

Recebido: 29-05-2014 Aceito: 16-12-2014

Caracterização da biomassa da madeira e da casca de *Mimosa scabrella* Benth cultivada em dois diferentes espaçamentos

Elder Eloy^{1*}, Dimas Agostinho da Silva¹, Braulio Otomar Caron², Velci Queiróz de Souza², Alexandre Behling¹, Elvis Felipe Elli², Gean Charles Monteiro²

¹Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

²Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS.

RESUMO O presente trabalho teve por objetivo realizar a caracterização energética da biomassa de madeira e da casca de *Mimosa scabrella* Benth cultivada sob dois diferentes espaçamentos de plantio: 2,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m, aos três anos de idade. O experimento foi conduzido no município de Frederico Westphalen-RS, instalado em um delineamento experimental de blocos completos aleatorizados em três repetições. Determinou-se a biomassa, poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (pb), teor de cinza (TCZ), teor de material volátil (TMV) e teor de carbono fixo (TCF) da madeira e da casca. O menor espaçamento do plantio proporcionou maior produtividade de madeira e casca. O PCS não apresentou variação em relação aos espaçamentos estudados. Os TCZ e TCF da casca foram superiores aos da madeira, diferentemente do que ocorreu com os TMV, em que os maiores valores foram observados na madeira.

Palavras-chave: bracatinga, densidade de plantio, recursos dendroenergéticos.

Characterization of biomass from wood and bark of *Mimosa scabrella* Benth grown in two different spacing

ABSTRACT This study aimed to perform the characterization of biomass energy from wood and bark of *Mimosa scabrella* Benth grown under two different planting spacings: 2.0x1.0m and 3.0x1.5m, the three years of age. The experiment was conducted in the city of Frederico Westphalen-RS, installed an experimental randomized complete block design with three replications. Was determined biomass, calorific power (PCS), basic density (pb), ash content (TCZ), content of volatile (TVM) and content of volatile (TCF) of wood and bark. The closer spacing of planting resulted in higher productivity of wood and bark. The PCS did not vary in relation to the studied spaces. The TCZ and TCF bark were higher than those of wood, unlike what happened with TMV, where the highest values were observed in the wood.

Keywords: bracatinga, planting density, energy resource wood.

* Autor correspondente: eloyelder@yahoo.com.br

Introdução

Ao longo das últimas décadas, a demanda por energia baseia-se, principalmente, por fontes não renováveis, fato que acarreta uma série de questionamentos relacionados ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico. Dessa forma, alguns países vêm buscando alternativas que minimizem esses problemas, sobretudo, mediante a intensificação do uso de fontes renováveis.

No campo energético, a madeira é tradicionalmente denominada de lenha e, assim, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e preparo de alimentos ao longo dos tempos, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007).

A bracinga (*Mimosa scabrella* Benth) pertencente à família *Fabaceae* também conhecida como família das leguminosas, é caracterizada por ser uma espécie perenifólia nativa das regiões de clima frio do Brasil, sendo tolerante a geadas (CARON et al., 2011). A maior área contínua de ocorrência é a região sul do país, com altitudes acima de 700 m, temperaturas médias anuais de 13 a 18,5 °C e sem déficit hídrico, sendo exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista, principalmente onde ocorrem áreas perturbadas (CARVALHO, 1994).

Com relação a materiais combustíveis, em que se enquadra a biomassa florestal, esses devem basear-se, no conhecimento do seu potencial para produção, densidade, capacidade de queima, taxa de combustão e do seu poder calorífico, sendo essa uma das propriedades energéticas mais importantes. Para Çengel; Boles (2006), o poder calorífico consiste na quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa do material combustível.

A massa específica básica é considerada como o principal parâmetro físico, usado para expressar a qualidade da madeira, devido a sua íntima relação com outras propriedades e, ainda, por ser de fácil determinação (EISFELD et al., 2009; MATTOS et al., 2011). A mesma está diretamente relacionada com a estrutura anatômica e composição química, acarretando possíveis alterações na resistência mecânica, na estabilidade dimensional e na qualidade da superfície usinada (LOPES et al., 2011) e, resultando em uma complexa combinação dos constituintes internos da madeira.

A análise química imediata é um teste que fornece a percentagem de umidade, teor de material volátil (TMV), teor de carbono fixo (TCF) e teor de cinzas (TCZ). Assim, ela representa a percentagem do material que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), bem como dá uma indicação do material residual (cinzas).

