

VARIAÇÃO RADIAL E LONGITUDINAL DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* ENGELM. COM DIFERENTES IDADES

Rafael Rodolfo Melo¹, Raul Silvestre², Tiago Moreira Oliveira³, Talita Dantas Pedrosa⁴

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar as variações radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. para indivíduos com diferentes idades. Para isso, foram abatidas dez árvores com diferentes idades e retirados discos a 10, 35, 55 e 75% da altura total da árvore e outro na altura correspondente ao diâmetro à altura do peito – DAP, tomada a 1,30 m do solo. Desses foram retiradas amostras em três diferentes posições no sentido medula-casca (próxima a medula, região central e casca) para determinação da densidade básica. Foi verificada uma redução da densidade básica da base para o topo no sentido longitudinal e da periferia para o centro no sentido radial. Os indivíduos com mais idade apresentaram maiores valores de densidade básica.

Palavras-chave: densidade básica; sentido medula-casca; sentido base-topo.

RADIAL AND AXIAL VARIATION OF THE *Pinus elliottii* ENGELM. WOOD DENSITY WITH DIFFERENT AGES

Abstract: This work aimed to evaluate the radial and axial variations of the *Pinus elliottii* Engelm. wood density with different ages. To this were felled ten trees of different ages, and discs to 10, 35, 55 and 75% of height the tree, and another at the 1.30 m. These samples were taken at three different positions in the pith-bark (near pith, central region and near bark) for density determination. It was observed a reduction in density from the bottom to top in the longitudinal direction, and the periphery to the center in the radial direction. Older individuals had higher density values.

Keywords: specific gravity; pith-bark direction; bottom-top direction.

¹ Dr., Professor do ICAA-UFMT, Sinop, MT, <rrmelo2@yahoo.com.br>.

² Mestre (Doutorando), Professor do DEF-UNESC, Lajes, SC, <silvestrefloresta@yahoo.com.br>.

³ Graduado em Engenharia Florestal, CPCE-UFPI, Bom Jesus, PI, <tiago2703@yahoo.com.br>.

⁴ Graduada em Engenharia Ambiental, UACTA-UFCG, Pombal, PB, <tdpedrosa2@yahoo.com.br>.

1 INTRODUÇÃO

O *Pinus elliottii* Engelm. ocorre naturalmente nos Estados Unidos da América, sendo considerado como uma das espécies florestais de maior importância nessa região. No Brasil, a introdução dessa espécie teve bastante êxito, motivando a implantação de povoamentos florestais, especialmente, com a finalidade de atender à demanda de madeira para celulose e papel e no setor madeireiro em rotações mais longas (DRESCHER et al., 2001). Dada a importância econômica da espécie, há a necessidade de se conhecer as suas propriedades e características da sua madeira.

A densidade básica é indiscutivelmente aceita como um dos principais parâmetros de qualidade da madeira quando se visa sua utilização como matéria prima industrial ou energética, por isso o seu estudo vem sendo largamente realizado, uma vez que este parâmetro é facilmente determinado, além da sua correlação com outras propriedades da madeira. Este parâmetro reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou o volume de espaços vazios existentes em uma madeira. Assim, a avaliação da qualidade da madeira com base na sua densidade pode ser útil do ponto de vista tecnológico, sendo um indicador das propriedades da madeira (MATTOS et al., 2011).

A densidade básica da madeira é influenciada por diversos fatores e varia significativamente em função da idade, procedência, local de origem, espaçamento e taxa de crescimento entre gêneros e espécies e até mesmo entre árvores da mesma espécie (VALÉRIO et al., 2008). Essa variação pode ser tanto no sentido longitudinal, ou seja, da base para o topo (MATTOS et al., 2011; VALÉRIO et al., 2008), como no sentido radial, da medula para a casca (MELO et al., 2006; TREVISAN et al., 2008). Tais variações são decorrentes de uma complexa combinação de fatores anatômicos, físicos e químicos, os quais são influenciados principalmente pela idade da árvore, o genótipo e as condições ambientais.

Ao longo dos anos, as alterações que ocorrem nas células do lenho das árvores causam alterações substanciais em sua densidade. Dentre estas alterações podem ser destacadas alterações nos seguintes componentes celulares: dimensões das fibras, espessura da parede celular, volume de vasos e parênquimas, diâmetro do lume, proporção entre madeira primaveril e outonal, e arranjo dos elementos anatômicos (OLIVEIRA & SILVA, 2003; VALÉRIO et al., 2008). Gatto et al. (2010) destacaram que ao longo dos anos, essas mudanças nos componentes anatômicos do lenho podem ser utilizadas como critérios para definição da zona de transição entre os lenhos juvenil e adulto.

