

Caracterização da madeira de *Mimosa scabrella* para seleção de árvores matrizes

Andrey Pereira Acosta¹ , Eduarda Demari Avrella² , Paula Zanatta³ , Marília Lazarotto^{3*} ,
Ezequiel Gallio³ , Rafael Belframe³ , Claudimar Sidnei Fior² 

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, 91501970

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Horticultura e Silvicultura, Av. Bento Gonçalves 7712, Porto Alegre, RS, 91540000

³Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989, Pelotas, RS, 96010020
*Autor para correspondência: marilia.lazarotto@ufpel.edu.br

Recebido em 28.IV.2020

Aceito 03.III.2023

DOI 10.21826/2446-82312023v78e2023013

RESUMO – Objetivou-se avaliar a qualidade da madeira de *Mimosa scabrella* Benth., proveniente de plantio de mudas de sementes de três procedências (Lages, SC: 33/13, Curitiba, SC: 34/13 e Santo Antônio do Palma, RS: 35/13). Em plantio de cerca de 4,5 anos, coletou-se discos com 10 cm de espessura a 20 cm do nível do solo, do qual extraiu-se amostras para determinação do agrupamento de vasos, massa específica aparente, massa específica básica, teor de umidade, avaliação dos grupos químicos por espectroscopia no infravermelho, teor de cinzas, teor de extrativos, teor de lignina, poder calorífico e estabilidade térmica. Foram observadas diferenças químicas principalmente no que se refere ao teor de lignina e de cinzas, enquanto as características morfológicas variaram predominantemente na distribuição e quantidade de poros. O poder calorífico foi diretamente afetado pelas características químicas, sendo a madeira da 35/13 a mais estável termicamente, com maior poder calorífico e, portanto, indicada para a produção de madeira cujo objetivo seja a queima, como na produção de carvão vegetal, pellets ou briquetes.

Palavras-chave: anatomia, bracinga, estabilidade térmica, infravermelho, poder calorífico.

ABSTRACT – Wood characterization of *Mimosa scabrella* Benth. for matrices trees selection. The objective was to evaluate *Mimosa scabrella* Benth. wood quality, with seeds of three procedures (Lages, SC: 33/13, Curitiba, SC: 34/13 and Santo Antônio do Palma, RS: 35/13). In a 4.5 years plantation, 10 cm thick discs were collected at 20 cm from the ground level. The samples were taken to determine wood vessels cluster, apparent specific mass, basic specific mass, humidity, evaluation of chemical groups by infrared spectroscopy, ash content, extractives content, lignin content, calorific value and thermal stability. Chemical differences were observed mainly to lignin and ash content, while morphological characteristics varied predominantly in pores distribution and quantity. Calorific value was directly affected by chemical characteristics, with 35/13 wood being the most thermally stable, with the greatest calorific value. Therefore procedure 35/13 was indicated for production of wood whose objective is burning, as in the production of charcoal, pellets or briquettes.

Keywords: anatomy, heating power, infrared, *Mimosa scabrella*, thermal stability.

INTRODUÇÃO

A bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) é uma espécie nativa e endêmica do Brasil, pertencente à família Fabaceae, pioneira, de rápido crescimento, que ocorre na Floresta Ombrófila Mista, ou Mata de Araucária (Mazuchowski *et al.* 2014). Normalmente, apresenta de 10 a 18 m de altura e 20 a 30 cm de DAP (diâmetro a altura do peito = 1,30 m), podendo atingir de 20 a 25 m de altura e 40 a 50 cm de DAP após oito anos de idade, quando é comum entrar em declínio vital, atingindo um limite de vida de 30 anos (Fabrowski *et al.* 2005, Carpanezzi 2006, Saueressig 2014).

A espécie é muito apreciada pela qualidade de sua madeira para fins energéticos, com poder calorífico em torno de 4.700 kcal kg⁻¹ (Mazuchowski *et al.* 2014),

sendo empregada como fonte de biomassa, lenha e carvão (Fabrowski *et al.* 2005). No noroeste do planalto catarinense, aproximadamente metade da renda dos agricultores de reforma agrária deve-se ao manejo de bracingais, sobretudo na produção e lenha e carvão (Ehrhardt-Brocardo *et al.* 2015).

O ciclo de corte dos plantios licenciados de bracinga é de aproximadamente 7 a 8 anos para extração de madeira para energia, e de 12 anos para madeira de maior dimensão (Mazuchowski *et al.* 2014). A madeira roliça pode ser utilizada como escoras e vigamentos na construção civil e, principalmente, para compensados e caixotaria, enquanto a madeira serrada serve para pisos e assoalhos, e móveis e peças de mobiliário (Carvalho 2003, Schumacher *et al.* 2005, Saueressig 2014). Pode ainda ser empregada na

produção de celulose e papel, gomas (pela presença de galactomananas nas sementes), extração de taninos da casca, e usos no paisagismo. Além de possuir potencial como facilitadora na restauração de áreas degradadas, essa espécie arbórea nativa possibilita a obtenção de mel de melato de bracatinga, utilizado para consumo, possuindo também potencial anti-inflamatório, antibactericida e antioxidante (Ferreira *et al.* 2019, Seraglio *et al.* 2017).

