

**AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE UM
HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden
x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**

FRANCIANE ANDRADE DE PÁDUA

2009

FRANCIANE ANDRADE DE PÁDUA

**AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA DENSIDADE
BÁSICA DA MADEIRA DE UM HÍBRIDO DE *Eucalyptus
grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para
obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Paulo Fernando Trugilho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pádua, Franciane Andrade de.

Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake / Franciane Andrade de Pádua.. – Lavras : UFLA, 2009.

87 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Amostragem. 2. Amostragem não destrutiva. 3. Densidade básica. 4. Madeira. 5. Eucalipto. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.97342

FRANCIANE ANDRADE DE PÁDUA

**AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA DENSIDADE
BÁSICA DA MADEIRA DE UM HÍBRIDO DE *Eucalyptus
grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para
obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2009

Margarete Marin Lordelo Volpato

EPAMIG/UFLA

Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira

DEF/UFES

Prof. José Reinaldo Moreira da Silva

DCF/UFLA

Prof. Lourival Marin Mendes

DCF/UFLA

Prof. Paulo Fernando Trugilho

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus amados pais César e Cida, meus queridos irmãos Flaviana, Emerson, Franciole, Fabrícia, meus sobrinhos Arthur e Stella e meus cunhados José Augusto e Fábio, os quais souberam manter a presença mesmo quando ausentes.

OFEREÇO

Ao meu marido Thiago e minha filha Isabella, eternos amores...

DEDICO

“Foi o tempo que perdeste com a tua rosa, que fez
a tua rosa tão importante.”

Antoine de Saint-Exupéry

AGRADECIMENTOS

Meus irrestritos agradecimentos ao Professor Paulo Fernando Trugilho pela orientação, compreensão, paciência e amizade, a quem dedico minha confiança e profunda admiração.

Gostaria de expressar a minha gratidão e reconhecimento à Pesquisadora Margarete Marin Lordelo Volpato, e aos Professores José Tarcísio da Silva Oliveira, José Reinaldo Moreira da Silva e Lourival Marin Mendes, por suas valiosas contribuições que certamente elevaram a qualidade deste trabalho.

Aos professores, Fabio Akira Mori e José Tarcísio Lima pelos ensinamentos que me proporcionaram a oportunidade de realização deste trabalho e acima de tudo, pela amizade.

A CAF Santa Bárbara Ltda, pelo suporte e apoio logístico necessários à condução deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, em especial Humberto Fantuzzi e Marcelo Nogueira, pela amizade, consideração e pelas doses diárias de alegria.

Aos amigos Clair, Marina, Thiago, Carlos, demais colegas e estagiários da Tecnologia da Madeira, pelo auxílio na coleta dos dados e análises laboratoriais, registro aqui meu reconhecimento e gratidão.

Aos queridos amigos e colegas da Universidade Federal de São Carlos, Carlos “Sassá”, Kelly, José Mauro e Maurício, pelo incentivo e agradável convivência no período de finalização do trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, e aos funcionários do Departamento de

Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, sempre prestimosos auxiliares, meus sinceros agradecimentos.

A minha amada filha Isabella, presente de Deus, por tornar a minha vida mais bela e por tornar os momentos difíceis apenas momentos difíceis.

Ao Thiago, por sempre partilhar com amor das minhas dificuldades, inseguranças, alegrias e vitórias.

Aos meus pais, por nunca medirem esforços para proporcionar uma boa educação a mim e a meus irmãos.

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados pela compreensão, ajuda e amor incondicional.

A D. Carmen, Sr. Fernando, Marina e Junior, minha segunda família, pelo carinho, incentivo e apoio durante este percurso.

Às demais pessoas que colaboraram, direta ou indiretamente, para que esta vitória fosse possível, minha gratidão.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	04
2.1 Densidade básica da madeira.....	04
2.1.1 Variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo.....	07
2.1.2 Variação da densidade básica da madeira no sentido medula-casca.....	09
2.2 Amostragem da madeira para o estudo da densidade básica.....	10
2.2.1 Amostragem não destrutiva.....	15
2.2.1.1 Uso do Pilodyn®.....	17
2.2.1.2 Uso do Resistograph®.....	19
2.2.1.3 Uso do trado de incremento.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Material biológico.....	23
3.2 Características de crescimento.....	24
3.3 Amostragem longitudinal da madeira nas árvores.....	24
3.3.1 Amostragem tradicional.....	24
3.3.2 Amostragem alternativa.....	24
3.3.3 Amostragem de metro em metro.....	25
3.3.4 Amostragem não destrutiva	25
3.3.4.1 Uso do trado motorizado.....	26
3.3.4.2 Uso do Pilodyn®.....	26
3.3.4.3 Uso do Resistograph®.....	26
3.4 Amostragem radial nos discos.....	27

3.5 Determinação da densidade básica.....	28
3.6 Análises estatísticas.....	29
3.6.1 Avaliação do padrão de variação da densidade básica nas árvores, melhor método e posição de amostragem.....	29
3.6.2 Teste para verificar a falta de ajustamento e identidade de modelos.....	29
3.7 Cálculo da intensidade amostral.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Características de crescimento.....	31
4.2 Densidade básica da madeira: método de amostragem e variação longitudinal.....	32
4.3 Intensidade amostral.....	47
4.4 Densidade básica da madeira: variação radial.....	50
4.5 Densidade básica da madeira: correlação com a amostragem não destrutiva e identificação do ponto de melhor estimativa.....	57
5 CONCLUSÕES.....	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	79

RESUMO

PÁDUA, Franciane Andrade de. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 87 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Este trabalho teve como objetivos i) avaliar métodos de amostragem destrutiva e não destrutiva, visando à estimativa da densidade básica da árvore; ii) verificar o padrão de variação longitudinal e radial da densidade básica na árvore para cada método de amostragem e classe de diâmetro; iii) ajustar modelos para a estimativa da densidade básica em função da altura na árvore e distância da medula; iv) determinar o número ótimo de árvores para a estimativa da densidade básica média da árvore e, v) determinar o ponto de melhor correlação com a densidade básica média do tronco. Foi utilizado um clone de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos 5,6 anos, plantado município de Martinho Campos, MG. As árvores foram distribuídas em três classes de diâmetro e foram amostradas, na forma de discos, por três métodos de amostragem: tradicional (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial Hc); alternativa (2%, 10%, 30% e 70% Hc) e de metro em metro a partir do dap. Também foram avaliados três métodos de amostragem não destrutiva: Resistograph®, Pilodyn® e baguetas. Foram tomadas amostras ao longo do raio nos discos, considerando os dois lados opostos à medula. Pelos resultados, verificou-se que o método alternativo apresentou os maiores coeficientes de correlação com o método de metro em metro e foi o mais eficiente para a estimativa da densidade básica média. A amostragem na forma de baguetas subestimou a densidade básica média da árvore em 9,5%. A densidade básica diminuiu inicialmente, até aproximadamente 2,3m de altura, aumentou a partir desse ponto, até 9,3m (classe 8,1 cm) e 13,3 m (classes 11,4 e 14,2 cm) e voltou a diminuir a partir desses pontos até a altura comercial. A densidade básica seguiu a tendência de aumento da medula para a casca. Sugere-se a utilização do resistógrafo nos pontos de 1,10 m ou 1,50 m e do Pilodyn® a 1,50m de altura do solo. A densidade básica determinada a 1,10 e 1,50 m de altura do solo apresentou as maiores coeficientes de correlação com os três métodos de amostragem considerados.

Palavras-chave: amostragem, densidade básica, madeira, eucalipto.*

* Comitê orientador: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (orientador)

Co-orientadores: José Tarcísio Lima – UFLA, José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA e Lourival Marin Mendes– UFLA.

ABSTRACT

PÁDUA, Franciane Andrade de. **Sampling for evaluating the wood basic density in *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake hybrid**. Lavras, 2009. 87 p. Thesis (Doctor in Wood Science and Technology) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

The research aimed: i) to evaluate destructive and non destructive methods of sampling to estimate the basic density of the wood; ii) to determine the longitudinal and radial variation of basic density in the stem in each method and diameter class; iii) to fit model of average basic density estimating along to stem and across the diameter; iv) to determine the optimum number of trees to be assessed to estimate the basic density; v) to determine an optimum sampling point within stem. For this, 50 trees of a hybrid clone of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* a 5.6 years-old from the Martinho Campos, Minas Gerais State, Brazil, were used. The trees were sorted in three diameter classes; discs being removed from a range of heights from the sampling methods: “traditional” (0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height- Hc), “alternative” (2%, 10 %, 30% and 70% Hc) and “meter to meter” (each meter above breast height diameter). Also three non destructive sampling methods were evaluated: Resistograph®, Pilodyn® and increment corer. For the radial sampling, small corer being removed from a two opposite sides of pit. It was observed that the “alternative” method showed the highest correlations with the “meter to meter” method. This was the more efficient method for estimate to basic density in stem. The density decreased initially up to 2.3 m of high, then increased to 9.3 m (8.1 cm class) and 13.3 m (11.4 and 14.2 cm class) then decreased from these points up to top. The pattern of radial variation showed a increase across diameter. It was possible to suggest the points of the 1.10 m and 1.50 m for use the Resistograph® and Pilodyn ®. The core underestimated the average density of the tree in 9.5%. The density measured at 1.10 and 1.50 m of stem presented the highest correlations with the three sampling methods considered.

Keywords: sampling, basic density, wood, eucalypt.*

* Advising Committee: Paulo Fernando Trugilho - UFLA (adviser)

Co-advisers: José Tarcísio Lima – UFLA, José Reinaldo Moreira da Silva – UFLA e Lourival Marin Mendes– UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Os segmentos industriais que utilizam maciçamente a madeira, a exemplo do setor de celulose e papel e do setor siderúrgico, têm intensificado esforços para garantir o suprimento dessa matéria-prima, tendo em vista a autossuficiência. Diante desta situação, é estratégico o investimento em novos plantios florestais, em sistemas mais eficientes de produção e na adequada avaliação das propriedades da madeira que afetam a qualidade do produto.

É fundamental, para a adequada avaliação da qualidade da madeira para quaisquer usos, a identificação das propriedades que afetam o produto final. Neste sentido, a densidade básica é considerada um índice qualitativo da madeira para os mais diversos usos. Isso se deve ao fato de a densidade básica, além de ser uma propriedade de fácil determinação e possuir alta herdabilidade, estar correlacionada com um número muito grande de outras propriedades da madeira e, conseqüentemente, exercer grande influência na qualidade e no rendimento de determinados produtos.

A madeira é um material heterogêneo e muito variável. Suas propriedades variam entre árvores e dentro da própria árvore, nos sentidos longitudinal e radial do tronco. Por esse motivo, o estabelecimento de um programa de amostragem adequado aos objetivos do estudo é uma das maiores dificuldades para se obter resultados que representem o valor das propriedades no tronco. Para tanto, há a necessidade de se dispor de métodos eficientes para o estudo das propriedades da madeira, permitindo uma avaliação mais adequada da sua variabilidade.

Existem diversas formas de se amostrar a madeira para o estudo de suas propriedades, as quais levam em consideração a acurácia, o tempo e o custo de processamento e coleta do material. No entanto, muitas vezes, o padrão de variação da propriedade no tronco é negligenciado. Dependendo da forma e da

intensidade da amostragem considerada no estudo, a variabilidade das propriedades da madeira pode não ser corretamente captada. Considerando erroneamente que o padrão de variação das propriedades da madeira é consistente dentro de árvores de uma mesma espécie ou de espécies diferentes e, até mesmo dentro de um mesmo clone, é comum, em muitas pesquisas, a análise de poucas árvores e, às vezes, com uma única determinação de suas características no tronco. O descuido com a metodologia de amostragem é muito preocupante, pois a estimativa do valor médio da propriedade é muitas vezes extrapolada para uma população inteira. Um pequeno “deslize” pode resultar na sub ou na superestimativa do valor da propriedade para a população e, conseqüentemente, gerar prejuízos econômicos de grandes proporções.

Para uma eficiente avaliação da qualidade da madeira, seria ideal uma amostragem intensiva entre árvores e dentro da árvore, nos sentidos longitudinal e radial. No entanto, isso implica em uma maior demanda por tempo e custo. Alternativamente, os métodos de avaliação não destrutiva das propriedades da madeira podem ser utilizados com sucesso, visando à redução de custos experimentais, desde que haja alta correlação entre o ponto amostrado e o valor da propriedade.

Existe carência de informações necessárias ao estabelecimento de um programa de amostragem destrutiva e não destrutiva que leve em consideração a verdadeira variação das propriedades para que as informações possam expressar com eficiência o valor médio das características no tronco.

Neste contexto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo geral de avaliar métodos de amostragem para a estimativa da densidade básica da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ determinar a densidade básica da madeira utilizando métodos de amostragem destrutiva e não destrutiva por classe de diâmetro;
- ✓ verificar o padrão de variação longitudinal e radial da densidade básica determinada por diferentes métodos de amostragem e classes de diâmetro;
- ✓ ajustar modelos para a estimativa da densidade básica em função da altura na árvore e da distância da medula;
- ✓ determinar o número ótimo de árvores para a estimativa da densidade básica média da árvore;
- ✓ determinar um ponto ótimo para a amostragem não destrutiva da árvore, visando à estimativa da densidade básica pelos três métodos de amostragem considerados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica é a relação entre a massa de madeira seca e o seu volume verde. Normalmente, as unidades físicas usadas para expressar a densidade básica são quilo, para massa seca e metro cúbico para o volume da madeira.

Por ser de fácil determinação, possuir alta herdabilidade (Rocha, 1983) e se relacionar com um número muito grande de outras propriedades, a densidade básica é considerada um dos mais importantes índices de qualidade da madeira para os mais diversos usos. Contudo, é importante destacar que, em função da alta correlação com outras propriedades da madeira, a densidade básica não deve ser utilizada como índice de qualidade de forma isolada.

A densidade da madeira afeta a higroscopicidade, a retratibilidade e as propriedades de resistência mecânica (Panshin & Zeeuw, 1980), elétricas e acústicas (Loschi Neto et al., 2008). Inúmeros trabalhos já confirmaram o seu desempenho para diferentes produtos, como para a produção de celulose (Shimoyama & Barrichelo, 1989, 1991) e a produção de carvão vegetal (Doat & Petroff, 1975; Brito & Barrichelo, 1980; Robison & Mize, 1987; Coutinho & Ferraz, 1988; Trugilho et al., 2001, 2005).

A madeira é um material heterogêneo e muito variável. A densidade básica, entre outras propriedades, varia entre árvores e dentro da própria árvore, no sentido longitudinal e radial do tronco, entre cerne e alburno, entre madeira juvenil e adulta e dentro do mesmo anel de crescimento, entre lenho inicial e lenho tardio. Essas diferenças observadas dentro e entre árvores devem-se às diferentes dimensões celulares e à quantidade de componentes extratáveis por unidade de volume. Estes fatores, por sua vez, são influenciados por idade, genótipo, índice de sítio, localização geográfica e tratamentos culturais, entre outros

(Panshin & Zeewun, 1982). Ainda, segundo Downes et al. (1997), essa variabilidade das propriedades da madeira pode sofrer grande interferência dos métodos de avaliação, podendo resultar em erros consideráveis de decisão quanto à amostragem adequada do material.

