

MODELAGEM DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DOS CAVACOS A PARTIR DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E DA MASSA ESPECÍFICA DO DISCO

Rozane Eisfeld¹, Cristiane de Loyola Eisfeld², José Mário Ferreira³, Andréia Pimentel⁴,
Fabiano Rodrigues⁵, Adriano Almeida⁵

¹Eng^a. Florestal, M.Sc., Consultora da Silviconsult, Curitiba, PR, Brasil - rozane@silviconsult.com.br

²Eng^a. Florestal, Mestranda em Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - ceisfeld@step.com.br

³Eng. Florestal, M.Sc., RMS, Curitiba, PR, Brasil - jferreira@resourcemgt.com

⁴Eng^a. Florestal, Mestranda em Ciências Florestais, Klabin, Lages, SC, Brasil - anpimentel@klabin.com.br

⁵Eng. Florestal, M.Sc., International Paper, Mogi-Guaçu, SP, Brasil - fabiano.rodrigues@ipaperbr.com - adriano.almeida@ipaperbr.com

Recebido para publicação: 28/10/2007 – Aceito para publicação: 27/04/2009

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver equações matemáticas para a estimativa da massa específica dos cavacos. Utilizaram-se dados de 560 árvores de plantios clonais de *Eucalyptus* sem desbaste, provenientes da empresa International Paper do Brasil. Ajustou-se um modelo a partir de variáveis dendrométricas de fácil obtenção (altura, sítio, idade e diâmetro), e outro modelo em função da idade e da massa específica do disco. As estatísticas de ajuste, incluindo a massa específica do disco, mostraram-se bem superiores, quando se consideraram apenas as variáveis dendrométricas. Observaram-se diferenças estatísticas na massa específica dos cavacos entre os quatro materiais genéticos testados, destacando os maiores valores nas unidades de manejo menos produtivas.

Palavras-chave: Massa específica; modelos de regressão; plantios clonais de *Eucalyptus*.

Abstract

Chip density modelling using dendrometric variables and disk density. The objective of this work was to develop mathematic equations to estimate chip density. The data came from 560 trees from Eucalyptus clonal unthinned stands owned by the International Paper of Brazil Co. It was adjusted a model using dendrometric variables easily obtained (height, site, age, and diameter) and another model using the disk density and age. The statistic of the adjustment, including the density of disk, were well above when it was considered only the dendrometric variables. It was observed statistic difference in density of chips among the four genetic materials, highlighting the highest values in less productive management units

Keywords: Density; regression models; clonal *Eucalyptus* plantations.

INTRODUÇÃO

A massa específica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes internos. É uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira, nos diversos segmentos da atividade industrial. Quase sempre, a massa específica se apresenta correlacionada com a retratibilidade, a secagem, a trabalhabilidade, a impregnabilidade, a durabilidade natural e várias propriedades mecânicas.

Para Lima *et al.* (2000), a massa específica aumenta muito rapidamente durante o período juvenil, cresce mais lentamente numa fase intermediária da idade, até se tornar mais ou menos constante na fase da maturidade da árvore. Segundo Tomazello Filho (1985), Silva *et al.* (2004) e Alzate *et al.* (2005), as variações da massa específica no sentido longitudinal e radial para a madeira de *Eucalyptus* estão relacionadas com a idade da árvore, a amostragem, o genótipo e as condições ambientais.

Estudos desenvolvidos por Trevisan *et al.* (2008) comprovaram a variação no sentido radial (medula/casca) da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis*, tendo observado menores

valores para essa característica tecnológica na região da medula, seguidos de acréscimo até a região mais periférica do tronco.

Entre as propriedades físicas da madeira, a massa específica básica é a mais utilizada como parâmetro de seleção, sendo influenciada pela interação dos fatores de base genética com as condições ambientais (RUY, 1998). A massa específica básica da madeira pode ser utilizada como índice seguro para avaliar o tipo de madeira produzida diante de suas correlações com as diferentes propriedades fisicomecânicas, estando, portanto, associada também às mais variadas formas de sua utilização (BRASIL *et al.*, 1982).