É uma espécie que pode se tornar comercialmente viável, devido ao seu rápido crescimento, capacidade de desenvolvimento em sítios desfavoráveis, qualidade da madeira para lenha e outros fins, potencialidade de uso melífero e em sistemas agroflorestais (Navroski e Pereira 2014). Entretanto, estudos de seleção de materiais genéticos promissores com a espécie são incipientes, portanto, não se conhece todo o potencial que a mesma apresenta para fins de substituição ou inserção para fins energéticos, a exemplo do que ocorre com outras espécies, tais como a espécie exótica acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) que possui características de uso semelhantes. Para Nascimento (2010), para isso *M. scabrella*, ainda carece de melhoramento genético. Uma das estratégias iniciais de melhoramento é o teste de procedências e progênies que, de acordo com Resende (2002), permite estimar parâmetros genéticos e selecionar os indivíduos de maior desempenho para determinada região. Essa seleção permite a tomada de decisão de quais indivíduos manter no campo e, posteriormente, selecionar material para testes de progênies e propagação clonal.

Para a seleção de materiais genéticos para posterior uso da madeira, há a necessidade da avaliação de suas propriedades tecnológicas, sendo estas, propriedades físicas, mecânicas, anatômicas, químicas e térmicas. As propriedades da madeira que determinam a sua qualidade (por exemplo, propriedades físicas e químicas) são o resultado do crescimento e formação da árvore (Pyörälä *et al.* 2019). Assim, em virtude do processo de desenvolvimento da árvore é possível que ocorram alterações em algumas propriedades na madeira de acordo com sua procedência genética, e por conta disto, é necessário o conhecimento e controle sobre estas.

Com isso o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), de três procedências em plantio de 4,5 anos, quanto à caracteres térmicos, químicos, físicos e anatômicos, com intuito de selecionar árvores matrizes para aplicações energéticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedência do material

Sementes oriundas de três procedências, coletadas em 2013, foram utilizadas para a produção das mudas: 33/13: sementes coletadas de sete matrizes localizadas no município de Lages, Santa Catarina (SC); 34/13: sementes de três plantas matrizes coletadas em Curitiba, SC;

35/13: sementes de oito plantas matrizes coletadas no município de Santo Antônio do Palma, Rio Grande do Sul (RS).

Primeiramente as sementes foram submetidas à superação de dormência pelo método de imersão em água quente (90 °C) até atingir temperatura ambiente para, em seguida, proceder-se a semeadura em vasos flexíveis de polietileno preto com capacidade de 0,8 L, utilizando-se casca de *Pinus* sp. compostada como substrato.

A implantação a campo se deu com mudas após 100 dias da semeadura em área consorciada com *Myrcianthes pungens* O. Berg D. Legrand (guabijuzeiro), sendo o espaçamento entre as bracatingas de 6 x 7 m, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, RS (30°06'33''S e 51°40'08''W). O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck *et al.* 2008). Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima subtropical úmido, de verão quente, do tipo Cfa. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.440 mm e a umidade relativa média do ar de 77,33% (Bergamaschi *et al.* 2003).

Em 2018, quatro anos e seis meses após o plantio, foram coletados discos com 10 cm de espessura a 20 cm do nível do solo, de oito plantas da procedência 33/13, sete plantas da procedência 34/13, e de 15 plantas da procedência 35/13. O número de árvores cortadas de cada procedência foi devido à necessidade de abertura de luz para os guabijuzeiros, uma vez que as bracatingas serviram de proteção ao sol na primeira fase de desenvolvimento da espécie. Estes discos foram acondicionados em câmara climatizada (ajustada com temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 3%) para atingir umidade de equilíbrio para posterior avaliação de propriedades tecnológicas da madeira.

Caracterização do material

Foram confeccionadas 3 amostras (blocos) de 10 a 20 cm do solo com dimensões de 20 × 20 × 20 mm³ para a caracterização de propriedades anatômicas (tipo e quantidade de poros) das procedências, com base na metodologia descrita por Bueno *et al.* (2020). Estes blocos foram aquecidos, em banho maria, e posteriormente submetidos ao corte em um micrótomo na espessura de 14 µm, colocadas sobre uma lâmina e prensada com uma laminula, possibilitando a confecção de lâminas histológicas temporárias. Os cortes foram corados com Safranin por 30 min e desidratados em série alcoólica (0, 50, 70 e 95%) e em mais duas etapas em álcool etílico absoluto. Em seguida, foram transferidos para xilol: etanol (1:3, 1:1, 3:1) e posteriormente para duas etapas de xilol puro, cada etapa com duração de 10 min. Os cortes foram transferidos para lâminas de vidro e montados com resina Permout (Fisher). Isso possibilitou a obtenção de imagens em microscópio óptico, com uma ampliação de 4x. As imagens foram capturadas com uma câmera (definição 22 megapixels) acoplada à lente, pertencente ao Laboratório de

Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Pelotas, em que foram avaliadas as características anatômicas de frequência e o tipo de porosidade das procedências. A massa específica aparente, massa específica básica e o teor de umidade foram determinados conforme a norma *American Society for Testing and Materials* ASTM D 2395 (2017), utilizando um paquímetro digital (resolução de 0,0001 mm), uma balança analítica (resolução de 0,0001 g) e uma estufa laboratorial. A posição de retirada de amostras é ilustrada na Fig. 1.

