

DENSIDADE BÁSICA E ESTIMATIVA DE MASSA SECA E DE LIGNINA NA MADEIRA EM ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

Basic density and dry mass and lignin mass estimate in *Eucalyptus* wood species

Paulo Fernando Trugilho¹

RESUMO

Objetivou-se, no presente trabalho, usar três diferentes formas para estimar a densidade básica da madeira, visando a obtenção da estimativa de massa seca e a massa de lignina na madeira em nove espécies de *Eucalyptus*, em diferentes idades. Foram usadas três formas de estimativa da densidade básica da madeira, ou seja, em um único ponto no tronco (1,3 m de altura do solo), a média ponderada pelo volume e a média aritmética. Essas estimativas foram usadas para a determinação da massa seca e de lignina na madeira. Os resultados indicam que o *Eucalyptus grandis* W.Hill. (EG), aos quatro anos, e o híbrido (HB), nas demais idades, foram as espécies que se destacaram no incremento volumétrico. O efeito da forma de estimativa somente foi significativo para a densidade básica nas idades de cinco, seis e sete anos. O HB foi à única espécie que apresentou diferença entre as formas de estimativa de densidade básica da madeira. O EG e o HB foram as espécies que se destacaram na produção de massa seca e de lignina, apesar de não serem as madeiras de maior densidade básica e maior teor de lignina. O incremento volumétrico desempenhou importante papel nas estimativas de massa seca e de lignina na madeira e, portanto, deve ser considerado em todas as utilizações da madeira que depender dessas estimativas.

Termos para indexação: Densidade básica, madeira, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

The objective of the research was to use three different forms to calculate the basic wood density of trees to obtain the estimate of dry mass and lignin mass of nine *Eucalyptus* wood species, at different ages. Three different forms were used to estimate the basic density of wood, at only one point on the trunk (1,3 m of height from the ground), the average weighted estimate by volume, and the arithmetical average. These estimates were used for the determination in the estimates of dry mass and lignin mass in the wood. The results showed the *Eucalyptus grandis* W. Hill., at four years of age, and the hybrid, at other ages were the species that highlighted in volumetric increment. The effects of species, age, and interaction species x age were significant for all the evaluated features. The effect of the estimate form was only significant for the basic density at ages five, six, and seven years. The hybrid was the only species that presented a difference in the forms of estimating basic wood density. *Eucalyptus grandis* and the hybrid were the species that highlighted in the production of dry mass and lignin, in spite of not being wood with the greater basic density and lignin content. The volumetric increment played an important role in the estimates of dry mass and lignin in the wood. So, it must be considered in all applications of wood that depend on these estimates.

Index terms: Basic density, Wood, *Eucalyptus*.

(Recebido em 17 de outubro de 2006 e aprovado em 17 de setembro de 2007)

INTRODUÇÃO

Segundo Brito et al. (1984) o *Eucalyptus* é um importante gênero fornecedor de matéria-prima para diversas finalidades industriais. Várias das espécies desse gênero se adaptaram perfeitamente às nossas condições edafoclimáticas e passaram a ser importantes matérias-primas para a produção de lenha, carvão vegetal, celulose, entre outros. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2005) a lenha somada ao carvão vegetal participa com 11,5% do consumo por fonte na matriz energética nacional. Grande parte desse consumo advém da madeira do gênero *Eucalyptus*, que é amplamente plantado no Brasil.

No estado de Minas Gerais, o *Eucalyptus* é o principal fornecedor de carvão vegetal para o

abastecimento do setor siderúrgico. De acordo com a Associação Mineira de Silvicultura (2006), Minas Gerais consumiu 66,1% de todo o carvão vegetal produzido no Brasil em 2005, demonstrando a importância desse produto para o Estado. O carvão vegetal é um produto que sofre influência direta da madeira de origem. Assim, existem potencialidades diferentes de acordo com a espécie utilizada. Algumas das características intrínsecas da madeira que afetam a produção de carvão vegetal são a densidade básica e o teor de lignina na madeira. Todavia, o incremento volumétrico da árvore pode influenciar significativamente tal produção, uma vez que afeta diretamente a quantidade de massa seca do indivíduo. Segundo Botrel (2006) os ganhos esperados, na seleção de clones, são de 25,55,

¹Engenheiro Florestal, Doutor, Professor – Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – trugilho@ufla.br

6,98, 27,58, 9,36 e 33,46%, respectivamente, para o volume individual, densidade básica, massa seca estimada, teor de lignina e massa de lignina estimada na madeira. Demonstrando a importância que as estimativas de massa seca e de lignina, apresentam sobre a seleção de materiais genéticos destinados aos usos energéticos da biomassa.

Dessa forma, as estimativas de biomassa seca e de lignina passam a ser fatores de fundamental importância quando a madeira é destinada para a produção de energia, tanto na forma de lenha como de carvão vegetal, e também para a fabricação de celulose e papel e chapas de fibras. Segundo Oliveira et al. (1991) a quantificação de massa de madeira é preferível para esses usos, mais do que a utilização dos parâmetros dendrométricos, como, por exemplo, o volume de madeira.