O crescimento da massa específica da madeira pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à redução na massa específica. Segundo Panshin; De Zeeuw (1980), apud Silva e Oliveira (2003), os efeitos são interativos e difíceis de ser avaliados isoladamente.

Para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da massa específica básica da madeira fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e do rendimento do processo, e geralmente está associada às características de qualidade e resistências fisicomecânicas da polpa (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

O objetivo principal deste estudo foi analisar as relações de variação da massa específica com o sítio, a idade e os materiais genéticos, além de ajustar modelos para a sua estimativa, utilizando dados de uma floresta de *Eucalyptus* sem desbaste.

MÉTODOS E MATERIAIS

Localização

A área utilizada no estudo foi de 34.540 hectares de plantio, localizada na região Sudeste do Brasil, no estado de São Paulo. A área foi dividida em três regiões, sendo Mogi-Guaçu, Brotas e São Simão os municípios correspondentes a cada uma delas. As regiões localizam-se na porção centro-leste, central e nordeste de São Paulo, conforme mostra a figura 1.



Figura 1. Posição geográfica dos municípios de Mogi-Guaçu, Brotas e São Simão e das áreas de estudo no estado de São Paulo.

Figure 1. Geographic position of Mogi-Guaçu, Brotas e São Simão cities and the studied áreas in São Paulo State.

Principais características das regiões de estudo

Região de Mogi-Guaçu: possui uma área de 17.268 hectares, num raio de 35 km do município de Mogi-Guaçu (22°21'S, 48°58'O). O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Koeppen,

com temperatura anual média de 21 °C, pluviosidade média anual variando entre 900 e 1.900 mm, concentrando-se entre os meses de outubro e março, e déficit hídrico de 36 mm. Os solos predominantes na região são os Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos e Argissolos (MORAES *et al.*, 1993a, 1993b, 1993c, 1993c, 1994a, 1994b, 1995d, 1995e; DEMATTÊ, 2000).

Região de Brotas: possui uma área de 8.838 hectares, num raio de 10 km do município de Brotas (22°13'S, 48°01'O). O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura anual média de 19 °C, pluviosidade média anual variando entre 1.100 e 2.400 mm, concentrando-se entre os meses de outubro a abril, e déficit hídrico de 63 mm. Os solos predominantes na região são os Latossolos Vermelho-Amarelos e os Neossolos Quartzarênicos (MORAES *et al.*, 1993c, 1993e; DEMATTÊ, 2000).

Região de São Simão: possui uma área de 8.434 hectares, num raio de 30 km do município de São Simão (22°29'S, 47°34'O). O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperatura anual média de 22 °C, pluviosidade média anual variando entre 1.100 e 1.700 mm, concentrando-se entre os meses de outubro e março, e déficit hídrico de 110 mm. Os solos predominantes na região são os Neossolos Quartzarênicos (MORAES *et al.*, 1994f, 1994g; DEMATTÊ, 2000).

Material genético

Foram avaliadas diferentes plantações de clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, previamente selecionadas em testes clonais específicos e aprovados em plantios comerciais extensos. Essas plantações estão identificadas neste estudo como clones A, B, C, D.

Unidades de manejo – sítio

Todos os talhões da empresa estão agrupados em oito diferentes unidades de manejo, que foram definidas considerando-se as características de solo que mais interferem na produtividade da floresta. Nas unidades de manejo 1 e 2 estão localizados os sítios de melhor produtividade; nas unidades 7 e 8 estão os de pior produtividade.

Metodologia de campo

Foram amostradas 560 árvores, distribuídas nos quatro materiais genéticos, idades e unidades de manejo. A combinação entre os materiais, com 3 classes de idade e 3 grupos de unidades de manejo, definiu 36 estratos diferentes, servindo de base para a distribuição das árvores amostradas e para a obtenção do rendimento.

