0,49 g/cm³, respectivamente.

Couto (2014) pesquisou o uso de acácia negra e eucalipto, para fins energéticos, e observou valores semelhantes aos deste trabalho. Os valores médios de massa específica para o eucalipto variaram entre 0,41 a 0,51 g/cm³.

5.3 PODER CALORÍFICO ÚTIL

a) Entre alturas do tronco

As médias de poder calorífico útil (a 20% de umidade em base seca) apresentaram diferença significativa no clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 7,2477$; $0,01 \leq p < 0,05$) entre as alturas 50 e 100%, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

probabilidade (Tabela 2). Os outros dois materiais genéticos não diferiram significativamente entre as alturas do tronco.

Tabela 2: Valores médios do poder calorífico útil (kcal/ton) da madeira nas posições 0%, 50% e 100% da altura comercial do clone GFMO – 27 a 20% de umidade base seca.

Posição no tronco	Média do tratamento (kcal/ton)
0%	3.405.620 ab
50%	3.357.286 b
100%	3.459.339 a
C.V. (%)	0,96

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de poder calorífico útil no clone GFMO – 27 variaram de 3.357.286 a 3.459.339 kcal/ton, nas alturas 50 e 100%, respectivamente. Esses valores podem ser associados aos valores de carbono fixo entre alturas desse clone que, apesar de não terem apresentado diferenças estatísticas, a altura 100% foi a que apresentou maior teor de carbono fixo (18,14%) e a altura de 50% foi a que apresentou menor teor de carbono fixo (14,94%), reforçando a teoria de que quanto maior o teor de carbono fixo maior o poder calorífico.

Silva (2015), avaliando as propriedades da madeira do *E. benthamii*, não obteve diferença significativa das características energéticas entre alturas do tronco.

b) Entre materiais genéticos

Os valores médios de poder calorífico útil ($F_{2,24} = 5,0567$; $0,01 \leq p < 0,05$) diferiram significativamente entre os clones GFMO – 27 e H – 13, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3).

Tabela 3: Valores médios do poder calorífico útil (kcal/kg) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* e clone H – 13 a 20% de umidade base seca.

Material genético	Média do tratamento (kcal/kg)
GFMO - 27	3.407,42 a
PEL x TER	3.356,66 ab
H - 13	3.339,90 b
C.V. (%)	1,39

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios variaram de 3.339,90 kcal/kg no clone H - 13 a 3.407,42 kcal/kg no clone GFMO – 27. Esses resultados podem ser explicados pelos valores encontrados na análise química imediata, na qual, o clone GFMO – 27 apresentou

valores maiores de carbono fixo do que o clone H – 13, o que vai de acordo com a teoria de que quanto maior o teor de carbono fixo maior o poder calorífico, pois a madeira vai liberar energia durante mais tempo durante o processo de combustão.

5.4 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

5.4.1 Materiais Voláteis

a) Entre alturas do tronco

Os valores médios de materiais voláteis não apresentaram diferença significativa entre alturas em nenhum dos três materiais genéticos. As médias variaram de 81,25 a 84,50% no clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 1,9656$; $p \geq 0,05$), de 83,59 a 84,23% no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* ($F_{2,6} = 0,7276$; $p \geq 0,05$) e de 85,35 a 87,14% no clone H – 13 ($F_{2,6} = 2,3670$, $p \geq 0,05$).

b) Entre materiais genéticos

O valor médio de materiais voláteis ($F_{2,24} = 9,0190$; $p < 0,01$) do clone H – 13 diferiu estatisticamente dos demais materiais genéticos, segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4: Valores médios de materiais voláteis (%) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* e clone H – 13.

Material genético	Média do tratamento (%)
GFMO - 27	83,17 b
PEL x TER	83,81 b
H - 13	86,16 a
C.V. (%)	1,86

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O clone GFMO – 27 e o híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* não diferiram significativamente entre si, possuindo médias de materiais voláteis de 83,17 e 83,81%, respectivamente, enquanto o clone H – 13 diferiu significativamente, apresentando média de 86,16%. Esses resultados podem ser explicados quando comparados com os valores de carbono fixo obtidos neste trabalho, no qual, os valores médios para o clone GFMO – 27 e para o híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* foram maiores estatisticamente em relação aos valores de carbono fixo do clone H –

13, pois, os valores de materiais voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais.

