

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**CAMPUS CURITIBANOS**

**SAILA LISBOA SCHIMIDT**

**PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE BRACATINGA (*Mimosa  
scabrella* Benth.) DE OCORRÊNCIA EM CURITIBANOS, SC**

**Curitibanos  
2017**

**Saila Lisboa Schimdt**

**PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE BRACATINGA (*Mimosa  
scabrella* Benth.) DE OCORRÊNCIA EM CURITIBANOS, SC**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

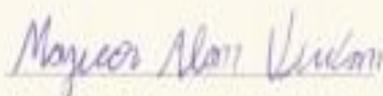
Orientadora: Profa. Dra. Karina Soares Modes

**Curitibanos  
2017**

**PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA DE BRACATINGA (*Mimosa  
scabrella* Benth.) DE OCORRÊNCIA EM CURITIBANOS, SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

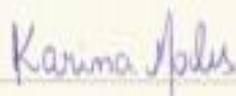
Curitiba, 04 de dezembro de 2017.



Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Coordenador do Curso

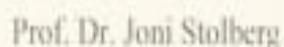
**Banca Examinadora:**



Profa. Dra. Karina Soares Modes

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar o potencial energético da madeira de *Mimosa scabrella* Benth comparativamente a espécies de folhosas mais utilizadas para esse setor. Para condução do estudo foram utilizadas 3 árvores com aproximadamente 7 anos de idade, procedentes da área de abrangência da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos. De cada árvore foram extraídos discos com aproximadamente 3,0 cm de espessura em seis posições ao longo da altura comercial das árvores amostradas (0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%) para determinação da densidade básica, massa seca, composição química, teor de carbono fixo, teor de voláteis e teor de cinzas. A densidade básica foi determinada a partir de duas cunhas extraídas de cada disco amostrado e a massa seca a partir dessa determinação e do volume dos toretes gerados pela extração dos discos. Para a composição química, uma cunha de cada disco amostrado foi transformada em serragem e classificada em peneira, dando origem a uma amostra composta. A densidade básica ponderada da madeira foi de 0,51 g/m<sup>3</sup> e da casca de 0,40 g/cm<sup>3</sup>, já a massa seca de madeira foi de 48,25 Kg e da casca de 4,02kg. O teor de materiais voláteis médio da madeira de *Mimosa scabrella* encontrado (91,39%) se demonstra elevado, com indicativos de uma carbonização rápida e intensa. O teor de cinzas da madeira de bracinga é inferior ao registrado para espécies de uso consolidado no setor de uso da madeira como fonte energética. O valor médio de lignina encontrada e o teor de holocelulose indica que sua madeira possui bom rendimento no processo de carbonização, cujos valores são semelhantes aos encontrados para espécies de uso consolidado do setor para produção de energia.

**Palavras-chaves:** Densidade, Composição química, Teor de carbono fixo, Voláteis, Cinzas, Potencial energético.

## ABSTRACT

The present study had the objective of evaluating the energy potential of *Mimosa scabrella* Benth wood compared to the most used hardwood species for this sector. To conduct the study, 3 trees with approximately 7 years of age were used, from the area covered by the Federal University of Santa Catarina, Campus Curitibanos. From each tree, discs with approximately 3.0 cm thickness were extracted at six positions along the commercial height of the sampled trees (0, DAP, 25%, 50%, 75% and 100%) for determination of the basic density, dry mass, chemical composition, fixed carbon content, volatile content and ash content. The basic density was determined from two wedges extracted from each sampled disc and the dry mass from that determination and the volume of the logs generated by the extraction of the discs. For the chemical composition, a wedge of each sampled disk was transformed into sawdust, classified into a sieve. The calculated basic density (0.51 g / m<sup>3</sup>) for bracinga presents good energy efficiency. The moisture content found (15.84%) is considered suitable for the burning process, less than 30%, and is ideal for this purpose. The average volatile material content of the *Mimosa scabrella* wood found (91.39%) is it shows high giving a rapid and intense carbonization. The ash content of bracinga wood is lower than that recorded for species of consolidated use in the sector of wood use as an energy source. The average value of lignin found and the content of holocellulose in *Mimosa scabrella* indicates that its wood has a good yield and quality of coal, where the values of these are similar to those found for species of consolidated use of the sector for energy production.

**Key words:** density; chemical composition; fixed carbon content, volatile, ash; energy potential.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BASEFLORESTAL .....	11
2.2 BRACATINGA ( <i>Mimosa scabrella</i> Benth) .....	11
2.3 QUALIDADE DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS .....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL .....	15
3.2 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA E MASSA SECA .....	15
3.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	18
<b>3.3.1 Determinação do teor de umidade .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2 Determinação do teor de voláteis.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.3 Determinação teor de cinzas .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.4 Determinação do teor de carbono fixo.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.5 Determinação dos extrativos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.6 Determinação do teor de lignina klason .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.7 Determinação teor de holocelulose .....</b>	<b>23</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
4.1 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA E MASSA SECA .....	24
4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Mimosa scabrella</i> Benth .....	26
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Discos extraídos das três árvores amostradas .....	18
Figura 2- Procedimento de determinação do volume saturado pelo método de imersão em água (empuxo) .....	18
Figura 3 - Madeira e casca das cunhas na secagem em estufa a 103°C.....	19
Figura 4 – Cavacos confeccionados a partir das cunhas (A); Moinho de facas utilizado para picar os cavacos (B); Peneiras utilizadas para obtenção da amostra (C); Amostra homogênea (D).....	20
Figura 5 - Mufla utilizada para incineração do material (A); Dessecador para resfriamento (B).....	22
Figura 6 - Cartuchos de extração (A); Equipamento de Soxhlet para determinação de extrativos (B).....	23
Figura 7 - Bomba de vácuo utilizada para lavagem e filtragem dos materiais(A); Amostras em banho-maria(B); Placas de petri com as amostras que foram para a estufa (C).....	23
Figura 8- Ácido sulfúrico+ amostra (A); Ácido + amostra em banho-maria 20°C(B) .....	24
Figura 9- Variação longitudinal da densidade básica da madeira e casca de <i>Mimosa scabrella</i> em relação a posição no tronco .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química média das madeiras de folhosas.....	14
Tabela 2 – Características dendrométricas das árvores amostradas .....	16
Tabela 3 - Caracterização química da madeira de <i>Mimosa scabrella</i> . .....	28
Tabela 4 - Comparação dos teores de voláteis, cinzas e carbono fixo de <i>Mimosa scabrella</i> <i>Bent</i> com <i>Eucalipto grandis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> . .....	30
Tabela 5 - Comparação dos teores de extrativo, lignina e holocelulose da <i>Mimosa scabrella</i> <i>Bent</i> com <i>Eucalipto grandis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> . .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Hoeflich (2003) abracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) é uma árvore da família Leguminosae, espécie pioneira nativa de uso múltiplo, considerada uma das espécies de crescimento inicial mais rápido da região sul do Brasil, sendo encontrada desde o sul de Minas Gerais até os bordos da Serra Geral, no Rio Grande do Sul, ocorrendo em áreas de devastação dos pinhais, principalmente no Paraná e Santa Catarina.