Primeiramente, foram definidos os talhões que abrangessem uniformemente os diferentes materiais, unidades e idades. Em cada um deles foram selecionadas duas parcelas. Em cada parcela, a amostragem ocorreu em, no máximo, 4 árvores. As árvores que foram cortadas estavam plantadas próximas à borda da parcela.

Em cada árvore foram coletados 5 toretes de 50 cm de comprimento, retirados na base, a 25%, a 50%, a 75% e a 100% da altura comercial. Além disso, houve a coleta de dois discos no DAP para a determinação da massa específica do disco. Nas fichas de campo, anotaram-se a localização, o diâmetro, a altura total e a comercial de cada árvore e, também, a data da coleta. Os toretes e os discos foram levados ao laboratório de química da madeira na própria empresa, onde se realizou a determinação da massa específica do cavaco e do disco.

Metodologia laboratorial

A massa específica é a relação da massa seca com o volume saturado, como segue:

$$Me_{Básica} = \frac{Peso_{Secca}}{Volume_{Saturado}}$$

Em que: Me = massa específica g/cm³.

Para que fosse possível a determinação da massa seca primeiramente dos discos, alguns procedimentos laboratoriais foram seguidos. Os discos foram colocados em sacos plásticos perfurados, imersos em tambores com água e submetidos a vácuo para eliminar todo o ar contido nos discos. Após

completa saturação, obteve-se o volume em uma balança hidrostática, através do método de deslocamento. Para a massa seca, as amostras foram colocadas em estufa com temperatura de 103 ± 2 °C por, aproximadamente, 36 horas. Feito isso, realizou-se a pesagem, obtendo-se a massa seca.

Para a determinação da massa seca, os cavacos foram selecionados e colocados em um recipiente com capacidade de um litro. Em seguida, foram acondicionados em sacos plásticos perfurados e imersos em tambores. Depois de saturados, foram submetidos a vácuo, de forma semelhante à utilizada para os discos. Os cavacos, então, foram colocados em cestos e assim foi obtido o volume saturado pelo método de deslocamento. Para a massa seca, os cavacos foram levados à estufa em becker com temperatura de 103 ± 2 °C, por 36 horas. Posteriormente realizou-se a pesagem e se obteve a massa seca.

Metodologia final – escritório

Para a determinação da massa específica dos cavacos, realizou-se um estudo prévio das variáveis independentes, buscando-se conhecer o comportamento dos dados e a influência na massa específica, através de análises estatísticas.

Para cada material genético, foram testadas duas equações, uma não incluindo a massa específica do disco como variável independente. Ambas foram ajustadas pelo método de escolha de variáveis *forward stepwise*, a partir do software Statistica.

O procedimento de modelagem de regressão *forward stepwise* parte da variável independente mais correlacionada com a variável dependente (massa específica dos cavacos). No passo seguinte, inclui mais uma variável, que apresenta a maior correlação parcial em função do teste F (SCHNEIDER, 1998).

Para ser ajustado no procedimento *forward*, os modelos máximos de regressão foram:

Sem disco: $D = f(\text{DAP}, \text{HT}, \text{HC}, \text{U}, \text{I}, \text{DAP}^2, \ln\text{DAP}, 1/\text{DAP}, \text{HT}^2, \ln\text{HT}, 1/\text{HT} \times \text{DAP}^2 \times \text{HT}, \text{DAP} \times \text{HT})$.

Com disco: $D = f(\text{DAP}, \text{HT}, \text{HC}, \text{U}, \text{I}, \text{DAP}^2, \ln\text{DAP}, 1/\text{DAP}, \text{HT}^2, \ln\text{HT}, 1/\text{HT} \times \text{DAP}^2 \times \text{HT}, \text{DAP} \times \text{HT} \text{ e massa específica do disco})$.

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m^3);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

HT = altura total (m);

HC = altura comercial (m);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo.