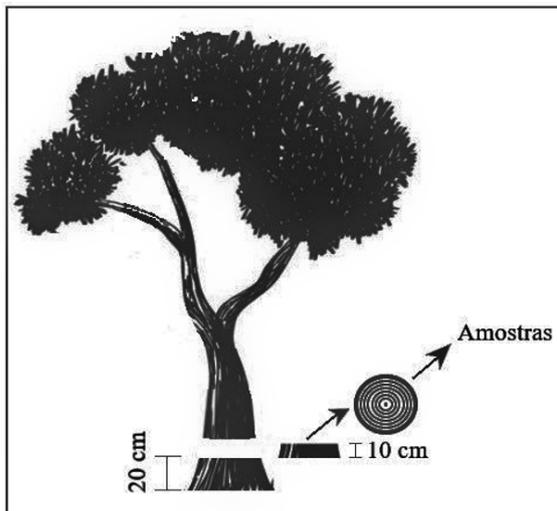


Figura 1. Imagem ilustrativa da posição de corte das árvores selecionadas.

Amostras sólidas a partir de 20 cm do solo nas dimensões de $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ foram avaliadas por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier acoplada a um dispositivo de reflexão total atenuada (ATR-FTIR) em um equipamento Jasco 4100. Essa análise permite realizar uma análise qualitativa da composição química em virtude da presença de grupamentos funcionais característicos dos componentes primários da madeira. Nesse contexto, o espectro final de transmitância de cada procedência foi o resultado médio de 32 digitalizações (faixa de 600 a 2000 cm^{-1}) com resolução de 4 cm^{-1} e velocidade de 2 mm seg^{-1} .

As análises químicas visando quantificar os teores de cinzas, extrativos e lignina foram realizadas em triplicata. O teor de cinzas foi calculado de acordo com a norma TAPPI T-211 om-85 25 (Tappi 1999). O teor de extrativos totais foi determinado de acordo com a norma da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel ABTCP M3/69 (Abtcp 1974). A extração foi feita em tolueno/etanol e água quente. Já o teor de lignina Klason insolúvel foi determinada conforme a norma TAPPI T 222 om-98 (Tappi 2000).

O poder calorífico superior (PCS) foi mensurado por meio de amostras sólidas de madeira referente a cada procedência, nas dimensões de $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$. As amostras foram inseridas em um colorímetro adiabático, equipamento Parr 3200 Colorimeter em que a temperatura

máxima de operação do equipamento é necessária para haver a combustão do material (cerca de 180°C).

A estabilidade térmica foi avaliada por análises gravimétricas térmicas (TG) e pela derivada da curva gravimétrica (DTG), utilizando um equipamento TGA-1000 (marca Navas). As curvas foram obtidas a uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C min}^{-1}$ da temperatura ambiente (20°C) até 105°C (rampa de umidade), seguida por uma rampa de aquecimento de 105°C a uma temperatura máxima de 600°C .

Um delineamento inteiramente casualizado (CRD) foi aplicado para analisar a massa específica aparente, a massa específica básica, os parâmetros relacionados à análise química quantitativa (de bancada) e o poder calorífico superior. A homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados foram verificadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk, respectivamente. Sempre que a hipótese nula foi rejeitada, foram realizados testes de LSD Fisher para comparar as médias. Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas ao nível de significância de 1%, com auxílio dos softwares Costat 6.4 e SigmaPlot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se algumas características anatômicas que distinguem as procedências das amostras de madeira de bracinga estudadas, como, por exemplo, a quantidade de poros entre as procedências 33/13 e 35/13 (cerca de 2 poros mm^{-2}) e a procedência de 34/13 (de 3 à 4 poros mm^{-2}) (Fig. 2). Verifica-se na Figura 1 que as procedências 33/13 (Lages) e 35/13 (Santo Antônio do Palma) apresentam uma porosidade difusa, com poros solitários (Fig. 1 A) ou duplos (Fig. 1 B) para as procedências, respectivamente. Já na procedência 34/13 (Curitibanos) a os poros são sempre solitários (Fig. 1 C).

A homogeneidade dentro de uma mesma família botânica já é constatada na literatura (Zanatta *et al.* 2018), sendo uma característica que se repete dentro da mesma espécie. Bueno *et al.* (2020) citam que as propriedades da madeira são diretamente proporcionais ao seu genótipo. Apesar de haver alguma diferença entre as distintas procedências, predominantemente as amostras se assemelham.

No caso do presente estudo, os materiais foram submetidos as mesmas condições ambientais de crescimento, tendo em vista que as procedências em questão foram implantadas na mesma área (Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), portanto diferenças observadas são inerentes ao genótipo. Há também de se destacar que existe uma relação inversa entre a porosidade e a massa específica da madeira, sendo tal fato corroborado por Farias e Melo (2020).

Nesse contexto, ao observar a Tabela 1, verifica-se que não houve diferenças significativas entre as distintas procedências quanto a massa específica básica e aparente. No entanto, esta propriedade deve ser analisada por conta de sua importância, sendo esta referenciada por muitos autores, como índice de qualidade da madeira.