Segundo Downes et al. (1997), a variação da densidade básica no sentido longitudinal do tronco se comporta de forma diferente em coníferas e em folhosas. De acordo com os autores, as coníferas apresentam um padrão de variação cilíndrica resultado da redução da densidade com a altura da árvore. Para folhosas, mais especificamente para o gênero *Eucalyptus*, o padrão de variação parece ser mais cônico com a interação entre a variação radial e longitudinal, admitindo três possibilidades de variação das propriedades da madeira utilizando modelos cônicos. Estes modelos incluem a estrutura do anel e admitem mudanças lineares ou não lineares da propriedade em função da altura e da distância da medula. Conforme os mesmos autores, os padrões de variação para o gênero *Eucalyptus* podem apresentar:

- ✓ simetria cônica: a propriedade varia de forma constante para uma dada região de anel com a altura, mas varia radialmente entre regiões;
- ✓ simetria linear geral: a propriedade varia de forma linear longitudinalmente e radialmente;
- ✓ simetria não linear geral: a propriedade varia de forma não linear tanto no sentido radial quanto longitudinal.

A densidade básica, normalmente, aumenta de forma brusca no período juvenil e aumenta de forma mais lenta até a maturidade, permanecendo mais ou menos constante daí para frente. Pode, ainda, apresentar um padrão de variação uniforme e aumentar ou diminuir durante a vida ou, ainda, diminuir durante o período juvenil e aumentar daí para frente (Haygreen e Bowyer, 1982; Panshin e Zeewun, 1982).

Lima (1995) verificou que a variação da densidade básica dentro de clones de *Eucalyptus saligna* apresentou uma redução com o aumento da idade, tendendo para a estabilização aos 42 meses.

Diversos estudos demonstram que a densidade básica da árvore varia também com a qualidade do sítio. Nos trabalhos de Raymond & Muneri (2001), tanto o sítio favorável quanto o desfavorável apresentaram altas correlações com a densidade básica em *Eucalyptus globulus* e em *Eucalyptus nitens*. Lima et al. (2000) encontraram diferenças significativas na densidade da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* entre sítios no sul do estado da Bahia e verificaram também que a interação genótipo ambiente foi significativa.

Rosado et al. (1983) verificaram não haver efeito significativo entre taxa de crescimento e densidade básica da árvore em *Eucalyptus* spp. Já Albino (1983) verificou que a densidade básica diminuiu com o potencial de crescimento em *Eucalyptus*.

Com relação ao efeito do espaçamento, Silveira (1999) verificou, em dois conjuntos de clones de *Eucalyptus*, que, para um conjunto de clones, a abertura do espaçamento provocou um aumento significativo no valor da densidade básica da madeira, enquanto que para o outro conjunto o efeito foi não significativo. Vital et al. (1981) não verificaram influência do espaçamento no valor da densidade básica da madeira.

Diversos estudos com espécies do gênero *Eucalyptus* já foram realizados visando à avaliação da variação da densidade básica nas direções longitudinal e radial do tronco em diferentes idades, sítios e tratamentos silviculturais. No entanto, existem poucas informações no sentido de avaliar as diferenças na densidade básica decorrentes de diferentes métodos de amostragem no tronco, visando estabelecer um procedimento de avaliação da madeira que seja sensível às variações para estimar o valor da propriedade no tronco. Por esse motivo, verifica-se que existe muita contradição na literatura e que não se chegou a um

padrão definido de variação, tanto do sentido longitudinal como radial, para as espécies do gênero, conforme exposto a seguir.

2.1.1 Variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo

As pesquisas envolvendo o estudo da variação da densidade básica com a altura da árvore confirmam a inexistência de um padrão definido de variação. Esses diferentes padrões podem ocorrer devido a vários fatores, dentre os quais se destacam: fatores intrínsecos da madeira, fatores ambientais e fatores de ordem prática, como o método de amostragem e avaliação das propriedades da madeira.

Na Tabela 1 são apresentados alguns resultados encontrados na literatura que reportam diferentes padrões de variação da densidade básica com a altura da árvore, para algumas espécies do gênero *Eucalyptus* em diferentes idades. Percebe-se que a tendência de variação da densidade no sentido base-topo mais verificada se caracteriza por um aumento base-topo, após um decréscimo inicial. No entanto, não se sabe ao certo qual é o ponto que representa o valor da mínima densidade, em função dos diferentes procedimentos de amostragem adotados para a avaliação da variação da densidade com a altura da árvore. Para tanto, Downes et al. (1997) sugerem uma amostragem mais minuciosa da base até 1,5 m de altura no tronco.

TABELA 1 Variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo, apresentada por algumas espécies de *Eucalyptus*

Espécie	Referência	Idade	Tendência
<i>E. grandis</i>	Ferreira (1972)	11	A densidade básica aumenta com a altura da árvore no sentido base-topo
	Sturion et al. (1987) Shimoyama & Barrichelo (1991)	10,6 7	A densidade básica diminui com a altura da árvore no sentido base-topo
	Alzate et al. (2005) Oliveira et al. (2005) Wilkins & Horne (1991) Lima et al. (1992) Manfredi (1985)	8 16 9,5 3,5 7,5	A densidade básica aumenta com a altura da árvore após um decréscimo inicial no sentido base-topo
	Teixeira & Vargas Filho (1994)	6	A densidade básica não varia com a altura da árvore no sentido base-topo
	Pádua et al. (2006)	7	A densidade básica aumenta com a altura da árvore no sentido base-topo
<i>E. urophylla</i>	Oliveira et al. (2005)	16	A densidade básica diminui com a altura da árvore após um acréscimo inicial no sentido base-topo
	Pádua et al. (2006) Alzate et al. (2005)	7 8	A densidade básica aumenta com a altura da árvore no sentido base-topo
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	Gominho et al. (2001) Pádua et al. (2006)	5,7 7	A densidade básica aumenta com a altura da árvore após um decréscimo inicial no sentido base-topo
	McKenzie et al. (2003) Lausberg et al. (1995) Purnell (1988)	15 15 11	A densidade básica aumenta com a altura da árvore após um decréscimo inicial no sentido base-topo
<i>E. tereticornis</i>	Pádua et al. (2006) Lima et al. (1992)	7 3,5	A densidade básica aumenta com a altura da árvore no sentido base-topo
	Oliveira et al. (2005)	16	A densidade básica aumenta com a altura da árvore após um decréscimo inicial no sentido base-topo
<i>E. microcorys</i>	Rosado (1982)	5	A densidade básica diminui com a altura da árvore após um acréscimo inicial no sentido base-topo
<i>E. propinqua</i>	Rosado (1982) Brasil et al. (1977)	5 5	A densidade básica diminui com a altura da árvore após um acréscimo inicial no sentido base-topo

2.1.2 Variação da densidade básica da madeira no sentido medula-casca

Segundo Malan (1995), a diferença nas propriedades da madeira no sentido radial é a mais importante fonte de variação no tronco. A extensão dessa variação é determinada, principalmente, pela presença da madeira juvenil, pela sua proporção relativa no tronco e pelas suas características físico-químicas e anatômicas. Da mesma forma que para a variação longitudinal, as pesquisas confirmam a inexistência de um padrão definido de variação radial da densidade básica à medida que se distancia da medula. No entanto, a maioria das pesquisas envolvendo o estudo da variação radial da densidade básica em árvores do gênero *Eucalyptus* aponta para um aumento no sentido da medula-casca, conforme apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 Variação da densidade básica da madeira no sentido medula-casca, apresentada por algumas espécies de *Eucalyptus*.

Espécie	Referência	Idade	Tendência
<i>E. grandis</i>	Brasil & Ferreira (1972)	17	
	Hans et al. (1972)	7	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca
	Wilkins & Horne (1991)	9,5	
	Wilkins (1990)	1,3	
	Tomazello Filho (1985)	10	
	Bamber et al. (1982)	2,5	A densidade básica diminui, no sentido radial, da medula para a casca
<i>E. saligna</i>	Oliveira & Silva (2003)	16	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca
	Tomazello Filho (1985)	10	
	Carpim & Barrichelo (1983)	5,8	
<i>E. nitens</i>	McKenzie et al. (2003)	15	A densidade básica aumenta, no sentido radial, da medula para a casca, após um decréscimo inicial

Verifica-se pelos dados da Tabela 2 que, assim como para a variação longitudinal, os diferentes padrões de variação da densidade básica ocorrem tanto dentro da árvore quanto entre diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*.

2.2 Amostragem da madeira para o estudo da densidade básica

Muitas empresas florestais têm buscado, em seus programas de melhoramento, a seleção de clones superiores e sua propagação vegetativa. Um mesmo genoma selecionado é multiplicado milhares ou milhões de vezes. Qualquer erro na seleção pode resultar em danos econômicos ou qualitativos de grandes proporções (Flores et al., 2000).

Para a seleção de materiais genéticos superiores visando à produção de madeira, sua qualidade precisa ser avaliada. Para isso, é necessário que a madeira seja amostrada, permitindo a avaliação das relações existentes entre uma proporção representativa do tronco e uma população ou lote, viabilizando o estudo das propriedades em larga escala. É nesta etapa que diversos erros são cometidos, muitos deles relacionados à variação dos procedimentos metodológicos, comprometendo a confiabilidade e a comparabilidade dos resultados obtidos.

A forma de amostragem é uma das maiores dificuldades para se obter resultados significativos que representem toda a árvore, devido à grande variabilidade das características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira que são verificadas entre árvores e dentro da própria árvore, entre idades e sítios distintos (Zobel & Buijtenen, 1989).

Raymond (2002) sugere idades mínimas para a avaliação de algumas propriedades da madeira, em função do seu padrão de variação, como descrito na Tabela 3.

TABELA 3 Variação de algumas propriedades da madeira com a idade da árvore e a idade mínima para a sua potencial avaliação.

	Varição com a idade	Idade mínima
Densidade básica	Aumenta	3
Varição da densidade	Constante	5
Ângulo de microfibrila	Diminui	5
Rendimento da polpa e teor de celulose	Aumenta	5
Teor de lignina	Diminui	5
Extrativos	Aumenta	8
Comprimento de fibra	Aumenta	5

Fonte: Raymond (2002).

De acordo com os dados da Tabela 3, não é recomendável que os referidos parâmetros de qualidade da madeira sejam avaliados antes dos três anos de idade, em função da variabilidade dessas propriedades dentro e entre árvores.

A variação da propriedade dentro da árvore e entre árvores e o modo como a característica é controlada geneticamente exercem grande influência no número de amostras para estimar a média da árvore (Downes et al., 1997), ou seja, a variabilidade na característica reflete na média geral.

São verificadas também variações dentro de clones. Flores et al. (2000) ressaltam que muitos pesquisadores cometem o erro de analisar uma única árvore de um povoamento clonal e, às vezes, com uma única determinação de suas características tecnológicas e dendrométricas (amostra única), para decidir sobre a aceitação ou não do clone para plantio comercial.

O ideal seria retirar amostras múltiplas em diferentes alturas da árvore e posições radiais. Isso nem sempre é possível, pois a amostragem é mais difícil e demanda tempo (Downes et al., 1997). Desse modo, torna-se necessário utilizar métodos mais simples e fáceis que ofereçam razoável precisão (Zobel & Buijtenen, 1989), uma vez que o número de amostras depende do nível desejado de acurácia (Downes et al., 1997).

Benjamin & Ballarin (2004), pesquisando critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica em populações florestais, concluíram que, como era esperado, quanto mais se amostra, melhor é a precisão. No entanto, essa melhora, muitas vezes, não é significativa para justificar um aumento muito grande no tamanho da amostra. Os autores sugerem que a precisão desejada e a disponibilidade de tempo e de árvores para efetuar o estudo, entre outros fatores, devem ser consideradas. Segundo os mesmos autores, amostras contendo entre seis e oito indivíduos resultaram em precisões satisfatórias e estimaram bem a densidade básica da madeira da população de *Eucalyptus*.

Estudos com amostragem da madeira de *E. globulus* e *E. nitens* foram realizados por Muneri & Raymond (2000), Raymond & Muneri (2001) e Raymond et al. (2001). Os autores determinaram o número de árvores necessárias para se estimar a densidade básica média e o comprimento de fibra médio da árvore. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 Alturas de amostragem recomendadas, confiança, número de árvores a serem amostradas e acurácia na predição da densidade básica e do comprimento de fibra, utilizando amostras removidas com trado de incremento.

	Densidade básica	Comprimento de fibra (mm)
<i>E. globulus</i>		
Altura (m)	1,1	1,1-1,5
Intervalo de confiança (%)	84	74-87
Número de árvores	8	13
Acurácia	±20 kg m ⁻³	±5% da média
<i>E. nitens</i>		
Altura (m)	0,7	0,9-1,3
Intervalo de confiança (%)	89	44-45
Número de árvores	8	16
Acurácia	±20 kg m ⁻³	±5% da média

Fonte: Raymond (2002).

As posições amostrais indicadas na Tabela 4 foram sugeridas para a amostragem destrutiva (único disco) e não destrutiva e foram selecionadas com base na melhor correlação entre o ponto de amostragem e a árvore inteira, acurácia, custo e conforto para a coleta do material, no referido ponto de amostragem.

As medições da densidade básica no tronco são realizadas tradicionalmente utilizando-se discos ou baguetas. Normalmente, são retiradas amostras, na forma de discos, nas posições da base, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial ou na forma de baguetas na posição de 1,30 m de altura do solo. No entanto, a posição dos pontos amostrais para a medição das propriedades da madeira depende da análise prévia da sua variação no tronco. Por exemplo, se a

densidade básica aumenta com a altura da árvore, o ponto de mínima densidade depende do primeiro ponto de amostragem no tronco considerado pelo pesquisador. Nesse caso, torna-se necessária uma amostragem mais intensa na base da árvore, para verificar qual é o ponto que representa verdadeiramente a mínima densidade (Downes et al., 1997; Benjamin & Ballarin, 2004).

Detectado o padrão de variação da densidade básica no tronco nos sentidos longitudinal e radial e, logo delinear uma adequada estratégia de amostragem que seja representativa da propriedade no tronco, se faz necessária a subsequente análise do material coletado. Existem várias metodologias para a determinação da densidade básica na madeira, utilizando discos, toretes, cavacos e baguetas. Entre eles, citam-se o método de imersão em um líquido de densidade conhecida e o método do máximo teor de umidade, prescritos pela NBR 11941/2003 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2003).

Trugilho et al. (1990) realizaram um estudo comparativo de cinco métodos de determinação da densidade básica da madeira e concluíram que o método de imersão e máximo teor de umidade foram iguais estatisticamente, além de serem os mais precisos, de melhores repetibilidades e não sofreram influência das dimensões dos corpos-de-prova. Palermo et al. (2004), testando três métodos de determinação da densidade básica em *Pinus elliottii*, indicaram, como o mais adequado, o método de imersão, por não requerer equipamentos sofisticados e por apresentar resultados rápidos e de fácil obtenção.

Conforme especificado pela norma NBR 11941/2003, a amostragem da madeira deve assegurar que as porções utilizadas sejam representativas da amostra e remete à norma NBR 14660 o procedimento para a amostragem de lotes de madeira. No entanto, esta norma se mostra subjetiva com relação à amostragem do tronco, pois a variabilidade de suas propriedades não é levada em consideração.

2.2.1 Amostragem não destrutiva

Os métodos utilizados para a amostragem da madeira podem ser tanto de caráter destrutivo quanto não destrutivo.

Os métodos ou ensaios não destrutivos são importantes ferramentas de avaliação das propriedades da madeira, pois estas técnicas visam qualificar o material sem que haja o comprometimento do seu uso futuro. Dessa forma, os métodos propiciam uma economia de tempo e de custos no preparo das amostras, ao contrário da amostragem destrutiva.

