

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Danieli Koaski

**Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden**

Curitibanos, SC

2019

Danieli Koaski

**Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Karina Soares Modes, Dra.

Curitibanos, SC

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Koaski, Danieli  
Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii*  
Maiden / Danieli Koaski ; orientador, Karina Soares Modes  
, 2019.  
38 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2019.

Inclui referências.

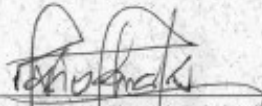
1. Engenharia Florestal. 2. Composição química. . 3.  
Queima.. 4. Rendimento produtivo.. I. , Karina Soares  
Modes. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Danieli Koaski

**Qualidade energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de "Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

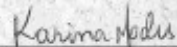
Curitiba, 25 de Outubro de 2019.



---


Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



---

Profa. Karina Soares Modes, Dra.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a execução do deste estudo, sem os quais não teria sido alcançado.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo e todos que fizeram parte dessa trajetória, pela oportunidade de avanço na vida acadêmica, profissional e pessoal.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao corpo docente, por ter me repassado todo o conteúdo necessário para minha formação acadêmica me dando a oportunidade de obter o título de Engenheira Florestal.

A orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Karina Soares Modes da Universidade Federal de Santa Catarina – *campus* Curitibanos, pela orientação, apoio, estímulo, respeito e competência na elaboração de nossa monografia.

Ao Prof. Dr. Magnos Alan Vivian por aceitar fazer parte da banca avaliadora.

Aos amigos e todos os outros que contribuíram com minha formação, seja por palavras de apoio ou por ajudas quando mais precisei.

A minha família tão amável e fervorosa, pela paciência, apoio e compreensão de meus pais Izidorio Koaski e Maria Helena Frederico Koaski.

## RESUMO

O conhecimento sobre as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira é relevante quando se deseja fazer uso desse material para queima. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização energética da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantada no município de Papanduva- SC, planalto norte catarinense. A espécie foi escolhida por se destacar no sul do país devido a sua considerável resistência a baixas temperaturas e geadas, rapidez e uniformidade de crescimento. Três árvores da espécie foram abatidas e destas, extraídos discos de madeira nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial correspondente ao diâmetro de 8,0 cm, dos quais foram confeccionadas cunhas para determinação da densidade básica, composição química, teor de voláteis, teor de carbono fixo e cinzas. Foi registrado um teor de voláteis, de 91,6%, teor de cinzas de 0,9%, teor de carbono fixo de 7,5%, teor de extrativos de 5,0%, teor de lignina de 24% e holocelulose de 70,9%. Com base nos resultados obtidos pode-se classificar a espécie *E. dunnii* Maiden como adequada para produção de energia, em função da densidade de sua madeira 0,498 g/cm<sup>3</sup> e dos teores de extrativos e cinzas que aumentam o poder de queima, no entanto, esta será rápida, devido ao médio teor de materiais voláteis e altos teores de holocelulose, ou seja, refletindo em baixo rendimento produtivo.

**Palavras-chave:** Composição química, Queima, Rendimento produtivo.

## ABSTRACT

Knowledge about the chemical and chemical properties of wood is relevant when you want to make use of this material to burn. The objective of this work was to perform an energetic characterization of *Eucalyptus dunnii* Maiden wood, planted in the municipality of Papanduva-SC, northern Santa Catarina plateau. One species was chosen for its value in the country due to its resistance to low and low temperatures, speed and uniformity of growth. Three trees of the species were felled and from these, discs extracted from wood at positions 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height corresponding to the diameter of 8.0 cm, from which wedges were made to determine the basic statistics, chemical composition, volatile content, fixed carbon content and ash. A volatile content of 91.6%, an ash content of 0.9%, a fixed carbon content of 7.5%, an extractives content of 5.0%, a lignin content of 24% were recorded. % and 70.9% holocellulose. Based on the results, an *E. dunnii* Donzela species can be classified as suitable for energy production, due to the density of its wood  $0.498 \text{ g / cm}^3$  and the extractors and ashes that increase or increase the burning power. This will be rapid due to the average content of volatile materials and high levels of holocellulose, ie reflected in the low yield.

**Keywords:** Chemical composition, Burn, Productive income.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>11</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1	UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> sp. PARA FINALIDADE ENERGÉTICA .....	13
2.2	QUALIDADE DA MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA .....	15
<b>3</b>	<b>MATERIAL E METODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	PREPARO DO MATERIAL .....	17
3.2	DENSIDADE BÁSICA PONDERADA .....	17
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	18
3.3.1	<b>Preparo do Material .....</b>	<b>18</b>
3.3.2	<b>Determinação do teor de voláteis .....</b>	<b>19</b>
3.3.3	<b>Determinação do teor de cinzas.....</b>	<b>19</b>
3.3.4	<b>Determinação do teor de carbono fixo.....</b>	<b>20</b>
3.3.5	<b>Determinação do teor de Extrativos totais .....</b>	<b>21</b>
3.3.6	<b>Lignina total .....</b>	<b>22</b>
3.3.7	<b>Holocelulose.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
4.1	DENSIDADE BÁSICA .....	25
4.2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	26
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma espécie com capacidade de resistência à geada, sendo bastante utilizada em plantios em locais de grande altitude e latitude (SCHRODER et al., 2016). De acordo com Ferreira et al. (1997) esta espécie em sua área de ocorrência natural, atinge alturas que variam de 30 a 40 metros, podendo chegar até 60 metros, com fustes compridos e retos, e um diâmetro máximo à altura do peito de 1,0 m.

No Brasil a espécie tem-se destacado pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e resistência à geada não muito severa, sendo que plantios mais significativos de *E. dunnii* estão localizados nos Estados de Santa Catarina e Paraná (IWAKIRI; PRATA, 2008).

Com relação às características tecnológicas da madeira de *E. dunnii* alguns pesquisadores recomendam a sua aplicação para fins estruturais que requerem maior resistência mecânica, tais como assoalhos, carrocerias e cabos de ferramentas (CALORI; KIKUTI, 1997). Ainda que algumas características qualifiquem a madeira como uma das mais adequadas para regiões frias, quando se considera o nível reduzido de informações disponíveis é necessário estudos para otimização do uso da espécie (GOLFARI, 1978).

É necessário conhecer as propriedades da madeira para destiná-la a um determinado uso, para promover seu melhor aproveitamento (CASTRO et al., 2013), principalmente para o Brasil, que possui a madeira como uma grande fonte de energia, trata-se de uma questão estratégica, onde os produtos obtidos por esta fonte renovável de energia terão certamente uma maior aceitação tanto nos mercados nacional como internacional (TRUGILHO, 2017).

Segundo Vidal e Hora (2011), em muitos países em desenvolvimento, uma parcela da oferta de madeira ainda é oriunda de desmatamentos. O Estado de Mato Grosso que hoje é o segundo maior produtor de lenha durante muito tempo, em razão da considerável oferta de lenha oriunda de formações nativas, teve a produção de lenha com origem da silvicultura bastante tímida (IBGE, 2014). Assim, a produção de madeira, a partir de plantios florestais, passa a ser priorizada somente a partir da década de 2000 em razão da exaustão de muitos recursos e restrições de exploração de remanescentes nativos (REIS; MORAES, 2015). Já os Estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso, contribuíram com 74% do total da produção de madeira em tora oriunda das matas nativas obtido no País, no entanto, esta apresentou um decréscimo de 8,4% em relação ao ano anterior (IBGE, 2014). Os autores afirmam que uma vantagem do uso de florestas energéticas, ou seja, aquelas plantadas com o objetivo de produção de energia, é a não

obrigatoriedade de colher o produto anualmente, sendo que o corte pode ser postergado ou adiantado de acordo com as condições de mercado, reduzindo a volatilidade no preço da madeira. Outra vantagem obtida com o uso da madeira é que a mesma é altamente versátil, podendo ser ajustada em termos de umidade, tamanho de partículas, densidade a granel e até mesmo em poder calorífico e densidade energética (FOELKEL, 2016).