Espécie arbórea com alta rusticidade e adaptabilidade a ambientes adversos se trata de uma espécie bastante indiferente quanto às condições físicas dos solos, ressaltando-se ainda que os solos predominantes da área de ocorrência natural desta espécie são na maioria pobres (BARTOSZECK, 2000).

Mazuchowski(2016) destaca ainda que esta espécie florestal que fornece lenha e carvão de ótima qualidade apresenta um poder calorífico alto variando de 4.569 a 4.830 kcal/kg, ampliando no carvão de 7.239 a 7.554 kcal/kg pode ser também utilizada no sistema agroflorestal, tendo múltiplos usos no sul do Brasil. Segundo o mesmo autor a espécieapresentamaior rendimento em carvão, com madeira tendo qualidade superior à *Eucalyptus grandise E.viminalis*, apesar do seu alto teor de cinzas.

Segundo Carvalho (2002) esta espécie possui umteor de lignina de 25,8 a 28,0% e carvão com rendimento de 32,6 a 35,0%, havendo ainda diferenças entre as variedades branca e vermelha, com a primeira destacando-se com relação à qualidade do carvão e a segunda com relação à qualidade da lenha. A madeira porser uma importante fonte renovável e sustentável de energia é utilizada para queima no abastecimento de fornos industriais e também na fabricação de carvão vegetal.

Com relação a espécie *Mimosa scabrella* Benth trata-se de uma fonte energética incontestepelo fato de ser altamente utilizada como lenha para aquecimento de caldeiras em indústrias, olarias e cerâmicasaté mesmo em padarias e aquecimentos residenciais nos meios urbanos. A espécie é altamente potencial para utilizações energéticas, por possuir madeira com elevada densidade básica, elevados teores de lignina e carbono fixo. O carvão produzido pela madeira dessa espécie é de alto rendimento e elevado teor de carbono fixo, apresentando somente como limitação possuir alto teor de cinzas (LISBÃO JÚNIOR, 1981).

Estima-se uma rotação de quatro a sete anos emregeneração induzida, para energia e de seis a oito anos em regeneração natural, para energia e escoras, a passo quea densidade

média é de 2.200 plantas/ha (CARVALHO, 2002). A queda de produção é causada pelo aumento acentuado da mortalidade das árvores, uma vez que, estudos indicam que o máximo de produção de massa das amostras tomadas ao nível do DAP ocorreu 6 aos 8 anos, havendo após esse período, um decréscimo acentuado nesta produção (MAZUCHOWSKI, 2017).

A caracterização da qualidade da madeira estabelece o uso final que será dado à mesma e essa definição está diretamente relacionada às suas propriedades. Para finalidade de definição de valores econômico, ecológico e uso potencial das espécies, a sua composição química, especialmente o teor de lignina é uma boa ferramenta além da densidade básica, para caracterizá-la como uma matéria-prima, disponível para a produção de energia (SANTOS, 2010).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades energéticas da madeira de *Mimosa scabrella* aos 7 anos de idade, procedente da área de abrangência da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade básica ponderada da madeira de árvores da espécie;
- Determinar a massa seca de madeira e casca, bem como a massa seca total da árvore;
- Avaliar a composição química da madeira;
- Determinar o teor de carbono fixo, teor de voláteis e teor de cinzas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BASE FLORESTAL

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), o setor brasileiro de florestas tornou-se um dos mais relevantes no cenário global. Com uma área de 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País e um dos que apresenta maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde.

Santa Catarina juntamente com São Paulo e Paraná, são consideradas regiões de maturidade de mercado em que segmentos como celulose, painéis, serrados e biomassa coexistem. O setor florestal tem grande importância como fornecedor de energia ou matéria-prima para a indústria da construção civil e de transformação, no mundo inteiro (SAMPAIO; MAZZOCHIN, 2010).

A madeira pode ser utilizada como fonte de biomassa para a produção de energia. No Brasil, as principais fontes de biomassa são a lenha e o carvão vegetal. Para isso são plantadas as florestas energéticas, as quais apresentam a biomassa para energia como principal produto, formada estrategicamente para gerar energia limpa e renovável podendo suprir usinas termoelétricas de forma competitiva (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

Segundo Silva (2017), as florestas energéticas trazem vantagens comparativas naturais e expressivas para o Brasil que tem condições de produzir, dependendo de condições tecnológicas e regiões do país, entre 250.000 e 300.000 quilocalorias de energia química potencial de florestas por hectare/dia, sendo considerada uma produção muito significativa. Isto se deve, basicamente, as condições climáticas e a tecnologia oriunda da prática da engenharia florestal brasileira.

A madeira, na sua forma direta como lenha ou do seu derivado carvão continua sendo uma fonte energética mundial primordial. Seu uso corresponde ao nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas, sendo considerada a madeira sem dúvida o combustível mais antigo usado pelo homem (BRITO, 2017).

O plantio destinado apenas ao uso energético tem como destaque o eucalipto, a espécie mais utilizada, que registra produção média de 40 m<sup>3</sup>/ha/ano, chegando a 280 m<sup>3</sup>

por hectare em um ciclo de sete anos (REZENDE, 2015).

As espécies florestais são fonte importante de energia para o Brasil, com a produção de carvão e lenha. No entanto há potencial para ampliar a participação delas na matriz energética do País, desde que haja aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias e no aumento de alternativas de espécies para matéria prima. É preciso ainda amadurecimento tecnológico e ampliação de escala, além de incentivo à utilização de produtos de origem renovável(REZENDE,2015).

## 2.2 BRACATINGA (*Mimosa scabrella* Benth)

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) é uma espécie florestal de múltiplo uso, típica do ecossistema Floresta Ombrófila Mista, associado ao bioma Mata Atlântica (STEENBOCK et al., 2011). Espécie pioneira, arbórea, de vida curta (vive de 25 a 30 anos) vem sendo manejada tradicionalmente desde o início do século XX, na forma de densos povoamentos, conhecidos como bracatingais, cuja finalidade é predominantemente a produção de lenha (SILVA et al., 2016). Tem crescimento rápido e mortalidade altíssima, tanto que aos 7 anos de idade (idade de rotação da espécie) não existem mais que 5.000, porém normalmente 3.000 a 4.000 plantas por hectare (MACHADO et al.,2006).

A bracatinga é uma árvore perenefólia, com altura variando entre 4 e 18 m e DAP (diâmetro à altura do peito), entre 20 e 30cm. Em maciços, apresenta tronco reto, com fuste de até 15 m. Porém, quando isolada, o tronco é curto e ramificado. A copa é arredondada e seu diâmetro, assim como a forma do tronco, varia de acordo com a localização da árvore, em povoamentos, o diâmetro da copa é, em média, de 1,5 m e, em árvores isoladas, pode atingir 10 m (ANGELI, 2003).