Resultados semelhantes foram observados por Chaves et al. (2013) que, avaliando três clones de *Eucalyptus* com sete anos, obtiveram valores de materiais voláteis entre 83 e 85%.

Vale et al. (2002), estudando 47 espécies madeireiras do Cerrado, verificaram médias de materiais voláteis entre 74,62 a 81,20%. Esses valores foram menores do que os obtidos no presente estudo. Provavelmente, essa variação se deve a diferença entre as espécies pesquisadas.

5.4.2 Cinzas

a) Entre alturas do tronco

Os valores médios de cinzas não tiveram diferença significativa entre as alturas no tronco em nenhum dos três materiais genéticos. O teor de cinza, no clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 1,4731$; $p \geq 0,05$), variou entre 0,57 a 0,62%, no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* ($F_{2,6} = 3,6491$; $p \geq 0,05$) a variação foi de 0,52 a 0,64% e no clone H – 13 ($F_{2,6} = 0,2011$; $p \geq 0,05$) entre 0,55 a 0,59%.

b) Entre materiais genéticos

Os teores de cinza ($F_{2,24} = 0,2989$; $p \geq 0,05$) não diferiu significativamente entre os três materiais genéticos, variando entre e 0,57 a 0,60%.

Chaves et al. (2013), testando três clones de *Eucalyptus*, verificaram valores de cinza mais baixos, variando entre 0,29 a 0,45%. Neves et al. (2013) também observaram valores entre 0,22 a 0,42% para clones de *Eucalyptus*.

5.4.3 Carbono Fixo

a) Entre alturas do tronco

Os valores médios de carbono fixo não diferiram significativamente entre as alturas do tronco, em nenhum dos três materiais genéticos. Para o clone GFMO – 27 ($F_{2,6} = 1,9889$; $p \geq 0,05$), os valores variaram entre 14,94 a 18,14%, no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* ($F_{2,6} = 0,4925$; $p \geq 0,05$) a variação foi de 15,25 a 15,80% e para o clone H – 13 ($F_{2,6} = 2,5330$; $p \geq 0,05$) foi de 12,26 a 14,07%.

b) Entre materiais genéticos

O clone H – 13 apresentou diferença significativa de carbono fixo ($F_{2,24} = 9,0665$; $p < 0,01$) em relação aos outros dois materiais genéticos (Tabela 5), pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 5: Valores médios de carbono fixo (%) dos materiais genéticos clone GFMO – 27, híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* e clone H – 13.

Material genético	Média do tratamento (%)
GFMO - 27	16,23 a
PEL x TER	15,61 a
H - 13	13,27 b
C.V. (%)	10,36

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de carbono fixo do clone GFMO – 27 e do híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis* não diferiram significativamente, apresentando valores de carbono fixo de 16,23 e 15,61%, respectivamente. O clone H – 13 diferiu estatisticamente dos demais, obtendo média de 13,27%. Essa diferença pode ser explicada pelos materiais voláteis (Tabela 4), no qual o clone H – 13 também diferiu significativamente dos demais materiais genéticos, apresentando valores mais altos de voláteis, conseqüentemente, apresentou valores mais baixos de carbono fixo, pois essas duas variáveis são inversamente proporcionais.

Resultados semelhantes foram constatados por Silva et al. (2015) que, avaliando o *E. benthamii* com cinco anos, chegou ao valor médio de carbono fixo de 15,78%. Chaves et al. (2013) também obtiveram valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho, testando três clones de *Eucalyptus*, onde os valores de carbono fixo variaram entre 15,72 a 16,08%.

5.5 MASSA SECA DE MADEIRA POR HECTARE

Os valores médios obtidos nos cálculos de massa seca da madeira ($F_{2,24} = 0,9536$; $p \geq 0,05$) não diferiram significativamente entre os materiais genéticos. Os valores variaram de 30,33 ton/ha/ano no clone GFMO – 27 a 34,24 ton/ha/ano no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*.