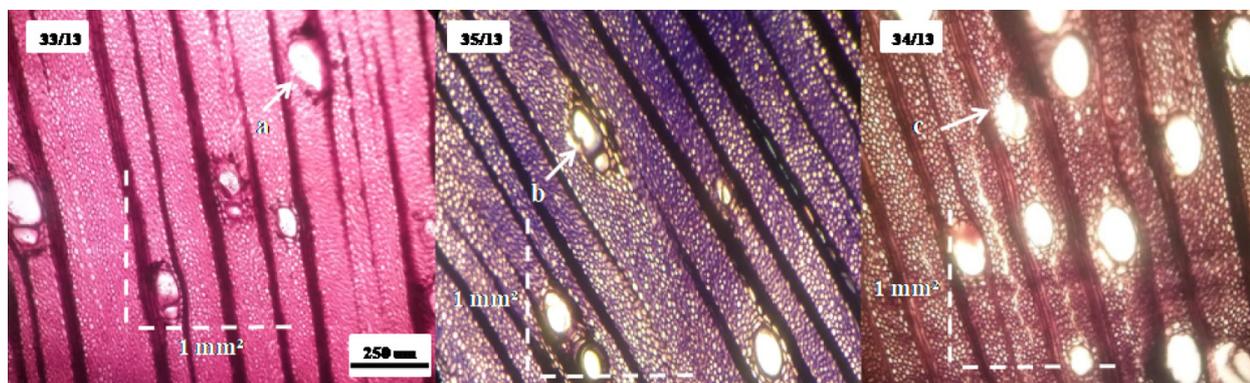


Figura 2. Morfologia no plano transversal de amostras de madeira de bracatinga oriundas de Lages, SC (33/13), Curitibanos, SC (34/13), Santo Antônio do Palma, RS (35/13). Em que setas indicam os poros da madeira em cada procedência.

Tabela 1. Valores médios da massa específica básica e aparente da madeira de três procedências de *M. scabrella*.

Procedência	ME básica (g cm ⁻³)	ME aparente (g cm ⁻³)
33/13	0,4986 a	0,8813 a
34/13	0,4811 a	0,8647 a
35/13	0,5091 a	0,9054 a

ME = massa específica; letras iguais é não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. Sendo 33/13: Lages, 34/13: Curitibanos, 35/13: Santo Antônio do Palma.

As diferenças de natureza química em razão das distintas procedências foram analisadas a partir dos espectros infravermelhos. Comparando somente os espectros FTIR entre as três procedências (Fig. 3), verifica-se que a madeira da procedência 33/13 apresentou maior intensidade nas seguintes bandas: 1640 cm⁻¹, 1260 cm⁻¹ e 1030 cm⁻¹. Já para 35/13, as maiores intensidades foram observadas nas bandas 1090 cm⁻¹ e 825 cm⁻¹.

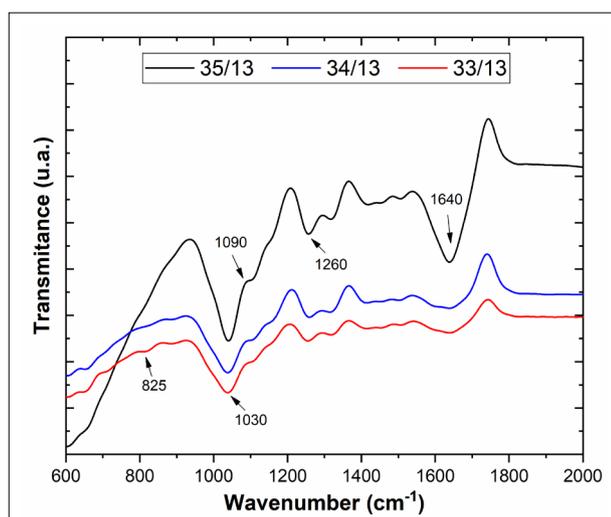


Figura 3. Espectros FTIR de madeira de oriunda de *M. scabrella* de três procedências. Sendo 33/13: Lages, 34/13: Curitibanos, 35/13: Santo Antônio do Palma.

Variações de intensidades nas bandas do espectro representam alterações na constituição química da madeira (Yilgor *et al.* 2013). Nesse contexto, a banda em torno de 1640 cm⁻¹, segundo Pozo *et al.* (2006), é característica de vibrações esqueléticas aromáticas mais alongamento C=O típico da lignina. Percebeu-se para a madeira oriunda da procedência 33/13 um destaque nesta banda, as demais procedências não possuíram diferenças espectrais, o que pode representar uma característica genética. Resende (2016) menciona que a simples interação genótipos e ambientes são significativos, acarretando diferentes propriedades químicas na madeira.

A banda de 1260 cm⁻¹, segundo Darwish *et al.* (2013), é típica do estiramento das xilanas característico da lignina, em que o destaque se encontra para a procedência Lages (33/13), sendo que para as demais não foram observadas diferenças espectrais. Muitos processos de formação de madeira dependem de variáveis em relação a fatores ambientais e genéticos (Zobel & Jett 2012; Rathgeber *et al.* 2016; Lundqvist *et al.* 2018). Variações nas intensidades dos espectros na região compreendida entre 1260 e 1200 cm⁻¹ sugerem alterações nas quantidades de lignina siringil e guaiacil da lignina (Pandey e Pitman, 2003). Estas por sua vez estão diretamente associadas ao processo de combustão da madeira. A maior quantidade de unidades guaiacil proporcionam maior resistência térmica durante o processo de pirólise, em função da posição aromática C5, a qual possibilita a realização de ligações entre átomos de carbono, acarretando em aumento no grau de polimerização (Araújo *et al.* 2016).