Por apresentar elevada variabilidade dentro de uma mesma árvore para a determinação da densidade básica de uma dada espécie é necessário retirar amostras representativas ao longo do fuste. Todavia, Mendes et al. (1999) sugeriram que a retirada de amostras de uma única posição poderia ser utilizada para determinação da densidade média da árvore por meio de estimativas. Para este caso, os autores recomendaram a retirada de amostras na altura correspondente ao diâmetro à altura do peito (DAP) para as aferições.

Este estudo teve como objetivo avaliar a variação na densidade básica no sentido radial e longitudinal da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. de indivíduos com diferentes idades. Adicionalmente, foi avaliada a correlação existente entre a densidade básica, obtida pela média aritmética e aquela tomada de discos provenientes do DAP.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção das amostras

Para a realização dos estudos foram colhidas dez árvores de *Pinus elliottii* provenientes de plantios homogêneos com espaçamento de 3,0 x 2,0 m, localizados na região Leste do Estado de Santa Catarina, no vale do Rio Itajaí. Os indivíduos selecionados apresentavam idades que variavam entre oito e 15 anos. Esses foram subdivididos em dois grupos contendo cinco árvores cada. Um com idade média de aproximadamente nove anos (três árvores com nove anos e duas com oito), e outro com idade média de aproximadamente 14 anos (quatro árvores com 14 anos e uma com 15).

2.2 Confecção dos corpos de prova

Após o abate, as árvores foram seccionadas em diferentes alturas, sendo retirados discos com, aproximadamente, 5 cm de espessura aos 10, 35, 55 e 75% da altura total da árvore, além de um disco retirado na altura correspondente ao diâmetro à altura do peito – DAP, tomada a 1,30m do solo. Os discos foram devidamente identificados e levados ao laboratório. De cada disco foram retirados seis corpos de prova com as dimensões de 1,5 x 1,5 x 5,0 cm, nas porções interna (próximo à medula), intermediária e externa (próximo à casca), conforme a Figura 1.

2.3 Determinação da densidade

Para determinação da densidade, os corpos de prova foram submersos em água até atingirem massa constante (completa saturação das paredes celulares). Subsequentemente,

foram tomadas para cada amostra o volume das amostras saturadas (obtido pela massa do líquido deslocado) e a massa seca da madeira (obtida após a secagem em estufa a 103°C). A densidade de cada corpo de prova foi determinada pela relação entre a massa seca e o volume saturado.

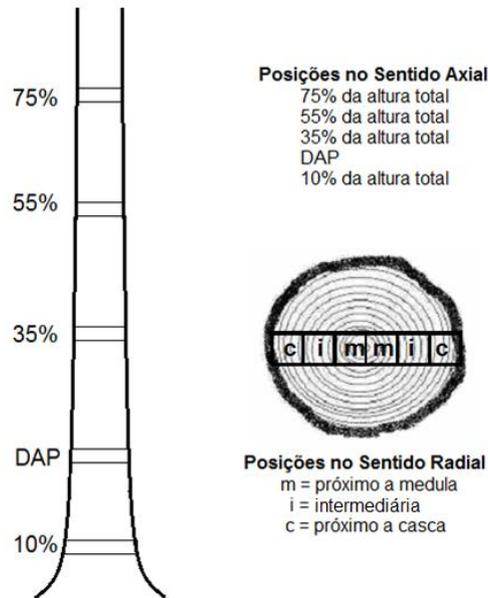


Figura 1. Método utilizado para obtenção das amostras.

Figure 1. Method used to obtain the samples.

2.4 Análise dos resultados

Para avaliação dos resultados foi empregada uma análise com arranjo fatorial, em que foram avaliados três fatores: idade com dois níveis (14 anos e nove anos aproximadamente); posição axial no tronco com cinco níveis (10, DAP, 35, 55 e 75%); e posição radial no tronco com três níveis (próxima à medula, intermediária e próxima à casca). Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Scott-Knott a 5% de significância para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste de F. Também foi empregada análise de regressão para estimar a densidade média da madeira a partir da densidade de amostras retiradas na altura do DAP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação de densidade para os parâmetros idade, posição axial e radial pode ser observada na Tabela 1. Com relação à idade, foi constatado que a densidade foi maior para os indivíduos com maior idade. Para Côrrea & Bellote (2011), isso ocorre porque árvores de

maior idade geralmente produzem células de paredes mais espessas, o que influencia diretamente na densidade. Entretanto, os autores ressaltam que, após um determinado período, ocorre um equilíbrio em função da estabilização nas dimensões dos traqueídeos.