A amostragem não destrutiva pode ser útil para a estimativa das propriedades da árvore, desde que haja alta correlação entre as posições amostradas e o valor médio da propriedade no tronco. Para isso, é necessária uma prévia amostragem destrutiva no material para estabelecer o padrão de variação da propriedade no tronco, chamada por Downes et al. (1997) de estágio 1 ou estágio de calibração.

Na Tabela 5 é apresentada uma comparação de custos, feita por Downes et al. (1997), entre diferentes métodos de amostragem para a estimativa da densidade básica. Foi utilizado para este cálculo um diâmetro de 20 cm a 1,30 m de altura do solo, duas pessoas trabalhando 8 horas por dia, recebendo 20 dólares australianos por hora trabalhada.

TABELA 5 Custos para a amostragem de 1.000 árvores para a densidade básica.

	Pilodyn - 1 leitura	Pilodyn-4 leituras	Trado motorizado	Único disco	Múltiplos discos
Árvores/dia	330	150	150	30	20
Nº total de dias	3,33	6,66	6,66	33,3	50
Custo/1.000 árvores	\$1070	\$ 2130	\$ 2130	\$ 10670	\$ 16000
Coefficiente de variação					
<i>E. globulus</i>	9,8	9,5	5,8	6,9	4,5
<i>E. nitens</i>	13,5	11,1	7,2	6,3	5,6
Número de árvores necessário para a estimativa da média com ± 5% de acurácia					
<i>E. globulus</i>	15	14	8	5	3
<i>E. nitens</i>	29	20	6	6	5

Fonte: Downes et al. (1997), modificado pelo autor. \$: dólar australiano

Percebe-se, pelos dados da Tabela 5, que um pequeno aumento na precisão experimental pode não justificar um aumento considerável no número de amostras, em função do custo e da demanda por tempo. Os autores concluíram que a amostragem não destrutiva com a retirada de uma única amostra com o trado motorizado chegou a custar cinco vezes menos que a amostragem destrutiva com a retirada de um único disco na mesma posição e com mínima diferença no coeficiente de variação. A retirada de múltiplos discos, método mais utilizado para a amostragem das propriedades da madeira, foi 7,5 vezes mais onerosa que a amostragem com o trado e também com mínima diferença no coeficiente de variação.

Além da redução de custos, os ensaios não destrutivos também possuem grande utilidade para espécies, em que a propagação vegetativa não é confiável, como o *E. globulus* e *E. nitens*, pois, neste caso a amostragem destrutiva resultaria em perda de valores genéticos (Raymond, 2002).

Para estimar, direta ou indiretamente, as propriedades da madeira em árvores vivas, alguns métodos não destrutivos já foram utilizados, dentre os quais citam-se:

- ✓ Pilodyn®, para a determinação da resistência da madeira à penetração de um pino na sua porção mais externa, utilizado por Raymond & MacDonald (1998), MacKenzie et al. (2003) e Gonçalves (2006);
- ✓ Resistograph®, para determinar a resistência da madeira à penetração de uma broca metálica em toda a extensão diametral da madeira, utilizado por Gonçalves (2006), Hein (2006) e Lima et al. (2007);
- ✓ Extensômetro, para a estimativa indireta das tensões longitudinais de crescimento, utilizado por Souza (2002), Trugilho et al. (2003), Lima et al. (2004), Pádua et al. (2004) e Cardoso Júnior et al. (2005);
- ✓ trado motorizado para a remoção de baguetas, utilizado por Downes et al. (1997) e Raymond & Muneri (2001).

2.2.1.1 Uso do Pilodyn®

O Pilodyn® foi desenvolvido, na Suíça, para avaliar o grau de podridão da madeira em postes de transmissão. O equipamento mede a penetração, na madeira mais externa, por um pino, sob pressão constante, comprimido por uma mola cuja profundidade de penetração é, em princípio, inversamente proporcional à densidade da madeira. Dessa forma, o Pilodyn® tem sido útil como preditor da densidade para populações, famílias ou pontos amostrais (McKenzie et al., 2003). Segundo Downes et al. (1997), este método de avaliação das propriedades da madeira possui como vantagens:

- ✓ ser ajustável a um grande número de amostras;
- ✓ ser rápido;
- ✓ ser não destrutivo;
- ✓ pode melhorar a acurácia com uma amostragem múltipla;

- ✓ proporcionar poucos danos à árvore.

E algumas desvantagens como:

- ✓ possuir baixa representatividade do caule;
- ✓ ser difícil de ser aplicado em árvores pequenas;
- ✓ medir somente as camadas mais externas do tronco;
- ✓ ser afetado pela ocorrência de madeira de reação.

O equipamento Pilodyn® em uso está ilustrado na Figura 1.

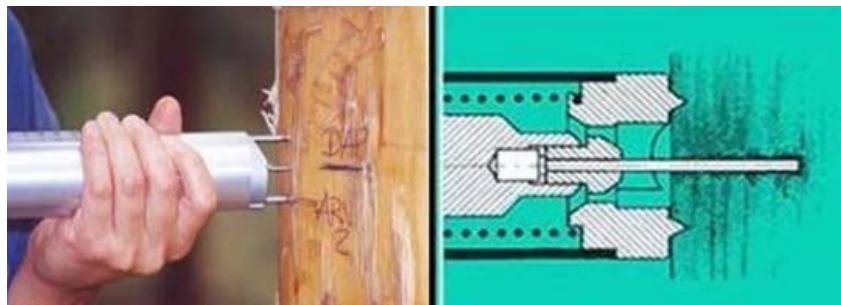


FIGURA 1 Esquema de utilização do Pilodyn® na árvore viva.

Sprague et al. (1983) concluíram que a utilização do Pilodyn® foi mais econômica quando comparada a outros métodos de determinação da densidade básica, em função da rapidez na coleta dos dados. Avaliações feitas por Downes et al. (1997), utilizando o Pilodyn®, para a determinação indireta da densidade básica, demonstraram que esse equipamento permitiu a medição de 300 árvores por 8 horas trabalhadas.

Raymond & MacDonald (1998) verificaram correlações negativas e de alta magnitude entre a penetração do pino do Pilodyn® e a densidade básica de árvores de *Eucalyptus globulus* e *E. nitens* de diferentes idades, em três sítios, na Tasmânia.

Contudo, alguns pesquisadores, apesar de reconhecerem a economia de tempo, não recomendam o uso do Pilodyn® para a medição da densidade na árvore individual (McKenzie et al., 2003; Rosado et al., 1983). Isso se deve ao fato de a correlação entre a penetração do pino e a densidade básica da árvore inteira ter apresentado coeficientes fracos e moderados.

2.2.1.2 Uso do Resistograph®

O Resistograph® (resistógrafo) mede a resistência da madeira à penetração de uma haste de 3 mm de diâmetro e comprimento variável. A haste avança radialmente no tronco, a uma velocidade constante e, para cada milímetro de penetração, são registrados 100 valores de resistência. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude e é expressa em porcentagem. A amplitude indica o consumo energético para a broca vencer a resistência à perfuração na madeira, em relação a um valor de referência do aparelho (Lima et al., 2007). De posse desses dados, pode-se inferir sobre a densidade, a sanidade e as propriedades mecânicas da madeira. Dessa forma, o aparelho pode ser utilizado para descrever o perfil radial de variação da madeira, o qual está relacionado com a sua dureza e densidade.

Na Figura 2 pode-se observar o esquema de funcionamento do aparelho.



FIGURA 2 Resistógraph® em aplicação na árvore viva para a obtenção de dados de resistência mecânica à penetração de uma haste metálica na madeira.

Rinn et al. (1996) encontraram alta correlação ($r^2 > 0,8$) entre a amplitude registrada pelo Resistograph® e a densidade de diferentes espécies de madeira medidas por densitometria de raio x.

Hein (2006) relatou que o Resistograph® não se mostrou um equipamento adequado para a estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, pois fatores como as tensões de crescimento podem afetar o valor da amplitude.

Lima et al. (2006) avaliaram o desempenho do Resistograph® para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* e concluíram que a correlação entre os valores de amplitude e de densidade básica foi boa, com valores de coeficientes variando de 0,706 a 0,812.

Segundo Gantz (2002), o Resistograph® pode ser utilizado, em testes genéticos para a seleção indireta de árvores, para a avaliação da densidade da madeira.

2.2.1.3 Uso do trado de incremento

Amostras obtidas de trado são rotineiramente utilizadas para a medição das propriedades da madeira como a densidade básica (Downes et al., 1997; Raymond & Muneri, 2001; Kube & Raymond, 2002), a composição química da madeira (Trecoar & Lausberg, 1995, citados por Mckenzie et al., 2003) e a morfologia das fibras (Downes et al., 1997).

Segundo Downes et al. (1997), este método de avaliação das propriedades da madeira possui como vantagens:

- ✓ ser um método adequado para a determinação de um grande número de amostras;
- ✓ ser não destrutivo.

E apresenta algumas desvantagens, como:

- ✓ apresentar pobre representação do tronco;
- ✓ apresentar dificuldades em troncos muito pequenos ou muito grandes;
- ✓ possuir baixa representação dos anéis internos;
- ✓ pode causar deterioração da madeira no local do furo;
- ✓ o alinhamento da bagueta é importante.

Em 1990, o trado motorizado para a remoção das baguetas foi lançado no mercado (Downes et al., 1997), Isto possibilitou a retirada de amostras com maior diâmetro, facilitando a extração e a avaliação não destrutiva de um grande número de árvores.

A sequência de utilização do trado motorizado para a remoção de baguetas de 20 mm de diâmetro está ilustrada na Figura 3.



FIGURA 3 Trado motorizado em funcionamento, em que: A: equipamento perfurando o tronco, B: detalhe da perfuração, C: furo deixado pela broca, D: detalhe da broca e baguetas.

Rosado et al. (1988) observaram um maior coeficiente de correlação entre a densidade de discos na altura do dap e a densidade da árvore do que entre baguetas removidas com o trado manual no dap e a árvore, indicando que a amostragem por meio de discos foi mais eficiente.

As amostras obtidas de trado são recomendadas por Downes et al. (1997) após uma amostragem destrutiva do material, chamada de estágio de calibração, para verificar o padrão de variação da propriedade dentro da árvore e entre sítios, genótipos e métodos silviculturais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material biológico

Foram amostradas 50 árvores de um híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, aos 6 anos de idade, plantados em espaçamento 3 x 2 m, em área pertencente ao grupo ArcelorMittal Florestas, no município de Martinho Campos, estado de Minas Gerais. O talhão selecionado para o estudo ocupa área de 44 hectares e está localizado a 19°39'20" de latitude sul e 45°19'30" de longitude oeste, em Latossolo Vermelho Distrófico típico textura muito argilosa, no qual foi feita a aplicação NPK, Ca e micronutrientes no plantio. Neste talhão foi lançada uma parcela de 10 linhas x 10 plantas, que foi considerada como sendo a população daquele clone. Em todos os indivíduos amostrados foi mensurado o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap), para a classificação diamétrica.

Foram consideradas três classes diamétricas e o número de árvores amostradas por classe foi definido pelo percentual participativo em relação à população, como pode ser verificado na Tabela 6. Definido o número de indivíduos por classe diamétrica, foram selecionadas aquelas árvores que se encontravam dentro desses intervalos.

TABELA 6 Distribuição das árvores nas classes diamétricas

Classe (cm)	Centro de classe (cm)	Frequência	Participação na população (%)
12,8 a 17,0	14,2	23	47
9,7 a 12,7	11,4	19	38
3,1 a 9,5	8,1	8	15
Total		50	100

3.2 Características de crescimento

Após a derrubada, as árvores foram cubadas pelo método de Smalian, para a determinação do seu volume individual e a determinação do fator de forma. Adicionalmente, foram medidas as espessuras da casca para a determinação dos volumes com e sem casca, incrementos médios volumétricos com e sem casca, considerando 1.500 árvores por hectare, aos 6 anos de idade e mortalidade de 10%, além das estimativas de massa seca, utilizando-se a densidade básica média determinada pelos três métodos de amostragem longitudinal destrutiva. A altura comercial foi considerada até o diâmetro mínimo de 5 cm com casca.

3.3 Amostragem longitudinal da madeira nas árvores

A densidade básica da árvore foi determinada considerando seis diferentes formas de amostragem no sentido base-topo no mesmo tronco, sendo três destrutivas e três não destrutivas. A descrição da metodologia de amostragem considerada no presente estudo é feita a seguir.

3.3.1 Amostragem tradicional

O método denominado, neste estudo, de “amostragem tradicional” se refere ao procedimento de amostragem mais empregado para caracterizar as propriedades da madeira no sentido longitudinal do tronco. Para tanto, de cada caule, foram retirados cinco discos de 2,5 cm de espessura, de faces paralelas, nas posições da base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore (Hc).

3.3.2 Amostragem alternativa

O método denominado “amostragem alternativa” teve como base a metodologia de amostragem longitudinal proposta por Downes et al. (1997),

empregada para a verificação do padrão de variação longitudinal da densidade básica e a morfologia das fibras em diferentes espécies de *Eucalyptus*, idades e sítios. Fundamentado neste trabalho, de cada tronco, foram tomados discos de 2,5 cm de espessura, de faces paralelas, nas alturas relativas de 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial da árvore. É importante mencionar que, no trabalho de Downes et al. (1997), essas posições de amostragem foram relativas à altura total da árvore e não à altura comercial como no presente estudo.

3.3.3 Amostragem de metro em metro

O método denominado amostragem de metro em metro consiste na tomada de discos de 2,5 cm de espessura, de faces paralelas, nas alturas fixas da base, 1,30 m de altura do solo (dap) e, a partir desse ponto, de metro em metro até a altura comercial. Portanto, a quantidade de pontos longitudinais de amostragem se limitou à altura comercial da árvore.

Para o estudo da variação da densidade com a altura foram inseridos mais quatro pontos basais na amostragem de metro em metro: 0,7 m, 0,9 m, 1,10 m e 1,50 m de altura do solo. Essa amostragem foi denominada amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais e foi tomada como referência por amostrar de forma mais representativa toda a extensão longitudinal do tronco e para verificar a posição de menor densidade básica.

3.3.4 Amostragem não destrutiva

Foram utilizados três equipamentos para a realização das amostragens não destrutivas visando à inferência na densidade básica do tronco. Foram eles: o trado motorizado, o Pilodyn® e o Resistograph®.

3.3.4.1 Uso do trado motorizado

De cada árvore amostrada, foram retiradas baguetas diametraais de 20 mm de diâmetro, de casca a casca, utilizando-se o trado de incremento motorizado. As amostras foram tomadas a 1,30 m de altura do solo.

3.3.4.2 Uso do Pilodyn®

Foi utilizado o equipamento Pilodyn® para medir a resistência mecânica da madeira à penetração de um pino e, dessa forma, predizer a densidade básica. As leituras foram feitas a 0,70 m, 0,90 m, 1,10 m, 1,30 m e 1,50 m da altura do solo. Estas alturas foram recomendadas por Raymond & Muneri (2001) por serem as posições que apresentaram as melhores correlações entre os resultados da amostragem não destrutiva (leituras do Pilodyn® e baguetas) e a densidade básica do tronco de diferentes espécies de *Eucalyptus*. Foram feitas quatro leituras em cada altura amostrada, sendo duas na direção da linha de plantio e duas na entrelinha, visando obter a densidade básica média na circunferência da árvore nas porções mais basais.