A área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,83 milhões de hectares em 2018, no qual o segmento de siderurgia a carvão vegetal corresponde a 12% dessa área plantada (IBÁ, 2019). De acordo com o IBÁ (2019) os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas, e nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, com taxa média de crescimento de 7,4% ao ano. No entanto, a espécie *E. dunnii* tem se destacado no sul do país devido a sua considerável resistência a baixas temperaturas e geadas, rapidez e uniformidade de crescimento. Diante desse contexto, são necessários estudos que analisem a viabilidade técnica e qualidade da madeira desta espécie, frente a diferentes idades de rotação a fim de verificar a potencialidade de uso, com enfoque energético, auxiliando o planejamento da produção.

Diante dessa problemática este estudo visa a ampliação da base de dados disponíveis para a madeira de *E. dunnii*, contribuindo com o uso racional da espécie e com o desenvolvimento de programas de melhoramento genético e manejo florestal, ao passo que identificará se a mesma apresenta qualidade energética compatível com a registrada pela mesma espécie bem como a de espécies nativas e outras de uso tradicional no fornecimento de energia.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da madeira de *E. dunnii* aos 7 anos de idade como fonte de energia para queima.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a densidade básica ponderada de árvores da espécie;

- Avaliar a composição química da madeira;
- Determinar o teor de carbono fixo, teor de voláteis e cinzas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp. PARA FINALIDADE ENERGÉTICA

Historicamente, a lenha tem sido a fonte de energia mais utilizada pela população brasileira, sendo responsável por uma grande parcela da demanda energética do setor residencial, principalmente para usos finais como a cocção e o aquecimento de água (SGARBI, 2013). Seu uso corresponde ao nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, sendo considerada a madeira sem dúvida o combustível mais antigo usado pelo homem (BRITO, 2007).

Nos países desenvolvidos esta é usada em menor quantidade, porém possui relevância como fonte de energia, devido ao fato desta ser uma fonte ambientalmente menos agressiva, portanto um substituto eficaz para os combustíveis fósseis, contribuindo para a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa (GOMES; WANDERLEY, 2010).

Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2015), dados de 2012 demonstram que 41,0 milhões de m<sup>3</sup> de lenha de florestas plantadas foram destinados à produção de carvão vegetal e 132,0 milhões de m<sup>3</sup> foram destinados a uso industrial no Brasil. No entanto, infelizmente, parte significativa do carvão vegetal brasileiro ainda provém de biomassas florestais nativas, mas essa não conformidade ambiental deve ter seus dias contados por resultados da legislação e conscientização no setor (FOELKEL, 2016).

O Brasil é o país líder em produtividade florestal com suas florestas plantadas de eucalipto, possui uma extensa área com plantações, cerca 5,7 milhões de hectares, destacando-se pela produtividade média de 36 m<sup>3</sup>/ha.ano, características que podem variar com o nível de melhoramento genético e qualidade do manejo (IBÁ, 2019), fato que atribui ao país um potencial e promissor futuro na utilização energética das árvores.

Durante a última década o consumo de lenha no Brasil permaneceu inalterado nos setores residencial, industrial e agropecuário, as grandes mudanças aconteceram com a transformação da lenha em carvão, que é a área que mais utiliza e consome madeira, chegando em torno de 39% do total destinado para energia (SANTOS, 2010). Segundo o mesmo autor este fato é explicado pelo alto consumo do produto no setor siderúrgico, que para atender a essa demanda utiliza madeira proveniente de florestas plantadas, na sua maioria com o gênero *Eucalyptus* (SANTOS, 2010). Segundo Nastas *et al.* (2013) os setores que mais utilizam

madeira para energia são o carvão para siderurgia (39%), usos residencial (33%), industrial (21%) e agrícola (7%). O setor de siderurgia corresponde a 12% da demanda de florestas plantadas (IBÁ, 2019).

Segundo Foelkel (2016) uma floresta plantada de eucalipto consegue sequestrar entre 10 a 16 toneladas de carbono atmosférico por hectare/ano, o que equivale então a 35 a 60 toneladas de gás carbônico/hectare.ano. Em sete anos, idade onde geralmente se realiza a colheita, essa floresta teria sequestrado entre 70 a 112 toneladas de carbono atmosférico ou 255 a 410 toneladas de gás carbônico. No entanto, de acordo com o mesmo autor, ao ser queimada, libera parte desse estoque de carbono de novo para a atmosfera, trata-se, portanto de um carbono renovável e não fóssil acumulativo.

Paludzyszyn Filho (2005) afirma que os programas de melhoramento são destinados para avaliação de espécies e procedências potencialmente promissoras. De acordo com a mesma fonte as espécies de eucalipto economicamente importantes para as condições da Região Sul do Brasil constituem um pequeno número e com estas, a Embrapa Florestas vem realizando pesquisas, prioritariamente com a espécie *E. dunnii*, em decorrência da rapidez e uniformidade de crescimento, e alta tolerância de acordo com a severidade da geada.

O *E. dunnii* apresenta rápido crescimento, com uma média anual de 3,0 m em altura e 3,0 cm em diâmetro do tronco, sua madeira é considerada de média resistência, apresentando uma densidade básica de 500 kg/m<sup>3</sup>, perfeitamente aproveitável para fins energéticos (PALUDZYSZYN FILHO, 2005).

O Programa Nacional de Pesquisa Florestal (1984) em estudo com *E. dunnii* verificou a possibilidade de aumentar em mais de 200% a produtividade energética dos povoamentos florestais, reduzindo-se simultaneamente as rotações para quatro a cinco anos, em zonas de ocorrência de geadas severas no Sul do País. Com um plantio experimental, utilizando sementes provenientes de Urbenville (NSW, Austrália), e com a densidade de 5000 plantas/ha, foi verificada produtividade de 87,8 m/há/ano, em um plantio com dois anos de idade.

Pereira *et al.* (1986) classificaram a madeira de *E. dunnii*, com quatro anos e meio de idade como de qualidade inferior como fonte de energia, comparado à de *Eucalyptus viminalis* com quatro anos de idade e de bracatinga oriunda de povoamentos naturais, no entanto, os altos níveis de produtividade observados compensam esta característica o que a qualifica como uma das principais espécies indicadas para fins energéticos como a produção de carvão vegetal, sendo que a característica de produtividade é considerada por unanimidade o fator mais importante.

## 2.2 QUALIDADE DA MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

O eucalipto é considerado uma das melhores alternativas para a produção de carvão vegetal, devido à rusticidade, produtividade, densidade e também pelas características da madeira que garantem, segundo a literatura, um carvão facilmente renovável e de boa qualidade, sendo que com reflorestamentos de eucalipto, planejados e manejados adequadamente, é possível produzir árvores de troncos retos, uniformes e madeira com densidade adequada para a obtenção de carvão (PINHEIRO *et al.*, 2006 apud SANTOS; HATAKEYAMA, 2012).