Conforme Darwish *et al.* (2013), as bandas de 1030 cm⁻¹ são associadas com o alongamento C-O e a deformação C-H na unidade guaiacil característico de todos os componentes majoritários da madeira (celulose, hemicelulose e lignina). Esta banda pode ser usada para diferenciar mais precisamente possíveis diferenças químicas entre espécies madeireiras, pois possui o pico mais característico para este material. Percebe-se que conforme analisado nas demais bandas, houve o mesmo comportamento espectral pelos materiais procedentes de Curitibanos e Santo Antônio do

Palma (34/13 e 35/13, respectivamente), demonstrando a semelhança nas posições dos grupamentos funcionais dessas madeiras, referente aos espectros analisados.

Segundo Tomak *et al.* (2013), a banda de 825 cm^{-1} é característica da lignina oriundo da deformação ligação C-H, esta banda se mostra destacado para a madeira com as sementes procedentes de 33/13. Makouanzi *et al.* (2017) citam que as propriedades químicas e físicas da madeira apresentam influência genética, por conta disso é percebido as diferenças químicas entre os espectros analisados.

Não foram observadas diferenças significativas entre as procedências para a variável teor de extrativos (Tab. 2). Telmo & Lousada (2011) citam que a presença de altos teores de extrativos é uma característica vantajosa para produção de energia devido ao elevado poder calorífico desses componentes. No entanto, não apenas o alto teor de extrativos significa um indicio de alto poder calorífico. (Branca & Di Blasi 2020) mencionam que na verdade o constituinte da madeira que confere seu poder calorífico é a lignina devido a sua complexidade em sua cadeia molecular.

No que tange ao teor de cinzas, a procedência 34/13 apresenta maior valor médio e as demais foram estatisticamente iguais. Descrevendo de maneira sucinta, a biomassa com elevado poder calorífico superior tende a apresentar um teor de cinzas maior, apresentando uma relação direta entre essas duas propriedades. Isso vai de acordo com o observado nos resultados do presente estudo e aquilo que foi descrito por Silva *et al.* (2015).

Brand (2010) e Protásio *et al.* (2011) destacaram que, visando à produção de carvão vegetal, é desejável que esse produto proveniente da madeira apresente baixos teores de cinza, visto que elevadas quantidades de substâncias inorgânicas tendem a reduzir o poder calorífico, devido à ausência de participação durante o processo de combustão.

A procedência 35/13 apresentou a maior quantidade de lignina, bem como, o mais elevado poder calorífico superior, quando comparada às demais procedências, indo de acordo com o argumentado por Gomide *et al.* (2005), os quais esclarecem que madeiras com maiores teores de lignina tendem a apresentar maior poder calorífico.

Esta por sua vez tem influência direta em inúmeras propriedades da madeira, sendo responsável pela coesão interna entre as partículas, provocada pelo calor na temperatura de transição vítrea, não ocorrendo a degradação desta (Garcia *et al.* 2016). Isso associado ao fato desse componente possuir inúmeros tipos de grupamentos

funcionais em sua estrutura, sendo caracterizada como um composto complexo, o que acaba por dificultar o processo de degradação térmica em função da exposição à elevadas temperaturas.

Estas características químicas e térmicas afetam o poder calorífico, como descrito por (Santos *et al.* 2011) em seu estudo sobre o potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal, onde relacionaram o poder calorífico com os constituintes químicos da madeira, principalmente lignina, presente na formação da parede celular, e os extrativos com reconhecida variabilidade qualitativa e quantidade.

Paula (2005), ao estudar a caracterização química da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia, observou que quanto maiores as proporções de lignina presentes na madeira, maior abundância de substâncias básicas geradoras de energia. Neves *et al.* (2013) em seu estudo com quatro clones de *Eucalyptus* spp., com aproximadamente 4,5 anos de idade, para produção de carvão encontraram teores de lignina em torno de 27%, valor superado neste estudo pela procedência 35/14, a qual possuía quando abatida a mesma idade. Como discutido anteriormente, a lignina exerce forte influência nas características térmicas, e conseqüentemente, energéticas da madeira. Com o aumento da idade, o teor de lignina tende a diminuir em função da grande quantidade de madeira juvenil, a qual é caracterizada por apresentar mais lignina quando comparada a adulta (Soares *et al.* 2015).

Nesse contexto, não foram identificadas diferenças significativas entre procedências para poder calorífico, sendo que os valores se situam em torno de 4200-4300 cal g^{-1} (Tab. 2). Carneiro *et al.* (2014) em avaliação do poder calorífico de madeiras do gênero *Eucalyptus* com 7 anos de idade encontram valores com cerca de 4400-4500 cal g^{-1} ; Neves *et al.* (2013) encontraram cerca de 4500 cal g^{-1} para o mesmo gênero. Em estudo de avaliação de capacidade energética de *Acacia mearnsii* (acácia-negra) com distintos espaçamentos foi encontrado valor máximo de 4.577 cal g^{-1} para madeira e valor superior para casca 4751 cal g^{-1} . Portanto, os materiais testados de bracinga encontram-se dentro de valores esperados já que a espécie já é utilizada para este fim. Embora não tenha sido observada diferença para PCS entre as procedências avaliadas, o material 35/13 foi superior para lignina, e não diferiu da procedência que apresentou menor teor de cinzas, o que sugere sua utilização na seleção de materiais para testes de progênies futuras.

Tabela 2. Valores médios da porcentagem de extrativos, cinzas e lignina da madeira de três procedências de *M. scabrella*.