Tabela 1. Variação de densidade da madeira de *Pinus elliottii* para os parâmetros idade e posição no tronco.

Table 1. Wood density variability of *Pinus elliottii* for old age, axial and radial position.

Idade Média		Posição Axial		Posição Radial	
(anos)	(g.cm ⁻³)	(%)	(g.cm ⁻³)	-	(g.cm ⁻³)
14	0,364 a	10	0,370 a	Medula	0,302 c
9	0,332 b	DAP	0,378 a	Intermediária	0,342 b
		35	0,346 b	Externa	0,398 a
		55	0,323 c		
		75	0,322 c		

Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em relação à variação longitudinal, nas posições a 10% de altura e no DAP, os valores de densidade encontrados foram de 0,370 e 0,378 g.cm⁻³, respectivamente, sendo superiores estatisticamente em relação às demais posições. Palermo et al. (2003) e Mattos et al. (2011) observaram, para a mesma espécie, uma redução da base para o topo, mas com um aumento significativo a partir de 75% da altura total. Como possível explicação os autores citaram que tal característica pode estar relacionada com a região de inserção dos ramos, onde ocorrem alterações na estrutura anatômica da madeira, provocando aumento da densidade.

Lousada et al. (2008), ao estudarem a densidade básica em *Pinus pinaster*, verificaram que na amostragem de posição a 10 e 50% de altura foram encontrados os valores mais elevados. No entanto, ao avaliarem a densidade básica de *Pinus oocarpa*, Mendes et al. (1999) concluíram que para essa espécie os melhores níveis de amostragens, situam-se nas posições a 50% de altura e no DAP.

Quanto à variação radial, observou-se que os maiores valores de densidade foram encontrados na região periférica. Estes resultados estão de acordo com Conw & Ball (2001) e Zamudio et al. (2002), os quais afirmaram que a maior quantidade de lenho tardio presente no anel de crescimento e o desenvolvimento do lenho adulto após o lenho juvenil e o lenho de transição são os fatores responsáveis por essa tendência de aumento da densidade básica em coníferas. Entretanto, alguns autores, dentre estes Oliveira & Silva (2003) e Trevisan et al. (2008), verificaram variação similar para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, o que foi justificado pelo rápido crescimento em sua fase inicial e consequente produção de células com paredes mais delgadas.

Na avaliação da variação da densidade básica das madeiras de *Pinus elliottii* Engelm., verificou-se para ambas as idades médias avaliadas uma redução progressiva da densidade da periferia para o centro (Figura 2). Estudos realizados com coníferas no geral revelam que a densidade básica cresce no sentido medula-casca (CORRÊA & BELLOTE, 2011), o que pode ser atribuído principalmente a uma menor distância entre os anéis de crescimento na parte mais externa do tronco e a uma maior proporção de lenho juvenil no centro da árvore (MELO et al., 2010). Resultados similares foram observados por Sousa et al. (2007).

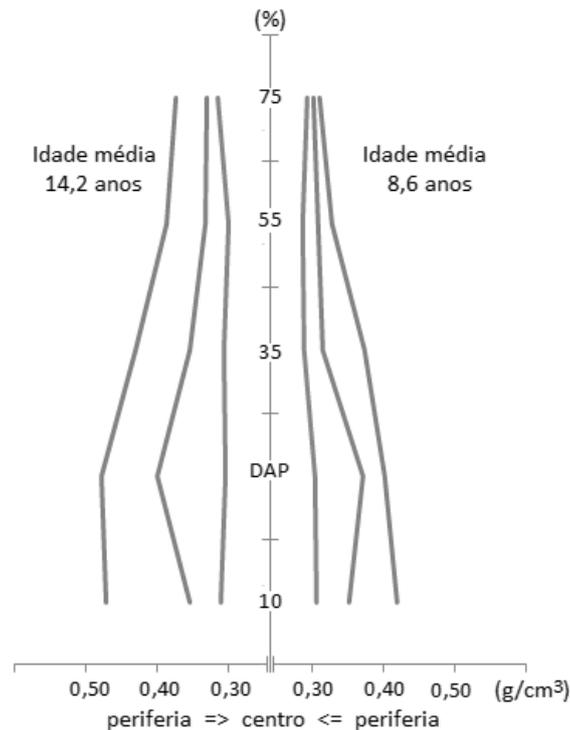


Figura 2. Densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* em função da idade e da variação longitudinal e radial.

Figure 2. *Pinus elliottii* wood density for old age, axial and radial position.