Atualmente, várias empresas do setor florestal utilizam a informação da estimativa de massa de madeira por área para fazer previsão da quantidade de produtos a ser gerado por material genético e por área. Empresas como as de produção de celulose já conseguem estimar a produção de celulose por clone, por hectare e por ano. Essa nova característica está sendo chamada de imacel, ou seja, incremento médio de celulose. As empresas que produzem carvão vegetal também estão procurando fazer algo semelhante, ou seja, estimar o imacarv, incremento médio em carvão vegetal. Para que isso possa se tornar uma realidade é preciso estimar com precisão a densidade básica do material genético e determinar o seu incremento volumétrico, para poder estimar a massa seca produzida por área.

Para se estimar a massa seca de madeira pode-se optar por diversos métodos ou procedimentos. Uma alternativa é usar modelos de regressão ajustados para dada localidade, com os quais se determine a relação entre a massa estimada, o diâmetro e a altura das árvores, em amostra representativa da área. Esse procedimento usa o volume do fuste comercial das árvores e a densidade básica média dos indivíduos. O método depende do tamanho da amostra e da intensidade da amostragem da densidade básica ao longo do fuste das árvores. Sabe-se que a densidade básica da madeira varia tanto no sentido transversal como no longitudinal ao fuste das árvores. De acordo com Downes et al. (1997) diferentes formas de amostragens longitudinais no tronco das árvores podem levar a diferentes estimativas da densidade básica da madeira. Conseqüentemente, tanto o tipo de amostragem quanto a forma e o método de obtenção da estimativa da densidade básica podem promover diferenças nas estimativas de massa seca e nas estimativas de produtos por área.

Objetivou-se, no presente trabalho usar três diferentes formas para estimar a densidade básica da madeira, visando a obtenção da estimativa de massa seca e a massa de lignina na madeira em nove espécies de *Eucalyptus*, em diferentes idades.

MATERIALE MÉTODOS

Material Experimental

Foram utilizadas, neste estudo, árvores-amostras de nove espécies de *Eucalyptus*, de diferentes idades, procedentes de povoamentos implantados pela COPENER, em Alagoinhas-BA, e pela PAINS FLORESTAL, em Três Marias-MG, conforme descrito na Tabela 1. As árvores foram plantadas em espaçamento comercial de 3 x 2 m.

As árvores-amostras selecionadas nos povoamentos foram aquelas cujos diâmetro à 1,30 m de altura do solo (DAP) estava compreendido entre o DAP médio estimado para a população o seu desvio padrão ($\bar{x} \pm DP$). Foram amostradas cinco árvores-amostras por espécie e por idade, resultando em um total de 85 árvores. Tomou-se o cuidado de escolher somente árvores em bom estado fitossanitário e evitou-se aquelas plantadas nas bordas dos talhões.

De cada árvore amostra foram retirados toretes de 30 cm de comprimento a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco (VITAL, 1984), que foi considerada até um diâmetro mínimo de 5 cm. Nessas posições, foram medidos os diâmetros com e sem casca para a determinação do volume individual de madeira por espécie e idade. Um torete extra foi retirado a 1,3 m de altura do solo (DAP). Na porção mediana de cada torete, foi retirado um disco de 2,5 cm de espessura, o qual foi subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. Uma das partes foi destinada à determinação da densidade básica e outra foi destinada à determinação do teor de lignina na madeira. As duas partes restantes foram armazenadas em caso de necessidade posterior. As partes selecionadas, por altura do tronco, foram convenientemente identificadas e utilizadas para representar a árvore inteira. Os cinco pontos amostrados (0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial) foram utilizados na determinação da densidade básica e teor de lignina. O torete retirado na altura do DAP foi utilizado para determinar somente a densidade básica da madeira. Todas as árvores-amostra foram cubadas rigorosamente para a determinação do seu volume individual. Na Figura 1 apresenta-se o esquema da amostragem usada nas árvores selecionadas.

Tabela 1 – Relação das espécies de *Eucalyptus* utilizadas.