Segundo Trugilho (2017), durante os testes para avaliar a viabilidade do uso da madeira na produção de energia deve-se iniciar considerando várias características, tais como composição química e densidade básica.

A densidade básica é considerada o elemento referencial para a seleção de espécies indicadas para produção de energia, sendo citada por muitos autores como índice de qualidade da madeira, pois influencia outras propriedades da mesma e dos produtos que são gerados, já que a madeira mais densa apresenta como características a produção de carvão com densidade mais elevada (SANTOS, 2010). Quanto maior a densidade da madeira, maior será a quantidade de massa disponível para queima por unidade de volume (ARAÚJO *et al.*, 2018). O aumento de densidade da madeira é acompanhado pelo aumento da espessura da parede das fibras, pela redução do lúmen e pelo aumento no comprimento das fibras, a medida que os teores de lignina e de extrativos se elevam, a densidade aumenta, proporcionalmente (SILVA; OLIVEIRA, 2016).

Estudos com a composição química da madeira indicam que esta é composta, em base seca, de aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, sem considerar os outros elementos nela presentes, valores que independente da espécie, diferenças genéticas ou a idade, mantêm-se aproximadamente constante (PENEDO, 1980 apud SANTOS, 2008). A madeira como a grande maioria dos combustíveis, depende do efeito térmico resultante da combustão do carbono e hidrogênio que contêm (UFMG, 2010 apud SANTOS, 2010).

No que se refere a composição química estrutural, Klock *et al.* (2005), apresentam os valores para os componentes estruturais da madeira de folhosas, para os teores de celulose ( $45 \pm 2\%$ ), hemicelulose ou poliose ( $30 \pm 5\%$ ), lignina ( $20 \pm 4\%$ ) e extrativos de ( $3 \pm 2\%$ ). Segundo Browning (1963), citado por Quirino *et al.* (2005) o poder calorífico é mais alto quanto maior

o teor de lignina e extrativos, porque os mesmos contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose).

A constituição química da madeira influencia fortemente a eficiência energética da mesma, especialmente os teores de lignina e extrativos. Conseqüentemente, as coníferas por possuírem maior conteúdo de resinas e lignina que as folhosas apresentam elevado poder calorífico superior, distribuído de forma diferente de acordo com a parte da árvore que esteja em processo de combustão (JARA, 1989 apud QUIRINO *et al.*, 2005).

Segundo Brand *et al.* (2013), o aumento do teor de cinzas está relacionado ao aumento do teor de voláteis. As cinzas não sofrem combustão, porém fazem parte da massa total do combustível quando o mesmo está em processo de queima, quanto maior o seu teor, menor será o poder calorífico superior da biomassa. O teor de cinzas da madeira inferior a 1% é considerado baixo, o que é positivo para o uso energético da madeira, tanto na forma de lenha como para a produção de carvão vegetal. Contaminantes como poeira durante o corte, secagem e transporte, pilhas de estocagem ou silos de abastecimento dos alto fornos, resultam no aumento do teor de cinzas (COSTA *et al.* 2017). Teores muito elevados de cinza exigem limpezas mais freqüentes e podem provocar corrosão em equipamentos metálicos (PEREIRA *et al.*, 2000). Já madeiras com teores elevados de voláteis carbonizam mais rapidamente, pois os voláteis quando submetidos a altas temperaturas evaporam-se e ao entrar em contato com o oxigênio do ar, ocorrendo combustão mais rápida (PEREIRA *et al.*, 2000). Altos teores de materiais voláteis acarretam a produção de fumaça durante a queima, além da menor eficiência energética (BASSO, 2017). Quanto maior o teor de materiais voláteis na madeira, menor o teor de cinzas, pois o material que é volatilizado não resulta em resíduos sólidos após a combustão, o teor de carbono fixo e o poder calorífico correlacionaram-se negativamente com o teor de materiais voláteis (BRUN *et al.*, 2018).



### 3 MATERIAL E METODOS

#### 3.1 PREPARO DO MATERIAL

Para a realização do estudo foram utilizadas três árvores da espécie *Eucalyptus dunnii* com 7 anos de idade procedente de área de plantio de 0,5 ha de na cidade de Papanduva- SC.

Cada árvore após o abate teve altura comercial determinada com trena, tendo esta última sido considerada até a posição correspondente ao diâmetro de 8,0 cm na ponta fina.

Foram amostrados discos de 3,0 cm de espessura nas posições referentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores. As árvores amostradas possuíam as características dendrométricas que constam na tabela 1.

Tabela 1 – Características dendrométricas das árvores amostradas.

	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Média
Altura comercial (m)	17,3	16,8	18,5	17,5
DAP (cm)	22,6	18,5	19,2	20,1

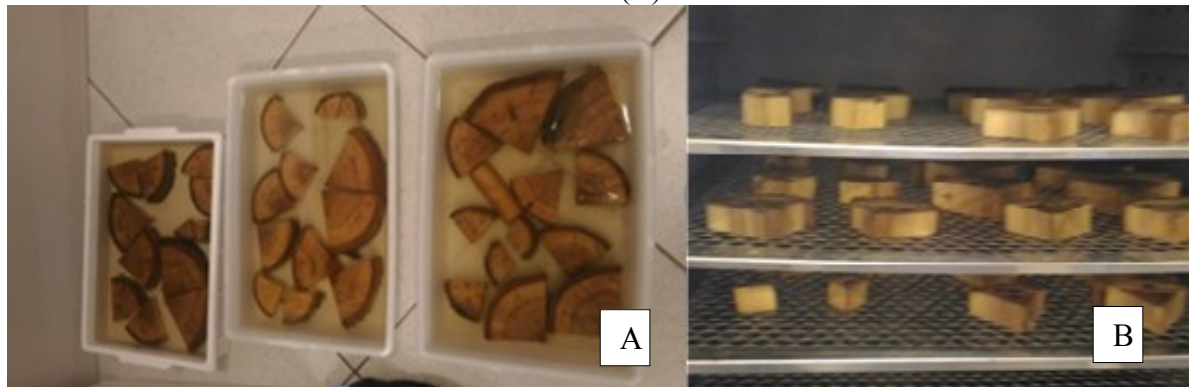
Fonte: O autor (2019).

A partir dos discos amostrados foi realizada a determinação da variação longitudinal da densidade básica e quantificação da composição química, teores de carbono fixo, voláteis e cinzas.

#### 3.2 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA

Para esta determinação, de um disco de cada posição amostrada já descritas foram confeccionadas duas cunhas diametralmente oposta que foram mantidas em água por aproximadamente 30 dias para completa saturação (Figura 1).

Figura 1 – Cunhas imersas em água para saturação (A); Cunhas em secagem em estufa a 103°C (B).



Fonte: O autor.

Na sequência as cunhas tiveram a casca removida para determinação da densidade básica da madeira. Para isso cada cunha teve o volume saturado determinado pelo método da balança hidrostática, também conhecido como método do empuxo. Após esta determinação foram postas para secar em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante para determinação da massa anidra.