Leguminosa arbórea da família Leguminosae (Fabaceae) apresenta capacidade de estabelecer simbiose mutualística com microrganismos do solo, além de apresentar um crescimento rápido e elevada produtividade em altas densidades, características estas que fazem da bracatinga uma espécie que apresenta múltiplas possibilidades de uso. No noroeste do planalto catarinense, aproximadamente metade da renda dos agricultores em assentamentos de reforma agrária deve-se ao manejo de bracatingais, sobretudo na produção de lenha e carvão (EHRHARDT-BROCARDO et al.,2015).

Segundo Foelkel (2012) a bracatinga é uma planta que se dá bem em solos pobres,

ácidos e rasos, até mesmo em solos esgotados por outras práticas agrícolas e pelo pastejo intenso, costumam em geral, os bracatingais nativos ocupar áreas onde no passado existiam pinhais, ou áreas de florestas naturais de *Araucaria angustifolia*.

Segundo Queiroz (2017), o mais importante uso atual da madeira é para energia como lenha e secundariamente, como carvão. A madeira roliça é muito procurada também para escoras na construção civil. Pode ser ainda utilizada na recuperação de áreas degradadas, forragem, moirões, dentre outros.

A madeira de bracatinga pode ser utilizada ainda na fabricação de laminados, aglomerados, caixas, forros, assoalhos, lambris, carretéis industriais, na fabricação de celulose e suas flores desempenham papel importante na apicultura, produzindo um mel altamente nutritivo (QUEIROZ, 2017).

### 2.3 QUALIDADE DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS

A madeira só poderá ser usada de maneira eficiente e efetiva com o conhecimento de seus atributos e características (LIMA, 2005). Por ser elemento orgânico, heterogêneo e composto basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos apresenta enorme versatilidade de usos para obtenção de uma série de produtos (GONÇALVES et al., 2009).

A avaliação da qualidade da madeira para energia é de extrema relevância quando se objetiva uma melhor conversão energética da mesma, seja na queima direta ou na produção de carvão vegetal com alto rendimento e baixo custo. Pois, uma vez conhecendo as características da madeira, pode-se intensificar o potencial das espécies destinando-se àquelas que possuem maior quantidade de energia por unidade de massa para usos específicos (SANTOS et al., 2013).

Um fator limitante relativo à sua utilização com maior eficiência é a falta de conhecimento das suas propriedades energéticas e a forma inadequada de sua utilização, uma vez que a eficiência de conversão sofre grande influência da madeira. Além da produtividade, características como densidade básica, teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, como também a composição elementar e o poder calorífico, estão entre os principais critérios de seleção da madeira para essa atividade (SANTOS et al., 2013).

Segundo Silva (2010), a composição química da madeira de determinada árvore não pode ser definida com exatidão, já que ela varia com as diferentes partes da árvore (raízes,

tronco, ramos e casca), com as condições ambientais de crescimento (localização geográfica, clima, tipo de solo, etc.) ou com o tipo de lenho (normal ou de reação).

Em relação à composição química elementar da madeira, esta é constituída basicamente de Carbono (entre 49 a 50%), Oxigênio (entre 44 a 45%), Hidrogênio (em torno de 6%) e Nitrogênio (entre 0,1 e 1%), valores que não se alteram muito em função da espécie (SANTOS, 2008).

Na avaliação da madeira como matéria prima para produção de energia devem-se levar em consideração várias características, iniciando pelas características de crescimento ou dendrológicas da planta, tendo em vista que estas influem significativamente sobre a produção de massa seca individual ou por área, além da sua composição química, elementar e imediata. A densidade básica, o teor de umidade, o poder calorífico superior, inferior e líquido, são outras propriedades a serem devidamente consideradas (TRUGILHO, 2017).

Os componentes químicos presentes na madeira são a celulose, hemicelulose (polioses) e lignina que são chamados de compostos fundamentais ou macromoleculares, e os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas) que são os ditos acidentais ou minoritários. Os componentes variam entre as espécies e são influenciados por diversos fatores (KLOCK et al., 2005). A tabela 1 apresenta a composição química média das madeiras de folhosas.

Tabela 1 – Composição química média das madeiras de folhosas.

Constituintes	Folhosas
Celulose	45 ± 2%
Polioses	30 ± 5%
Lignina	20 ± 4%
Extrativos	3 ± 2%

Fonte: KLOCK et al. (2005)

A lignina é um componente aromático, que apresenta alta estabilidade térmica, além de ser rico em carbono, o seu poder calorífico gira em torno de 6.400 cal/g (TRUGILHO, 2017). Muitos autores relatam que a lignina é o composto mais importante, quando se objetiva a produção de carvão vegetal, pois o rendimento gravimétrico do processo de carbonização e a qualidade do carvão produzido estão diretamente relacionados aos teores presentes na madeira (SANTOS, 2010).

A influência dos extrativos na caracterização energética da madeira depende da natureza dos componentes e das quantidades relativas presente na mesma. Por serem

compostos orgânicos todos os componentes da madeira contribuem na liberação de energia quando esta é aplicada com tal propósito. Porém, o poder calorífico é mais alto na presença de um maior teor de lignina e extrativos, devido ao fato de que estes contêm menores porcentagens de oxigênio do que os polissacarídeos (SANTANA, 2009).

A densidade básica da madeira é considerada um parâmetro referencial para a seleção de espécies florestais indicadas para produção de energia. É obtida a partir da relação entre massa absolutamente seca da madeira e o volume saturado, sendo expressa em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/m}^3$ . A densidade básica é referenciada, por muitos autores, como índice de qualidade da madeira, pois ela influencia outras propriedades da mesma e dos produtos que são gerados (SANTOS, 2010).

Segundo Santos (2010), a densidade básica é uma propriedade física que retrata a qualidade da madeira, por ser influenciada por diversos fatores inerentes a cada gênero, espécie e árvore, não sendo aconselhável sua utilização isolada como parâmetro de qualidade.

Referente à produção de carvão vegetal, é recomendável o uso de madeiras de alta densidade básica, uma vez que a madeira de alta densidade gera carvão de alta densidade, reduzindo o custo de transporte, além de fornecer maior rendimento, já que para um mesmo volume do forno, madeiras mais densas representam maior massa enforada. Além disso, no emprego direto para a geração de energia a partir da queima na forma de lenha, a madeira de maior densidade resulta num combustível de maior energia concentrada, devido à maior massa de combustível contida na mesma unidade de volume (FREDERICO, 2009).

Um dos principais aspectos que diminui a eficiência da madeira como combustível é a umidade, que pode ser superior a 100% da massa de madeira seca. Madeiras que apresentam elevada umidade são mais susceptíveis a produzir trincas internas no carvão, o que pode ocasionar a maior geração de finos. Umidades acima de 30% da madeira torna a taxa de aquecimento muito lenta, a temperatura máxima média passa a ser inconstante, em decorrência do excesso de vapor de água liberado e, conseqüentemente, aumenta o tempo de pirólise (JESUS, 2016).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

Para execução do presente estudo foi conduzido o abate de 3 árvores de *Mimosa scabrella* Benth com aproximadamente 7 anos de idade de procedência da área de abrangência da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, as árvores são provenientes de regeneração natural com área total de aproximadamente 3 hectares.