Código	Espécie	Idade (Anos)	Local de Coleta	Procedência	Subgênero
EG	<i>E. grandis</i>	4	COPENER	Paluma	Symphyomyrtus
EU	<i>E. urophylla</i>	4	PAINS FLORESTAL	Itamarandiba**	Symphyomyrtus
ECl	<i>E. cloeziana</i>	4	PAINS FLORESTAL	Capelinha ***	Idiogenes
ER	<i>E. resinifera</i>	4	PAINS FLORESTAL	Lewis Track QD	Symphyomyrtus
ECm	<i>E. camaldulensis</i>	4	PAINS FLORESTAL	Bom Despacho****	Symphyomyrtus
EM	<i>E. maculata</i>	7	COPENER	Gympie	Corymbia
EP	<i>E. pellita</i>	7	COPENER	Morada Nova*	Symphyomyrtus
ET	<i>E. tereticornis</i>	7	COPENER	Mareeba	Symphyomyrtus
EU	<i>E. urophylla</i>	7	COPENER	Lençóis Paulista	Symphyomyrtus
HB	Híbrido	7	COPENER	Aracruz	Symphyomyrtus
ECl	<i>E. cloeziana</i>	7	COPENER	Mtao Forest	Idiogenes
	<i>E. pellita</i>	5	COPENER	Helenvale	Symphyomyrtus
EP	<i>E. pellita</i>	6	COPENER	Morada Nova*	Symphyomyrtus
	<i>E. pellita</i>	7	COPENER	Morada Nova*	Symphyomyrtus
	<i>E. urophylla</i>	5	COPENER	Guarujá	Symphyomyrtus
EU	<i>E. urophylla</i>	6	COPENER	Avaré	Symphyomyrtus
	<i>E. urophylla</i>	7	COPENER	Lençóis Paulista	Symphyomyrtus
	HÍBRIDO	5	COPENER	Aracruz	Symphyomyrtus
HB	HÍBRIDO	6	COPENER	Aracruz	Symphyomyrtus
	HÍBRIDO	7	COPENER	Aracruz	Symphyomyrtus

* Origem Helenvale, ** Origem Timor, *** Origem Gympie, **** Origem Petford.

Híbrido = Cruzamento entre o *Eucalyptus grandis* com o *Eucalyptus urophylla*.

A densidade básica média ponderada pelo volume foi estimada utilizando-se a equação 1 e a

densidade básica média aritmética da árvore foi obtida pela equação 2.

$$DBmP = \frac{(DBm_{(0-25\%)} \times V_{(0-25\%)}) + \dots + (DBm_{(75-100\%)} \times V_{(75-100\%)})}{V_{(0-25\%)} + V_{(25-50\%)} + V_{(50-75\%)} + V_{(75-100\%)}} \quad (1)$$

em que, DBmP é a densidade básica média ponderada da árvore, g/cm³; DBm é a densidade básica média entre as posições da base (0%) e 25%, 25% e 50%, 50% e 75% e

75% e 100% da altura comercial, g/cm³; V é o volume das seções entre as posições da base (0%) e 25%, 25% e 50%, 50% e 75% e 75% e 100% da altura comercial, m³.

$$DBmA = \frac{DB_{0\%} + DB_{25\%} + DB_{50\%} + DB_{75\%} + DB_{100\%}}{5} \quad (2)$$

onde, DBmA é a densidade básica média aritmética da árvore, g/cm³; DBm é a densidade básica média por ponto de amostragem, g/cm³.

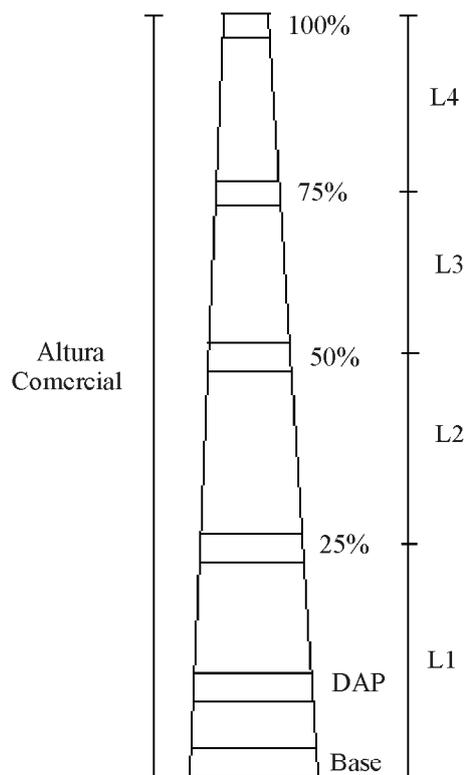


Figura 1 – Esquema da forma de amostragem usada nas árvores.

Características Avaliadas na Madeira

As características avaliadas na madeira foram a densidade básica e teor de lignina Klason. A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984), em cada ponto amostrado no tronco das árvores. Foram considerados os valores de densidade básica média estimada por diferentes formas: pela média ponderada pelo volume; pela média aritmética considerando-se os pontos de amostragem longitudinal no tronco (base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial); e pelo valor obtido na posição do DAP.

O teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide & Demuner (1986). O teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldschimid (1971) (equação 3). A lignina total foi tomada como sendo a soma das ligninas solúvel e insolúvel. O teor de lignina foi determinado por meio de uma amostra composta por material proveniente dos cinco pontos equidistantes considerados no tronco de cada árvore-amostra.

$$\text{TLS (\%)} = \frac{(4,53 \times A_{215}) - A_{280}}{300 \times P} \times 100 \quad (3)$$

em que, A_{215} é a Absorbância do filtrado em 215 nm; A_{280} é a Absorbância do filtrado em 280 nm; P é o peso da amostra de madeira usada, em gramas.

Estimativa de Massa Seca e de Lignina

As estimativas de massa seca e de lignina foram obtidas a partir das três diferentes formas de estimativa de densidade básica da madeira aplicados nesse trabalho.