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$d_b = \frac{m_2}{(m_1)} \quad (1)$$

Onde:  $d_b$  = densidade básica da madeira, em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $m_2$  = massa da amostra seca em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , em g;  $m_1$  = massa do volume de água deslocada quando da imersão da amostra, considerando-se a densidade da água como  $1\text{g}/\text{cm}^3$ .

Para ponderação dos valores de densidade básica foi determinado o volume da madeira dos toretes gerados pela extração dos discos nas posições de amostragem. Para ponderação dos valores foi considerada a metodologia estipulada por Vital (1984).

### 3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

#### 3.3.1 Preparo do Material

Para esta determinação, de um disco extraído em cada posição de amostragem foi confeccionada uma cunha e esta, transformada em cavacos com auxílio de um formão e martelo. Após esse processo esse material foi triturado em moinho de facas tipo Willey. Como o tamanho das partículas após a moagem normal não é homogêneo, a mesma foi classificada

em peneira de malha 40 mesh, seguida da malha 60 mesh e um fundo de descarte para eliminar o material muito fino, sendo o material retido na malha 60, armazenado em um recipiente para posterior uso. Para as análises foi realizada uma a mistura da serragem gerada em cada posição de amostragem dando origem a uma amostra composta por árvore.

### 3.3.2 Determinação do teor de voláteis

A determinação de teor de voláteis seguiu a metodologia da norma NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986), em Forno Mufla, aquecido até 850° C por 7 minutos.

Figura 2– Madeira em forno mufla à temperatura de 850° C.



Fonte: O autor.

Após este procedimento, as amostras foram colocadas em um dessecador para resfriamento e posterior pesagem em balança analítica. Após a extração dos voláteis, obteve-se como resíduo o carbono fixo e as cinzas. O teor de voláteis foi determinado pela equação 2.

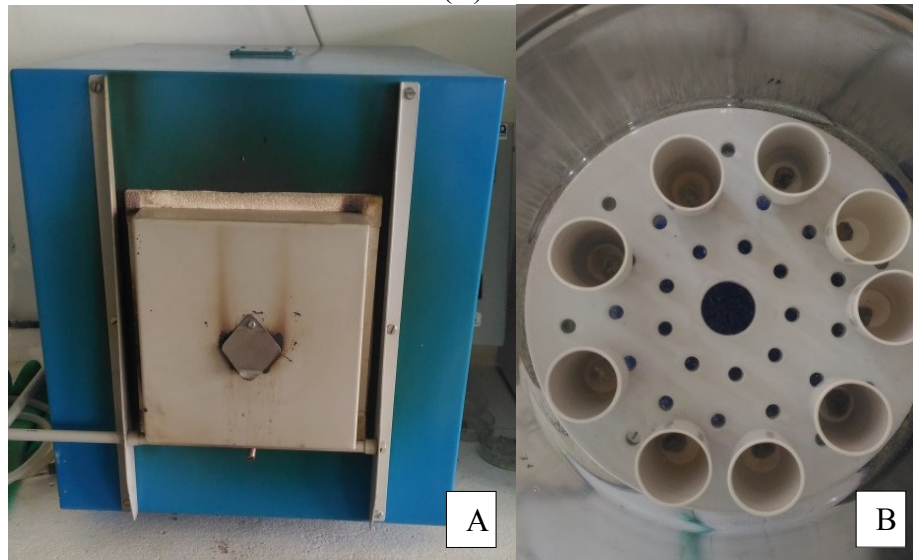
$$Tv = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $T_v$  = Teor de voláteis, em %;  $m_2$  = Massa massa seca da serragem a 103°C em g;  $m_1$  = Massa final proveniente da mufla, em g.

### 3.3.3 Determinação do teor de cinzas

Para esta determinação o material foi colocado no Forno Mufla a uma temperatura de 525 °C, por um período de três horas, seguindo a metodologia da norma TAPPI (T 211 om-93). Ao final, dentro do cadinho restaram somente cinzas resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos.

Figura 3 – Mufla utilizada para incineração do material (A); Dessecador para resfriamento (B).



Fonte: O autor.

Depois do resfriamento cada cadinho foi pesado, obtendo o valor do peso de cada um deles junto com as cinzas. O teor de cinzas foi calculado pela Equação 3.

$$Cinzas = \frac{m_4}{m_3} \times 100 \quad (3)$$

Onde: CZ= Teor de cinzas, em %;  $m_3$ = Massa seca da amostra antes do experimento, em g;  $m_4$ = Massa de cinzas, em g.

### 3.3.4 Determinação do teor de carbono fixo

A determinação do teor de carbono fixo foi determinada segundo Menezes (2013) descontando-se da massa total da amostra seca o teor de voláteis e de cinzas (Equação 4).

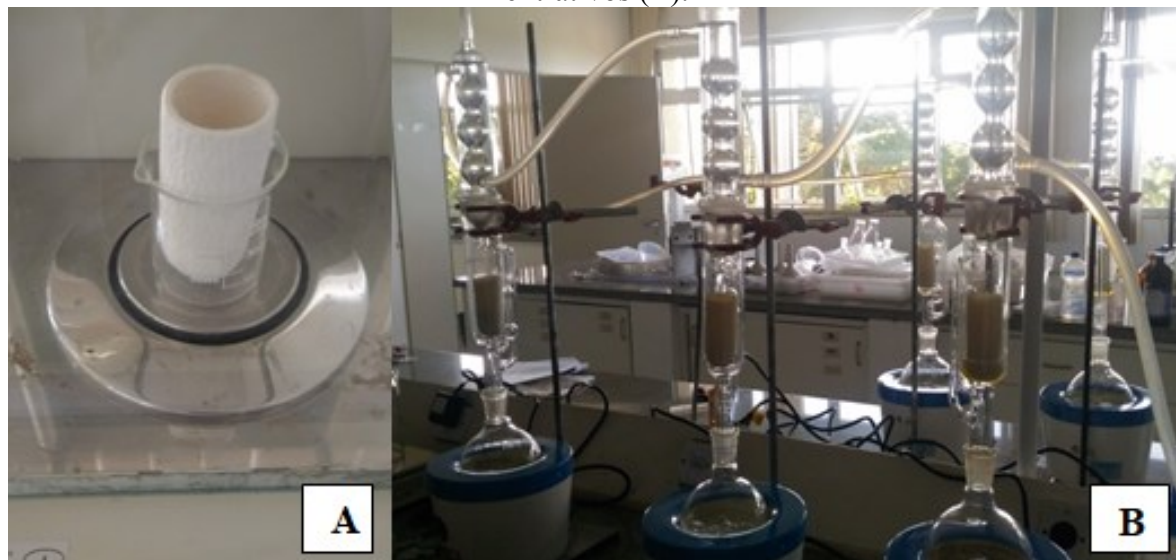
$$T_{cf} = 100 - (tv + tcinzas) \quad (4)$$

Onde: Tcf= Teor de carbono fixo, em %; TV= Teor de voláteis, em %; CZ= Teor de cinzas, em %.

### 3.3.5 Determinação do teor de Extrativos totais

Para determinação dos extrativos foi empregada a metodologia de Klock *et al.* (2005), sendo utilizado aparelho de extração do tipo Soxhlet e bomba de vácuo, com as amostras em forma de serragem e secas em estufa.

Figura 4 – Cartucho de extração (A); Equipamento de Soxhlet para determinação de extrativos (B).