Após ser realizado o corte com a motosserra, foi determinada a altura comercial com trena, considerada aquela compreendida da base até a posição de inserção do primeiro galho vivo, a altura total e a circunferência a 1,30 m do nível do solo (DAP).

As árvores amostradas possuíam as características dendrométricas que constam na tabela 2.

Tabela 2 – Características dendrométricas das árvores amostradas.

	ÁRVORE 1	ÁRVORE 2	ÁRVORE 3
Altura Total (m)	14,0	13,0	12,0
Altura Comercial (m)	10,0	10,0	9,0
Circunferência a 1,30 m (cm)	41,4	46,2	40,8

Fonte: O autor (2017).

Foram extraídos discos ao longo da altura comercial das árvores amostradas para determinação da densidade básica e massa seca, e quantificação da composição química imediata, teores de carbono fixo, voláteis e cinzas.

#### 3.2 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA E MASSA SECA

Para esta determinação a partir do valor da altura comercial foram calculadas as posições de retirada de discos para amostragem ao longo do tronco (considerando a altura comercial medida como 100%), nas posições 0% (base), DAP (1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% e 100%, segundo metodologia descrita por Vital (1984). De cada posição foi amostrado um disco com espessura de 3,0 cm, num total de 6 discos por árvore (Figura 1).

Figura 1 – Discos extraídos das três árvores amostradas.



Fonte: O autor (2017).

Após, foi determinada a circunferência dos discos com trena para cálculo do diâmetro de cada disco, com e sem casca. Para este último, com auxílio de um paquímetro foi determinada a espessura da casca e o valor descontado do valor de diâmetro com a casca inclusa. A partir dessas determinações calculou-se a média dos diâmetros dos toretes, que juntamente com o comprimento dos mesmos, permitiu a determinação dos volumes da madeira e casca de cada torete, a partir do método de Smalian.

Na sequência, de cada disco foram confeccionadas duas cunhas diametralmente opostas que foram identificadas e na sequência removidas as cascas e destas (madeira e casca) determinado o volume saturado pelo método do empuxo. Esse método consiste na fixação do material em um suporte e imersão do mesmo em um recipiente com água depositado sobre uma balança de precisão. O peso do volume de água deslocado quando da imersão do corpo de prova em água foi indicado diretamente na balança e considerado como o valor do volume do material em imersão, levando em consideração que a densidade da água é igual a  $1 \text{ g/cm}^3$ , na relação  $1 \text{ g}$  equivale a  $1 \text{ cm}^3$  (Figura 2).

Figura 2 – Procedimento de determinação do volume saturado pelo método de imersão em água (empuxo).



Fonte: O autor (2017).

Depois dessa determinação, as cunhas e cascas foram colocadas em estufade circulação forçada de ar para secagem temperatura de  $103^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 3) até apresentarem valor de massa constante.

Figura 3 – Madeira e casca das cunhas na secagem em estufa a  $103^{\circ}\text{C}$ .



Fonte: O autor (2017).

Com base no volume saturado e massa anidra da madeira e casca de cada cunha as mesmas tiveram a densidade básica calculada (Equação 1). A partir da média aritmética dos valores foi determinada a densidade básica dos discos, e a partir da média dos valores dos discos foi conduzida a determinação para cada torete, considerando a densidade básica dos discos removidos das extremidades.

A densidade básica ( $Db$ ) foi determinada a partir da relação entre massa anidra (completamente seca) e volume saturado (Equação 1).

$$Db \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Massa seca (anidra) (g)}}{\text{Volume saturado (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

A partir dos valores de densidade básica da madeira de cada torete os valores foram ponderados em função do respectivo volume de madeira (Equação 2) para cálculo da densidade básica da madeira do volume comercial considerado.

$$Dbp \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{(Db \text{ madeira torete1 (kg/m}^3\text{)} * V \text{ madeira torete1 (m}^3\text{)} + \dots + (Db \text{ madeira torete5 (kg/m}^3\text{)} * V \text{ madeira torete5 (m}^3\text{)})}{\text{Volume de madeira da árvore (m}^3\text{)}} \quad (2)$$

A massa seca de madeira e casca e massa seca total das árvores amostrada foram determinadas com auxílio das Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$\text{Massa seca de madeira (kg)} = Db \text{ madeira (kg/m}^3\text{)} * V \text{ madeira s/c (kg/m}^3\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Massa seca de casca (Kg)} = Db \text{ casca (kg/m}^3\text{)} * \left( V \left( \frac{c}{c} \right) - V \left( \frac{s}{c} \right) \right) \text{ (m}^3\text{)} \quad (4)$$

$$\text{Massa seca total (Kg)} = \text{Massa seca de madeira (kg)} + \text{massa seca de casca (kg)} \quad (5)$$

### 3.3 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para esta determinação utilizou-se discos de 3,0 cm de espessura adicionalmente removido nas posições 0% (base), DAP (1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% e 100%, como já descrito na determinação da densidade básica. De cada disco foram removidas duas cunhas contendo apenas madeira que foram transformadas em cavacos (Figura 4A) e picadas em moinho de facas (Figura 4B). Posteriormente este material foi classificado em um conjunto de peneiras compostas por uma malha 40,60 mesh um fundo de descarte para eliminar o material muito fino (Figura 4C), sendo utilizadas para avaliação a fração de amostra que atravessou a peneira de malha 40 e ficou retido na de malha 60 mesh, segundo a norma ABNT NBR 8112/1986, obtendo-se uma amostra homogênea (serragem) (Figura 4 D) das cunhas de cada posição que foi misturada gerando uma amostra composta por árvore amostrada. Os procedimentos relativos a determinação das propriedades energéticas da madeira foram conduzidos segundo a norma ABNT NBR 8112/1986 (análise imediata). Já a composição química foi conduzida segundo procedimentos da norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Figura 4 – Cavacos confeccionados a partir das cunhas (A); Moinho de facas utilizado para picar os cavacos (B); Peneiras utilizadas para obtenção da amostra (C); Amostra homogênea (D).



Fonte: O autor (2017).

### 3.3.1 Determinação do teor de umidade

Para avaliação do teor de umidade contida nas amostras, seguiu-se a metodologia da Norma NBR 8112/1986 citado por Menezes (2013), em que o teor de umidade da madeira (TU) corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca (Equação 6).

$$TU (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (6)$$

Onde: Tu= Teor de umidade, em%;  $m_1$  = massa inicial da madeira, em gramas;  $m_2$  = massa de madeira seca, em gramas;

Para esta determinação foram utilizadas 3 cápsulas de porcelana que foram submetidas ao aquecimento em estufa a uma temperatura de  $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$  por um tempo de 60 minutos com o objetivo de obter seu peso com precisão. Na sequência em cada cápsula foi depositado aproximadamente 2,0 g de amostra de madeira que foi conduzida para secagem em estufa, com a mesma temperatura da primeira vez até a massa constante ser atingida. Em seguida estas cápsulas foram submetidas ao resfriamento em dessecador e então pesadas em balança analítica para obtenção do respectivo valor de massa seca.