Delineamento Experimental Adotado

Na avaliação experimental adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições (5 árvores-amostras). Dentre as variáveis dendrométricas observadas nas árvores (DAP com e sem casca; ht e hc; V com e sem casca), optou-se por avaliar somente os volumes, com e sem casca. Para os volumes, foi avaliado o efeito da espécie para a idade de quatro e sete anos, além dos efeitos de espécie e idade para cinco, seis e sete anos. Para a densidade básica, estimativa de massa seca e de lignina

foi usado o delineamento inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial com dois fatores, espécies e método, para a idade de quatro e sete anos. Para os materiais com cinco, seis e sete anos de idade foram avaliados três fatores, ou seja, espécie, idade e método. Para o teor de lignina foi avaliado somente o efeito da espécie para a idade de quatro e sete anos, além dos efeitos de espécie e idade para cinco, seis e sete anos de idade. Foram avaliados também todos os efeitos das interações. Os modelos estatísticos associados aos experimentos estão representados nas equações 4, 5, 6 e 7.

$$Y_{ij} = \mu + E_i + e_{ij} \quad (4)$$

onde, Y_{ij} é a i -ésima observação da j -ésima repetição para os volumes, com e sem casca, e o teor de lignina da madeira aos 4 e 7 anos de idade, μ é a média geral, E_i é o efeito da i -ésima espécie.

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + I_j + (EI)_{ij} + e_{ijk} \quad (5)$$

em que, Y_{ijk} é a i -ésima observação da j -ésima idade na k -ésima repetição para os volumes, com e sem casca, e o teor de lignina da madeira aos 5, 6 e 7 anos de idade, I_j é o efeito da j -ésima idade, $(EI)_{ij}$ é o efeito da interação espécie x idade.

$$Y_{iik} = \mu + E_i + F_l + (EF)_{il} + e_{iik} \quad (6)$$

onde, Y_{iik} é a i -ésima observação da l -ésima forma de estimativa na k -ésima repetição para a densidade básica e estimativas de massa seca e de lignina na madeira, aos 4 e 7 anos de idade, F_l é o efeito da l -ésima forma de estimativa, $(EF)_{il}$ é o efeito da interação espécie x forma.

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + I_j + F_l + (EI)_{ij} + (EF)_{il} + (IF)_{jl} + (EIF)_{ijl} + e_{ijk} \quad (7)$$

em que, Y_{ijk} é a i -ésima observação da j -ésima espécie na l -ésima forma de estimativa na k -ésima repetição para a densidade básica e as estimativas de massas aos 5, 6 e 7 anos de idade, $(IF)_{jl}$ é o efeito da interação idade x forma de estimativa, $(EIF)_{ijl}$ é a interação tripla. Os erros experimentais são representados por e_{ij} , e_{ijk} , e_{iik} e e_{ijk} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Volumes com e sem casca

Na Tabela 2 apresenta-se o resumo da análise de variância para a característica volume, com e sem

casca, das espécies e idades avaliadas. Observa-se que o efeito de idade foi significativo para quatro, sete e cinco, seis e sete anos de idade. O efeito da idade e da interação espécie x idade foram também significativos, o que era esperado. Interação significativa indica que existe dependência entre os fatores espécie e idade. Dessa forma, realizou-se o desdobramento da interação e avaliação do efeito de idade, dentro de espécies.

Os resultados médios e o teste de comparação múltipla para o volume, com e sem casca, das espécies de *Eucalyptus* estão apresentados na Tabela 3. Observa-se, pela Tabela 3, que existe uma tendência geral de aumento nos diâmetros e alturas e, conseqüentemente, nos volumes com o aumento da idade do material. Analisando a idade de quatro anos, verifica-se que o *Eucalyptus grandis* W. Hill. (EG) apresentou o maior volume, destacando-se em relação aos demais. Esse resultado certamente está associado à localidade e às diferentes condições edafoclimáticas dos municípios de Alagoinhas-BA e Três Marias-MG. Para sete anos de idade o destaque foi o híbrido (HB), o qual apresentou um volume, sem casca, 390% superior ao do *Eucalyptus tereticornis* Sm. (ET), espécie de menor volume médio.

Considerando os materiais nas três diferentes idades observa-se que o *Eucalyptus pellita* F. Muell. (EP) apresentou aumento de 31,17%, do quinto para o sexto ano, e um decréscimo de 7,39%, do sexto para o sétimo ano de idade, no volume, sem casca. Essa espécie apresentou um ligeiro aumento no volume, com casca, do sexto para o sétimo ano de idade (1,38%). O *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (EU) apresentou queda de 10,43%, do quinto para o sexto ano, e um aumento de 135,87%, do sexto para o sétimo ano de idade, no volume, sem casca. O híbrido apresentou aumento de 38,17% e 44,62% no volume, sem casca, do quinto para o sexto e do sexto para o sétimo ano de idade, respectivamente. O EP não apresentou diferença estatística para os volumes, tanto com como sem casca, entre as idades avaliadas, indicando uma estabilização do volume a partir do sexto ano. O EU apresentou diferença estatística significativa para os volumes, com e sem casca, do sexto para o sétimo ano de idade. O HB apresentou diferença estatística significativa entre os volumes com e sem casca, entre todas as idades avaliadas. Esse fato indica que tanto o EU como HB ainda estão em franco crescimento aos sete anos de idade.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para o volume, com e sem casca, das espécies aos quatro, sete e cinco, seis e sete anos de idade