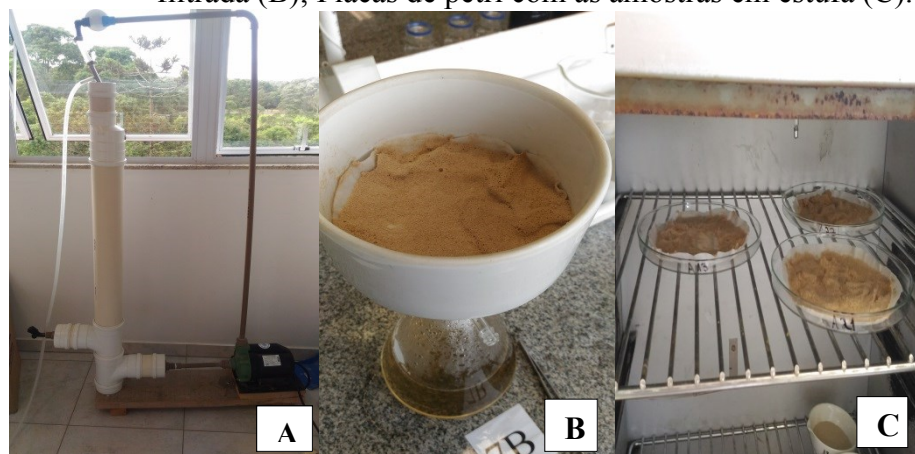


Fonte: O autor.

A extração foi feita em solução de álcool: tolueno na proporção (1:2), etanol 95% durante 4 horas em extrator soxhlet, e uma extração final com água destilada quente para remover os resíduos dos solventes.

Após a extração, as amostras foram transferidas para erlenmeyers, com 500mL de água destilada mantidas em banho maria a 100°C por uma hora. Na sequência as amostras foram submetidas a tríplex lavagem e filtragem em papel filtro com auxílio do kitasato e da bomba a vácuo. Os papeis filtro foram secos em estufa onde permaneceram por 16 horas a 100°C.

Figura 5 – Bomba de vácuo utilizada para lavagem e filtragem dos materiais (A); Amostra filtrada (B); Placas de petri com as amostras em estufa (C).



Fonte: O autor.

Ao final desse processo o teor de extrativos foi determinado pela Equação 5.

$$TE = \frac{(P1-P2)}{P2} \times 100 \quad (5)$$

Onde: TE= Extrativos Totais, %; P1= Peso inicial da amostra, g; P2= Peso da amostra livre de extrativos seca em estufa g;

### 3.3.6 Lignina total

Para a obtenção de lignina total foram realizados dois testes. O primeiro que consistiu em determinar a lignina residual (insolúvel) e o segundo determinar a lignina solúvel, segundo metodologia de Vivian (2015).

A amostra seca foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 3mL de ácido sulfúrico (72%), homogeneizada e colocada em estufa a 25 - 30°C por 30 minutos. Após esse procedimento, o material foi transferido para erlenmeyer e diluído a solução de ácido sulfúrico adicionando 84 mL de água destilada. O material foi colocado em banha maria por aproximadamente 1 hora à 70 – 80°C (Figura 7) e filtrado em papel filtro.

Figura 6 – Ácido sulfúrico+ amostra em banho-maria.



Fonte: O autor.

O papel filtro contendo o material foi seco em estufa a 100°C por 20 min e pesado, obtendo-se o peso seco do resíduo. Para o cálculo de lignina residual (LR) foi utilizada a equação 6.

$$L.R.(%) = \left( \frac{\frac{PSR}{PAM}}{1 - \frac{E.T.}{100}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde: PSR = Peso seco do resíduo (g); PAM = Peso seco da amostra de madeira (g); E.T: Extrativos totais (%).

O resíduo após a filtragem (Figura 8) é o que foi utilizado para determinação da lignina solúvel. Nesta etapa foi realizada diluição desse resíduo na concentração de 1:25 com água destilada, foi levado a centrifuga para diminuir a incidência de insolúveis, em seguida foi utilizado um espectrofotômetro para obter valores de absorbância nos comprimentos de onda de 215 nm e 280 nm.

Figura 7 – Resíduo após a filtragem da lignina residual.



Fonte: O autor.

Para determinação do teor de lignina solúvel utilizou-se a Equação 7:

$$LS (\%) = \left\{ \frac{4,53 \times L_{215} - L_{280}}{300 \times \left( \frac{0,3}{10 - \frac{E.T}{100}} \right)} \right\} \times 100 \quad (7)$$

Onde: L215= Comprimento de onda de 215 nm (A); L280= Comprimento de onda de 280 nm (A); E.T= Extrativos Totais (%).

A lignina total (LT) foi calculada pela Equação 8.

$$LT(\%) = LR + LS \quad (8)$$

Onde: LR=Lignina Residual; LS= Lignina Solúvel;

### 3.3.7 Holocelulose

A porcentagem de holocelulose da amostra foi obtida de acordo com a metodologia de Vivian (2015) (Equação 9).

$$Hc = 100 - (ET + LT) \quad (9)$$

Onde: ET= Extrativos Totais; LT= Lignina Total.



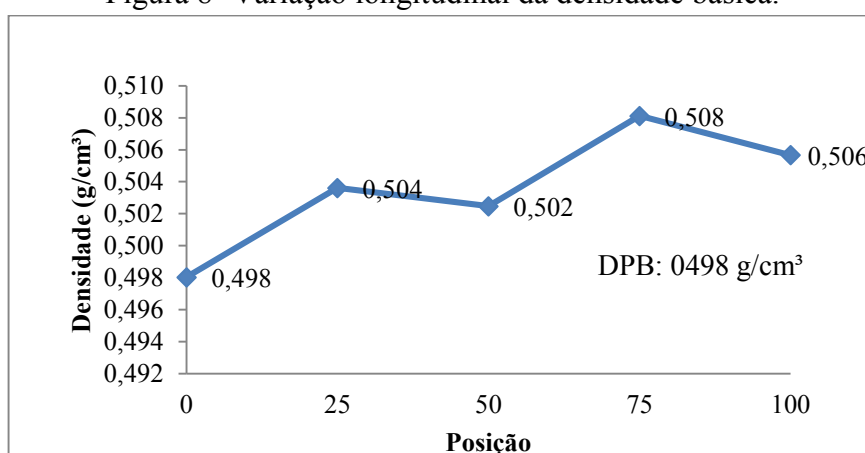
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica ponderada da madeira de *E. dunnii*, aos 7 anos de idade foi de 0,498 g/cm<sup>3</sup>, apresentando-se pouco inferior a verificada por Ribeiro e Zani Filho (1993) (0,524 g/cm<sup>3</sup>) aos 5 anos e aos 0,551 g/cm<sup>3</sup> encontrado por Pereira *et al.* (2000), para a madeira aos 8 anos. As variações de densidade básica podem ser ocasionadas pelas diferenças entre ambientes e podem estar associadas ao ritmo de crescimento das árvores (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993).

Trugilho *et al.* (2001) analisando clones de *Eucalyptus* aos 7 anos, referiram-se à densidade básica da madeira como a propriedade que mais influencia a qualidade do carvão vegetal, concluindo que os clones analisados, que apresentaram densidade variando de 0,520 a 0,590 g/cm<sup>3</sup>, foram potenciais para a produção de carvão, intervalo pouco superior ao valor registrado para a madeira de *E. dunnii* avaliada. Santos *et al.* (2011) afirmam que valores superiores a 0,54 g/cm<sup>3</sup>, são interessantes para produção de carvão vegetal a partir da madeira de *Eucalyptus*, visto que maiores densidades acarretam em carvão de maior resistência mecânica. Segundo Foelkel (1978) a maior densidade da madeira está associada a maiores teores de lignina, e maior poder calorífico por volume, já que segundo Protásio *et al.* (2014) quanto maior a densidade, maior a quantidade de energia estocada por unidade de volume.