5.6 ESTIMATIVA DE ENERGIA DISPONÍVEL POR HECTARE

Os valores médios obtidos nos cálculos da estimativa de energia disponível ($F_{2,24} = 0,7018$; $p \geq 0,05$) não apresentaram diferença significativa entre os três materiais genéticos. Os valores variaram de 120.231,70 kW.h/ha/ano no clone GFMO - 27 a 133.732,30 kW.h/ha/ano no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*.

Apesar do valor médio de PCU do clone GFMO – 27 ter sido maior, seu resultado de energia disponível não diferiu significativamente dos demais materiais genéticos, provavelmente pelo fato do valor de massa seca de madeira por hectare ter sido menor do que os demais materiais.

Santos et al. (2012), estudando três clones de *E. urophylla*, verificaram que o clone 1 apresentou maior quantidade de energia disponível, a explicação dada para esse resultado foi a elevada massa de matéria seca desse clone em relação aos outros dois.

5.7 CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

A análise da correlação entre as variáveis foi feita pelo coeficiente de correlação linear de Pearson e apresentou os resultados demonstrados na tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis analisadas.

CORRELAÇÃO	Massa Esp. Básica	PCU	Materiais Voláteis	Cinzas	Carbono Fixo
Massa Esp. Básica	1	0,05	-0,011	0,107	0,007
PCU	-	1	-0,371	0,198	0,367
Materiais Voláteis	-	-	1	-0,262	-1
Cinzas	-	-	-	1	0,232
Carbono Fixo	-	-	-	-	1

O coeficiente de correlação linear de Pearson varia de -1 a 1. Valores negativos demonstram correlação negativa entre as variáveis; Valores positivos demonstram correlação positiva entre as variáveis; Valor zero demonstra que não há nenhuma correlação entre as variáveis.

Os coeficientes de correlação foram positivos entre a massa específica e o poder calorífico útil, cinzas e carbono fixo; entre o poder calorífico útil e as cinzas e carbono fixo; e entre as cinzas e carbono fixo. Foram negativos entre a massa específica e os materiais voláteis; entre o poder calorífico útil e os materiais voláteis; e entre os materiais voláteis e as cinzas e o carbono fixo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2014) que, estudando híbridos *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, verificaram que o teor de carbono fixo e poder calorífico correlacionaram negativamente com o teor de materiais voláteis.

6. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos conclui-se que:

✓ O teor de umidade dos materiais genéticos não diferiram significativamente entre si. Essa relação também foi observada, nas diferentes alturas estudadas, no clone GFMO – 27 e no híbrido *E. pellita* x *E. tereticornis*. No clone H – 13, o maior o teor de umidade foi observado na base e menor no ápice da árvore.

✓ A massa específica básica não diferiu entre os materiais estudados, bem como entre as alturas do tronco.

✓ O poder calorífico útil apresentou diferença significativa apenas no clone GFMO – 27 entre as alturas do meio e ápice do tronco, sendo o maior valor de PCU no ápice. Entre materiais genéticos o clone GFMO – 27 apresentou maior valor de PCU e o clone H – 13 o menor valor.

✓ Os materiais voláteis não apresentaram diferença significativa entre as alturas em nenhum dos três materiais genéticos. Entre materiais genéticos o clone H – 13 apresentou maior valor de materiais voláteis.

✓ Os teores de cinzas não apresentaram diferença significativa entre alturas e nem entre materiais genéticos.

✓ Os valores de carbono fixo não apresentaram diferença significativa entre as alturas em nenhum dos materiais genéticos. Entre materiais o clone H – 13 apresentou valor menor de carbono fixo.

✓ Nos resultados dos cálculos de estimativa de energia disponível na madeira não houve diferença significativa entre os materiais genéticos avaliados.

✓ Os materiais genéticos pesquisadores tem potencial para geração energia e, com isso, todos são indicados para o aquecimento dos aviários, sem distinção entre eles.

✓ É relevante que outras análises, como produtividade no local de plantio, sejam conduzidas para melhor caracterização destes materiais genéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Parte II, Fontes renováveis, p. 65 – 74, 2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf>. Acesso em 02 set. 2015.

ALZATE, Sandra Bibiana Arango; TOMAZELLO FILHO, Mario; PIEDADE, Sônia Maria de Stefano. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87 – 95, 2005.