Ainda na Figura 2, pode-se observar que os indivíduos de maior idade (14,2 anos) obtiveram densidade superior aos indivíduos de menor idade (aproximadamente nove anos). A densidade da madeira de *Pinus elliottii* decresceu da base para o topo. Hasegawa (2003), Bittencourt (2004) e Siqueira (2004), ao estudarem espécies do gênero *Pinus*, encontraram a mesma tendência de diminuição da densidade básica da base para o topo da árvore. Em estudos realizados com várias espécies do gênero *Eucalyptus* (STURION et al., 1987), com *Eremanthus erythropappus* (SCOLFORO, 2004) e *Aspidosperma polineuron* (VALÉRIO et al., 2008), verificou-se que a tendência de redução da densidade no sentido base-topo.

A análise de variância indicou que todos os parâmetros avaliados (idade, variação longitudinal e variação radial) influenciaram significativamente a densidade da madeira de *Pinus elliottii*. Foram verificadas ainda interações significativas para todos os parâmetros, exceto a idade e a variação longitudinal (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância dos resultados de densidade básica para os parâmetros avaliados.

Table 2. Variance analyses for factors and interaction evaluated.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrado Médio
Idade	1	0,0384**
Variação Longitudinal	4	0,0202**
Variação Radial	2	0,1165**
Idade x Variação Longitudinal	4	0,0004 ^{NS}
Idade x Variação Radial	2	0,0085**
Variação Longitudinal x Variação Radial	8	0,0056**
Idade x Variação Longitudinal x Variação Radial	8	0,0003 ^{NS}
Resíduo	120	0,0013
Total	149	

** e * significativo a 1% ($p < 0,01$) e 5% ($0,01 \leq p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente; ^{NS}não significativo ($p \geq 0,05$).

Na interação entre a idade e a variação radial, na idade de 14,2 e na posição radial mais externa (casca), foi registrada a maior densidade básica (Tabela 3). Oliveira et al. (2006) verificaram na madeira de *Pinus taeda* a mesma tendência, o que pode ser explicado pelo incremento em espessura dos traqueídeos em função do aumento da idade das árvores. Quanto à interação entre a variação radial e longitudinal, os maiores valores de densidade foram encontrados a 75% da altura das árvores de *Pinus elliottii* (Tabela 4). Mattos et al. (2011) verificaram em três espécies de coníferas o mesmo modelo de variação axial da densidade básica diminuindo da base para o topo.

Tabela 3. Variação da densidade básica de *Pinus elliottii* para interação entre os fatores idade e posição radial.

Table 3. Variation of *Pinus elliotti* wood density for interaction between old age and radial position.

Idade (anos)	Posição Radial		
	Externa	Intermediária	Medula
14	0,429 aA	0,354aB	0,308 aC
9	0,368bA	0,331 bB	0,296aC

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Variação da densidade básica de *Pinus elliottii* Engelm. para interação entre as posições axial e radial.

Table 4. Variation of *Pinus elliottii* wood density for interaction between axial and radial position.

Posição Axial (%)	Posição Radial		
	Externa	Intermediária	Medula
10	0,446 aA	0,354 bB	0,309aC
DAP	0,441 aA	0,387 aB	0,305 aC
35	0,403bA	0,336 bB	0,299aB
55	0,358cA	0,321cB	0,290aB
75	0,343 cA	0,314cA	0,309aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Ao considerar o efeito da interação entre a idade e as variações radial e longitudinal, obteve-se uma média para a densidade básica de $0,348 \pm 0,04 \text{ g.cm}^{-3}$, valor inferior ao observado por Mattos et al. (2011) para a mesma espécie ($0,41 \text{ g.cm}^{-3}$). Essa variabilidade pode ser explicada por diferenças de idades entre os indivíduos analisados. Para a análise correlação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* verificou-se uma elevada correlação para a regressão linear ($r = 0,93$) com a densidade de amostras obtidas na altura do DAP. Os dados apontam ser a densidade obtida na altura do DAP um parâmetro confiável para estimar a média obtida entre os valores de densidade da madeira (Figura 3).