### 3.3.2 Determinação do teor de voláteis

Obtidas as amostras secas, as mesmas foram inseridas em Forno Mufla, em cadinho de porcelana e submetidas a aquecimento até  $850^\circ\text{C}$  por 7 minutos. Após este procedimento, as amostras foram colocadas em um dessecador para resfriamento e submetidas a 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 7.

$$Tv = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (7)$$

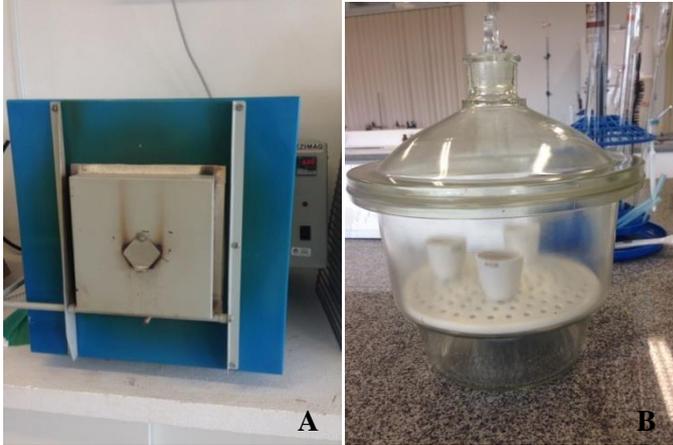
Onde: Tv= Teor de voláteis, em %;  $m_2$ = Massa final do teor de umidade, em gramas;  $m_3$ = Massa final proveniente da mufla, em gramas.

### 3.3.3 Determinação teor de cinzas

Para esta determinação o material, já sem umidade e voláteis foi inserido no Forno Mufla (Figura 5A) a uma temperatura de  $710^\circ\text{C}$ , por um período de uma hora, sendo que

metade do tempo a porta do equipamento foi mantida aberta. Após o período de tempo indicado o material foi retirado e resfriado em um dessecador (Figura 5B) por 30 minutos.

Figura 5–Mufla utilizada para incineração do material (A); Dessecador para resfriamento (B).



Fonte: O autor (2017).

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 8.

$$\text{cinzas} = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (8)$$

Onde: cinzas: Teor de cinzas, em %;  $m_3$  = Massa da amostra antes do experimento, em gramas;  $m_4$  = Massa da amostra após o experimento, em gramas.

### 3.3.4 Determinação do teor de carbono fixo

Segundo Menezes (2013), após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil e de cinzas da amostra, o teor de carbono fixo é determinado indiretamente pela diferença entre os valores do teor de voláteis e teor de cinzas, por meio da equação 9.

$$T_{cf} = 100 - (t_v + t_{cinzas}) \quad (9)$$

Onde:  $T_{cf}$  = Teor de carbono fixo, em %;  $T_v$  = Teor de voláteis, em %;  $T_{cinzas}$  = Teor de cinzas, em %.

### 3.3.5 Determinação dos extrativos

Para a determinação dos extrativos foi empregada a metodologia TAPPI (T264 cm – 97). Pesou-se 4 g de amostra absolutamente seca em uma balança analítica e transferiu-a para cartuchos de extração (Figura 6A), que foram levados a um extrator de Soxhlet (Figura 6B) onde permaneceram durante aproximadamente 4 horas extraíndo em uma solução de 250mL de álcool etílico e tolueno na proporção 1:2. Posteriormente extraiu-se somente em álcool etílico 95% por mais 4 horas.

Figura 6 – Cartuchos de extração(A); Equipamento de Soxhlet para determinação de extrativos (B).



Fonte: O autor (2017).

Após a extração, as amostras foram lavadas e filtradas em bomba de vácuo (Figura 7A) contendo 300 mL de água deionizada quente. Em seguida foram transferidas para béqueres e adicionado 400 mL de água deionizada, e levados a banho-maria (Figura 7 B) à 100°C por 1 hora. Após este período as amostras foram lavadas e filtradas novamente em bomba de vácuo com 100 mL de água deionizada quente.

Após as amostras serem filtradas, as mesmas foram transferidas para placas de petri (Figura 7C) já devidamente pesadas e levadas a uma estufa onde permaneceram por 24 horas a 105°C. Passado este período foram colocados em um dessecador para resfriamento e posteriormente pesados.

Para determinação do teor de extrativos totais utilizou-se a Equação 10.

$$TE = \frac{(P1-P2)}{P1} \times 100 \quad (10)$$

Onde: TE= Teor de extrativos totais, em %; P1= Peso inicial da amostra, em gramas; P2 = Peso da amostra livre de extrativos seca em estufa, em gramas.

Figura 7 – Bomba de vácuo utilizada para lavagem e filtragem dos materiais(A); Amostras em banho-maria(B); Placas de petri com as amostras que foram para a estufa (C).



Fonte: O autor (2017).

### 3.3.6 Determinação do teor de lignina Klason

A análise de lignina Klason foi conduzida seguindo a metodologia TAPPI (T222 cm – 98). Para análise de lignina utilizou-se amostras livres de extrativos. Pesou-se 1g de amostra em béqueres de 600 mL e adicionaram-se 15 mL de ácido sulfúrico 72% na amostra (Figura 8A). Essa mistura (amostra + ácido) permaneceu em banho-maria por 2 horas a uma temperatura de 20°C (Figura 8B). Após, adicionou-se 560 mL de água deionizada nas amostras e levou-se novamente a banho-maria a uma temperatura de aproximadamente 90°C por mais 4 horas. Posteriormente as amostras foram filtradas e lavadas com 300mL de água deionizada quente em bomba de vácuo. Feito isso, as amostras foram levadas a estufa a 105°C onde permaneceram por 8 horas, após o período os recipientes foram resfriados no dessecador e pesados em balança analítica.

Figura 8–Ácido sulfúrico+ amostra(A); Ácido + amostra em banho-maria a 20°C(B).



Fonte: O autor (2017).

Para determinação do teor de lignina utilizou-se a Equação 11.

$$TL = \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad (11)$$

Onde: TL = Teor de lignina residual, em %; P1 = Peso do resíduo, em gramas; P2 = Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em gramas.

A Equação 11 considera o teor de extrativos inserido no teor de lignina residual. Portanto, realizou-se a correção do cálculo a fim de obter o valor real da porcentagem de lignina na amostra, através da Equação 12.

$$\%Ligcor. = \frac{P1}{P2} \times (100 - TE\%) \quad (12)$$

Onde: %Ligcor. = Teor de lignina corrigida, em %; P1 = Peso do resíduo, em gramas; P2 = Peso inicial da amostra seca livre de extrativos, em gramas; TE% = Teor de extrativo da amostra, em %.