Para testar a qualidade dos ajustes dos modelos, utilizaram-se três parâmetros de comparação: o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (Syx) e a análise gráfica dos resíduos.

RESULTADOS

Análise preliminar da relação entre a massa específica dos cavacos e as demais variáveis coletadas

Calculou-se uma matriz de correlação para verificar a relação entre a massa específica dos cavacos e as demais variáveis deste estudo, conforme a tabela 1.

Tabela 1. Matriz de correlação.

Table 1. Correlation matrix.

Variável	Idade	DAP	Altura total	Altura comercial	Dens. disco	Unidade de manejo
Massa específica dos cavacos	0,56	0,36	0,39	0,42	0,89	0,28

A matriz mostra que todos os fatores testados possuem correlação significativa ($\alpha = 0,05$) com a massa específica dos cavacos. A massa específica do disco é a variável mais fortemente correlacionada com a massa específica dos cavacos.

As análises estatísticas para cada material genético mostram que, em média, o material genético A possui a menor massa específica, e o material D possui a maior massa específica (Tabela 2). Em média, todas as 560 árvores analisadas apresentaram a massa específica de $478,65 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Tabela 2. Estatísticas básicas da massa específica dos cavacos por material genético.

Table 2. Basic statistics of chip density by genetic material.

Material genético	Média (kg/m ³)	N	Desvio padrão
A	468,4405	252	27,74558
B	481,7582	153	26,28363
C	484,6263	99	20,54293
D	505,5357	56	41,71983
Todos os grupos	478,6500	560	30,11835

Tabela 3. Análise de variância da massa específica dos cavacos por material genético.

Table 3. Variance analysis for chip density by genetic material.

Variável	SS	Df	MS	SS	df	MS	F	P
Massa específica dos cavacos	71760,14	3	23920,05	435317,3	556	782,9447	30,55139	0,000000

A análise de variância mostra que há diferença significativa entre as médias por material genético ($\alpha = 0,05$).

Tabela 4. Teste de média (Tukey) da massa específica dos cavacos por material genético.

Table 4. Average test (Tukey) for chip density by genetic material.

	A	B	C	D
A		0,000027	0,000014	0,000008
B	0,000027		0,856899	0,000008
C	0,000014	0,856899		0,000053
D	0,000008	0,000008	0,000053	

Apenas as médias dos materiais B e C não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Portanto, para uma estimativa mais precisa, faz-se necessário o ajuste da massa específica dos cavacos por material genético.

Resultados para o material genético "A"

Para o material genético A, as formulações matemáticas resultantes do ajuste pelo método *forward stepwise* foram:

$$a) \text{ Sem disco: } D = 401,6726 + 17,3561 \times I + 3,1218 \times U - 1,4242 \times HT \quad (1)$$

$$a) \text{ Com disco: } D = 111,3681 + 0,7078 \times disco + 3,9671 \times I \quad (2)$$

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m³);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo;

HT = altura total (m);

$disco$ = massa específica do disco (kg/m³).

Table 5. Regression statistics for both presented equations.

Modelos	t	Syx (kg/m ³)	Syx (%)	R ²
Sem disco	248	17,96	3,83	58,07%
Com disco	249	11,43	2,44	83,00%

O segundo ajuste, que inclui a massa específica de disco como uma variável independente, apresentou estatística de ajuste superior ao modelo que não inclui o disco, com coeficiente de determinação de 83%, erro padrão da estimativa de apenas 2,44% (11 kg/m³) e resíduos sem tendências.

Vale a pena ressaltar, no entanto, que a variável massa específica do disco é difícil de ser obtida, requerendo o corte de árvore, a retirada do disco e a sua análise no laboratório. Em função disso, o primeiro ajuste passa a ser economicamente mais vantajoso, pois a massa específica é estimada apenas em função de variáveis facilmente obtidas pelo inventário florestal. Os resultados desse ajuste estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Tabela de massa específica por idade e unidade de manejo (ajuste sem massa específica do disco).