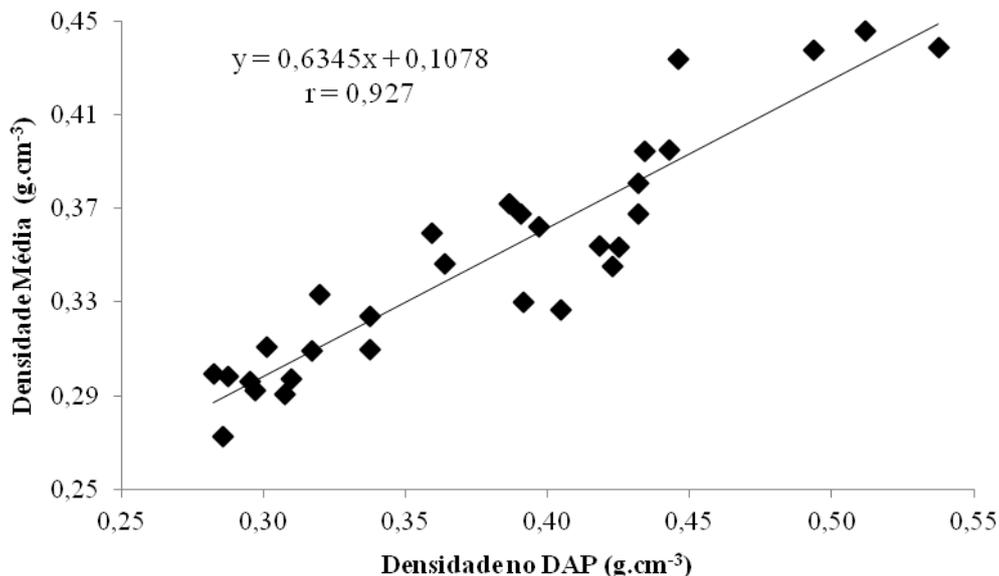


Figura 3. Correlação entre a densidade média da madeira de *Pinus elliottii* e a densidade das amostras obtidas do DAP.

Figure 3. Correlation of wood average density of *Pinus elliottii* by density the samples in 1.30 m height obtained.

4 CONCLUSÕES

- Os fatores idade, posição axial, posição radial e suas interações influenciaram significativamente os valores de densidade para madeira de *Pinus elliottii*;
- A densidade da madeira reduziu da base para o topo e aumentou da medula para a casca;
- As árvores de maior idade apresentaram maiores valores de densidade quando comparadas às de menor idade;
- A densidade básica obtida por meio de amostras retiradas da altura do DAP pode ser utilizada para estimar com precisão a densidade média da árvore.

5 REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel.** 2004, 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CONW,D.J.; BALL,R.D. Wood densitometry of 10 *Pinnus radiate* families at seven contrasting sites influence of tree age, site, and genotype. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.31, n.1, p. 88-100, 2001.

CORRÊA, R.S.; BELLOTE, A.F.J. Influência do solo na dimensão dos traqueídeos e densidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.66, p. 93-102, 2011.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p. 37-42, 2001.

GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R.; BULIGON, E.A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch. por meio de parâmetros anatômicos da madeira. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p. 675-682, 2010.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul.** 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

LOUSADA, J.; NORONHA, M., LOPES, D.;SILVA, M. Relações entre peso, volume e densidade para a madeira de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) cultivado em Portugal. **Silva Lusitana**, v.16, n.2, p. 183-196, 2008.

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.

MELO, R.R.; PAES, J.B.; LIMA, C.R.; FERREIRA, A.G. Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do semiárido. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.4, n.07, p. 1-8, 2006.

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; DEL MENEZZI, C.H.S.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p. 67-73, 2010.

MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M.; TRUGILHO, P.F., LIMA, J.T. Variação da densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, v.5, n.1, p. 105-111, 1999.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA, I.L.; GARCIA, J.N.; FLORSHEIM, S.M.B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v.18, n.1, p. 59-70, 2006.

PALEMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; REZENDE, M.A.; NASCIMENTO, A.M.; SEVERO, E.T.D.; ABREU, H.S. Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, v.10, n.2, p. 47-57, 2003.

SCOLFORO, J.R.S.; PÉREZ, J.F.M.; MELO, J.M.; OLIVEIRA, A.D.; CAMOLESI, J.F.; BORGES, L.F.R.; ACERBI JÚNIOR, F.W. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC) MacLeish). **Cerne**, v.10, n.1, p. 87-102, 2004.

SIQUEIRA, K.P. **Variabilidade da densidade de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004. 61f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUSA, R.C.; GIOVANINI, E.P.; LIMA I.L.; FLORSHEIM, S.M. B. GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v.19, n.2, p. 119-127, 2007.

STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.14, p. 28-38, 1987.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; BELTRAME, R.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Variação radial da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, v.38, n.3, p. 553-559, 2008.

VALÉRIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, v.21, n.3, p 54-58, 2008.

ZAMUDIO, F.; BAETTYG, R.; VERGARA, A.; GUERRA, F.; ROZEMBERG, P. Genetic trends in Wood density and radial growth with cambial age in a radiate pine progeny test. **Annals of Forest Science**, v.59, p. 541-549, 2002.