ANGELI, Aline. Indicação para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF**, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acesso em 02 out. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília, 2013, 148p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8633 - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941 - Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14929 - Madeira- Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro, 2003, 3p.

BRAND, Martha Andreia. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007, 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **Instituto de Pesquisas Estudos Florestais - IPEF**, n. 16, p. 63 – 70, 1978.

BRITO, José Otávio. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185 – 193, 2007.

CAMPOS, Andressa Ambrósio de. **Estudo potencial energético de combustíveis derivados da biomassa: construção de um calorímetro isoperibólico**. 17º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UNIMEP, Piracicaba, 2009, 6 p.

CHAVES, Antônio M. Brito et al.. Características energéticas da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533 – 542, 2013.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia. Capítulo 1 – Biomassa no Brasil e no mundo**, Campinas, SP: UNICAMP, p. 11 – 29, 2008.

COUTO, Carolina Meincke. **Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas – RS**. 2014. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro - RJ: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano Base 2014**. Rio de Janeiro, 2015, 292p.

GOULART, Márcio et al. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167 – 175, 2003.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório IBÁ 2015**. Disponível em: < http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em 30 set. 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Classificação Climática**. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em 16 out. 2015.

KLAUTAU, Judith Von Paumgarten. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos**. 2008, 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

KLITZKE, Ricardo Jorge. **Curso de secagem da madeira – Módulo 01**. p. 1 – 119, 2007.

KLOCK, Umberto et al. **Manual e fichas para práticas de análises químicas quantitativas da madeira**. Curitiba: Laboratório de Química da Madeira, UFPR, 2012, 17p.

LIMA, Carlos Roberto. **Produtividade e equivalência energética de *Eucalyptus* sp. em relação ao óleo combustível e à energia elétrica**. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2003. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100007&script=sci_arttext> Acesso em 21 set. 2015.

MÉTODO BRASILEIRO – MB-15. **Ensaio de Laboratório: Análise Imediata do Carvão**. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/professorbarbieri3/analise.PDF>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

MORA, Admir Lopes; GARCIA, Carlos Henrique. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000, 112p.

NEVES, Thiago Andrade et al. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

NOGUEIRA, Elis Watanabe; BISPO, Carlos José Capela; FRANCO, Daniel Sarti. **Potencial de utilização do eucalipto para geração de energia no município de Paragominas/PA, Brasil**. 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, Bento Gonçalves – RS, 23 a 25 de Abril de 2014, 7p.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; LORA, Electo Eduardo Silva. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª edição, 2003, 193p.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; HELLMEISTER, João Cesar; TOMAZELLO FILHO, Mário. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PACHECO, Fabiana. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador, n. 149, p. 4 – 11, 2006.

PEREIRA, José Carlos Duarte et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Documento 38, Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

PUNTES, Renzo Sebastian Eduardo Solari. **Expansão das florestas plantadas com fins energéticos no Brasil e sua influência nas emissões de gases de efeito estufa – GEE: análise de dois cenários futuros**. 2010, 135 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2010.

QUENÓ, Laurent Roger Marie. **Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia**. 2009, 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

QUIRINO, Waldir Ferreira. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 2002, 35p.

RIBEIRO, Raquel Rossi et al. **Sobrevivência de diferentes espécies de *Eucalyptus* sp. aos 6 meses de idade, na região sudoeste do Paraná**. ANAIS DO II SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL E XI SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS, UNICENTRO – Irati, 16 a 20 ago. 2010, 5p.

SANTOS, Larissa Carvalho et al. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SANTOS, Rosimeire Cavalcante dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 159 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, Rosimere Cavalcante dos et al. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 143 – 151, 2012.

SILVA, Dimas Agostinho et al. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 481 – 485, 2015.

SILVA, Francisco de A. S.; AZEVEDO, Carlos. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOARES, Thelma Shirlen et al. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano IV, n. 8, 2006.

SOARES, Vássia Carvalho et al. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.

TRUGILHO, Paulo Fernando. **Energia da biomassa florestal**. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em 21 set. 2015.

VALE, Ailton Teixeira do; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; LEÃO, Alcides Lopes. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.