### 3.3.7 Determinação teor de holocelulose

O teor de holocelulose (carboidratos) foi obtido pela diferença do total de 100% dos componentes da madeira, subtraindo os componentes anteriormente quantificados (cinzas, extrativos e lignina), por meio da Equação 13.

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - (TC + TE + TL) \quad (13)$$

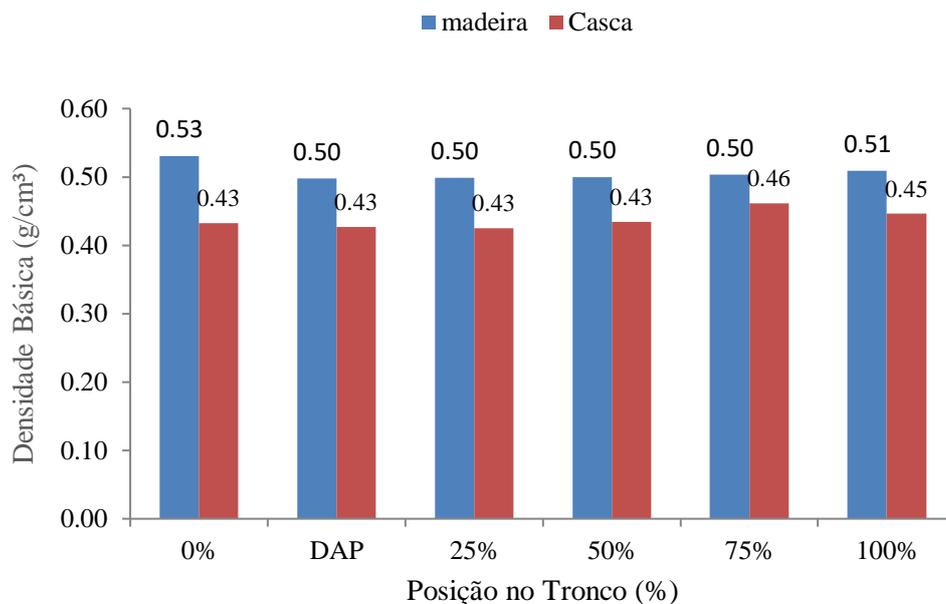
Onde: TC = Teor de cinzas, em %; TE = Teor de extrativos totais, em %; TL = Teor de lignina, em %;

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE BÁSICA PONDERADA E MASSA SECA

Os dados de densidade básica da madeira não tiveram grande variação em relação às diferentes posições do tronco, de acordo com a figura 9, a densidade básica da madeira é maior na posição basal do tronco (0%) com valor de 0,53g/cm<sup>3</sup>. Para a densidade básica da casca observam-se também valores pouco distintos com uma tendência contrária à observada para a madeira, com os maiores valores obtidos nas posições mais próximas a copa (75% e 100%).

Figura 9 – Variação longitudinal da densidade básica da madeira e casca de *Mimosa scabrella* em relação a posição longitudinal no tronco.



A densidade básica ponderada da madeira da árvore de bracatinga foi de 0,51 g/cm<sup>3</sup>, inferior portanto ao registrado a partir da média aritmética dos valores de cada disco. Angeli (2003) cita faixas de valores de densidade básica para a madeira de bracatinga variando entre 0,50 e 0,60 g/cm<sup>3</sup>, segundo o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) este valor de densidade permite classificar a madeira desta espécie na idade considerada como leve, com valores entre 0,40 e 0,55 g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com Silva et al. (2011) são indicadas como ideais para a produção de carvão madeiras que apresentam densidades mais elevadas, visto que a densidade básica é

uma das principais características tecnológicas da madeira, em que madeiras mais densa apresentam maior poder calorífico por unidade de volume (SILVA et al., 2011).

Valores de densidade básica superiores a  $0,50 \text{ g/cm}^3$  são interessantes para a produção de carvão vegetal, uma vez que quando se degrada a madeira, cerca de 60% de sua massa é perdida. Portanto, quanto maior a densidade da madeira, maior será a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume (SANTOS, 2010).

Geralmente a densidade básica eleva-se com o aumento da idade. O incremento da densidade básica com o aumento da idade ocorre em função do aumento da espessura da parede celular e da redução da frequência dos elementos de vasos, durante o tempo em que é formado o lenho tardio (MENEZES, 2014).

A densidade das madeiras varia entre espécies e dentro da mesma espécie. Variações dentro da mesma espécie podem ser atribuídas à idade da árvore, índice de sítio, clima, localização, entre outros. A densidade da madeira afeta a capacidade de produção das praças de carbonização, onde que para determinado volume de forno, a utilização de madeira mais densa resulta em maior produção em massa. Além disso, madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada, com vantagens para alguns de seus usos (TOLEDO et al., 2014).

Na utilização da madeira na forma de lenha, por meio da queima direta, maior densidade resulta em combustível com energia mais concentrada, devido à maior massa de combustível contida na mesma unidade de volume (TOLEDO et al., 2014). Madeiras menos densa, bem como lenha de menor diâmetro, carbonizam-se mais rapidamente, produzem maior quantidade de cinzas (LOUREIRO, 2014).

A densidade básica ponderada da casca de bracatinga foi de  $0,40 \text{ g/cm}^3$ , tendo esta uma menor densidade em relação a madeira, isso faz com que a casca tenha mais espaço para reter água. É por isso, que a casca pode ser considerada um combustível de segunda categoria, pois acaba quase sempre carregando muito umidade para as fornalhas das caldeiras. Umidade e densidade das cascas são duas propriedades fundamentais para se eleger opções para seu uso e manuseio. As cascas são também materiais combustíveis de segunda qualidade, pois em geral são muito úmidas, volumosas e possuem altos teores de cinzas (FOELKEL, 2012).

Para a madeira de bracatinga foi encontrada a massa seca de 48,25 Kg, este cálculo é de grande importância na indústria para o fornecimento de energia, considerando que quanto maior a massa seca maior será a estimativa de energia estocada. A massa seca da casca foi de 4,02kg, e a massa seca total 52,27 Kg, maiores teores de massa seca produzem maiores quantidades de energia por unidade volumétrica (HASELEIN, 2004).

Haselein (2004) encontrou para o *Eucalyptus grandis* massa seca total de 62,00 kg,

sendo essa superior em relação a espécie de bracatinga, a massa seca das árvores é um parâmetro de elevada importância na classificação das mesmas e na quantificação de matéria seca de um povoamento destinado a produção de energia.

#### 4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *Mimosa scabrella* Benth

Os valores obtidos na caracterização química da madeira de *Mimosa scabrella* Benth podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização química da madeira de *Mimosa scabrella*.

Parâmetro	Média (%)	CV (%)
Teor de umidade	15,84	3,64
Teor de voláteis	91,39	1,02
Teor de cinzas	0,24	10,95
Teor de carbono fixo	8,37	0,49
Teor de extrativos	2,99	2,26
Teor de lignina Klason	23,09	0,27
Holocelulose	73,67	0,68

CV= Coeficiente de variação

As madeiras que apresentam teor de umidade acima de 28%, considerado o ponto de saturação das fibras, implicam em um menor rendimento energético da madeira. Madeiras que estão abaixo do ponto de saturação das fibras devem ser armazenadas em ambiente coberto para evitar a influência das precipitações (COUTO, 2014).