Procedência	TU (%)	Extrativos (%)	Cinzas (%)	Lignina (%)	PCS (cal g^{-1})
33/13	15,01 a	0,0117 ^{ms}	1,105 a	23,223 a	4.249,48 ^{ms}
34/13	22,23 b	0,0158	1,847 b	24,348 a	4.261,05
35/13	15,72 a	0,0125	1,428 a	31,073 b	4.264,92

PCS: Poder calorífico superior; TU = teor de umidade das amostras no momento da determinação da porcentagem de extrativos, cinzas e lignina; letras iguais são não significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro. Sendo 33/13: Lages, 34/13: Curitiba, 35/13: Santo Antônio do Palma.

Em relação à termogravimetria observa-se que a procedência de 34/13 possui menor estabilidade térmica (Fig. 4 A), apresentando maior perda de massa na primeira região (de 30 °C a 105 °C), o que é atribuído à simples perda de umidade, correspondendo ao teor de umidade elevado analisado na Tabela 2.

Na segunda região (de 105 °C a 460 °C), correspondente à degradação da hemicelulose e celulose, a madeira da procedência de 35/13 se mostrou mais estável por meio do TGA (Fig. 4A). Para o DTG o pico mais alto de degradação foi o mesmo para as três procedências, entretanto se observa

uma perda de massa mais acentuada para 33/13, 34/13 e por fim 35/13. Mais uma vez, a procedência 35/13 mostra-se ligeiramente superior também para propriedades térmicas.

Le Van (1992) e White (2001) comentam que a degradação térmica da madeira pode ser representada como a soma das reações térmicas da degradação dos componentes individuais, tais como, celulose, hemicelulose e lignina. Neste contexto, a análise termogravimétrica (TGA) pode ser utilizada na determinação de reações de decomposição e na análise de estabilidade térmica deste tipo de material (Zattera 2005).

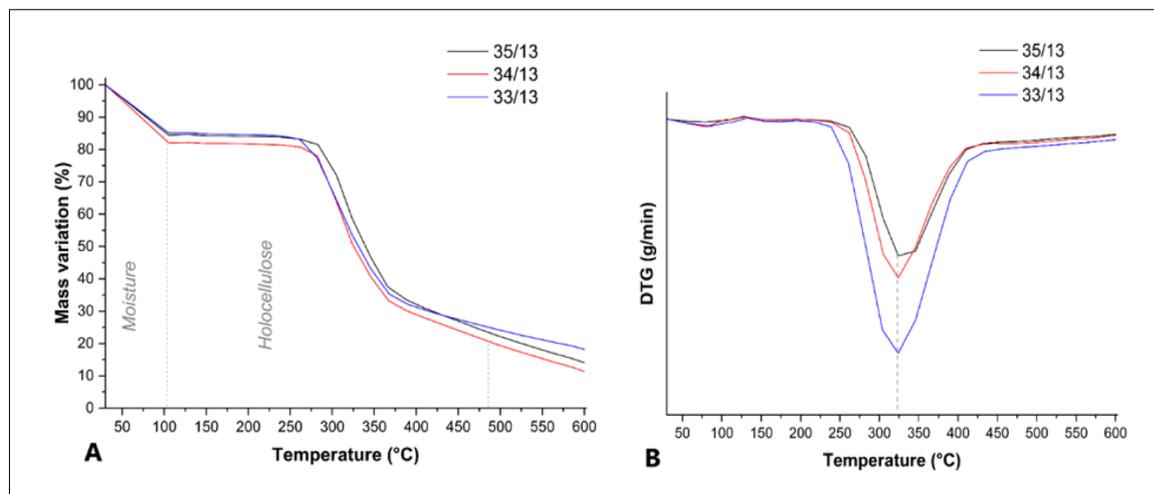


Figura 4. Madeira de *M. scabrella* oriunda de Lages (33/13), Curitibaanos (34/13), Santo Antônio do Palma (35/13). **A.** Curvas termogravimétricas (TGA); **B.** derivada da curva termogravimétrica (DTG)

No que tange a lignina, esta é considerada outro fator que influi diretamente na estabilidade térmica da madeira, como exemplo da procedência 35/13 que possui maiores quantidades deste componente (Tab. 2). Conforme Le Van (1992) a lignina, apesar de começar sua modificação em temperaturas baixas (em torno de 140 °C) apresenta maior estabilidade térmica que a celulose.

O valor do poder calorífico bruto e a capacidade de ignição da biomassa são influenciados pelos extrativos (Mészáros *et al.* 2007, Telmo & Lousada 2011). Assim, quanto mais susceptível à ignição e a posterior queima, menor será a estabilidade da biomassa. Estas informações podem ser comprovadas pela Tabela 2 em conjunto a Figura 3, em que o maior teor de extrativos encontra-se na procedência de 34/13 e a menor estabilidade é encontrada na mesma procedência.

Para espécies florestais que apresentam elevada variabilidade e que ainda não foram submetidas a processos de melhoramento, a seleção massal e individual é de aplicação prática eficiente (Kikuti & Monteiro 1984). Esse é o caso da bracatinga, uma espécie nativa do Brasil que necessita de seleção para potencializar suas qualidades como madeira para fins energéticos, desse modo a procedência 35/13 deverá ser o ponto de partida para seleção e estudos futuros desse material. Portanto, verifica-se que essa

procedência pode ser mantida para seleção de material para aplicações da madeira que necessitem de grande estabilidade térmica e poder calorífico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Márcio Navroski, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC pela doação de sementes de *Mimosa scabrella*, as quais deram origem às mudas para o plantio utilizado neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 1974. M3/69: Métodos de ensaio. São Paulo. 8p.
- Araújo, A.C.C., Trugilho, P.F., Napoli, A., Braga, P.P.C., Lima, R.V., Protásio, T.P. 2016. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis* 44(110)405-414. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.13>
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2017. D2395-17. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. Philadelphia.
- Bergamaschi, H., Guadagnin, M.R., Cardoso, L.S. & Silva, M.I.G. 2003. Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência). UFRGS, Porto Alegre. 77 p.
- Brand, M.A. 2010. Energia de biomassa florestal. Interciência, Rio de Janeiro. 131 p.