3.3.4.3 Uso do Resistograph®

As medições foram realizadas nas mesmas posições longitudinais e direções consideradas para o Pilodyn®. Foram realizadas duas perfurações em cada altura, uma na linha e a outra na entre linha de plantio.

O esquema de amostragem longitudinal destrutiva e de amostragem não destrutiva no tronco está ilustrado na Figura 4.

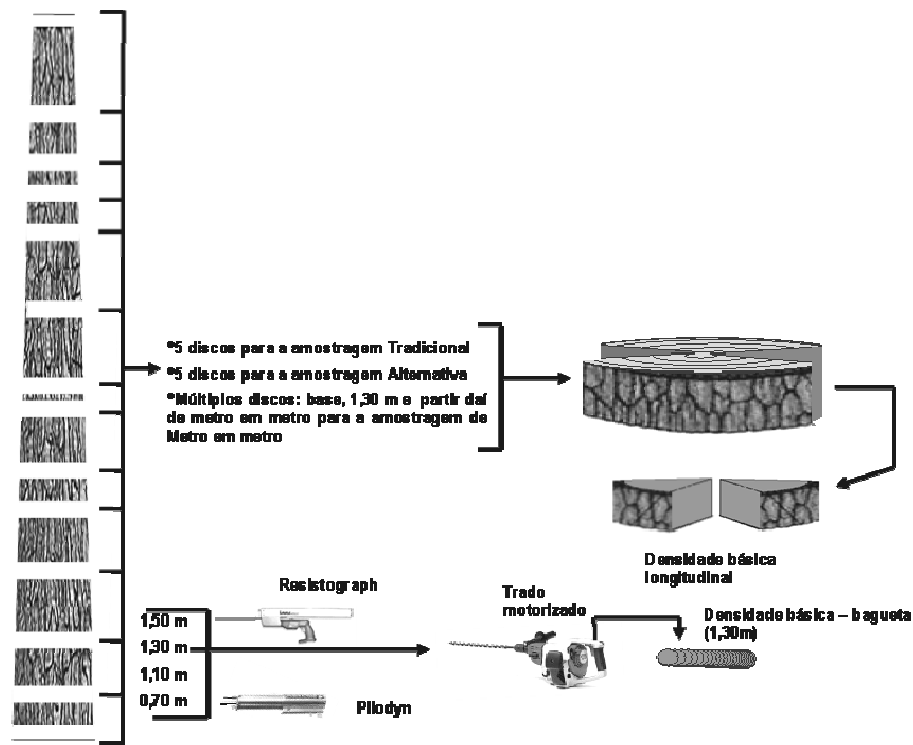


FIGURA 4 Esquema da amostragem longitudinal no tronco.

3.4 Amostragem radial nos discos

Para a avaliação da densidade básica no sentido medula-casca, foram retiradas amostras perpendiculares ao raio (Figura 5), utilizando-se uma furadeira vertical com serra de copo de 5 mm de diâmetro. Essa amostragem foi realizada em 50% das árvores utilizadas na amostragem longitudinal, contemplando todas as três classes diamétricas apresentadas na Tabela 6. As amostras radiais foram extraídas dos discos provenientes da amostragem alternativa, porém, com a eliminação do disco de 50% e inclusão do disco do dap. Tal modificação foi feita, pois, os maiores diâmetros dos discos dessas posições propiciaram a retirada de um maior número de amostras radiais.

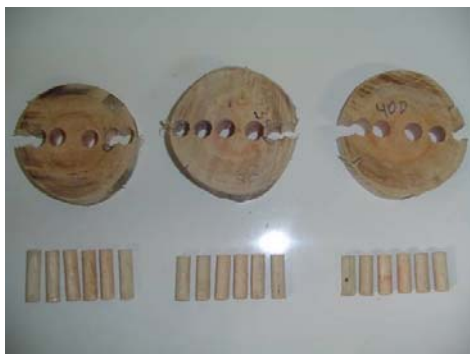


FIGURA 5 Esquema dos discos após a retirada das amostras radiais

A tomada das amostras radiais foi feita a distâncias variáveis a partir da medula e a quantidade das amostras variou em função do diâmetro do disco.

Todo material amostrado foi devidamente identificado e encaminhado ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras para as análises posteriores.

3.5 Determinação da densidade básica

Para a determinação da densidade básica por posição longitudinal e radial de amostragem foi utilizado o procedimento de imersão em água, descrito na norma NBR 11941 (ABNT, 2003). A densidade básica foi determinada por posição longitudinal e radial de amostragem, conforme descrito nos itens 3.3 e 3.4.

A densidade básica média, por posição de amostragem longitudinal, foi determinada como sendo o valor médio das densidades básicas de duas cunhas opostas retiradas de cada disco.

A densidade básica média da árvore foi calculada como sendo a média aritmética das densidades determinadas em cada posição de amostragem

longitudinal. Estudos de Pádua et al. (2006) verificaram uma correlação significativa e de alta magnitude entre densidade básica média ponderada pelo volume e densidade básica média aritmética em cinco espécies de *Eucalyptus*.

3.6 Análises estatísticas

Na avaliação do experimento foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, com classificação cruzada sem interação. As árvores foram consideradas como repetições.

3.6.1 Avaliação do padrão de variação da densidade básica, melhor método e posição de amostragem

Foi utilizada a análise de correlação para determinar o método de amostragem que melhor se correlaciona com o valor da densidade básica média e também para determinar a melhor posição longitudinal em um único ponto de amostragem.

A análise de regressão foi utilizada para determinar a variação longitudinal e radial da densidade básica no tronco, com base no modelo de melhor ajuste.

A seleção do melhor modelo foi feita com base na significância da regressão e de seus coeficientes, no coeficiente de determinação corrigido e no coeficiente de variação do modelo.

3.6.2 Teste para verificar a falta de ajustamento e identidade de modelos

Para a estimativa da densidade básica da árvore por classe diamétrica, foram testados os modelos linear, quadrático e cúbico para a amostragem tradicional e alternativa e os modelos quadrático, cúbico e quarta potência para a amostragem de metro em metro e amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.

Foi utilizado o teste para a falta de ajustamento, conforme a metodologia proposta por Hoffmann & Vieira (1977), para verificar se os modelos foram adequados aos dados experimentais.

Para verificar a possibilidade de se realizar um único ajuste dos modelos selecionados para as três classes diamétricas e para os métodos de amostragem considerados, foi aplicado o teste de identidade de modelos descrito por Graybill (1976).

3.7 Cálculo da intensidade amostral

Foi utilizada a equação descrita abaixo para estimar o número de árvores requeridas para a estimativa da densidade básica média da árvore para populações infinitas.

$$n = \frac{t^2 \times \delta^2}{E(\%)^2}$$

em que:

n = número de amostras para se estimar a densidade básica média da árvore;

t = $\alpha = 0,05$, e n-1 graus de liberdade

δ^2 = variância;

E = 5% da média, com intervalo de confiança de 95%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características de crescimento

Os resultados médios das características de crescimento das árvores do clone, por classe diamétrica, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. Pela Tabela 7, observa-se a elevada percentagem de casca apresentada pelo clone. Verifica-se também que a porcentagem de casca tende a reduzir com o aumento da classe diamétrica. Este mesmo fato ocorreu com os fatores de forma com casca (FFcc) e sem casca (FFsc).

TABELA 7 Valores médios das características de crescimento das árvores por classe diamétrica.

Classe	HT	HC	dapcc	dapsc	VolTotcc	VolTotsc	Volcasca	Casca (%)	FFcc	FFsc
14,2	21,13	19,56	14,26	12,67	0,161511	0,131799	0,029712	18,42	0,48	0,49
11,4	19,29	17,67	11,22	10,04	0,096755	0,078509	0,018245	18,86	0,51	0,51
8,1	16,21	14,10	8,67	7,73	0,049410	0,039619	0,009791	19,93	0,51	0,52

Classe = centro da classe diamétrica (cm), Ht e Hc = altura total e comercial (m), dapcc e sc = diâmetro a 1,3m de altura do solo com e sem casca (cm), VolTotcc e sc = volume total com e sem casca (m³), Volcasca = volume de casca (m³), C (%) = percentagem de casca, FFcc e FFsc = fator de forma com e sem casca, respectivamente.

Pode-se perceber, também, que existe uma grande diferença entre os volumes médios das classes diamétricas, indicando a ocorrência de incrementos volumétricos bem diferenciados.

Observa-se, pelos dados da Tabela 8, que as grandes diferenças nos incrementos volumétricos entre as classes diamétricas resultaram em grandes alterações nas estimativas de massa seca. Este fato contribuiu decisivamente para que as estimativas de incremento de massa seca fossem também muito

diferentes entre as classes diamétricas, apesar de terem ocorrido diferenças também nas densidades básicas da madeira entre as classes, porém, de menor magnitude, o que será discutido posteriormente.

TABELA 8 Valores médios das estimativas de incremento volumétrico, massa seca e incremento em massa seca

Classe	IMAcc	IMAsc	Mseca1	Mseca2	Mseca3	IMAms1	IMAms2	IMAms3
14,2	40,38	32,95	74,06	72,98	73,93	18515,64	18245,10	18482,11
11,4	24,19	19,63	43,52	43,11	43,45	10879,18	10778,47	10861,79
8,1	12,35	9,90	21,03	20,89	20,94	5258,62	5221,83	5234,16

Classe = classe da classe diamétrica (cm), IMACC e IMAsc = incremento médio anual volumétrico considerando 1.500 árvores por hectare, aos 6 anos de idade e mortalidade de 10% ($m^3/ha.ano$), Mseca1, Mseca2 e Mseca3 = estimativa de massa seca utilizando-se a densidade básica média da amostragem de metro em metro, tradicional e alternativa (kg), IMAms1, IMAms2 e IMAms3 = incremento médio anual em matéria seca utilizando-se a densidade básica média da amostragem de metro em metro, tradicional e alternativa (kg/ha.ano).

4.2 Densidade básica da madeira: método de amostragem e variação longitudinal

Pela análise de variância Tabela 1A verificou-se que os efeitos de método de amostragem e classe diamétrica foram significativos ($P>0,05$).

A comparação entre as médias dos valores de densidade básica da árvore por método de amostragem e por classe diamétrica está apresentada na Tabela 9. Os valores médios das densidades determinadas pelos diferentes métodos de amostragem e classes diamétricas foram superiores aos encontrados por Alzate et al. (2005) ($0,490 g/cm^3$) e Gominho et al. (2001) ($0,491 g/cm^3$) para o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, com exceção da densidade básica determinada na bagueta na classe de 8,1 cm.

Verifica-se, pelos dados da Tabela 9, que a estimativa da densidade básica da madeira sofreu interferência do método de amostragem e que, à medida que o diâmetro aumentou, houve tendência de aumento da densidade básica. Este mesmo comportamento foi encontrado por Manfredi & Barrichello (1985) em *E. grandis*, aos 7 anos.

TABELA 9 Resultados médios da densidade básica da madeira e coeficiente de variação nos métodos de amostragem.

Método de amostragem	Densidade básica (g/cm ³)			
	Classe 14,2 cm	Classe 11,4 cm	Classe 8,1 cm	Média
Tradicional	0,554	0,549	0,526	0,548 A
	(5,51)	(4,98)	(4,23)	(5,41)
Alternativa	0,561	0,553	0,528	0,553 B
	(3,15)	(3,29)	(3,31)	(3,82)
Metro em metro	0,562	0,554	0,530	0,555 C
	(3,38)	(3,51)	(3,62)	(3,90)
Bagueta	0,510	0,500	0,481	0,502 D
	(3,30)	(3,62)	(4,25)	(4,07)
Média	0,539 a	0,531 b	0,509 c	
	(4,90)	(5,40)	(5,37)	

Valores entre parêntesis representam os coeficientes de variação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de SNK a 5% de significância.

A amostragem com a remoção da bagueta a 1,30 m de altura do solo subestimou, em média, o valor da densidade em 9,5% com relação à amostragem de metro em metro. Este fato está relacionado com a não proporcionalidade do tipo de madeira presente na bagueta, ao contrário do que

ocorre quando se utiliza a cunha. Além disso, a densidade das amostras foi determinada somente no dap. A tendência da amostragem na forma de baguetas subestimar a densidade dos discos foi também reportada para o *E. grandis* por Barrichelo et al. (1983).

Como era de se esperar, os baixos coeficientes de variação dos valores de densidade apresentados pelo clone dentro e entre as classes diamétricas indicam a homogeneidade do material, com relação a essa característica. O efeito do método de amostragem na estimativa da densidade básica da madeira do clone está ilustrado na Figura 6 e, nas Figuras 7, 8 e 9, o padrão de variação longitudinal, para o método de amostragem tradicional, alternativo e de metro em metro, respectivamente.

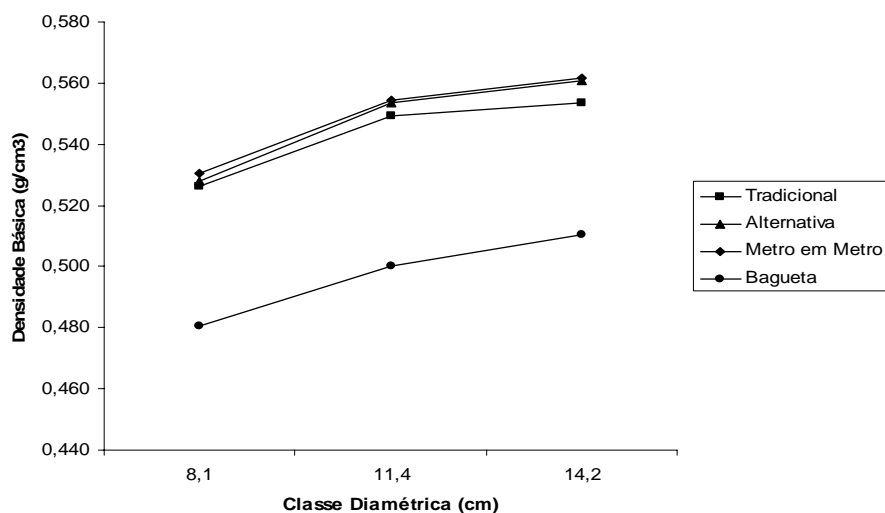


FIGURA 6 Efeito do método de amostragem na estimativa da densidade básica.

Percebe-se, pelo gráfico da Figura 6, que o método tradicional apresentou uma tendência de subestimar a densidade básica com relação à amostragem de metro em metro, principalmente nas maiores classes de diâmetro. Foi observado um decréscimo de 1,42% no valor médio da densidade básica, cerca de 8 kg/m³, estimada pelo método tradicional na classe de 14,2 cm.

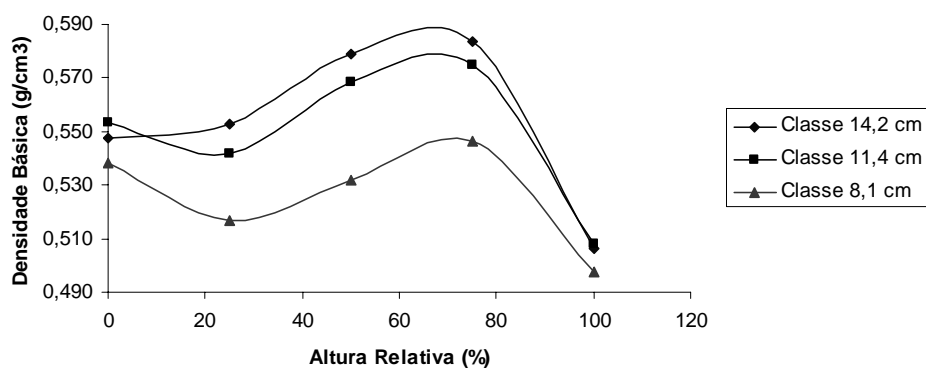


FIGURA 7 Padrão de variação longitudinal da densidade básica apresentado pelo método de amostragem tradicional e classe diamétrica.