FV	Quatro Anos			
	Volume CC (m ³)		Volume SC (m ³)	
	GL	QM	GL	QM
Espécie	4	0,022376 **	4	0,017581 **
Resíduo	20	0,000621	20	0,000485
CV (%)	28,35		31,50	
FV	Sete Anos			
	GL	QM	GL	QM
	Espécie	5	0,089249 **	5
Resíduo	24	0,002835	24	0,002009
CV (%)	23,92		24,67	
FV	Cinco, Seis e Sete Anos			
	GL	QM	GL	QM
	Espécie (E)	2	0,209388 **	2
Idade (I)	2	0,064231 **	2	0,041907 **
E x I	4	0,015468 **	4	0,013291 **
Resíduo	36	0,002731	36	0,001877
CV (%)	23,53		23,87	

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade, QM = quadrado médio, CC e SC = com e sem casca, ** = significativo a 1% de probabilidade.

Características avaliadas na madeira

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resumos das análises de variância para as características avaliadas na madeira. Pela Tabela 4, observa-se que, para quatro e sete anos de idade, somente o efeito de espécie foi significativo para a densidade básica, estimativa de massa seca e de lignina na madeira. A interação espécie x forma de estimativa foi não significativa, indicando a independência entre os dois fatores. O efeito da forma de estimativa de determinação foi não-significativo, indicando a não-existência de diferença estatística entre as formas de estimativa usadas, tanto para a densidade básica como as massas.

Pela Tabela 4, observa-se que, para as idades de cinco, seis e sete anos de idade, os efeitos de espécie, idade e interação espécie x idade foram significativos para as três características avaliadas. O efeito de forma de estimativa foi significativo somente para a densidade básica da madeira. O efeito significativo da interação espécie x idade era esperado, pois essa característica sofre influência direta da idade. Vital et al. (1984) observaram aumento linear da densidade básica do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* de um ao sétimo ano de idade. Resultado idêntico foi encontrado por Trugilho et al. (1996)

para o *Eucalyptus saligna* Sm. de 12 a 48 meses de idade. Interação significativa indica a existência de dependência entre os fatores espécie e idade, assim optou-se por realizar o desdobramento da interação e avaliação do efeito de idade dentro de espécies.

Pela Tabela 5, observa-se que o efeito de espécie foi significativo para o teor de lignina em todas as idades consideradas. Para as três idades diferentes, o efeito da interação espécie x idade foi significativo, indicando a existência de dependência entre os dois fatores. Trugilho et al. (1996) encontraram relação de decréscimo no teor de lignina com o aumento da idade, em *Eucalyptus saligna*. Os autores indicaram que a redução é acentuada de 12 para 36 meses de idade, tendendo a uma estabilização de 36 para 48 meses de idade.

Na Tabela 6, apresentam-se os resultados médios da densidade básica e massa seca estimada na madeira das espécies avaliadas e o teste de comparação múltipla. Pode-se observar que as estimativas de massa seca obtidas pela densidade básica média ponderada pelo volume e pela densidade básica média aritmética foram bem próximas, em todas as espécies e idades consideradas. A estimativa de massa seca obtida com a densidade básica a 1,3 m de altura do solo (DAP), na maioria dos casos, apresentou valor ligeiramente inferior em relação às outras duas formas de

Tabela 3 – Valores médios das características de crescimento.

Espécie	Idade (anos)	DAP (cm)		Altura (m)		Volume total (m ³)	
		CC	SC	HT	HC	CC	SC
EG	4	15,1	13,9	22,2	18,3	0,206565a	0,175146a
EU	4	10,7	9,5	13,9	10,3	0,065066b	0,051323b
ECm	4	9,6	8,2	13,2	8,4	0,045851b	0,034173b
ER	4	11,1	9,2	13,8	9,8	0,067319b	0,050618b
ECl	4	10,7	8,7	13,5	8,5	0,054636b	0,038354b
EM	7	12,9	11,5	22,4	17,3	0,144293c	0,117119c
EP	7	16,7	13,9	20,7	17,7	0,219387b	0,151294b
ET	7	12,2	10,8	17,9	13,6	0,104935c	0,085305c
EU	7	14,5	13,6	20,9	17,0	0,180042b	0,146572b
HB	7	21,7	20,4	30,3	25,7	0,481708a	0,418047a
ECl	7	15,1	13,6	23,8	19,5	0,204899b	0,171497b
EP	5	15,3	13,3	18,7	15,6	0,169117a	0,124548a
	6	16,3	14,1	20,7	17,7	0,216392a	0,163372a
	7	16,7	13,9	20,7	17,7	0,219387a	0,151294a
Média		16,1	13,8	20,0	17,0	0,201632b	0,146405b
EU	5	11,9	10,7	15,1	11,6	0,088025b	0,069375b
	6	10,8	9,7	15,0	11,2	0,078284b	0,062141b
	7	14,5	13,6	20,9	17,0	0,180042a	0,146572a
Média		12,4	11,3	17,0	13,3	0,115450c	0,092696c
HB	5	15,8	14,8	25,5	20,1	0,239256c	0,209121c
	6	17,7	16,6	28,5	24,6	0,326292b	0,289058b
	7	21,7	20,4	30,3	25,7	0,481708a	0,418047a
Média		18,4	17,3	28,1	23,4	0,349086a	0,305408a
	5	14,3	12,9	19,8	15,8	0,165466b	0,134348b
	6	14,9	13,5	21,4	17,8	0,206989b	0,171524b
	7	17,6	16,0	24,0	20,1	0,293713a	0,238638a