Table 6. Density table by age and management unit (adjustment without disk density).

Idade	Altura	1	2	3	4	5	6	7	8
2	12,8	421	424	427	431	434	437	440	443
3	15,8	434	437	441	444	447	450	453	456
4	20,6	445	448	451	454	457	461	464	467
5	22,7	459	462	466	469	472	475	478	481
6	26,0	472	475	478	481	484	488	491	494
7	28,6	486	489	492	495	498	501	504	507
8	31,8	498	501	505	508	511	514	517	520

Resultados para o material genético “B”

Para o material genético B, as formulações matemáticas resultantes do ajuste pelo método *forward stepwise* foram:

$$b) \text{ Sem disco: } D = 417,2158 + 20,1851 \times I + 3,3100 \times U - 0,0951 \times HT^2 \quad (3)$$

$$c) \text{ Com disco: } D = 115,6227 + 0,7175 \times disco + 3,5268 \times I \quad (4)$$

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m^3);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo;

HT = altura total (m);

$disco$ = massa específica do disco (kg/m^3).

Nos dois materiais genéticos (A e B) foram selecionadas as mesmas variáveis para a estimativa da massa específica.

Tabela 7. Estatísticas de ajuste para as duas equações apresentadas.

Table 7. Regression statistics for both presented equations.

Modelos	t	Syx (kg/m^3)	Syx (%)	R ²
Sem disco	149	19,32	4,01	45,94%
Com disco	150	11,58	2,40	80,57%

O segundo ajuste, que inclui a massa específica de disco como uma variável independente, apresentou estatística de ajuste superior ao modelo que não inclui o disco, com coeficiente de determinação de 81%, erro padrão da estimativa de 2,40% ($11,6 \text{ kg/m}^3$) e resíduos sem tendências.

Tabela 8. Tabela de massa específica por idade e unidade de manejo (ajuste sem massa específica do disco).

Table 8. Density table by age and management unit (adjustment without disk density).

Idade	Altura	1	2	3	4	5	6	7	8
2	12,8	445	449	452	455	458	462	465	468
3	15,8	457	461	464	467	470	474	477	480
4	20,6	461	464	468	471	474	478	481	484
5	22,7	473	476	479	483	486	489	492	496
6	26,0	478	481	484	487	491	494	497	501
7	28,6	484	487	491	494	497	501	504	507
8	31,8	486	489	492	496	499	502	505	509

Resultados para o material genético “C”

Para o material genético C, as formulações matemáticas resultantes do ajuste pelo método *forward stepwise* foram:

$$a) \text{ Sem disco: } D = 385,2143 + 15,2484 \times I + 0,8269 \times U + 697,5454 \times \frac{1}{HT} \quad (5)$$

$$b) \text{ Com disco: } D = 192,432 + 0,6340 \times disco - 188,002 \times \frac{1}{DAP} \quad (6)$$

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m^3);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo;

HT = altura total (m);

$disco$ = massa específica do disco (kg/m^3);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

Tabela 9. Estatísticas de ajuste para as duas equações apresentadas.

Table 9. Regression statistics for both presented equations.

Modelos	t	Syx (kg/m^3)	Syx (%)	R ²
Sem disco	95	18,27	3,76	20,86%
Com disco	96	9,31	1,92	79,46%

O segundo ajuste, que inclui a massa específica de disco como uma variável independente, apresentou estatística de ajuste bem superior ao modelo que não inclui o disco, com coeficiente de determinação de 79%, erro padrão da estimativa de 1,92% ($9,3 \text{ kg/m}^3$) e resíduos sem tendências.