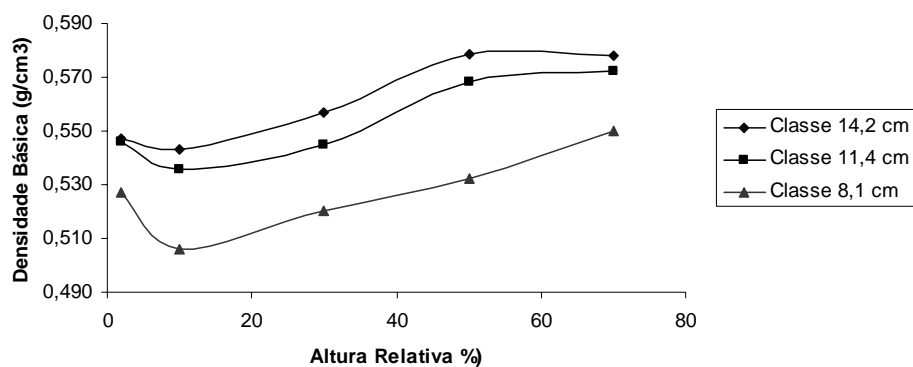


FIGURA 8 Padrão de variação longitudinal da densidade básica apresentado pelo método de amostragem alternativa e classe diamétrica.

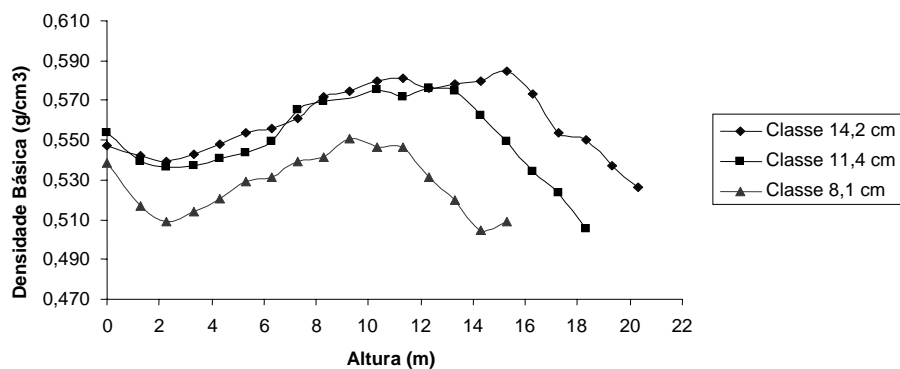


FIGURA 9 Padrão de variação longitudinal da densidade básica apresentado pelo método de amostragem metro em metro e classe diamétrica.

Pelas Figuras 7, 8 e 9, pode-se verificar que a densidade básica diminuiu inicialmente com a altura da árvore, aumentou até certo ponto e decresceu daí para frente, nos métodos tradicional e de metro em metro. Oliveira et al. (2005), avaliando o padrão de variação da densidade básica em sete espécies de *Eucalyptus*, verificaram este mesmo comportamento para as espécies *E. pilularis*, *E. paniculata* e *E. cloeziana*. Os autores verificaram também que, para todas as espécies avaliadas, com exceção do *E. grandis*, houve uma tendência de decréscimo da densidade no topo das árvores, o que não foi verificado na amostragem alternativa.

Quando se observa o padrão de variação da densidade com a altura da árvore detectada pela amostragem alternativa (Figura 8), nota-se que, inicialmente, houve a mesma tendência de variação apresentada pelos outros métodos. Porém, a partir deste ponto, houve uma tendência de aumento linear. Este mesmo padrão foi verificado por Lima et al. (1992) em *E. grandis*, aos 3,5

anos, Raymond & MacDonald (1998), em *E. globulus*, e Gominho et al. (2001), em um híbrido de *E. grandis* com *E. urophylla*, aos 5,7 anos.

Pela visualização das curvas de tendência ilustradas pelas Figuras 7, 8 e 9, nota-se que o decréscimo inicial foi encontrado entre a base e 25% Hc (aproximadamente 5 m), quando se utilizou a amostragem tradicional; entre 2% Hc e 10% Hc (aproximadamente 0,4 m e 2 m) para a amostragem alternativa e entre a base e 16% Hc (aproximadamente 3,2 m), para o método de metro em metro. Este fato ocorreu, pois, os métodos tradicional e de metro em metro não amostraram as partes mais basais do tronco e isso sugere a importância da avaliação do padrão de variação para a determinação de uma adequada estratégia de amostragem. De acordo com Downes et al. (1997), o ponto de mínima densidade depende do ponto de amostragem considerado. Com o objetivo de fornecer uma melhor visualização da curva de variação da densidade básica com a altura, foram inseridos mais quatro pontos basais na amostragem de metro em metro, ilustrados na Figura 10.

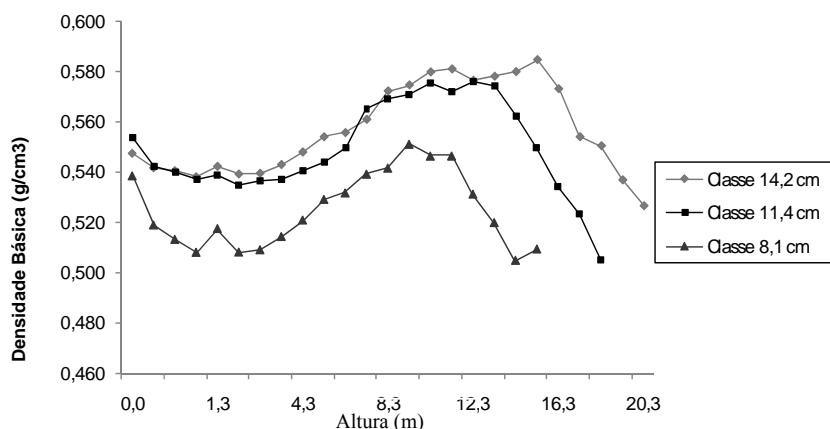


FIGURA 10 Padrão de variação longitudinal da densidade básica apresentado pelo método de metro em metro acrescido de pontos basais e classe diamétrica.

Observa-se, pela Figura 10, que a introdução dos pontos basais na amostragem reforçou a tendência de queda inicial no valor da densidade básica nas partes mais basais do tronco.

Na Tabela 10 estão sumarizados os resultados apontados pelas Figuras 9, 10 e 11.

TABELA 10 Resumo dos padrões de variação da densidade básica no sentido base-topo, por método de amostragem e classe diamétrica.

Método	Classe (cm)	Variação da densidade básica
Tradicional	8,1	A densidade básica diminui até aproximadamente 25% Hc, aumenta até aproximadamente 70% Hc e decresce até o topo.
	11,4	A densidade básica diminui até aproximadamente 25% Hc, aumenta até aproximadamente 70% Hc e decresce até o topo.
	14,2	A densidade básica aumenta até aproximadamente 70% Hc e diminui até o topo.
Alternativa	8,1	A densidade básica diminui até aproximadamente 10% Hc e aumenta até aproximadamente 70% Hc.
	11,4	A densidade básica diminui até aproximadamente 10% Hc e aumenta até aproximadamente 70% Hc.
	14,2	A densidade básica diminui até aproximadamente 10% Hc e aumenta até aproximadamente 70% Hc.
Metro em metro	8,1	A densidade básica diminui até aproximadamente 13% Hc, aumenta até aproximadamente 65% HC e decresce até o topo.
	11,4	A densidade básica diminui até aproximadamente 16% Hc, aumenta até aproximadamente 75% HC e decresce até o topo.
	14,2	A densidade básica diminui até aproximadamente 12% Hc, aumenta até aproximadamente 70% HC e decresce até o topo.

Hc: altura comercial

Na Tabela 11 estão apresentados os modelos de regressão ajustados aos dados de densidade básica por classe diamétrica, para os métodos de amostragem tradicional e alternativa e, na Tabela 12, para o método de metro em metro e metro em metro acrescido de pontos mais basais.

TABELA 11 Modelos de regressão ajustados para as classes diamétricas nos métodos de amostragem tradicional e alternativa.

Método de amostragem tradicional			
Classe (cm)	Equação ajustada	R ²	CV (%)
14,2	$\hat{Y}_i = 0,5370 + 0,1956 \times 10^{-2} X_i - 0,2160 \times 10^{-4} X_i^2$	0,72**	4,17
	$\hat{Y}_i = 0,5473 - 0,9964 \times 10^{-3} X_i + 0,6079 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,5493 \times 10^{-6} X_i^3$	0,99**	0,45
11,4	$\hat{Y}_i = 0,5419 + 0,1269 \times 10^{-2} X_i - 0,1497 \times 10^{-4} X_i^2$	0,56**	4,52
	$\hat{Y}_i = 0,5530 - 0,1913 \times 10^{-2} X_i + 0,7382 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,5920 \times 10^{-6} X_i^3$	0,99**	0,05
8,1	$\hat{Y}_i = 0,5284 + 0,4400 \times 10^{-3} X_i - 0,6400 \times 10^{-5} X_i^2$	0,32*	4,27
	$\hat{Y}_i = 0,5384 - 0,2426 \times 10^{-2} X_i + 0,7359 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,5333 \times 10^{-6} X_i^3$	0,99**	0,64
Geral	$\hat{Y}_i = 0,5358 + 0,1222 \times 10^{-2} X_i - 0,1432 \times 10^{-4} X_i^2$	0,41*	4,11
	$\hat{Y}_i = 0,5462 - 0,1779 \times 10^{-2} X_i + 0,6941 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,5582 \times 10^{-6} X_i^3$	0,73**	2,92
Método de amostragem alternativa			
14,2	$\hat{Y}_i = 0,5408 + 0,7445 \times 10^{-3} X_i - 0,2479 \times 10^{-5} X_i^2$	0,89**	1,41
	$\hat{Y}_i = 0,5491 - 0,1234 \times 10^{-2} X_i + 0,6945 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,6562 \times 10^{-6} X_i^3$	1,0**	-
11,4	$\hat{Y}_i = 0,5402 + 0,1480 \times 10^{-3} X_i + 0,5025 \times 10^{-5} X_i^2$	0,84**	1,60
	$\hat{Y}_i = 0,5496 - 0,2097 \times 10^{-2} X_i + 0,8664 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,7447 \times 10^{-6} X_i^3$	0,99**	0,14
8,1	$\hat{Y}_i = 0,5218 - 0,5209 \times 10^{-3} X_i + 0,1348 \times 10^{-4} X_i^2$	0,86**	1,53
	$\hat{Y}_i = 0,5278 - 0,1956 \times 10^{-2} X_i + 0,6565 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,4760 \times 10^{-6} X_i^3$	0,93**	1,56
Geral	$\hat{Y}_i = 0,5343 + 0,1239 \times 10^{-3} X_i + 0,5342 \times 10^{-5} X_i^2$	0,41**	3,14
	$\hat{Y}_i = 0,5422 - 0,1762 \times 10^{-2} X_i + 0,7391 \times 10^{-4} X_i^2 - 0,6256 \times 10^{-6} X_i^3$	0,46**	3,12

**significativo a 1%, * significativo a 5%; \hat{Y}_i = densidade básica (g/cm³), X_i = altura relativa (%); R²: coeficiente de determinação corrigido; CV = coeficiente de variação.

TABELA 12 Modelos de regressão ajustados para as classes diamétricas nos métodos de amostragem de metro em metro e metro em metro acrescida de pontos basais

Amostragem de metro em metro			
Classe (cm)	Equação Ajustada	R ²	CV (%)
14,2	$\hat{Y}_i = 0,5290 + 0,8615 \times 10^{-2} X_i - 0,4020 \times 10^{-3} X_i^2$	0,75**	1,64
	$\hat{Y}_i = 0,5418 - 0,1709 \times 10^{-2} X_i + 0,9549 \times 10^{-3} X_i^2 - 0,4534 \times 10^{-4} X_i^3$	0,96**	1,71
	$\hat{Y}_i = 0,5453 - 0,6116 \times 10^{-2} X_i + 0,1990 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,1261 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,1963 \times 10^{-5} X_i^4$	0,97**	0,63
11,4	$\hat{Y}_i = 0,5275 + 0,9101 \times 10^{-2} X_i - 0,5161 \times 10^{-3} X_i^2$	0,61**	2,22
	$\hat{Y}_i = 0,5454 - 0,6775 \times 10^{-2} X_i + 0,1790 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,8524 \times 10^{-4} X_i^3$	0,95**	0,80
	$\hat{Y}_i = 0,5538 - 0,1603 \times 10^{-1} X_i + 0,4101 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,2823 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,5357 \times 10^{-5} X_i^4$	0,98**	0,49
8,1	$\hat{Y}_i = 0,5078 + 0,7405 \times 10^{-2} X_i - 0,4652 \times 10^{-3} X_i^2$	0,43*	2,27
	$\hat{Y}_i = 0,5227 - 0,7984 \times 10^{-2} X_i + 0,2187 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,1166 \times 10^{-3} X_i^3$	0,77**	1,48
	$\hat{Y}_i = 0,5344 - 0,2629 \times 10^{-1} X_i + 0,7881 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,7060 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,1928 \times 10^{-4} X_i^4$	0,92**	0,88
Geral	$\hat{Y}_i = 0,5244 + 0,6440 \times 10^{-2} X_i - 0,3106 \times 10^{-3} X_i^2$	0,27**	3,41
	$\hat{Y}_i = 0,5312 - 0,7666 \times 10^{-3} X_i + 0,4697 \times 10^{-3} X_i^2 - 0,2730 \times 10^{-4} X_i^3$	0,30**	3,35
	$\hat{Y}_i = 0,5420 - 0,1326 \times 10^{-1} X_i + 0,3875 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,3019 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,6996 \times 10^{-5} X_i^4$	0,38**	3,20

“...continua...”

“TABELA 12, Cont.”

Amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais			
14,2	$\hat{Y}_i = 0,5290 + 0,8615 \times 10^{-2} X_i - 0,4020 \times 10^{-3} X_i^2$	0,75**	1,64
	$\hat{Y}_i = 0,5418 - 0,1709 \times 10^{-2} X_i + 0,9549 \times 10^{-3} X_i^2 - 0,4534 \times 10^{-4} X_i^3$	0,96**	1,71
	$\hat{Y}_i = 0,5453 - 0,6116 \times 10^{-2} X_i + 0,1990 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,1261 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,1963 \times 10^{-5} X_i^4$	0,97**	0,63
11,4	$\hat{Y}_i = 0,5275 + 0,9101 \times 10^{-2} X_i - 0,5161 \times 10^{-3} X_i^2$	0,61**	2,22
	$\hat{Y}_i = 0,5454 - 0,6775 \times 10^{-2} X_i + 0,1790 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,8524 \times 10^{-4} X_i^3$	0,95**	0,80
	$\hat{Y}_i = 0,5520 - 0,1573 \times 10^{-1} X_i + 0,4119 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,2865 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,5506 \times 10^{-5} X_i^4$	0,98**	0,49
8,1	$\hat{Y}_i = 0,5078 + 0,7405 \times 10^{-2} X_i - 0,4652 \times 10^{-3} X_i^2$	0,43**	2,27
	$\hat{Y}_i = 0,5227 - 0,7984 \times 10^{-2} X_i + 0,2187 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,1166 \times 10^{-3} X_i^3$	0,77**	1,48
	$\hat{Y}_i = 0,5344 - 0,2629 \times 10^{-1} X_i + 0,7881 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,7060 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,1928 \times 10^{-4} X_i^4$	0,92**	0,88
Geral	$\hat{Y}_i = 0,5244 + 0,6440 \times 10^{-2} X_i - 0,3106 \times 10^{-3} X_i^2$	0,27**	3,41
	$\hat{Y}_i = 0,5312 - 0,7666 \times 10^{-3} X_i + 0,4697 \times 10^{-3} X_i^2 - 0,2730 \times 10^{-4} X_i^3$	0,30**	3,35
	$\hat{Y}_i = 0,5420 - 0,1326 \times 10^{-1} X_i + 0,3875 \times 10^{-2} X_i^2 - 0,3019 \times 10^{-3} X_i^3 + 0,6996 \times 10^{-5} X_i^4$	0,38**	3,20

**significativo a 1% , * significativo a 5%; \hat{Y}_i = densidade básica (g/cm³), X_i = altura relativa (%); R²: coeficiente de determinação corrigido; CV = coeficiente de variação.