Para a produção madeireira com fins energéticos, normalmente, recomenda-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista que o objetivo é a produção do maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível (COUTO; MÜLLER, 2008). Procura-se a utilização de espécies que apresentam adaptação ao ambiente, altas produtividades e boas características energéticas (densidade da madeira e poder calorífico).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização energética da biomassa de madeira e casca da espécie arbórea *Mimosa scabrella* cultivada em diferentes espaçamentos, aos três anos após o plantio.

Material e Métodos

Caracterização da área em estudo

O trabalho foi realizado em um experimento localizado em área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus de Frederico Westphalen-RS, sob coordenadas geográficas de 27°22'S; 53°25'W, a 480 m de altitude. O solo predominante na área é do tipo Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013) e, no seu preparo para o plantio das mudas, foram realizadas as operações de aração e gradagem, sendo que o plantio foi feito de forma manual em setembro de 2008. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cfa.

O experimento foi avaliado utilizando o delineamento de blocos completos aleatorizados, em que foi avaliada uma espécie florestal (*Mimosa scabrella* Benth) e dois espaçamentos de plantio (2,0 x 1,0 m, e 3,0 x 1,5 m), sob três repetições.

Amostragem

As avaliações foram realizadas aos três anos após o plantio das mudas, em que foram selecionadas 36 árvores, correspondendo a 18 árvores por espaçamento, sendo que dessas, foram retirados discos com aproximadamente dois centímetros de espessura, nas seguintes posições no tronco: 0% (base), 1,30 m (diâmetro à altura do peito - DAP), 25%, 50% e 75% da altura total da árvore. Os discos foram numerados de acordo com sua posição relativa no tronco e localização experimental. Em seguida, foram marcadas, separadas a casca da madeira, e posteriormente, seccionadas duas cunhas simetricamente opostas de cada disco, para os ensaios posteriores.

Biomassa (Bio)

Para determinação da biomassa da madeira e casca da *Mimosa scabrella*, utilizou-se o método direto que consiste na derrubada e pesagem dos diferentes compartimentos da biomassa (madeira e casca) das árvores (SANQUETTA, 2002). De cada secção ao longo do tronco foram retiradas amostras para aferição de sua massa verde e seca em laboratório. As amostras dos diferentes compartimentos foram pesadas, identificadas e levadas para secagem em estufa a 103±2° C, com circulação e renovação de ar, até o peso constante.

O peso de matéria seca da madeira e da casca, em t/ha, foi calculado considerando a densidade populacional de cada espaçamento, admitindo-se uma sobrevivência igual a 100%, conforme verificado nas condições de campo do experimento.

Massa específica básica (ρ_b)

Os procedimentos para esta avaliação foram realizados de acordo com a norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003).

A ρ_b da madeira e casca em cada posição relativa do tronco foi determinada pela média dos valores das duas cunhas. Em seguida, calculou-se a massa específica básica ponderada ($\rho_{b\text{ pond}}$) em função do volume total sem casca de cada árvore, de acordo com o método proposto por Eloy et al. (2014).

Poder calorífico superior (PCS)

Para a determinação do PCS dos diferentes compartimentos das árvores, foram utilizados os materiais obtidos na amostragem, sendo esses moídos em moinho de facas, passados em peneira de 40 mesh, visando à obtenção de um material fino e uniforme. Utilizou-se uma bomba calorimétrica digital modelo C5000 Cooling System, IKA Werke, com princípio de funcionamento adiabático, de

acordo com as descrições da norma técnica NBR 8633 (ABNT, 1984).

O PCS da madeira e casca em cada posição do tronco foi determinado pela média dos valores das duas cunhas. Em seguida, calculou-se o poder calorífico superior ponderado em função do peso total de cada árvore, de acordo com método proposto por Eloy et al. (2014).

Análise química imediata (AQI)

Para a determinação da AQI, utilizou-se a norma técnica NBR 8112 (ABNT, 1983), em que se determinaram os teores de material volátil (TMV), o teor de cinza (TCZ) e o teor de carbono fixo (TCF).

Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *Software "Statistical Analysis System"* (SAS, 2003), em que se realizou a análise de variância (ANOVA), teste F e para comparações de médias, realizou-se o teste de médias Tukey em 5% de significância.