Quanto maior o teor de umidade da madeira, menor será o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, tal qual absorve energia em combustão (COUTO, 2014).

Segundo Friederichs (2014), madeiras com teores de umidade abaixo de 30% são ideais para o uso energético, podendo apresentar variações quando relacionada às diferentes espécies, clima e armazenamento. Dessa forma, o teor de umidade encontrado para a madeira de bracatinga (15,84%) atingido até o período de execução das análises é indicado como finalidade de uso energético. De uma forma geral, a madeira de bracatinga é de boa qualidade para energia, tem boa aceitação pelos consumidores (industriais e residenciais). Para a queima direta, recomenda-se a utilização da madeira de bracatinga com teores de umidade inferiores a

25%. Com este teor, um quilograma de sua madeira fornece, aproximadamente, 3.200 kcal (CARPANEZZI, 1988).

Observou-se para a madeira de bracatinga um teor de voláteis de 91,39%, distinto do observado por Friederichs (2014) (81,28%), tal diferença pode ser atribuída à idade das árvores utilizadas pelo referido autor que foi de 15 anos. O elevado teor de voláteis encontrados na madeira de bracatinga propicia uma carbonização rápida e intensa. É considerando um parâmetro que apresenta comportamento inversamente proporcional ao teor de carbono fixo no carvão, essa característica determina a estabilidade da chama e a velocidade de combustão, pois promove o aumento da permeabilidade da carga no alto-forno e a diminuição da reatividade do carvão vegetal. Um alto teor de voláteis ocasiona a produção de muita fumaça, além da menor eficiência energética, o que não seria desejável para o carvão visando ao uso doméstico (SANTOS et al, 2016).

O teor de cinzas da madeira de bracatinga(0,24%) foi semelhante com o valor encontrado por Rancatti (2012) que foi de 0,28% com idade de 9 anos. Teor de cinzas é considerado um material inerte no processo de combustão, conduzindo uma redução no poder calorífico da madeira, sendo assim é desejáveis menores teores de cinzas na madeira onde iram apresentando maior eficiência energética (OLIVEIRA,2003).

O teor de carbono fixo (8,37%) foi bem inferior ao encontrado por Rancatti (2012) que obteve uma média de 20,76% para esta mesma propriedade, sendo que o teor de carbono fixo tem uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Um maior teor de carbono fixo implica em um maior tempo de residência dentro do aparelho de queima, diferente dos materiais voláteis que durante a queima da biomassa volatilizam rapidamente diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética (CHAVES et al, 2013). O percentual de carbono fixo de acordo com Pereira et al. (2000) refere-se à fração de carvão que se queima no estado sólido. Combustíveis com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis, justamente porqueimarem mais lentamente.

Dependendo da resistência à degradação térmica dos extrativos presentes na madeira, maior porcentagem de extrativos poderá colaborar para o aumento no poder calorífico do carvão, além de elevar o rendimento em carbono fixo, em função da natureza química dessas substâncias, possuem, de modo geral, compostos de elevado teor de carbono.

Com relação a lignina a média encontrada na *Mimosa scabrella*(23,09%) foi semelhante ao teor médio de lignina de 23,2% determinado por Araújo et al. (2009).

Segundo Santos (2010), quanto maior a porcentagem de lignina e extrativos, maior é o

rendimento do carvão. De modo geral, os valores médios encontrados para o teor de lignina são considerados satisfatórios, sendo que a lignina é um componente químico que contribui muito para o rendimento gravimétrico durante o processo de carbonização em função da sua maior resistência à degradação térmica, resultado da complexidade e dos tipos de ligações presentes na sua estrutura química.

O teor de holocelulose encontrado (73,67%) é semelhante ao registrado por Barrichelo e Brito (1982) (74,4%). A porcentagem de holocelulose corresponde a uma parte da fração mais significativa da massa da madeira e é representada pelos componentes estruturais que são os carboidratos. O comportamento da celulose e da hemicelulose diante da degradação térmica possui um perfil muito instável e pouco resistente, especialmente as hemiceluloses, por ser um composto que apresenta natureza amorfa e ramificada, colaborando para maior degradação (SANTOS, 2010).

A madeira da bracatinga é rica em carboidratos, com teor de lignina que pode ser definido como médio, quando comparado à madeira de outras folhosas, como a dos eucaliptos. A composição química da madeira de bracatinga inclui 22 a 26% de lignina Klason, 2,5 a 4% de extrativos; 0,3 a 0,5% de cinzas (FOELKEL, 2012), portanto observa-se que de maneira geral os valores registrados estão dentro da amplitude descrita pelo referido autor.

A tabela 4 apresenta uma comparação dos valores médios registrado para os teores de voláteis, cinzas e carbono fixo da espécie *Mimosa scabrella* com o registrado pelas principais espécies de folhosas com potencial energético, em idade próxima.

Tabela 4– Comparação dos teores de voláteis, cinzas e carbono fixo de *Mimosa scabrella* Benth das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*.

Espécie	Idade	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
<i>Mimosa scabrella</i> <sup>1</sup>	7	91,39	0,24	8,37
<i>Eucalyptus grandis</i> <sup>2</sup>	6	89,90	0,31	9,6
<i>Acacia mearnsii</i> <sup>3</sup>	5	82,38	0,66	16,96

<sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup>Brito e Barrichelo (1998); <sup>3</sup>Eloy et al. (2015).

O teor de material volátil encontrado para *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii* foram inferiores ao encontrado no presente estudo para a *Mimosa scabrella*, indicando uma menor eficiência energética para a espécie.

Segundo Toledo et al. (2014), o teor de voláteis e carbono fixo é inversamente proporcional, onde através do percentual de matérias voláteis, pode-se estimar o grau de

combustão de um combustível. Materiais com menores índices de voláteis deverão queimar-se mais lentamente.

Para o teor de cinzas a média encontrada na *Mimosa scabrella* foi inferior tanto em relação a madeira de *Acacia mearnsii* com o *Eucalyptus grandis*. Teor de cinzas é considerado um material inerte no processo de combustão, conduzindo uma redução no poder calorífico da madeira, sendo assim para esse sentido a madeira de bracatinga possui maior eficiência energética (OLIVEIRA, 2003). O teor de cinzas varia em função da espécie, idade e também é influenciado pelo local de crescimento (TOLEDO et al., 2014).

O teor de carbono fixo encontrado para a bracatinga foi inferior ao encontrado para *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*, resultado esse não favorável, uma vez que tem relação direta com o poder calorífico. Um maior teor de carbono fixo implica em um maior tempo de residência dentro do aparelho de queima. Segundo Chaves et al. (2013) madeira com maiores teores de material volátil tem menores teores de carbono fixo, conforme observado na tabela 4.