O coeficiente de determinação do modelo sem disco obtido para o material C (21%) foi inferior aos obtidos nos demais (58% no material A e 46% no material B). Esse material entrou no plantio comercial da empresa no ano de 2002, portanto sua amostragem ficou restrita a talhões com menos de cinco anos e distribuídos apenas nas unidades de manejo 2, 3, 4, 5 e 6. Possivelmente, a falta de dados nas idades mais avançadas e nos pontos extremos das unidades de manejo (1, 7 e 8) pode ter afetado o nível de acuracidade do ajuste.

Tabela 10 Tabela de massa específica por idade e unidade de manejo (ajuste sem massa específica do disco).

Table 10. Density table by age and management unit (adjustment without disk density).

Idade	Altura	1	2	3	4	5	6	7	8
2	12,8	471	472	472	473	474	475	476	477
3	15,8	476	477	477	478	479	480	481	482
4	20,6	481	482	483	483	484	485	486	487
5	22,7	493	494	495	496	496	497	498	499
6	26,0	504	505	506	507	508	509	509	510
7	28,6	517	518	519	520	520	521	522	523
8	31,8	530	531	532	532	533	534	535	536

Resultados para o material genético "D"

Para o material genético D, as formulações matemáticas resultantes do ajuste pelo método *forward stepwise* foram:

$$a) \text{ Sem disco: } D = 386,8904 + 27,6424 \times I + 4,8855 \times U - 0,0842 \times HT^2 \quad (7)$$

$$b) \text{ Com disco: } D = 104,4750 + 0,7098 \times disco + 7,1542 \times I \quad (8)$$

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m^3);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo;

HT = altura total (m);

$disco$ = massa específica do disco (kg/m^3).

Nos materiais genéticos A, B e D foram selecionadas as mesmas variáveis para a estimativa da massa específica.

Tabela 11. Estatísticas de ajuste para as duas equações apresentadas.

Table 11. Regression statistics for both presented equations.

Modelos	t	Syx (kg/m ³)	Syx (%)	R ²
Sem disco	52	21,55	4,26	73,30%
Com disco	53	13,93	2,75	88,85%

O segundo ajuste, que inclui a massa específica de disco como uma variável independente, apresentou estatística de ajuste superior ao modelo que não inclui o disco, com coeficiente de determinação de 89%, erro padrão da estimativa de 2,75% (13,9 kg/m³) e resíduos sem tendências.

Tabela 12. Tabela de massa específica por idade e unidade de manejo (ajuste sem massa específica do disco).

Table 12. Density table by age and management unit (adjustment without disk density).

Idade	Altura	1	2	3	4	5	6	7	8
2	12,8	433	438	443	448	453	458	462	467
3	15,8	454	458	463	468	473	478	483	488
4	20,6	467	472	477	481	486	491	496	501
5	22,7	487	492	497	501	506	511	516	521
6	26,0	501	506	511	516	520	525	530	535
7	28,6	516	521	526	531	536	541	546	551
8	31,8	528	532	537	542	547	552	557	562

Resultados com a base completa de dados

Com toda a base de dados, as formulações matemáticas resultantes do ajuste pelo método *forward stepwise* foram:

a) Sem disco: $D = 424,6182 + 23,0611 \times I + 2,4660 \times U - 6,4199 \times HT + 5,2288 \times DAP$ (9)

b) Com disco: $D = 90,81468 + 0,77514 \times disco + 2,69456 \times I$ (10)

Em que: D = massa específica dos cavacos (kg/m³);

I = idade (anos);

U = unidade de manejo;

HT = altura total (m);

$disco$ = massa específica do disco (kg/m³);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

Tabela 13. Estatísticas de ajuste para as duas equações apresentadas.

Table 13. Regression statistics for both presented equations.

Modelos	t	Syx (kg/m ³)	Syx (%)	R ²
Sem disco	555	22,29	4,66	45,21%
Com disco	557	12,99	2,71	81,40%

O segundo ajuste, que inclui a massa específica de disco como uma variável independente, apresentou estatística de ajuste superior ao modelo que não inclui o disco, com coeficiente de determinação de 81%, erro padrão da estimativa de 2,71% (13 kg/m³) e resíduos sem tendências.