Figura 8- Variação longitudinal da densidade básica.



Fonte: O autor.

Analisando-se a tabela 2 nota-se que a madeira de *E.dunnii* apresentou pouca variação da densidade básica da madeira ao longo do tronco. Para o gênero *Eucalyptus* observa-se, com maior frequência, uma densidade decrescente até 50% da altura da árvore e crescente deste

ponto até o topo, ou ainda podendo diminuir próximo ao topo (SOUZA *et al.*, 1986), tendência observada no presente estudo. A densidade básica pode variar de maneira acentuada entre espécies de eucalipto e dentro de uma mesma espécie, como: entre árvores; dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal (base-topo) quanto radial (medula-casca); em função da idade do povoamento; e em função da procedência das sementes (CARPIM; BARRICHELO, 1983).

#### 4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na Tabela 3 constam os valores médios para o teor de carbono fixo, teor de voláteis e composição química da madeira de *E. dunnii*.

Tabela 3 – Caracterização química estrutural e energética da madeira de *E. dunnii*.

<b>Parâmetro</b>	<b>Média (%)</b>
Teor de voláteis	91,6
Teor de cinzas	0,9
Teor de carbono fixo	7,5
Teor de extrativos	5,0
Teor de lignina total	24,0
Teor de lignina insolúvel	22,2
Teor de lignina solúvel	2,0
Holocelulose	70,9

Fonte: O autor.

Observou-se para a madeira de *E. dunnii* apresentou um teor de voláteis de 91,6%. Scremin (2012), ao analisar a madeira dessa mesma espécie, de densidade básica 0,48 g/cm<sup>3</sup>, aos 8 anos de idade registraram valores próximos a 86,4%, portanto inferior ao da madeira avaliada. Da mesma forma a madeira de *E. dunnii* apresentou um teor de voláteis superior aos 82,03% registrado por Wionzek (2014), para a madeira de *E. benthamii* com densidade de 0,50 g/cm<sup>3</sup>. O teor de materiais voláteis expressa a facilidade de queima de um material, de um modo geral, madeiras com elevados teores de materiais voláteis queimam mais rapidamente, ou seja, o elevado teor de voláteis encontrados na madeira de *E. dunnii* propicia uma carbonização rápida e intensa dessa madeira.

O teor de cinzas (0,9%) foi pouco inferior ao valor encontrado por Pereira *et al.* (2000) que foi de 1,2 ± 0,08% para a mesma espécie com idade de 8 anos. Santos (2008) menciona que o teor de cinzas deve ser inferior a 1% para uso siderúrgico, o que é uma vantagem apresentada pela madeira avaliada. Frederico (2009) cita que os altos teores de componentes

inorgânicos na madeira não são interessantes para carbonização. De acordo com Tsoumis (1991) o conteúdo de cinzas para a madeira do gênero *Eucalyptus*, raramente chega a 1% do seu peso seco. O valor registrado encontra-se dentro do ideal para uso siderúrgico em comparação com os valores médios observados na literatura. Para Hoffmann (2010) altos teores de cinzas diminuem a eficiência dos reatores e fornalhas aumentam a manutenção e limpeza, já que há maior necessidade de consumo de oxigênio. Segundo o autor, da mesma maneira que a umidade, o teor de cinzas interfere no poder calorífico e causa perda de energia. Assim, combustíveis com elevados teores de cinzas possuem uma perda considerável do poder calorífico (FREDERICO, 2009).

O teor de carbono fixo encontrado para o *E. dunnii* foi de 7,5%, inferior ao registrado por Brito e Barrichelo (1978), para *E. grandis* aos 6 anos de idade (9,6%). Chaves *et al.* (2013) encontraram teores para clones de *Eucalyptus* de 15,72%. Portanto a porcentagem registrada para a madeira avaliada perante os utilizados para comparação não favorável, uma vez que este constituinte tem relação direta com o poder calorífico, portanto, quanto mais baixo o teor de carbono fixo, a madeira terá menor eficiência energética. Combustíveis com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis, justamente por queimarem mais lentamente. Quando se objetiva a produção de carvão vegetal ou a queima direta da madeira, maiores teores de carbono são desejáveis, uma vez que madeiras que têm maiores teores de carbono fixo possuem também maior capacidade térmica em função da maior energia liberada (SANTOS *et al.*, 2011). Conforme Carneiro *et al.* (2014), durante a queima direta da madeira, o carbono presente em sua constituição é totalmente consumido, no entanto na produção de carvão vegetal, o carbono é convertido em carbono fixo, responsável pela energia estocada no carvão.

O teor de extrativos totais encontrados (5,0%) é superior ao verificado por Cit (2007) com a mesma espécie aos 10 anos de idade (1,4%) e inferior ao verificado por Scremin (2012) (7,96%) para a mesma espécie.

Santos *et al.* (2011) afirmam que teores de 5% para extrativos totais em eucalipto são satisfatórios para produção de carvão vegetal. Trugilho *et al.* (2001) considera material indicado para produção de carvão a partir de madeira de eucalipto àqueles que apresentaram porcentagem de extrativos entre 4 e 6%, faixa compatível com o teor de extrativos do *E. dunnii*. Essa porcentagem é considerada satisfatória, visto que segundo Zanuncio *et al.* (2013), alguns extrativos podem aumentar o poder calorífico da madeira, pois ao serem degradados liberam energia, esse fato associado a altos teores de lignina favorece a produção de carvão com maior densidade e mais resistente em termos de propriedades físico-mecânicas. Além disso, uma

concentração maior também pode contribuir com o aumento desse poder de queima, devido à natureza das substâncias químicas envolvidas (SANTOS, 2010).

Com relação a lignina a média encontrada no *E. dunnii* 24% é semelhante ao teor médio de 24,5% para a mesma espécie determinado por Magaton *et al.* (2019) e aos resultados encontrados por Pereira *et al.* (2000) aos 8 anos de idade (22,2 %).

Segundo Santos *et al.* (2011) são considerados satisfatório para rendimento gravimétrico em carvão vegetal de qualidade teores de 32% para lignina total em clones de eucalipto destinados a esses fim, o que se revela em uma desvantagem para a madeira de *E. dunnii* aos 7 anos avaliada.

A porcentagem registrada é inferior a observada por Trugilho *et al.* (2001) para composição química da madeira de clones de *Eucalyptus* aos 7 anos de idade destinados a produção de carvão vegetal, com uma porcentagem de lignina entre 30% e 34%. Protásio *et al.* (2014) consideram baixo, teores de 27% para uso bioenergético da madeira de clones de *Eucalyptus*, portanto em relação a esta característica a madeira avaliada frente ao indicado na literatura com relação ao teor de lignina possui qualidade reduzida, já que segundo Soares *et al.* (2014), teores de lignina são fundamentais para produção de energia e carvão vegetal, pois a lignina apresenta alto poder calorífico e há fortes evidências de que contribui significativamente para a formação do carbono residual, devido à sua estrutura complexa. Madeiras que apresentam altos teores de lignina possuem maior estabilidade térmica, o que afeta positivamente o rendimento gravimétrico da carbonização (ASSIS *et al.*, 2012). Esse efeito pode ser atribuído ao fato da lignina possuir cerca de 65% de carbono elementar (C) em sua composição contra 45% de C que ocorre normalmente nos polissacarídeos (BRITO; BARRICHELO, 1977).