- Bueno, I.G.A., Picoli, E.A.T., Isaias, R.M.S., Lopes-Mattos, K.L.B., Cruz, C.D., Kuki, N.K. & Zauza, E.A.V. 2020. Wood anatomy of field grown eucalypt genotypes exhibiting differential dieback and water deficit tolerance. *Current Plant Biology*, In press. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100136>
- Carneiro, A.D.C.O., Castro, A.F.N.M., Castro, R.V.O., Santos, R.C., Ferreira, L.P., Damásio, R.A.P. & Vital, B.R. 2014. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore* 38:375-381. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000200019>
- Carpanezi, A.A. 2006. Aspectos técnicos da produção de bracinga. *In* Oficina sobre bracinga no Vale do Ribeira. Palestra. Embrapa Florestas, Colombo. p.41-46.
- Carvalho, P.E.R. 2003. Espécies arbóreas brasileiras. v.1. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. Embrapa Florestas, Colombo. 1039 p.
- Darwish, S.S., El Hadidi, N.M.N. & Mansour, M. 2013. The effect of fungal decay on *Ficus sycamoros* wood. *International Journal of Conservation Science* 4(3):271-282. https://www.researchgate.net/publication/288282814_The_Effect_of_Fungal_Decay_on_Ficus_Sycamoros_Wood
- Ehrhardt-Brocardo, N.C.M., Stocco, P., Tramontin, A.L., Oliveira Filho, L.C.I. & Santos, J.C.P. 2015. Diversidade cultural, morfológica e genética de diazotróficos isolados de nódulos de bracinga. *Revista Árvore* 39(5):923-933. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500015>
- Fabrowski, F.J., Muñiz, G.I.B., Mazza, M.C.M., Nakashima, T., Klock, U., Possamai, J.C. & Nisgoski, S. 2005. Anatomia comparativa da madeira das variedades populares da bracinga (*Mimosa scabrella* Benth). *Ciência Florestal* 15(1):65-73. <https://doi.org/10.5902/198050981824>
- Farias, D.T., Melo, R.R. 2020. Propriedades físicas da madeira de cinco espécies nativas da Caatinga. *Advances in Forestry Science* 7(3):1147-1152. <https://10.34062/afs.v7i3.10333>
- Ferreira, P.I., Gomes, J.P., Stedille, L.I.B., Bortoluzzi, R.L.C. & Mantovani, A. 2019. *Mimosa scabrella* Benth. as facilitator of forest successional advance in the South of Brazil. *Floresta e Ambiente* 26(4):e20170085. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.008517>
- Garcia, D.P., Caraschi, J.C. & Ventorim, G. 2016. Decomposição térmica de pellets de madeira por TGA. *Holos* 1:327-339. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3886>
- Gomide, J.L., Colodette, J.L., Oliveira, R.C.S. & Mudado, C. 2005. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. *Revista Árvore* 29(1):129-137. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000100014>
- Kikuti, P. & Monteiro, R.F.R. 1984. Seleção de árvores matrizes para trabalhos de melhoramento de *Eucalyptus* spp. *In* Anais do Simpósio Internacional: métodos de produção e controle de qualidade de sementes e mudas florestais. FUFPEF, Curitiba, p. 227-243.
- Le Van, S.L. 1992. Thermal degradation. *In* Concise Encyclopedia of Wood & Wood-Based Materials (D. Schniewin & P. Arno, eds.). Pergamon Press, Oxford.
- Lundqvist S., Seifert, S., Grahn, T., Olsson, L., García-Gil, M.R., Karlsson, B. & Seifert, T. 2018. Age and weather effects on between and within ring variations of number, width and coarseness of tracheids and radial growth of young Norway spruce. *European Journal of Forestry Research* 137:719-743. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1136-x>
- Makouanzi, G., Chaix, S. & Nourissier, A. 2017. Genetic variability of growth and wood chemical properties in a clonal population of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in the Congo South. *Forestry journal* 1-8. <https://doi.org/10.2989/20702620.2017.1298015>
- Mazuchowski, J.Z., Souza, M.C., Brand, M.A., Carvalho, A.F., Primieri, S. & Montalván, R.A.V. 2014. Usos e potencialidades da madeira de bracinga. *In* Bracinga, *Mimosa scabrella* Bentham: cultivo, manejo e usos da espécie (J.Z. Mazuchowski, T.D. Rech & L. Toresan, org.). Epagri, Florianópolis, p. 161-198.
- Mészáros, E., Jakab, E. & Várhegyi, G. 2007. TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 79:61-70. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.12.007>
- Nascimento, A.G. 2010. Parâmetros genéticos obtidos por modelos mistos em progênies e procedências da *Mimosa scabrella* Bentham (bracinga). Dissertação, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Navroski, M.C. & Pereira, M.O. 2014. Melhoramento genético. *In* Bracinga, *Mimosa scabrella* Bentham: cultivo, manejo e usos da espécie (J.Z. Mazuchowski, T.D. Rech & L. Toresan, org.). Epagri, Florianópolis, p. 76-95.
- Neves, T.A., Protásio, T.P., Trugilho, P.F., Valle, M.L.A., de Sousa, L.C. & Vieira, C.M.M. 2013. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 56:139-148. <https://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.022>
- Pandey, K., Pitman, A. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52(3):151-160. [http://doi:10.1016/s0964-8305\(03\)00052-0](http://doi:10.1016/s0964-8305(03)00052-0)
- Paula, J.E. 2005. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. *Cerne* 11:90-100.
- Pozo, C., Díaz-Visurraga, J., Contreras, D., Freer J. & Rodríguez J. 2006. Characterization of temporal biodegradation of radiata pine by *Gloeophyllum trabeum* through principal component analysis-based two-dimensional correlation FTIR spectroscopy. *Journal of the Chilean Chemical Society* 61:2878-2883. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072016000200006>
- Protásio, T.P., Bufalino, L., Tonoli, G.H.D., Couto, A. M., Trugilho, P. F., Guimarães Júnior, M. 2011. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira* 31(66):122-133. <http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200>
- Pyörälä, J., Saarinen, N., Kankare, V., Coops, N.C., Liang, X., Wang, Y., Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. 2019. Variability of wood properties using airborne and terrestrial laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 235:111474. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111474>
- Rathgeber, C.B., Cuny, H.E. & Fonti, P. 2016. Biological basis of tree-ring formation: a crash course. *Frontiers in Plant Science* 7:734. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00734>
- Resende, M.D.V. 2002. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. Embrapa Florestas, Colombo. 975 p.
- Resende, M.D.V. 2016. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 16:330-339. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- Santos, R.C., Carneiro, A.C.O., Castro, A.F.M., Castro, R.V., Bianche, J.J., Souza, M.M. & Cardoso, M.T. 2011. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis* 90:221-230.
- Santos, R.C.D., Carneiro, A.C.O., Pimenta, A.S., Castro, R.V.O., Marinho, I.V., Trugilho, P.F., Alves, I.C.N. & Castro, A.F.N.M. 2013. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. *Ciência Florestal* 23:493-504. <https://doi.org/10.5902/198050989293>
- Saueressig, D. 2014. Plantas do Brasil: árvores nativas. Editora Plantas do Brasil, Irati. 432 p.
- Schumacher, M.V., Calil, F.N. & Vogel, H.L.M. 2005. Silvicultura aplicada. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 120 p.
- Seraglio, S.K.T., Vales, A.C., Daguer, H., Bergamo, G., Azevedo, M. S., Nehring, P., Gonzaga, L.V., Fett, R., Costa, A.C.O. 2017. Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds, minerals, and antioxidant capacity of *Mimosa scabrella* Bentham honeydew honeys. *Food Research International* 99(1):670-678. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.024>
- Silva, D.A., Muller, B.V., Kuiaski, E.C., Eloy, E., Behling, A. & Colaço, C.M. 2015. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. *Pesquisa Florestal Brasileira* 35(84):481-485. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.677>