Resultados e Discussão

A análise de variância revelou diferença significativa para a produção de biomassa de madeira e casca nos dois espaçamentos de plantio estudados (Tabela 1). Em contrapartida, esta característica não foi observada para as demais variáveis analisadas (PCS, ρ_b , TMV, TCZ, e TCF).

Observa-se que para a biomassa da madeira e da casca de *Mimosa scabrella* (Tabela 2), existe uma relação direta da densidade de plantio com a produção da biomassa, ou seja, no tratamento com maior densidade de plantas (2,0 x 1,0 m) foram observados os maiores valores quando comparados com o espaçamento menos adensado (3,0 x 1,5 m). Para Botelho (1998) e Oliveira Neto et al. (2003), ocorre maior

produção de biomassa por unidade de área nos espaçamentos mais reduzidos, influenciado, principalmente, pelo maior número de indivíduos.

Esses resultados estão de acordo com pesquisas já realizadas (LELES et al., 2001; MÜLLER et al., 2005), que estão relacionadas à influência da densidade de plantio na produção de povoamentos florestais. Outros autores como Assis et al. (1999) e Ladeira et al. (2001) encontraram diferença na distribuição de biomassa entre diferentes espécies e para a mesma espécie, em função de fatores como espaçamento de plantio, idade do povoamento e qualidade de sítio.

De modo geral, pode-se observar variações decrescentes de produção de biomassa nos diferentes compartimentos das plantas, em função do aumento da área útil, ou seja, do espaçamento de plantio. Por outro lado, vale ressaltar que com o tempo, a quantidade de madeira acumulada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos. Nos plantios mais densos, ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens do que nos plantios com espaçamentos mais amplos, em que a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas (MÜLLER et al., 2005).

Os resultados de ρ_b (g cm⁻³) são próximos aos obtidos por Eloy et al. (2013a), que encontraram para a madeira o valor médio de 0,41 g cm⁻³. Em contrapartida, são inferiores aos relatados por Sturion; Tomaselli, (1990), que observaram valores para esta característica tecnológica de 0,52 g cm⁻³, aos 7 anos de idade. Assim como Costa et al. (2001), que citaram valores que variaram entre 0,59 a 0,63 g cm⁻³, confirmando a existência de variabilidade dentro da espécie.

Os resultados de ρ_b apresentados na Tabela 2, estão no intervalo que Quirino et al. (2005) encontraram para 108 espécies florestais, variando de 0,20 a 1,08 g cm⁻³. Esses também corroboram com os observados por Vital; Della

Lucia (1987) e Eloy et al. (2013a), que não encontraram efeito significativo do espaçamento na ρ_b da madeira. No entanto, são divergentes dos encontrados por Garcia et al. (1991) relataram uma diminuição da ρ_b da madeira com o aumento do espaçamento em madeiras de *E. grandis* e *E. saligna*.

Tabela 1. Análise de variância para o poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ρ_b) materiais voláteis (TMV), cinzas (TCZ), carbono fixo (TCF) e biomassa (Bio) da madeira e da casca da *Mimosa scabrella* distribuída nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m.

Table 1. Analysis of variance for the calorific value (PCS), basic density (ρ_b), volatile materials (TMV), ash (TCZ), fixed carbon (TFC) and biomass (Bio) wood and bark of *Mimosa scabrella* distributed in spaced 2.0 x 1.0 m and 3.0 x 1.5 m.

Fator de estudo	GL	Quadrado Médio					
		PCS	ρ_b	TMV	TCZ	TCF	Bio
Madeira							
Espaçamento	1	7776,0	0,0002	2,760	0,183	1,411	1770,86*
Bloco	2	3937,2	0,0007	0,021	0,049	0,829	0,108
Resíduo	12						
Coeficiente de determinação (R^2)		0,57	0,65	0,96	0,87	0,67	0,98
Coeficiente de variação (%)		1,7	4,8	0,3	8,1	5,2	10,4
Fcalc.		0,36	0,56	0,064	0,09	0,31	0,0001*
Casca							
Espaçamento	1	16960,1	0,001	0,120	0,001	4,200	38,64*
Bloco	2	109412,6	0,002	2,750	0,480	3,424	0,05
Resíduo	12						
Coeficiente de determinação (R^2)		0,91	0,84	0,96	0,70	0,69	0,91
Coeficiente de variação (%)		2,6	2,6	0,4	7,9	8,67	22,8
Fcalc.		0,36	0,15	0,36	0,95	0,31	0,0001*

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Fisher.