Para a holocelulose o teor de 70,9%, é semelhante ao registrado por Frederico (2009) que analisando clones de eucalipto, obteve valores variando entre 68,18% e 70,53%. Protásio *et al.* (2014) indicaram para produção de carvão vegetal, em estudo com a madeira de clones de *Eucalyptus*, aquele que apresentou um teor de holocelulose de 67,98%, afirmando que o mesmo apresentou menor conteúdo percentual e volumétrico de holocelulose e maior de lignina total, já para a produção direta de energia utilizando clones de *Eucalyptus* na forma de lenha em caldeiras é indicado possuir 70,93%. A madeira de *E. dunnii* avaliada possui valores pouco superiores aos registrados pelos referidos autores. Quando se objetiva a produção de energia ou carvão vegetal são desejadas matérias primas com baixos teores de holocelulose, uma vez que o comportamento da celulose e das hemiceluloses, diante da degradação térmica, apresenta um

perfil bastante instável colaborando para maior degradação, com isso não são desejáveis altas porcentagens desses compostos quando se pretende utilizar a madeira para a produção de carvão, visto que a degradação desses componentes resulta em maiores porcentagens de gases não condensáveis e gases condensáveis contribuindo pouco para o rendimento gravimétrico (SANTOS *et al.*, 2016).

O teor de voláteis registrado (91,6%) é o mesmo registrado por Schimidt (2017) para a madeira de *Mimosa scabrella* (Bracatinga) (91,4%). É superior ao registrado por Andrade *et al.* (2019) (77,03%) e Eloy *et al.* (2015) (82,38%) para as madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão) e *Acacia mearnsii* (Acácia-negra), respectivamente. Ou seja, pode-se inferir que a madeira avaliada queima mais rapidamente em relação as madeira utilizadas para comparação.

O teor de cinzas (0,9%) foi superior ao registrado por Schimidt (2017) para a madeira de *Mimosa scabrella* (Bracatinga) (0,2%) e por Busnardo *et al.* (1986) (0,28%) para as madeira de *Acacia mearnsii* (Acácia-negra), sendo inferior apenas para teor registrado por Andrade *et al.* (2019) para *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão) (1,54%), indicando que essas duas espécies possuem altos teores de materiais inorgânicos, fato que segundo Hansted *et al.* (2016) acarreta em um menor poder calorífico e diminuir a vida útil dos equipamentos, provocando corrosões, o que aumenta a demanda de manutenções.

O teor de carbono fixo (7,5%) foi inferior ao encontrado para as espécies, *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Acacia mearnsii* (Acácia-negra), *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão), por Schimidt (2017) (8,4%), Eloy *et al.* (2015) (16,96%) e Andrade *et al.* (2019) (21,43%). Sendo considerado baixo teor para essa característica, o que se torna desfavorável, já que segundo Andrade *et al.* (2019) carvões de alta qualidade possuem altos teor de carbono fixo, ocasionando maior tempo de queima.

O teor de extrativos (5,0%) foi semelhante ao registrado por Segura (2010) (4,25%) e Schimidt (2017) (3,0%), para as espécies *Acacia mearnsii* (Acácia-negra), *Mimosa scabrella* (Bracatinga), e está dentro do intervalo de 5,0% indicado na literatura, pois ao serem degradados liberam energia.

O teor de lignina (24,0%) é o mesmo registrado por Rigatto *et al.* (2001) para a madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão) (24,1%). Sendo superior ao registrado por Schimidt (2017) (23,1%) e Busnardo *et al.* (1986) (19,06%) para as madeira de *Mimosa scabrella* (Bracatinga) e *Acacia mearnsii* (Acácia-negra), respectivamente. Segundo Hansted *et al.* (2016) ocorre relação direta entre o teor de lignina e o potencial energético, já que a

mesma é composta de carbono hidrogênio e oxigênio, componentes fundamentais para a queima. No entanto, Santos *et al.* (2016), consideraram satisfatória, um teor de lignina de 32% indicando como potencial para energia, valor superior ao registrado.

Para a holocelulose (70,9%), o *E. dunnii* mostrou-se próximo a *Mimosa scabrella* (73,7%) registrado por Schimidt (2017) e superior a *Hovenia dulcis* Thunberg (Uva-do-Japão) (68,9%) registrado por Rigatto *et al.* (2001), o que é uma desvantagem da madeira avaliada frente a essas madeiras já que para essa característica é desejável baixos teores evitando a formação de gases não condensáveis e gases condensáveis, ou seja, quanto maior o teor de holocelulose, menor será o rendimento e a qualidade do carvão vegetal.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo para a madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 7 anos permitem concluir que:

A densidade básica ponderada possibilita atingir um bom rendimento energético no processo de carbonização;

O teor reduzido de cinzas é um bom indicativo para aplicação da madeira em carbonização e queima, já que os altos teores diminuem a eficiência dos reatores e fornalhas e causam perda de energia;

O teor de materiais voláteis médio encontrado (91,6%) é elevado propiciando uma carbonização rápida e intensa;

O valor médio de lignina encontrada (24%) e o teor de holocelulose (70,9%) indicam baixo rendimento produtivo;

A espécie, pode ser considerada adequada para produção de energia, devido a sua densidade e teores de extrativos e cinzas que aumentam o poder de queima, no entanto, a mesma possui queima rápida, ou seja, baixo rendimento produtivo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. de *et al.* Propriedades energéticas da madeira e do carvão de *Hovenia dulcis* Thunberg Energy properties of wood and charcoal from *Hovenia dulcis*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 10, n. 2, p. 166–175, 2019.
- ARAÚJO, A. C. C. de *et al.* Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum* : subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, n. 5, p. 1–9, 2018.
- ASSIS, M. R. *et al.* Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.
- ASSIS, T. F. de; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento Genético do Eucalipto. *In*: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org.). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria-RS: UFSM, 2016, p. 225-247.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal- Análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11956**: Determinação do poder calorífico superior. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- BASSO, S. **Análise Do Carvão Vegetal Para Uso Doméstico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- BENSON H. P. **The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood** Washington, SC: United States Department of Agriculture, 1930 (Technical Bulletin, 168).
- BRAND, M. A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 401–410, 2013.
- BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 221–227, 1990.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, 1977.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; FONSECA, S. M. Bracatinga: Características químicas do carvão vegetal. **Brasil Madeira**, Curitiba, v. 3, n. 33, p. 6-7, 1979.
- BRITO, J. O. **O uso energético da madeira**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p.



185–193, 2007.

BRUN, E. J. *et al.* Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 87–92, 2018.

BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; SANSIGOLO, C.A. **Caracterização da qualidade da madeira e da celulose kraft produzida a partir de árvores de *A. mearnsii* sadias e atacadas por gomose.** [S.l.]: Riocell S.A., 1986. (Relatório técnico).

CHAVES, A. M. B. *et al.* Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533–542, 2013.