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura do solo; CC e SC = com e sem casca, respectivamente; HT = altura total; HC = altura comercial. Valores médios seguidos de mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para quatro, sete e cinco, seis e sete anos de idade. Diferentes letras minúsculas em negrito, na coluna, indicam diferenças entre as espécies.

estimativa. Para algumas espécies, aos sete anos de idade as estimativas de densidade básica da madeira estão de acordo com Brito et al. (1984).

Pela Tabela 6, verifica-se que, para quatro anos de idade, as espécies mais densas foram o *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. e o *E. camaldulensis* Dehnh., sendo o *E. grandis* o de menor densidade básica. Apesar da menor densidade básica média o *E. grandis* apresentou a maior estimativa de massa seca. Observa-se, ainda, que o teste de comparação múltipla para massa seca foi idêntico ao obtido para os volumes, com e sem casca, (Tabela 3),

indicando que o volume interfere de maneira decisiva nessa estimativa.

Para a idade de sete anos o *E. maculata* Hook. e o *E. tereticornis* foram as espécies de maior densidade básica, enquanto que o *E. urophylla* e o híbrido foram os de madeira menos densas. O híbrido, apesar do baixo valor de densidade básica, foi o de maior estimativa de massa seca, destacando-se entre as demais espécies. Esse fato deve-se ao maior incremento volumétrico do híbrido, mesmo comportamento apresentado pelo EG aos quatro anos de idade. O *E. tereticornis*, apesar da elevada densidade básica da madeira, foi a espécie que produziu a menor estimativa de massa seca.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para a densidade básica, massa seca e de lignina estimada.

Quatro Anos						
FV	Densidade Básica (g/cm ³)		Massa Seca (kg)		Massa Lignina (kg)	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Espécie (E)	4	0,102612 **	4	6620,289181 **	4	510,043158 **
Forma (F)	2	0,000602 ns	2	10,825957 ns	2	0,851508 ns
E x F	8	0,000510 ns	8	9,661492 ns	8	0,771658 ns
Resíduo	60	0,000916	60	84,324594	60	8,179596
CV (%)		5,74		27,53		29,81
Sete Anos						
FV	Densidade Básica (g/cm ³)		Massa Seca (kg)		Massa Lignina (kg)	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Espécie (E)	5	0,040996 **	5	50603,5685 **	5	3879,516113 **
Forma (F)	2	0,002908 ns	2	202,6632 ns	2	15,386941 ns
E x F	10	0,000449 ns	10	93,7017 ns	10	7,051113 ns
Resíduo	72	0,002120	72	703,6073	72	53,819344
CV (%)		8,18		26,72		27,32
Cinco, Seis e Sete Anos						
FV	Densidade Básica (g/cm ³)		Massa Seca (kg)		Massa Lignina (kg)	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Espécie (E)	2	0,020196 **	2	130144,5016 **	2	9970,3541 **
Idade (I)	2	0,007730 *	2	36571,7169 **	2	2786,4576 **
Forma (F)	2	0,012517 **	2	637,7387 ns	2	48,9706 ns
E x I	4	0,009949 **	4	11720,8163 **	4	812,6605 **
E x F	4	0,002984 ns	4	363,8009 ns	4	27,8651 ns
I x F	4	0,000152 ns	4	24,5687 ns	4	1,8176 ns
E x I x F	8	0,000208 ns	8	12,4797 ns	8	0,8743 ns
Resíduo	108	0,001638	108	615,1316	108	49,4651
CV (%)		7,86		26,72		27,35

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; CV = coeficiente de variação; ** e * = significativo a 1e 5% de probabilidade; ns = não significativo; Forma = forma de estimativa utilizada.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o teor de lignina na madeira.

FV	GL	Quadrado Médio		FV	GL	Quadrado Médio
		Quatro anos	Sete Anos			Três Idades
Espécie	4	8,584360 **	26,6462 **	Espécie (E)	2	22,233047**
			0,768553	Idade (I)	2	4,166487*
				E x I	4	4,143533**
Resíduo	20	0,914268		Resíduo	36	0,895570
CV (%)		3,30	3,24	CV (%)		3,44

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; CV = coeficiente de variação; ** e * = significativo a 1e 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Valores médios da densidade básica e massa seca estimada na madeira.