A Tabela 5 apresenta uma comparação entre as médias da composição química estrutural da madeira de bracatinga avaliada e as principais espécies de folhosas com potencial energético.

Tabela 5– Comparação dos teores de extrativo, lignina e holocelulose da *Mimosa scabrella* Benth com *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*.

Espécie	Idade	Extrativos (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
<i>Mimosa scabrella</i> <sup>1</sup>	7	2,99	23,09	73,67
<i>Eucalyptus grandis</i> <sup>2</sup>	12	3,10	29,62	66,65
<i>Acacia mearnsii</i> <sup>3</sup>	6	4,25	23,48	72,26

<sup>1</sup>Presente estudo; <sup>2</sup>Santana (2009); <sup>3</sup>Segura (2010).

Para os extrativos o valor registrado foi inferior ao encontrado na literatura para *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*.

O valor encontrado para lignina foi muito próxima a registrada para *Acacia mearnsii* e inferior a lignina encontrada para *Eucalyptus grandis*. A lignina por sua maior estabilidade suporta os níveis de carbonização que irão permitir a concentração de carbono fixo no carvão e maior rendimento gravimétrico (BUFALINO et al., 2012).

Para a holocelulose a bracatinga obteve valor superior quando comparado com *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*.

A holocelulose e a lignina são consideradas os principais componentes moleculares da

biomassa. Para a produção de energia, são desejáveis maiores teores de lignina e menores teores de holocelulose(BUFALINO et al., 2012).

De forma geral para a produção de carvão vegetal, espera-se que quanto maior o teor de holocelulose, menor será o rendimento e a qualidade do carvão vegetal. Este fato está relacionado à menor resistência à degradação térmica das hemiceluloses e celulose. Altos valores de densidade básica e teor de lignina na madeira, associado com baixos valores de cinzas e holocelulose, são mais desejáveis para a produção de bioenergia(TRUGILHO et al., 2015).

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo para *Mimosa scabrella* Benth aos 7anos permite concluir que:

A densidade básica ponderada das árvores de *Mimosa scabrella* (0,51 g/m<sup>3</sup>)avaliadas possibilita inferir um bom rendimento energético no processo de carbonização.

O teor de umidade encontrado para a *Mimosa scabrella* (15,84%) é considerado adequado para o processo de queima.

O teor de materiais voláteis médio da madeira de *Mimosa scabrella* encontrado (91,39%) se demonstra elevado propiciando uma carbonização rápida e intensa.

O valor médio de ligninaencontrada e o teor de holocelulose na *Mimosa scabrella* indica que sua madeira possui um bom rendimento e qualidade do carvão,com valores semelhantes aos encontrados para espécies de uso consolidado do setor para produção de energia.

## REFERÊNCIAS

- ANGELI, A. **Mimosa scabrella (Bracatinga)**. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/mimosa.scabrella.asp>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- ARAUJO, R. H. **Celulose kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptussaligna*) misturadas em diferentes proporções**. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986. 5p.
- BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da distribuição diamétrica e da relação hipsométrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais da região metropolitana de Curitiba**. 2000. 235f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Revista Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, n. 16, p. 63-70, 1978.
- BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012.
- CARPANEZZI, R. A. **Manual técnico da bracatinga**. Colombo: Embrapa, 1988. 88p.
- COUTO, C. M. **Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas - RS**. 2014. 56 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental e Sanitária)- Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.
- EHRHARDT-BROCARDI, N.C.M. et al. Diversidade cultural, morfológica e genética de diazotróficos isolados de nódulos debracatinga. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p.923-933,2015.
- FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptusgrandis* W. Hill exMaiden e de híbridos de *Eucalyptusgrandis* X *Eucalyptusurophylla* S.T. Blake** 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.
- FRIEDERICHS, G. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de bracatinga (*Mimosa scabrella*Benth.)**. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014. 9p.
- FOELKEL, C. **Os Eucaliptos e as Leguminosas: Parte 02: Mimosa scabrella (Bracatinga)**. 2012. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT26\\_Bracatinga.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT26_Bracatinga.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2017.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA S. T; LUCIA T. M et al. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptusurophyllax Eucalyptusgrandis*. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p. 501-509,2009.

HOEFLICH, V. A. **Cultivo da bracatinga**. Embrapa Florestas. 2003. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Bracatinga/CultivodaBracatinga/16\\_produtos\\_e\\_utilizacoes.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Bracatinga/CultivodaBracatinga/16_produtos_e_utilizacoes.htm)>. Acesso em: 03 nov. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ**. São Paulo: IBÁ,2016. 7p.

JESUS, M. S. **Balço de massa e energia na pirólise da madeira de *Eucalyptus* em escala macro**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3ª edição revisada. Curitiba: UFPR, 2005. 86p.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptusgrandis* Hill exMaiden**. 2005.137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LOUREIRO, G. H. **Otimização do carregamento e descarregamento de fornos em uma planta de carbonização**. 2014. 28 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Perspectivas e situações do manejo da bracatinga**. Instituto EMATER. S.d. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-08.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

MACHADO, S. A. et al. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p.759-768, 2006.

MENEZES, V. A. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptusurophylla*. **ScientiaForestalis**, v. 43, n. 105, p. 101-116,2014.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. 2003.122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,2003.

RANCATTI, H. **Potencialidade energética da madeira de duas espécies florestais via uso direto e através da pirólise**. 2012. 89 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

REZENDE, L. C. **O potencial das florestas energéticas**. 2015. Canal Jornal da Bioenergia. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/a-energia-das-florestas/>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

SAMPAIO, F. S.; MAZZOCHIN, M. S. Espacialidade da economia: inovação e estratégias espaciais no setor de base florestal Brasileiro. **Revista RA'E GA**, n. 20, p. 53-65, 2010.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* E. urophylla com enfoque energético**. 2009. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do Cerrado**. 2008. 92 f. 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. 173 f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal, Ciência e Tecnologia da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA, D. A. **As florestas energéticas**. Curitiba: Revista da Madeira, 2009.

SILVA, L. C. R. et al. Evolução estrutural de bracatingais da região metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 171-179, 2016.

SILVA, D. A. et al. **Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. São Jorge: Universidade Federal do Paraná, 2011.

STEENBOCK, W. et al. Ocorrência da bracatinga (*Mimosa scabrella* BENTH.) embracatingais manejados e em florestas secundárias na região do planalto catarinense. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 845-857, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI (T264 cm – 97)**: Test methods. Atlanta, 1999. 6 p.

TRUGILHO, P. F. et al. **Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus jovens***. *Ciência Rural*, v. 45, n. 4, p. 661-666, 2015.

TRUGILHO, P. F. **Energia da biomassa florestal**. Universidade Federal de Lavras. S.d. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

TOLEDO, M. et al. Estudo preliminar do potencial energético de variedades de eucalipto cultivadas no rio grande do sul. **Revista Biomassa**, n. 22, p. 8-13, 2015.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrellabentham* em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.