CALORI, J. V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. *In*: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 3., 1997, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Embrapa; IPEF; SIF; SEAGRI-DDF, 1997. p. 321-326.

CÂNCIO, O. N. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose e sua influência na formação de florestas industriais.** 2003. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.

CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Variabilidade da densidade da madeira de *Eucalyptus* spp. *In*: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABCP, 1983. p.127-37

CARNEIRO, A.C.O. *et al.* Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CASTRO, F. N. M. *et al.* **Potencial energético da madeira de eucalipto.** 2013. Disponível em: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1727&subject=E%20](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1727&subject=E%20). Acesso em: 2 out. 2019.

CASTRO, R.V.O. **Modelagem de árvore individual para uma floresta estacional semidecidual utilizando redes neurais.** 2012. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2012.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil:** subsídios para revisão do Plano Siderurgia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.

CIT, E. J. **Qualidades da folha de polpa kraft em diferentes proporções de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* M.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COSTA, W. ; SANTOS, P. S. B. dos ; REIS, A. Análise imediata do carvão comercializado no município de Altamira no estado do Pará. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: CBCTEM, 2017 .

ELOY, E. *et al.* Espaçamentos Nota Científica Capacidade energética da madeira e da casca de acácia-negra em diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 163–167, 2015.

FERREIRA, G. W. *et al.* Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41–63, 1997.

FOELKEL, C. E. B. Madeira de Eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-27, 1978.

FOELKEL, C. E. B. **Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade Parte 2: Geração de Calor, Vapor e Eletricidade**. Eucalyptus Online Book & Newsletter. 2016. Disponível em: [http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44\\_Geracao\\_Calor\\_Vapor\\_Eletricidade.pdf](http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf). Acesso em: 2 out. 2019.

FONTES, P. J. P. de. **Autossuficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOMES, D. R.; WANDERLEY, M B. **Uso da madeira como fonte primária de energia**. 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/62948795/USO-DA-MADEIRA-COMO-FONTE-PRIMARIA-DE-ENERGIA>. Acesso em: 02 out. 2019.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico para reflorestamento de regiões tropicais e subtropicais: Método utilizado**. Brasília, DF: IBDF: FAO, 1978. (PRODEPEF. Divulgação, 14).

HANSTED, A. L. S. *et al.* Caracterização Físico-Química da Biomassa de *Leucaena leucocephala* para Produção de Combustível Sólido. **Revista Virtual de Química**, Sorocaba-SP, v. 8, n. 5, p. 1449-1460, 2016.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO<sub>2</sub>: Uma Solução para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ 2016 ano base 2015**. São Paulo: IBÁ, 2016.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ 2019 ano base 2018**. São Paulo: IBÁ, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 31 v.

- IWAKIRI, S. *et al.* Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.
- KLOCK, U. *et al.* Química da madeira. 3 ed. (material didático). Curitiba: FUPEF do Paraná, 2005.
- LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 62, p. 13-23, 2002.
- MACHADO, S. F.; NUNES, A.; LILGE, D. S. Quantificação da porcentagem de cinzas presente na constituição de cinco espécies arbóreas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 1., 2013, Petrópolis. **Anais [...]**. Petrópolis: SBCTEM, 2013.
- MENEZES, M. J. S. **Poder calorífico e análise imediata da maravalha de pinus (*Pinus* sp.) e araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeireira.** 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.
- MOURA, G. B. **Polpa celulósica e papel de *Eucalyptus dunnii* Maiden com 4, 6 e 7 anos.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- NASTAS, G. M. M.; HONORATO, L. C. S.; LIMA, E. A. de. Produtividade de biomassa e energia de duas espécies de eucalipto tolerantes à geada. 2013. *In*: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 12., 2013, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013.
- OLIVEIRA, A. C. *et al.* Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431–439, 2010.
- PALUDZYSZYN FILHO, E. **Considerações sobre o plantio de eucalyptus dunnii no estado do Paraná.** Colombo: Embrapa Florestas, 2005. (Comunicado técnico, 141).
- PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, 2005.
- PEREIRA, J. C. D. *et al.* Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *eucalyptus dunnii* maiden, para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 15, n. 13, p. 9-16, 1986.
- PEREIRA, J.C.D. *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. (Documentos, 38).
- PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; BAGGIO, A. J. **Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

PROGRAMA NACIONAL DE PESQUISA FLORESTAL. **Relatório técnico anual do Programa Nacional de Pesquisa Florestal**: período 1982-1983. Brasília, DF: EMBRAPA: IBDF, 1984.

PROTÁSIO, T. D. P. *et al.* Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, 2014.

PROTÁSIO, T. P. *et al.* Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 465-477, 2014.

QUIRINO, W. F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 1, n. 89, p. 100-106, 2005.

REIS, C. F.; MORAES, A. DA C. Produção de madeira de florestas plantadas na região Centro-Oeste do Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. (Documentos, 287)

RIBEIRO, F. D. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **Revista IPEF**, Araraquara, v. 4, n. 46, p. 76–85, 1993.

RIGATTO, P. A. *et al.* **Características Físicas, Químicas e Anatômicas da Madeira de *Hovenia dulcis***. Colombo: Ministério da Cultura e do Meio Ambiente, 2001. (Comunicado Técnico, 66)

SCHRODER, T. *et al.* Funções de densidade probabilística para predição da distribuição diamétrica em plantios de eucalipto em função do espaçamento. **Instituto Florestal**, São Paulo, v. 28, n. 36, p. 87–216, 2016.

SANTOS, R. C. dos *et al.* Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTOS, R. C. dos *et al.* Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SANTOS, S. de F. de O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SANTOS, R. C. dos *et al.* Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657–669, 2016.

SCREMIN, A. L. T. **Estudo Energético e Físicoquímico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2012. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro - Oeste, Guarapuava, PR, 2012.

SCHIMIDT, S. L. **Propriedades energéticas da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) de ocorrência em curitibanos, SC**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2017.

SEGURA, T. E. S.; ZANAO, M.; SILVA JR., F. G. **Potencial da Madeira de acácia para a produção de polpa celulósica Kraft**. In: Encontro Nacional da TECNICELPA, 21., 2010, Lisboa, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa, Portugal: TECNICELPA, 2010.

SETTE, R. C. *et al.* Efeito da Idade e Posição de Amostragem na Densidade e Características Anatômicas da Madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183–1190, 2012.

SGARBI, F. de A. **Modelos de transição energética residencial e o acesso a serviços energéticos limpos: uma análise a partir de dois estudos de caso**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, H.C.; OLIVEIRA, L. L.M. de. **Densidade básica da madeira e caracterização do carvão vegetal proveniente de resíduos moveleiros, no município de Paragominas - PA**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas, 2016.

SOUZA, V. R. DE; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 7, n. 33, p. 65-72, 1986.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization**. Greece: Verlag Kessel, 1991.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-116, 1996.

TRUGILHO, P.F. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 114-201, 2001.

TRUGILHO, P. F. **Energia da biomassa florestal**. [2017]. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

VIVIAN, M. A. **Aumento da eficiência do processo kraft de polpação a partir de pré-tratamento de cavacos de madeira de eucalipto**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos

Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

ZANUNCIO, A. J. V. *et al.* Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755–760, 2013.

WALKER, J. C. F. *et al.* **Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure: Principles and Practice**. New Zealand: Springer, 1993.

WIONZEK, F. B. **Influência do espaçamento nas propriedades energéticas e biomassa de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2014.