O teste para a falta de ajustamento (Tabelas 3B, 4B, 7B, 8B, 12B, 13B, 14B, 18B, 19B, 20B.) foi não significativo, indicando que os modelos ajustados foram adequados aos dados.

Pelos dados das Tabelas 11 e 12 pode-se observar que o modelo quadrático foi o que apresentou os piores ajustes, em todos os métodos de amostragem e classes diamétricas. O modelo quadrático, classe 8,1 cm da amostragem tradicional e de metro em metro, apresentou o mais baixo coeficiente de determinação e a regressão foi não significativa, a 1%. Brasil et al. (1977) e Alzate et al. (2005) observaram que a variação da densidade básica com a altura da árvore foi explicada, predominantemente, pelo modelo quadrático.

O modelo da terceira potência (cúbico) apresentou o melhor ajuste nas amostragens tradicional e alternativa, para todas as classes diamétricas, enquanto o modelo da quarta potência foi melhor para a amostragem de metro em metro. O ajuste do modelo da quarta potência foi possível para a amostragem de metro em metro, em função do grande número de pontos amostrais. Análises realizadas por Benjamin (2002) resultaram em um modelo da quarta potência para explicar a variação da densidade básica com a altura em árvores de *Eucalyptus* utilizando discos a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. No entanto, a autora verificou baixos coeficientes de determinação. Em função disso, sugere um estudo mais detalhado em busca do modelo adequado, utilizando um maior número de pontos amostrais.

Pela realização do teste de identidade de modelos foi possível verificar que o comportamento da densidade básica com a altura das árvores é diferente nas três classes diamétricas, para todos os métodos de amostragem considerados. O teste de identidade de modelos lineares foi significativo, indicando ser necessária a utilização de uma equação específica para classe diamétrica, não podendo ser substituída por um modelo comum que atenda às três classes

(Tabelas 1B, 2B, 5B, 6B, 9B, 10B, 11B, 15B, 16B, 17B).

Na Tabela 13 são apresentadas as posições longitudinais de máxima e mínima densidade obtidas pela derivação das funções que ofereceram o melhor ajuste para as três classes diamétricas nos métodos de amostragem considerados.

TABELA 13 Pontos de máxima e mínima densidade considerando os modelos de melhor ajuste para as classes diamétricas e método de amostragem.

Método	Classe (cm)	Modelo ajustado	Pontos críticos (%) da altura comercial	
			Mínimo	Máximo
Tradicional	8,1	Terceira potência	25,6%	66,3%
	11,4		16,5%	67,1%
	14,2		9,4%	64,4 %
Alternativa	8,1	Terceira potência	18,4%	70,8%
	11,4		15,0%	62,6%
	14,2		10,4%	60,1%
Metro em metro	8,1	Quarta potência	2,5 m (17,7%)	9,1 m (64,5%)
	11,4		2,6 m (14,7%)	11,1 m (62,8%)
	14,2		1,9 m (9,7%)	12,6 m (64,4%)
Metro em metro *	8,1	Quarta potência	2,3 m (16,6%)	9,1 m (64,5) %
	11,4		2,5 m (14,23%)	11,1 m (62,8%)
	14,2		1,8 m (9,2%)	12,6 m (64,4%)

*método de amostragem de metro em metro a partir do dap, acrescido de pontos basais

Observa-se que as funções estimam o ponto de mínima situado de 9,4% a 10,4%, para a classe de 14,2 cm; 14,7% a 16,5%, para a classe 11,2 cm e 17,7% a 25,6%, para a classe de 8,1 cm, da altura comercial do tronco das

árvores (Hc). O ponto de máximo situou-se de 60,1% a 64,4%, para a classe 14,2 cm, 62,6% a 67,1%, para classe de 11,2 cm e de 64,5% a 70,8%, para a classe de 8,1 cm, de Hc.

A inserção dos pontos basais na amostragem de metro em metro não modificou os valores de mínimo da densidade básica, sugerindo que, para as três classes de diâmetro, este ponto se encontra acima de 1,5 m de altura da árvore. Pode-se concluir que, para este caso, a intensiva amostragem abaixo de 1,50 m, sugerida por Downes et al. (1997) e Benjamin (2002), não resultaria em maior eficiência na estimativa do padrão de variação da densidade básica.

O ponto de máxima densidade ocorreu acima dos 9 m de altura, aproximadamente 60 % Hc. Brasil et al. (1977) verificaram o ponto de máxima densidade entre 3,8 e 9,3 m, próximo a 50% da árvore em *E. propinqua* e ressalta que este ponto talvez possa ser atribuído à formação de madeira de reação, pois, nessa região, as tensões atuantes resultantes da força do vento são máximas.

Considerando os métodos de amostragem, pode-se observar que os métodos tradicional e alternativo produziram estimativas de pontos de máximo e mínimo a alturas bem próximas às do método de metro em metro, exceto para a menor classe de diâmetro. Nesta classe, a altura que estima o ponto de mínima densidade na amostragem tradicional (25,6%) foi superior à altura da amostragem de metro em metro (17,7%), enquanto que, para a amostragem alternativa, houve discrepância no ponto de máximo, de 70,8% para 64,5%, na amostragem de metro em metro.

A variação longitudinal geral observada entre os métodos de amostragem está ilustrada na Figura 11.

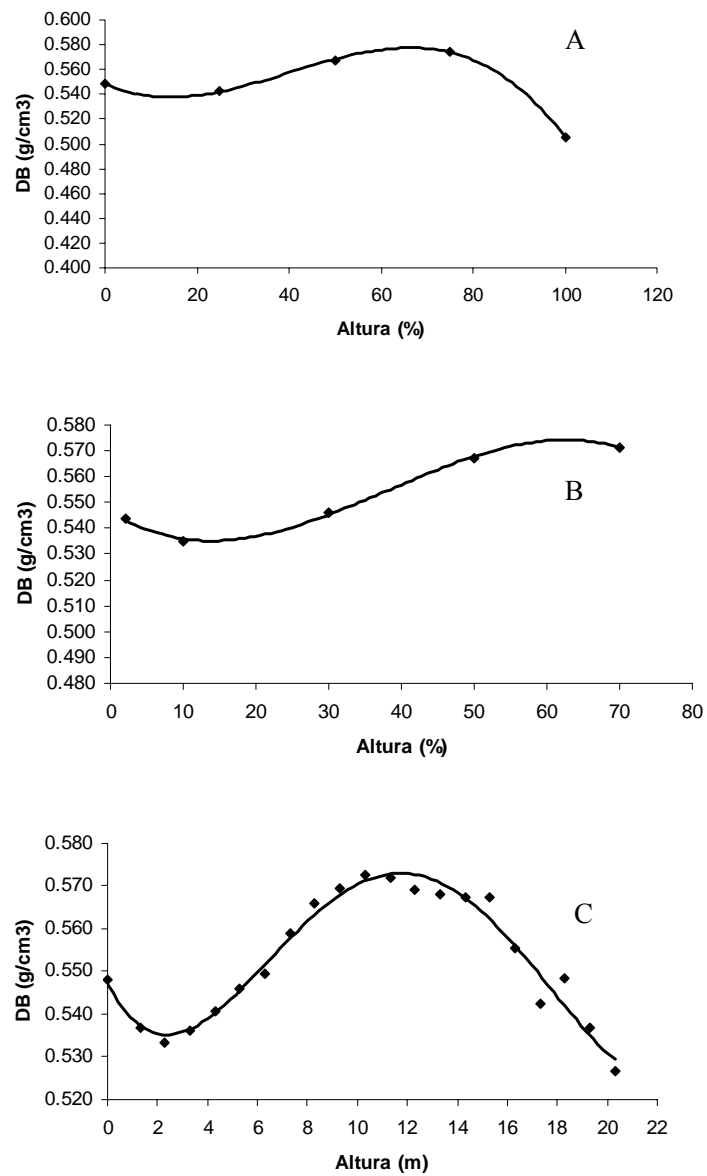


FIGURA 11 Variação longitudinal da densidade básica em função dos modelos ajustados para a amostragem tradicional (A) e alternativa (B) e de metro em metro (C).

Considerando as três classes de diâmetro, o modelo cúbico foi o que apresentou os melhores ajustes para a amostragem tradicional (A) e alternativa (B) e o modelo da quarta potência se ajustou melhor aos dados de densidade estimados pela amostragem de metro em metro (C).

Pelo gráfico da Figura 11 pode-se observar que existe uma proximidade entre as curvas de variação das amostragens tradicional e alternativa e que a maior explicitação da variação longitudinal é observada na amostragem de metro em metro (Figura 11 C), a qual foi a mais intensa e, conseqüentemente, mais representativa do tronco. Por este modelo, pode-se verificar que o padrão de variação da densidade básica desse clone é da seguinte forma: reduz da base até aproximadamente 2,3 m (12,8% da altura comercial do tronco da árvore); aumenta desse ponto até 11,4 m (63,3% da altura comercial do tronco da árvore) e volta de decrescer até a 100% da altura comercial do tronco.

Levando em consideração o custo da amostragem de metro em metro, sugere-se, para este material de estudo e para as três classes diamétricas, o uso da amostragem alternativa. Essa sugestão é explicada pelo fato de a amostragem alternativa ter oferecido a melhor estimativa da densidade básica média da árvore e pontos de mínimo bem semelhantes ao da amostragem de metro com o mesmo número de amostras do método tradicional. No entanto, para uma melhor representação do padrão de variação longitudinal, recomenda-se a inserção de um disco a 100% da altura comercial (H_c).

4.3 Intensidade amostral

Na Tabela 14 é apresentado o número de árvores necessárias para se estimar a densidade básica da árvore, considerando o método de amostragem e a classe de diâmetro.

TABELA 14 Número de árvores requeridas para a estimativa da densidade básica da árvore por método de amostragem e classe de diâmetro, admitindo-se um erro de 5% dentro de um intervalo de confiança de 95%.

	Número de árvores
Amostragem Tradicional	1
Amostragem Alternativa	1
Amostragem Metro em metro	1
Amostragem na forma de Bagueta	3
Classe diamétrica 14,2 cm	4
Classe diamétrica 11,4 cm	4
Classe diamétrica 8,1 cm	5

Conforme o esperado, por se tratar de apenas um clone, o número de árvores para se estimar a densidade média foi pequeno. Nota-se, pelos dados da Tabela 14, que, em ambos os métodos de amostragem destrutiva, a tomada de diferentes amostras ao longo do tronco em apenas uma árvore do clone avaliado gerou resultados satisfatórios com um erro de 5% e intervalo de confiança de 95%. Lima (1995) também verificou que uma única árvore de um clone de *E. saligna* foi suficiente para a estimativa da densidade básica da árvore e ressalta que o pequeno número de amostras só deve ser utilizado para clones procedentes de sítios bem uniformes.

Por outro lado, a tomada de uma bagueta de 20 mm de diâmetro, utilizando o trado motorizado, requer um maior número de árvores, apesar de também pequeno, para a estimativa da densidade básica média, pois, quanto mais se amostra dentro do tronco, menos árvores são necessárias.

Percebe-se que o menor número de amostras requeridas para as classes diamétricas se deve à maior variação da densidade básica dentro da classe.

Na Tabela 15 é apresentado um resumo do esquema de amostragem utilizado em cada método.

TABELA 15 Valores da densidade básica e coeficiente de variação em função do número de amostras considerado.

Método de amostragem	Nº árvores	Nº amostras por árvore	Nº subamostras	DB média (g/cm ³)	CV (%)
Tradicional	50	5	2	0,548	5,41
Alternativa	50	5	2	0,553	3,82
Metro em metro	50	18*	2	0,555	3,90
Bagueta	50	1	-	0,502	4,07

* número médio de amostras por árvore nas três classes de diâmetro consideradas; CV: coeficiente de variação, Nº subamostras: duas cunhas opostas retiradas nos discos para a determinação da densidade básica.

Observa-se que a tomada de um mesmo número de amostras e de subamostras, nas amostragens tradicional e alternativa, resultou em diferentes coeficientes de variação. Pode-se, assim, concluir que a amostragem alternativa foi mais precisa e eficiente que a tradicional por apresentar a menor variação dos valores de densidade. Percebe-se também que a amostragem de uma bagueta a 1,30 m de altura do solo, apesar de subestimar o valor médio da densidade, resultou em um menor coeficiente de variação quando comparada a amostragem tradicional.

Ferreira (1970) constatou que 36 árvores são necessárias para a determinação da densidade básica média das espécies de *Eucalyptus* em qualquer das idades analisadas com precisão de 0,01% e 80% de probabilidade. Benjamin & Ballarin (2004) sugerem a amostragem de 6 a 8 árvores para a estimativa da densidade básica média de *E. saligna*, *E. grandis* e o híbrido.

Bendesten et al. (1970) ressaltam que a amostragem intensiva no tronco melhora a confiabilidade, no que diz respeito às propriedades daquela árvore, mas pouco diz sobre as propriedades das árvores restantes. Diante disso, são necessários mais estudos com relação à variação das propriedades dentro e entre árvores, principalmente no Brasil, onde as condições climáticas favorecem o rápido crescimento. Adicionalmente, seria interessante uma análise econômica dos custos envolvidos desde o plantio da muda até coleta e a preparação do material para análise.

4.4 Densidade básica da madeira: variação radial

Na Tabela 16 são apresentados os resultados médios da densidade básica da madeira no sentido medula-casca, para os dois lados opostos à medula por posição longitudinal de amostragem e classe diamétrica. Os lados opostos à medula (Lado A e Lado B) foram tomados de forma aleatória. Verifica-se que a densidade básica no sentido medula casca diminuiu de 2% a 10% da altura comercial com posterior aumento até 70% Hc.

Os coeficientes de variação foram maiores que os verificados para a variação longitudinal, indicando que a densidade básica é mais variável no sentido medula-casca. Esse comportamento foi verificado em diversos trabalhos relacionados à variação da densidade básica em *Eucalyptus*, tais como os de Cruz et al. (2003) e Oliveira et al. (2005) e se deve às variações decorrentes das proporções de madeira juvenil, cerne e alburno e lenho inicial e tardio (Zobel & Buijtenen, 1989).

TABELA 16 Resultados médios da densidade básica da madeira no sentido medula-casca por posição longitudinal de amostragem e classe diamétrica.