Todos os materiais testados apresentaram correlação positiva com a unidade de manejo e com a idade, mostrando que a massa específica tende a ser maior nos piores sítios.

A massa específica da madeira é uma propriedade resultante de fatores como dimensões das células, espessura, composição química da parede celular e percentuais de ocupação dos variados tipos de células. Segundo Foelkel *et al.* (1983), as dimensões dos elementos celulares variam em função da idade do vegetal. Com base nesses fatos, é provável que a tendência de variação da massa específica encontrada neste estudo seja alterada com o desenvolvimento e maturação da árvore.

A qualidade da madeira é afetada pela idade da árvore. É necessário definir a época de corte, não apenas em função de critérios que avaliam a produção de volume ou de matéria seca lenhosa, mas,

também, mediante uma análise da heterogeneidade dos parâmetros que expressam a qualidade (LIMA *et al.*, 1992). Assim sendo, os resultados deste estudo servem como subsídio para que o gestor florestal possa definir o regime de manejo que otimize a combinação entre a produção da floresta (volume) e a sua qualidade (massa específica).

Tabela 14. Tabela de massa específica por idade e unidade de manejo (ajuste sem massa específica do disco).

Table 14. Density table by age and management unit (adjustment without disk density).

Idade	Altura	1	2	3	4	5	6	7	8
2	12,8	444	446	448	451	453	456	458	461
3	15,8	454	457	459	462	464	466	469	471
4	20,6	460	463	465	468	470	473	475	478
5	22,7	475	477	479	482	484	487	489	492
6	26,0	482	484	487	489	492	494	497	499
7	28,6	497	499	502	504	506	509	511	514
8	31,8	503	506	508	511	513	515	518	520

CONCLUSÕES

- A massa específica variou com o sítio (unidades de manejo), idade e material genético.
- A massa específica aumentou com a idade e nas unidades menos produtivas.
- O material genético D se apresentou como o clone mais denso dos estudados neste trabalho.
- A massa específica do disco obteve uma alta correlação com a do cavaco e a sua inclusão nos ajustes melhorou muito as estatísticas de regressão.

RECOMENDAÇÕES

- Utilizar, sempre que possível, a massa específica do disco para estimar a do cavaco.
- Complementar este trabalho com a amostragem de novas árvores, principalmente em talhões mais velhos plantados com o material C.

REFERÊNCIAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, 2005.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação da massa específica básica em *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte., **Anais...** São Paulo, SBS, 1983, p. 726-731.

BRASIL, M. A. M.; MONTAGNA, R. G.; COELHO, L. C. C.; VEIGA, R. A. A. Massa específica básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em três regiões do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Instituto Florestal**, v. 36, n. 1, p. 9-17, 1982.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; FERREIRA, M. Variação da massa específica básica da madeira nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 73-82, dez., 1977.

DEMATTE, J. L. I. Solos. In: SALATI, E.; ABSY, M. L.; VICTORIA, R. L. (Eds.). **Amazônia: um ecossistema em transformação**. Manaus: INPA, 2000. p. 119 -162.

FOELKEL, C. E. B.; BUSNARDO, C. A.; DIAS, C.; SCHIMIDT, C.; SILVA, S. M.; VESZ, J. B. Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, Belo Horizonte, 1982. **Anais...** São Paulo, SBS, 1983. p. 782-791.

- LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. Lavras: **Revista Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 123-127, 1992.
- LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO. 2000, p. 282-291.
- OLIVEIRA, R. C.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; QUEIROZ, S. C. S.; Influência da massa específica básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. In: **Revista Arvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, nov./dez. 2004.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de **Text book of wood technology**. 4. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 722 p.
- RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 69 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998, 236 p.
- SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Variação radial da retratibilidade e massa específica básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003.
- SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M de. Influência da idade e da posição radial na massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.
- TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p.553-559, 2008.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.