- Soares, V.C., Bianchi, M.L., Trugilho, p.F., Höfler, J., Pereira, A.J. 2015. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne* 21(2):191-197. <http://doi.org/10.1590/01047760201521021294>
- Streck, E.V., Kämpf, N., Dalmolin, R.S.D., Klamt, E., Nascimento, P.C., Giasson, E., Pinto, L.F.S., Flores, C.A. & Schneider, P. 2008. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Emater, Porto Alegre. 222 p.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 1999. Test methods. TAPPI Press, Atlanta, USA.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2000. Acid - insoluble lignin in wood and pulp. TAPPI T 222 om-98. *In* TAPPI Standard Method. TAPPI Press, Atlanta, USA. Cd-Rom.
- Telmo, C. & Lousada, J. 2011. Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy* 35(7):2634-2639. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043>
- Tomak, E.D., Topaloglu, E., Gümüşkaya, Umit, C. & Ay, N. 2013. An FT-IR study of the changes in chemical composition of bamboo degraded by brown-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85:131-138. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.05.029>
- White, R.H. & Dietenberger, M.A. 2001. Wood products: thermal degradation and fire. *In* Encyclopedia of materials: science and technology (K.H.J. Buschow, R.W. Cahn, M.C. Flemings, B. Ilschner, E.J. Kramer & S. Mahajan, eds.). Elsevier Science, Amsterdam.
- Yilgor, N., Dogu, D., Moore, R., Terzi, E. & Kartal, S.N. 2013. Evaluation of fungal deterioration in *Liquidambar orientalis* Mill. heartwood by FT-IR and light microscopy. *BioResources* 8(2): 2805-2826. <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.2805-2826>
- Zanatta, P., Baldin, T., Ribes, D.D., dos Santos, P.S.B. & Gatto, D.A. 2018. Macroscopia da madeira de *Eucalyptus* como ferramenta para identificação a campo. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 53(4):587-595. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n4.21981>
- Zattera, A.J., Bianchi, O., Zeni, M. & Ferreira, C.A. 2005. Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila – EVA. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* 15(1):73-78. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282005000100016>
- Zobel, B.J. & Jett, J.B. 2012. Genetics of Wood Production. Springer Science & Business Media.