Posição longitudinal (%Hc)	Densidade básica (g/cm ³)			
	Classe 14,2 cm	Classe 11,4 cm	Classe 8,1 cm	Média
2%	0,516 (12,83)	0,519 (13,40)	0,498 (8,47)	0,516 (12,75)
10%	0,511 (11,41)	0,511 (10,89)	0,493 (10,60)	0,509 (11,21)
30%	0,530 (9,90)	0,518 (11,50)	0,498 (8,72)	0,525 (10,38)
70%	0,543 (9,22)	0,557 (13,15)	0,547 (9,56)	0,547 (10,38)
Média	0,523 (11,33)	0,522 (12,50)	0,505 (9,94)	

Valores entre parêntesis representam os coeficientes de variação; %Hc: percentagem da altura comercial.

O gráfico da Figura 12 ilustra o padrão de variação médio da densidade básica observado a 1,3 m de altura do solo (dap) para a classe diamétrica de 14,2 cm, considerando dois lados opostos em relação à medula. Observa-se que a densidade tende a aumentar a partir da posição mais central, ou seja, mais próxima da medula, para a parte mais externa (mais próxima à casca) ao tronco da árvore.

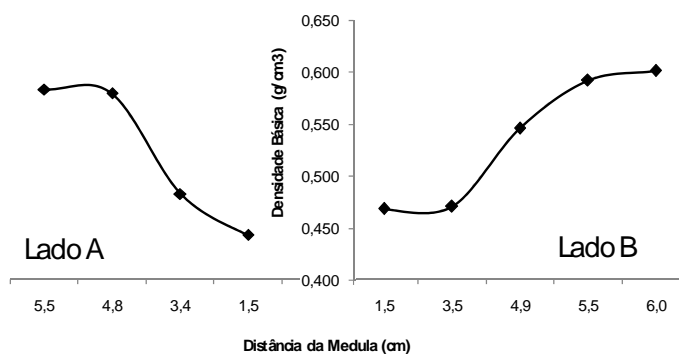


FIGURA 12 Variação radial da densidade básica na altura do dap em lados opostos à medula (Lado A e Lado B), para a classe diamétrica 14,2 cm.

Este padrão de variação está em conformidade com o obtido para a altura do dap, por Tomazello Filho (1985), em *E. grandis* e *E. saligna*, aos 10 anos e por Oliveira et al. (2003), em *E. saligna*, aos 16 anos.

O gráfico da Figura 13 ilustra a variação radial média para as duas partes opostas à medula de forma separada, bem como os modelos estatísticos ajustados. Verifica-se que a tendência de um aumento da densidade básica no lado considerado como “A” apresentou um ajuste de modelo simples, enquanto o lado “B” apresentou um melhor ajuste do modelo cúbico. Aparentemente, o modelo cúbico é o que melhor explica a forma de variação da densidade básica no sentido radial na altura do dap. Normalmente, a densidade é menor na região da medula, com tendência de crescimento atingindo um valor máximo na região do cerne e decresce na região do alborno (Oliveira et al., 2005). Outro fato que pode ser observado é que, quanto mais pontos forem considerados, melhor será a definição da variação radial da densidade básica, da mesma forma como ocorreu para a variação longitudinal. Este resultado está de acordo com o apresentado por Downes et al. (1997). Este fato pode sugerir que a variação radial da

densidade básica da madeira possa seguir o mesmo modelo de variação no sentido longitudinal, pois o Lado B tem forte semelhança com a Figura 11 B (amostragem alternativa).

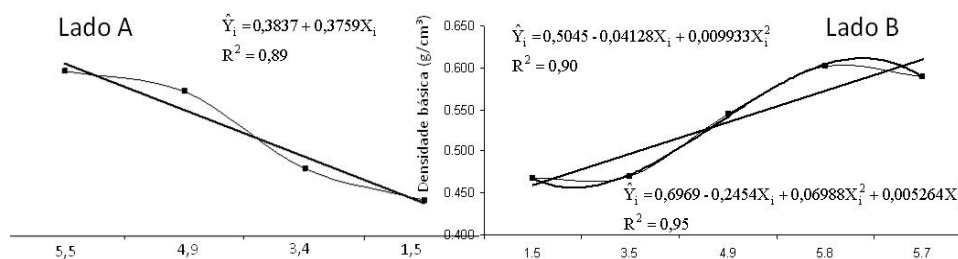


FIGURA 13 Variação radial e modelos ajustados para os dois lados opostos à medula (Lado A e Lado B) da classe diamétrica 14,2 cm, na altura do dap.

O gráfico da Figura 14 ilustra o padrão de variação radial da densidade básica para as classes diamétrica de 11,4 cm. Verifica-se que o padrão de variação foi semelhante ao observado na classe 14,2 cm, porém, por terem sido utilizados menos pontos radiais, foi possível observar apenas o aumento da magnitude da densidade básica a partir da medula em direção à casca.

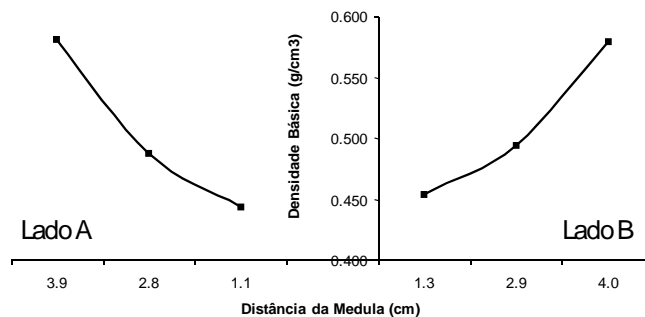


FIGURA 14 Variação radial para os dois lados opostos à medula (Lado A e Lado B) da classe diamétrica 11,4 cm na altura do dap.

O padrão de variação da densidade na classe diamétrica de 8,1 cm não foi apresentado para a posição do dap e demais posições longitudinais de amostragem, devido à insuficiência amostral em função do pequeno diâmetro dos discos nesta classe. Dessa forma, não foi possível definir uma tendência de variação para a classe de 8,1 cm.

Nas Figuras 15 e 16 está ilustrada a variação da densidade básica no sentido medula-casca para as posições longitudinais a 70%, 30%, 10% e 2% da altura comercial do tronco para as classes diamétricas de 14,2 cm e 11,4 cm, respectivamente.

Pelos gráficos das Figuras 15 e 16 pode-se observar que o padrão de variação radial apresentou nítida tendência de aumento da medula para a casca em todas as posições longitudinais amostradas. Nas alturas que permitiram a retirada de maior número de amostras radiais observa-se melhor a tendência do padrão de variação, demonstrando que a retirada de poucas amostras é insuficiente para a definição desse padrão, o que é reforçado por Downes et al. (1997). Em 10% da altura comercial do tronco (Figura 17) e em 2% (Figura 18), os dois lados amostrados apontaram para a mesma tendência de comportamento.

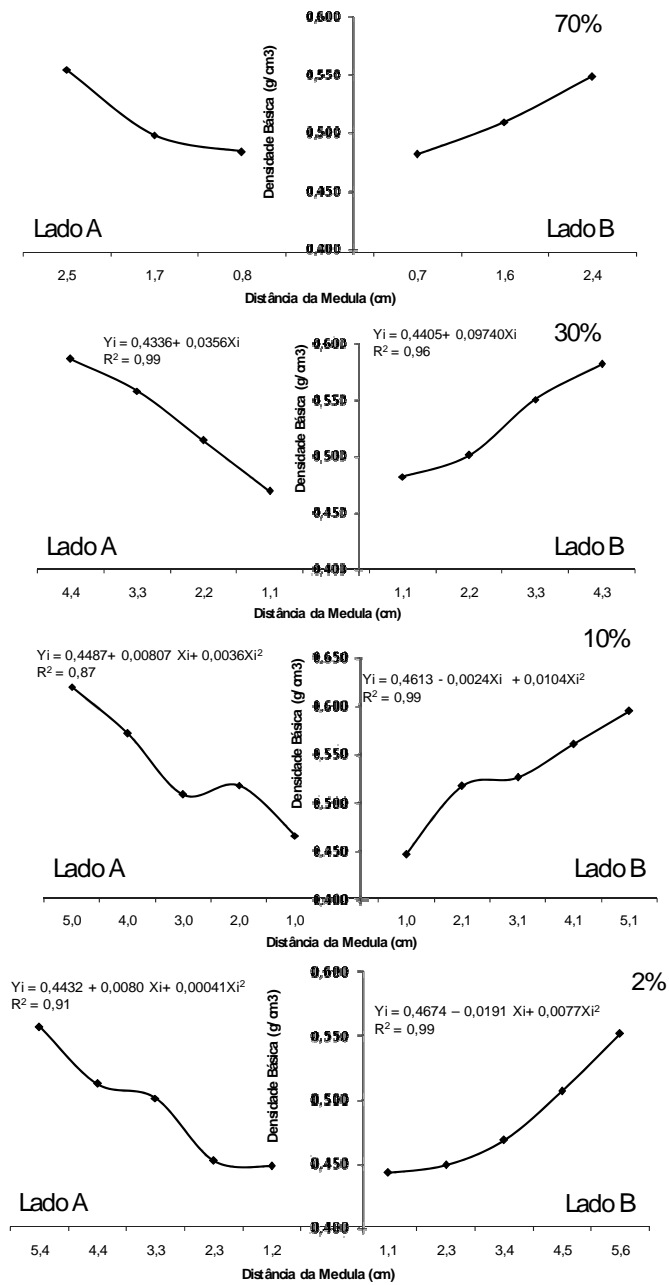


FIGURA 15 Variação radial para os dois lados opostos à medula na classe diamétrica 14,2 cm, nas posições de 2%, 10%, 30% e 70% da altura comercial.

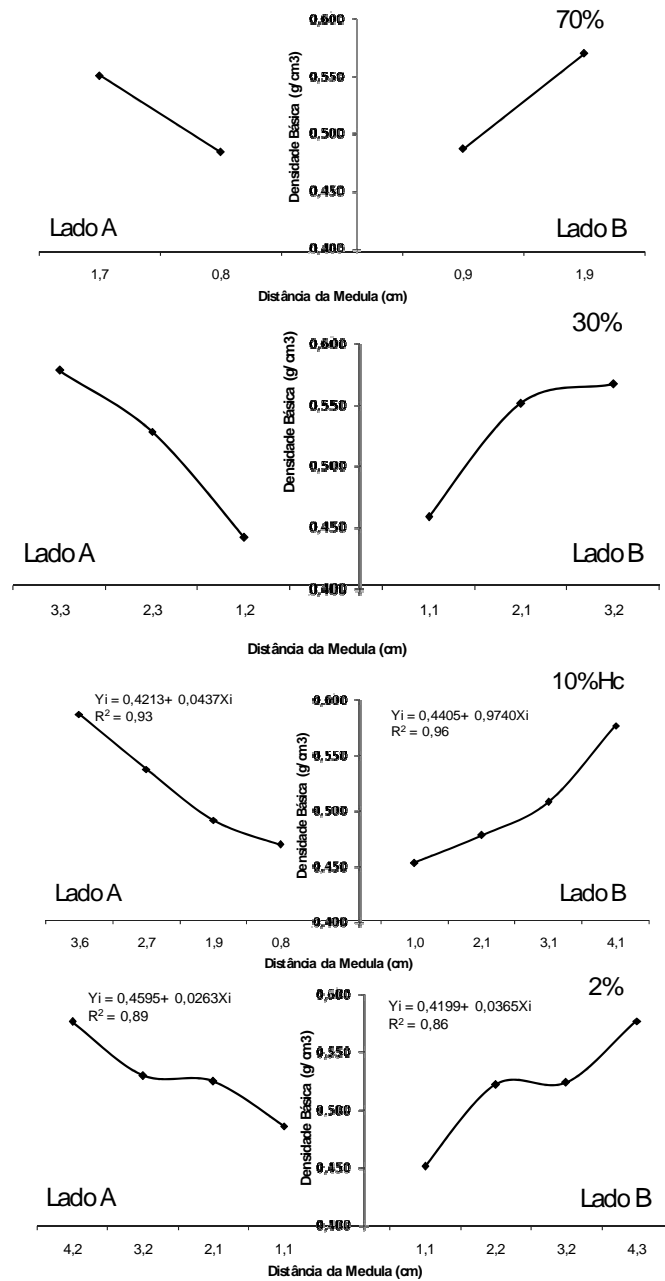


FIGURA 16 Variação radial para os dois lados opostos à medula na classe diamétrica 11,4 cm, nas posições de 2%, 10%, 30% e 70% da altura comercial.

Verifica-se, pela Figura 15, que, para a classe de diâmetro de 14,2 cm, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o quadrático, com exceção da posição de 30% Hc e lado A, para os quais foi ajustado um modelo linear.

Pela derivação das equações quadráticas foi possível estimar os pontos críticos em algumas posições. Na classe de 14,2 cm, posição longitudinal de 2% Hc e lado B, o ponto de mínimo foi verificado a 1,25cm, o qual corresponde a uma densidade de 0,453 g/cm³. Verifica-se que, para esta mesma posição e lado A, a equação passa por um ponto de mínimo que foi estimado fora da região amostral. Para a altura de 10% e lado A, a equação passa por um ponto de mínimo a 1,20 cm, o qual corresponde a uma densidade de 0,464 g/cm³. Já para o lado B, observa-se que a equação passa por um ponto de máximo, no entanto, este ponto foi estimado fora da região amostral. Os pontos críticos não foram captados pela curva em função do pequeno número de amostras obtidas para a determinação da densidade e também por não se ter amostrado a região da medula.

De modo geral, pode-se perceber que o padrão de variação radial tendeu a apresentar um comportamento semelhante ao padrão longitudinal. Este fato pode estar associado à disposição dos anéis de crescimento no tronco das árvores e seguir o modelo da simetria cônica, em que a propriedade é constante para uma dada região de anel com a altura, mas varia radialmente entre regiões, ou o modelo não linear geral, em que a propriedade varia de forma não linear, tanto no sentido radial quanto longitudinal (Downes et al., 1997).

4.5 Densidade básica da madeira: correlação com a amostragem não destrutiva e identificação do ponto de melhor estimativa

Na Tabela 17 são apresentados os valores médios de amplitude (Resistograph®), de leituras do Pilodyn® e de densidade dos discos em diferentes posições basais de amostragem consideradas no tronco e nas classes

diamétricas. Verifica-se que a amostragem destrutiva foi a que apresentou menor variação em todas as alturas e classes diamétricas e os valores de amplitude apresentaram as maiores variações em todas as alturas e classes consideradas.

TABELA 17 Valores médios de amplitude, leituras do Pilodyn® e densidade dos discos, em posições basais por classe diamétrica.

Método	Classe (cm)	Posição de amostragem no tronco (m)				
		0,70	0,90	1,10	1,30	1,50
Amplitude (%)	14,2	21,77	19,65	21,85	20,93	20,01
		(15,48)	(14,95)	(14,39)	(9,47)	(12,88)
	11,4	20,22	19,15	18,36	18,42	18,98
		(9,97)	(13,24)	(10,91)	(15,40)	(11,20)
	8,1	16,09	15,05	12,18	13,69	13,22
		(20,36)	(40,17)	(19,05)	(22,42)	(14,04)
Pilodyn® (mm)	14,2	10,49	10,48	10,57	10,44	10,54
		(10,99)	(9,41)	(9,12)	(9,34)	(9,28)
	11,4	11,16	11,24	11,24	11,29	11,18
		(4,14)	(4,89)	(5,88)	(4,84)	(5,19)
	8,1	12,14	12,14	12,25	12,17	12,31
		(4,81)	(5,35)	(1,34)	(5,38)	(5,15)
Densidade discos (g/cm ³)	14,2	0,542	0,540	0,538	0,542	0,539
		(0,21)	(1,57)	(0,39)	(1,43)	(1,57)
	11,4	0,543	0,540	0,537	0,539	0,535
		(0,91)	(2,88)	(0,26)	(1,18)	(0,39)
	8,1	0,519	0,512	0,508	0,517	0,510
		(0,27)	(1,10)	(2,4)	(4,92)	(3,74)

Valores entre parênteses representam os coeficientes de variação.