Tabela 2. Valores médios para o poder calorífico superior (PCS), em kcal kg⁻¹, massa específica básica (ρ_b), em g cm⁻³, materiais voláteis (TMV), em %, teor de cinzas (TCZ), em %, carbono fixo (TCF), em % e biomassa (Bio), em ton ha⁻¹, da madeira e da casca da *Mimosa scabrella*.

Table 2. Average values of (PCS) in kcal kg⁻¹, basic density (ρ_b) in g cm⁻³, volatiles (TMV), in %, ash content (TCZ), in %, fixed carbon (TCF), in % and biomass (Bio), in ton ha⁻¹ of wood and bark of *Mimosa scabrella*.

Espaçamento	PCS	ρ_b	MV	CZ	CF	Bio
Madeira						
2,0 x 1,0	4321 (34,0)	0,40 (0,031)	82,55 (1,2)	1,52 (0,6)	16,05 (1,1)	24,89 (1,8) a
3,0 x 1,5	4393 (92,8)	0,41 (0,006)	81,19 (1,1)	1,87 (0,1)	17,02 (1,2)	4,84 (0,5) b
Valor F	0,57 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,0001*
Casca						
2,0 x 1,0	4277 (155,6)	0,38 (0,015)	74,54 (7,5)	5,65 (0,8)	18,81 (7,1)	3,82 (0,7) a
3,0 x 1,5	4170,6 (312,8)	0,405 (0,071)	74,25 (3,12)	5,62 (1,1)	17,13 (4,2)	0,91 (0,5) b
Valor F	0,14 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,0001*

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si em 5% de significância conforme a distribuição de Tukey; Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para Eloy et al. (2013b) essas divergências de resultados podem ser decorrentes de diversos fatores, como a variabilidade genética dos povoamentos, diferentes condições ambientais e em função das diferentes idades das árvores.

Segundo Vale et al. (2002) ao se utilizar de madeira com baixa ρ_b para a produção direta de calor, haverá uma queima rápida e uma menor produção de energia por unidade de volume. Madeiras menos densas, apresentam maiores proporções de materiais voláteis, que interferem significativamente na ignição e na reatividade. Dessa forma, acelera o processo de combustão e diminui o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética (CHAVES et al., 2013).

Em contrapartida, madeiras com maiores ρ_b apresentam altos índices de carbono fixo e, assim têm queima mais lenta àquelas com elevados teores de materiais voláteis, implicando em um maior tempo de residência nos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menores teores (CHAVES et al., 2013). Assim, a ρ_b e o teor de carbono fixo podem ser utilizados como indicadores de madeira para combustão direta, apresentando relação direta com o poder calorífico.

Quando analisado o PCS da madeira e da casca das árvores, observou-se que não ocorreu variação sistemática crescente ou decrescente em relação ao espaço vital proporcionado pelo espaçamento, apresentando valores de 4.170 a 4.393 kcal kg⁻¹ nos espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m, respectivamente (Tabela 2). Esses valores são inferiores aos encontrados por Sturion; Tomaselli (1990) que encontram valores de PCS 4.414 kcal kg⁻¹ semelhantes aos valores encontrados no presente trabalho e, também aos observados por Silva; Biassio (2009) e Silva et al. (2012) que relataram valores de 4.782 e 4.511 kcal kg⁻¹, respectivamente, para *Mimosa scabrella*.

Com relação aos TCZ (5,65% e 5,62%) e TCF (18,81% e 17,13%) da casca foram superiores aos TCZ (1,52% e 1,87%) e TCF (16,05% e 17,02%) da madeira para os espaçamentos 2,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m, respectivamente, diferentemente do que ocorreu com TMV. Para essa variável, a maior quantidade foi observada na madeira (82,55% e 81,19%) quando comparada com a casca (74,54% e 74,25%) (Tabela 2). Resultados semelhantes para os três parâmetros foram encontrados por Brito; Barrichello (1978) em trabalho realizado com cinco espécies de eucaliptos e, da mesma forma, por Vale et al. (2002) trabalhando com 47 espécies do cerrado. Já os teores TMV e TCF na madeira estão de acordo com os valores médios de várias espécies florestais observados por Brito; Barrichello (1982), que relataram teores máximos de 85% e 25%, respectivamente.