Espécie	Idade (anos)	Densidade básica (g/cm ³)			Média	Massa seca estimada (kg)			Média
		DBmP	DBmA	DBdap		DBmP	DBmA	DBdap	
EG	4	0,411	0,413	0,383	0,402d	72,13	72,49	66,99	70,53a
EU	4	0,491	0,486	0,478	0,485c	25,17	24,90	24,49	24,85b
ECm	4	0,587	0,590	0,570	0,582a	20,06	20,14	19,46	19,88b
ER	4	0,562	0,554	0,567	0,561b	28,42	28,01	28,69	28,37b
ECl	4	0,604	0,596	0,610	0,603a	23,16	22,86	23,37	23,13b
Média		0,531A	0,528A	0,521A		33,79A	33,68A	32,60 A	
EM	7	0,631	0,631	0,628	0,630a	73,03	73,01	72,52	72,85c
EP	7	0,545	0,535	0,531	0,537c	82,72	80,91	80,64	81,42c
ET	7	0,614	0,612	0,602	0,609a	52,72	52,51	51,50	52,24d
EU	7	0,511	0,514	0,489	0,505c	75,50	75,95	72,47	74,64c
HB	7	0,518	0,534	0,483	0,512c	216,23	223,03	200,99	213,42a
ECl	7	0,589	0,585	0,575	0,583b	102,16	101,45	99,77	101,13b
Média		0,568A	0,568A	0,551A		100,39A	101,15A	96,32 A	
	5	0,544	0,540	0,549	0,544a	67,85	67,12	68,49	67,82a
EP	6	0,533	0,526	0,510	0,523a	87,98	86,77	83,83	86,19a
	7	0,545	0,535	0,531	0,537a	82,72	80,91	80,64	81,42a
Média		0,541A	0,534A	0,530A	0,535a	79,51A	78,27A	77,65 A	78,48b
	5	0,499	0,506	0,467	0,491b	34,48	34,91	32,43	33,94b
EU	6	0,560	0,566	0,541	0,556a	34,67	35,08	33,53	34,43b
	7	0,511	0,514	0,489	0,505b	75,50	75,95	72,47	74,64a
Média		0,523A	0,529A	0,499A	0,517a	48,22A	48,65A	46,14 A	47,67c
	5	0,474	0,492	0,433	0,466b	99,61	103,34	91,09	98,01c
HB	6	0,513	0,528	0,458	0,500a	149,42	153,70	133,45	145,52b
	7	0,518	0,534	0,483	0,512a	216,23	223,03	200,99	213,42a
Média		0,502A	0,518A	0,458B	0,493b	155,08A	160,02A	141,85 A	152,32a
	5				0,500b				66,59c
	6				0,526a				88,71b
	7				0,518a				123,16a
Média		0,522A	0,527A	0,496B		94,27A	95,65A	88,55 A	

DBmP, DBmA e DBdap = densidade básica média ponderada pelo volume, média aritmética e na altura do DAP, respectivamente. Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na coluna, maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para quatro, sete e cinco, seis e sete anos de idade. Diferentes letras minúsculas em negrito, na coluna, indicam diferenças entre espécies.

Para as três diferentes idades, pela Tabela 6, observa-se que o *E. pellita* (EP) e o *E. urophylla* (EU) apresentaram os maiores valores de densidade básica, sendo estatisticamente diferentes das densidades da madeira do híbrido (HB). Somente o EP não apresentou diferença estatística entre as idades, tanto para a densidade básica como a estimativa de massa seca. O híbrido apresentou tendência evidente de aumento da densidade básica da madeira em função da idade,

nas três formas de estimativa utilizadas. A densidade básica da madeira do híbrido foi menor na altura do DAP, sendo diferente da média ponderada pelo volume e média aritmética. Na estimativa de massa seca, o híbrido foi muito superior e estatisticamente diferente tanto do EP como do EU.

A Tabela 7, apresentam-se os valores médios dos teores de lignina e a massa estimada de lignina na madeira dos materiais avaliados e o teste de comparação múltipla

Tabela 7 – Valores médios do teor de lignina e massa estimada de lignina na madeira.

Espécie	Idade (anos)	LIG (%)	Massa estimada de lignina (kg)			
			DBmP	DBmA	DBdap	Média
EG	4	28,04b	20,32	20,43	18,87	18,87a
EU	4	27,61b	6,96	6,88	6,77	6,87b
ECm	4	30,19a	6,05	6,07	5,87	6,00b
ER	4	30,49a	8,68	8,55	8,76	8,66b
EC	4	28,37b	6,58	6,49	6,64	6,57b
Média			9,72A	9,69A	9,38A	
EM	7	22,82c	16,69	16,69	16,58	16,65c
EP	7	29,20a	24,10	23,57	23,46	23,71b
ET	7	28,92a	15,26	15,20	14,90	15,12c
EU	7	27,52b	20,60	20,72	19,77	20,37c
HB	7	27,34b	59,24	61,10	55,06	58,47a
ECl	7	26,45b	27,05	26,86	26,41	26,77b
Média			27,16A	27,36A	26,03A	
EP	5	28,06a	19,09	18,89	19,27	19,08b
	6	28,91a	25,49	25,14	24,29	24,98a
	7	29,20a	24,10	23,57	23,46	23,71a
Média		28,72a	22,89A	22,53A	22,34A	22,59b
EU	5	26,44a	9,14	9,26	8,60	9,00b
	6	24,90b	8,60	8,71	8,31	8,54b
	7	27,52a	20,60	20,72	19,77	20,37a
Média		26,29c	12,78A	12,90A	12,23A	12,64c
HB	5	28,31a	28,26	29,32	25,83	27,80c
	6	27,10a	40,56	41,69	36,14	39,46b
	7	27,34a	59,24	61,10	55,06	58,47a
Média		27,58b	42,68A	44,04A	39,01A	41,91a
	5	27,60b				18,63c
	6	26,97b				24,33b
	7	28,02a				34,18a
Média			26,12A	26,49A	24,53A	

LIG = teor de lignina, DBmP, DBmA e DBdap = densidade básica média ponderada pelo volume, média aritmética e na altura do DAP, respectivamente. Valores médios seguidos de mesma letra minúscula, na coluna, maiúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para quatro, sete e cinco, seis e sete anos de idade. Diferentes letras minúsculas em negrito, na coluna, indicam diferenças entre espécies.

realizado. Para quatro anos de idade observa-se que o EG foi a espécie de destaque na estimativa de massa de lignina na madeira, resultado influenciado pela sua maior estimativa de massa seca. Para sete anos de idade, o ET e o EM foram as espécies que apresentaram as menores estimativas de massa de lignina, enquanto que o HB foi o destaque nessa estimativa. Para as três idades, observa-se que o HB foi também o destaque na estimativa de massa de lignina, apresentando tendência evidente de aumento dessa massa com a idade do material. Observa-se também que, para todas as idades avaliadas, o efeito da forma de estimativa utilizada foi não-significativo, resultado igual ao observado na estimativa de massa seca, o que era esperado.

CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que:

Volume com e sem casca

O *Eucalyptus grandis* (EG), aos quatro anos, e o híbrido (HB), nas demais idades, foram as espécies que se destacaram no incremento volumétrico. Os efeitos de espécie e idade foram significativos para quatro e sete anos de idade. Para cinco, seis e sete anos de idade o efeito da interação espécie x idade também foi significativa, o que era esperado. Somente o *E. pellita* (EP) não apresentou diferença estatística significativa entre as três idades avaliadas. O HB apresentou tendência de aumento do volume com a idade do material.

Características avaliadas na madeira

O efeito de espécie foi significativo para a densidade básica, teor de lignina e estimativas de massa seca e de lignina na madeira em todas as idades avaliadas. O efeito de método foi significativo para a densidade básica somente para o experimento considerando as três idades. O HB foi a espécie que apresentou diferença entre as três formas de estimativa da densidade básica da madeira. O EG foi a espécie que se destacou na produção de massa seca e de lignina, aos quatro anos de idade, enquanto que HB foi o destaque aos sete e nas três diferentes idades. Essas duas espécies, apesar de não serem as de maior densidade básica e maior teor de lignina na madeira, foram as que promoveram as maiores estimativas de massa.

O incremento volumétrico desempenhou importante papel nas estimativas de massa seca e de lignina na madeira e, portanto, deve ser considerado em todas as utilizações da madeira que depender dessas estimativas.

As formas de estimativa utilizadas apresentaram efeito significativo somente para a densidade básica da madeira. Esse fato ocorreu devido às diferenças de estimativas de densidade básica obtidas para o HB. As estimativas de massa não apresentaram tal comportamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Carvão vegetal**. Disponível em: <<http://www.showsite.com.br/silviminas/html/index.asp?Metodo=ExibirLista&Grupo=2%20&SubGrupo=17>>. 2006. Acesso em: 17 ago. 2006.

BOTREL, M. C. G. **Melhoramento genético do Eucalyptus para biomassa florestal e qualidade do carvão vegetal**. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF, 2005. 188 p.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; COUTO, H. T. Z.; MENDES, C. J.; REZENDE, G. C. Estudo do comportamento de madeira de eucalipto frente ao processo de destilação seca. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, n. 8, p. 5-48, 1984. (Boletim técnico, 8).

DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties**. [S.l.]: CSIRO, 1997. 126 p.

GOLSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reations**. New York: J. Wiley & Sons, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

OLIVEIRA, A. D.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. Estimativa de massa lenhosa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 345-348, 1991.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.
Influência da idade nas características físico-químicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de

Investigações Florestais, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA-LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, n. 8, p. 49-52, 1984. (Boletim técnico, 8).