Para Vieira et al. (2013), o TCF está relacionado à quantidade de TCZ e TMV, pois o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo os TCZ e teores de umidade. O TCF depende principalmente do TMV, já que os TCZ, principalmente para madeira, são baixos. Para o mesmo autor, madeiras com maiores TCF apresentaram maiores ρ_b . Assim, a ρ_b e o TCF podem ser utilizados como indicadores de madeira para combustão direta. O TCF tem relação direta com o PCS, independentemente do material utilizado e, dessa forma, o que se espera é que elevados teores de TCF implique em um maior PCS (VIEIRA et al., 2013).

A avaliação da quantidade do TCZ é interessante para um produto energético, pois, quanto presente em alta concentração pode diminuir o PCS e causar perda da eficiência energética, além de deixar elevados resíduos inorgânicos (VIEIRA et al., 2013). O mesmo corresponde a substâncias que não entram em combustão ficando na forma sólida e são indesejáveis para uso energético, estando

relacionado com a presença de minerais provenientes, em parte, da adubação química (VALE et al., 2011).

Conclusões

Através do estudo realizado para a espécie florestal *Mimosa scabrella* aos três anos de idade, pôde-se concluir que:

Os dois espaçamentos de plantio avaliados apresentaram diferentes produções de biomassa da madeira e da casca por unidade de área, sendo verificada uma variação negativa em relação ao espaço vital proporcionado pelos espaçamentos.

O poder calorífico superior da madeira e da casca das árvores não apresentou variação em relação aos espaçamentos estudados.

Os teores de cinzas e carbono fixo da casca foram superiores aos da madeira independente dos espaçamentos, diferentemente do que ocorreu com os teores de materiais voláteis, em que os maiores valores foram observados no compartimento madeira.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ASSIS, R. L. FERREIRA, M. M.; MORAES, E. J.; FERNANDES, L. A. A produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.

BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: Scolforo, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 381-405.

BRITO, J. B. **O uso energético da madeira**. Estudos Avançados, v.21, n.59, p. 1-9, 2007.

BRITO, J. O.; BARRICHELLO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustível. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, São Paulo. **Anais...** 2., 1982, São Paulo, p. 101-137.

BRITO, J. O.; BARRICHELLO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, n.16, p.63-70, 1978.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R. Resistência inicial de quatro espécies arbóreas em diferentes espaçamentos após ocorrência de geadas. **Ciência Rural**, v.41, n.5, p.817-822, 2011.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: Embrapa-CNPQ. Brasília: Embrapa-SPI, 1994, 639p.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 5.ed. Mc Graw-Hill, 2006, 740 p.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga). **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 59-70, 2001.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Florestas Energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para Energia**. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. p. 93-108.

EISFELD, R.; EISFELD, C. L.; FERREIRA, J. M.; PIMENTEL, A.; RODRIGUES, F.; ALMEIDA, A. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a partir de variáveis dendrométricas e da massa específica do disco. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, E. F. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies

- arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 551-559, 2014.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A. L.; BUSANELLO, C. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, v. 21, p. 50-53, 2010.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D. Variação axial e efeito do espaçamento na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. **Ciência da Madeira**, v. 04, n. 2, p. 215-227, 2013b.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M. L. B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 327 - 334, 2013a.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1 ed. Brasília-DF: Editora Embrapa, 2013, 353 p.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/ CEPEF/ FATEC, 2002. 269p.
- GARCIA, C. H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, p. 1-8, 1991. (Circular Técnica, 179).
- LADEIRA, B. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma sequência de idade. **Revista Árvore**, v. 25, n. 1, p. 69 - 78, 2001.
- LELES, P. P. S. REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.
- MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.
- MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.
- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, v. 15, n. 89, p. 100-106, 2005.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, Brasil: 2002. p. 119-140.
- SAS – Statistical Analysis System: **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.
- SILVA, D. A. CARON, B. O.; BEHLING, A.; SOUZA, V. Q.; ELOY, E. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p.1588-1595, 2012.
- SILVA, D. A.; BIASSIO, B. Múltiplos usos da *Mimosa scabrella*. **Revista da Madeira**, v. 120, p. 23-25, 2009.
- STURIOM, J. A.; TOMASELLI, I. Influência do tempo de estocagem de lenha de bracinga na produção de energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 21, p. 37-47, 1990.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, p. 71-80, 2002.
- VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011
- VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.