Observa-se, pelos dados da Tabela 17, que os valores de amplitude do Resistograph® e a densidade básica dos discos apresentaram tendência de aumento com a classe diamétrica. Essa tendência também foi verificada para a densidade básica estimada pelos três métodos destrutivos considerados neste estudo (Tabela 9). A tendência inversa foi observada com o uso do Pilodyn®, o que era esperado, pois os valores de penetração do pino são negativamente correlacionados com a densidade básica.

A diferença nas variações entre as leituras do Pilodyn® e a amplitude do Resistograph® está associada ao tipo e à forma da informação determinada por este. O aparelho faz uma varredura determinando a resistência à penetração de uma broca de 3 mm de diâmetro, em toda a extensão do diâmetro da árvore, enquanto o Pilodyn® se restringe a determinar a resistência à penetração de uma agulha na porção mais superficial do tronco das árvores.

Na Tabela 18 são apresentados os valores médios e respectivos coeficientes de variação para a densidade básica estimada em pontos na parte mais basal do tronco nas três classes de diâmetro.

TABELA 18 Valores médios para a densidade básica da madeira em diferentes pontos mais basais do tronco das árvores.

Classe de diâmetro(cm)	Base	0,70 m	0,90 m	1,10 m	1,30 m	1,50 m
14,2	0,547	0,542	0,540	0,538	0,542	0,539
11,4	0,553	0,543	0,540	0,537	0,539	0,535
8,1	0,538	0,519	0,513	0,508	0,517	0,508
Média	0,537	0,541	0,543	0,544	0,552	0,552
CV (%)	2,40	2,43	2,51	2,37	2,43	2,40

CV = coeficiente de variação.

Observa-se, pelos dados da Tabela 18, que a densidade básica apresentou uma tendência de redução nas partes mais basais do tronco para as três classes de diâmetro consideradas.

O gráfico da Figura 17 ilustra o comportamento observado da densidade básica da madeira em diferentes pontos mais basais do tronco das árvores, nas três classes diamétricas consideradas. Observa-se que o padrão de variação foi o mesmo nas três classes diamétricas. Percebe-se, pela Figura 17, que a densidade apresentou certa estabilidade de 0,7 m a 1,5 m, para as maiores classes de diâmetro, diferente do ocorrido para a menor classe. Em ambas as classes (11,4 cm e 14,2 cm), a redução mais brusca do valor da densidade básica ocorreu da base aos 0,7 m de altura do solo. Resultados semelhantes foram observados por Raymond & MacDonald (1998) para o *E. nitens* e *E. globulus*, aos 5, 10 e 15 anos em três áreas geográficas da Tasmânia. Os autores verificaram que a maior queda no valor da densidade ocorreu entre 0% e 0,5 m de altura do solo, indicando ser este o ponto de mínima densidade na base, fato que não foi observado neste estudo.

Na porção mais basal do tronco, observou-se o seguinte padrão de variação: redução no valor da densidade básica da madeira da base até 1,10 m de altura, acompanhado de um ligeiro aumento no seu valor a 1,30 m de altura do solo (dap) e, em seguida, uma queda a 1,50 m. Este comportamento foi mais nítido na classe de diâmetro de 8,1 m. A densidade apresentou menores valores a 1,50m e maiores valores na base.

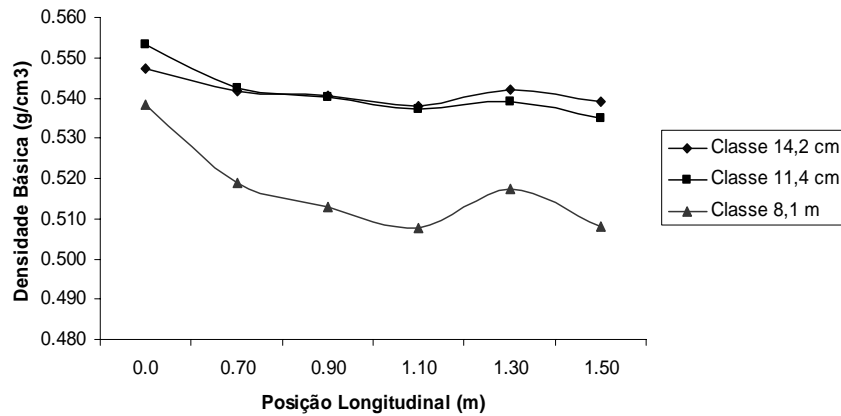


FIGURA 17 Comportamento observado da densidade básica da madeira em diferentes pontos basais do tronco das árvores, nas três classes diamétricas consideradas.

Na Tabela 19 estão apresentados os coeficientes de correlação observados entre a profundidade de penetração do pino do Pilodyn® e a amplitude, dada pelo Resistograph®, em diferentes pontos mais basais de amostragem do tronco das árvores. Verifica-se que os valores foram negativos e de baixa magnitude, porém, no geral, as maiores correlações foram detectadas a 1,30 m de altura. O ponto que apresentou a maior correlação entre as leituras do Pilodyn® e amplitude foi a 1,50 m (-0,57). A baixa correlação entre os valores determinados por esses equipamentos está associada às diferentes formas de determinação dos dados na árvore. A diferença entre as classes diamétricas não foram relevantes para que esses dois equipamentos fossem sensíveis a ela.

TABELA 19 Coeficientes de correlação para os valores de leitura do Pilodyn® e amplitude do Resistograph®, em diferentes pontos basais de amostragem.

Pilodyn (mm)	Amplitude (%)				
	Coeficientes de correlação				
	0,70 m	0,90 m	1,10 m	1,30 m	1,50 m
0,70 m	-0,16	-0,21	-0,22	-0,30	-0,25
0,90 m	-0,21	-0,33	-0,22	-0,27	-0,30
1,10 m	-0,38	-0,43	-0,41	-0,48	-0,49
1,30 m	-0,45	-0,51	-0,50	-0,54	-0,54
1,50 m	-0,35	-0,50	-0,48	-0,47	-0,57

Na Tabela 20 estão apresentados os coeficientes de correlação obtidos entre a amplitude e a densidade básica determinada em diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores. Observa-se que todas as correlações foram positivas e que as maiores magnitudes ocorreram entre a amplitude obtida a 1,10 m de altura do solo e a densidade estimada a 1,10 m (0,73) e 1,50 m (0,78), demonstrando que estes pontos são os mais indicados para utilizar o Resistograph®. A correlação entre a amplitude e o ponto a 1,30 m (posição normalmente utilizada para a aplicação da resistografia) foi moderada (0,59). As melhores correlações ocorreram entre a amplitude obtida a 1,50 m e a densidade determinada pela amostragem tradicional (0,71), entre a amplitude obtida a 1,10 m (0,75) e 1,50 m (0,74) e a densidade determinada pela amostragem alternativa e entre a amplitude obtida a 1,50 m (0,78) e a 1,50 m (0,75) e a amostragem de metro em metro.

TABELA 20 Coeficientes de correlação para os valores de amplitude do Resistograph® e a densidade básica determinada em diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores.

	Coeficiente de correlação									
	Base	0,70 m	0,90 m	1,10 m	1,30 m	Bagueta	1,50 m	Trad	Alter	M/M
0,70 m	0,40	0,39	0,48	0,63	0,50	0,35	0,55	0,50	0,55	0,58
0,90 m	0,24	0,46	0,57	0,56	0,37	0,16	0,44	0,46	0,46	0,51
1,10 m	0,31	0,58	0,57	0,73	0,56	0,40	0,78	0,67	0,75	0,78
1,30 m	0,18	0,34	0,58	0,60	0,59	0,45	0,65	0,54	0,64	0,66
1,50 m	0,34	0,59	0,51	0,69	0,51	0,19	0,65	0,71	0,74	0,75

Base = base da árvore, Bagueta = bagueta retirada a 1,30 m de altura do solo (dap), Trad, Alter e M/M = amostragem tradicional, alternativa e de metro em metro a partir do dap.

A correlação entre a densidade da bagueta e a amplitude a 1,30 foi fraca (0,45), o que não era esperado, uma vez os dois métodos estimam a densidade em toda a extensão diametral.

Na Tabela 21 são apresentados os valores de correlação entre a penetração do pino do Pilodyn® e a densidade básica determinada em diferentes pontos mais basais de amostragem do tronco das árvores. Pode-se observar que as correlações foram todas negativas e de baixa magnitude. No geral, as maiores correlações entre os pontos amostrados ocorreram a 1,10 e a 1,50 m de altura. A maior correlação entre a densidade básica e as leituras do Pilodyn® foi detectada a 1,50m (-0,59), indicando ser este o melhor ponto para a sua utilização. A correlação a 1,30 m (-0,53) foi bem semelhante à apresentada no ponto de 1,50 m. Correlações moderadas entre a penetração do pino do Pilodyn® e a densidade básica também foram verificadas por Rosado et al. (1983) e Gonçalves (2006). No entanto, Raymond & MacDonald (1998) detectaram altas correlações entre densidade e penetração do pino. O uso do Pilodyn®, por obter

um valor na madeira produzida mais periférica ao tronco da árvore, é restrito e criticado por vários autores. Entretanto, é um equipamento de fácil utilização e rapidez que pode ser aplicado em condições em que se pretende fazer uma classificação prévia de uma população grande, contendo diferentes materiais genéticos. Em relação aos métodos de amostragem, a penetração do pino do Pilodyn® obtida a 1,50 m de altura do solo apresentou correlação de maior magnitude com a amostragem de metro em metro a partir do dap (-0,64), resultado semelhante ao verificado para o resistografo.

TABELA 21 Coeficientes de correlação para valores de leitura do Pilodyn® e a densidade básica determinada em diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores.

	Coeficiente de correlação									
	Base	0,70 m	0,90 m	1,10 m	1,30 m	Bagueta	1,50 m	Trad	Alter	M/M
0,70 m	0,10	-0,37	-0,30	-0,47	-0,46	-0,28	-0,47	-0,49	-0,43	-0,56
0,90 m	-0,02	-0,47	-0,39	-0,52	-0,47	-0,27	-0,50	-0,57	-0,48	-0,60
1,10 m	0,03	-0,44	-0,34	-0,52	-0,47	-0,31	-0,51	-0,50	-0,46	-0,56
1,30 m	0,07	-0,37	-0,35	-0,53	-0,53	-0,39	-0,53	-0,51	-0,50	-0,58
1,50 m	-0,04	-0,44	-0,38	-0,56	-0,52	-0,31	-0,59	-0,57	-0,53	-0,64

Base = base da árvore, Bagueta = bagueta retirada a 1,30 m de altura do solo (dap), Trad, Alter e M/M = amostragem tradicional, alternativa e de metro em metro a partir do dap.

Na Tabela 22 estão apresentados os coeficientes de correlação para as estimativas de densidade básica da madeira em diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores e os três métodos de amostragem considerados.

TABELA 22 Correlação entre as estimativas de densidade básica nos diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores e os três métodos de amostragem considerados.

	Coeficiente de correlação									
	Base	0,70 m	0,90 m	1,10 m	1,30 m	Bagueta	1,50 m	Trad	Alter	M/M
Base	1,0	0,31	0,34	0,44	0,39	0,09	0,41	0,53	0,40	0,43
0,70 m		1,0	0,61	0,66	0,54	0,34	0,69	0,71	0,64	0,67
0,90 m			1,0	0,79	0,56	0,38	0,72	0,72	0,74	0,73
1,10 m				1,0	0,63	0,41	0,83	0,77	0,80	0,82
1,30 m					1,0	0,69	0,72	0,67	0,59	0,70
Bagueta						1,0	0,55	0,47	0,36	0,49
1,50 m							1,0	0,77	0,80	0,86
Trad								1,0	0,86	0,90
Alter									1,0	0,93
M/M										1,0

Base = base da árvore, Bagueta = bagueta retirada a 1,30 m de altura do solo (dap), Trad, Alter e M/M = amostragem tradicional, alternativa e de metro em metro a partir do dap.

Verifica-se que as maiores magnitudes de correlação foram observadas entre a densidade básica estimada a 0,90 m e a obtida a 1,10 m de altura do solo (0,79) e a 1,10 m com a obtida a 1,50 m de altura do solo (0,83), indicando que estes pontos estimam de forma semelhante à densidade básica. Raymond (2002) encontrou a maior correlação entre a densidade básica estimada pela bagueta e a densidade básica média da árvore a 1,10 m para o *E. globulus* e 0,7 m para o *E. nitens*. A densidade básica estimada com a bagueta não apresentou correlação elevada com os diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores. Entretanto, a 1,30 m de altura do solo (dap), local onde foi retirada, a correlação foi a maior (0,63), embora se esperasse uma maior magnitude da correlação.

Este fato pode estar relacionado com a não proporcionalidade da densidade básica na bagueta, uma vez que esta foi retirada considerando todo o diâmetro da árvore e não proporcionaliza as zonas de menor densidade básica no sentido radial, especialmente na região próxima a medula. Pode-se observar, ainda, que as melhores magnitudes de correlação entre as estimativas de densidade básica da madeira, nos diferentes pontos basais de amostragem do tronco das árvores e os três métodos de amostragem considerados, ocorreram para as alturas de 1,10 e 1,50 m de altura do solo, indicando que, para este clone de *E. grandis* x *E. urophylla*, estas são as alturas que podem ser utilizadas para representar o todo.

Raymond (2002) e Raymond & MacDonald (2008) também verificaram a melhor correlação a 1,10 m e 1,50 m para o *E. globulus*. Downes et al. (1997), utilizando como referência amostras de trado e amostras de discos ponderadas pelo volume, sugerem a retirada de um único disco ou uma amostra de trado a 1,10 m, para o *E. globulus* de 5 a 7 anos ($r = 0,79$); a 0,70 m para o *E. nitens* de 7 a 9 anos ($r = 0,73$) e a 1,30 m para o *E. regnans* de 9 anos ($r = 0,82$). É importante ressaltar que esses autores levaram em consideração não só a alta correlação entre a altura de amostragem e a densidade média da árvore, mas também a facilidade de alcançar o ponto para o caso da amostragem não destrutiva. É muito comum a avaliação de propriedades da madeira feitas no dap, mas existem poucas evidências de que este ponto represente verdadeiramente o valor da propriedade no tronco.

As correlações do dap, ponto mais utilizado para a tomada de uma amostra no tronco, foram 13%, 26% e 15% inferiores às obtidas a 1,10 m de altura do solo, para os métodos tradicional, alternativo e de metro em metro, respectivamente. Já para 1,50 m, as correlações foram inferiores em 13%, 26% e 19%, para a amostragem tradicional, alternativa e de metro em metro, respectivamente.

Verifica-se também, pela Tabela 22, que as correlações entre a amostragem de metro em metro e tradicional e amostragem de metro em metro e alternativa foram bem parecidas, 0,90 e 0,93, respectivamente. No entanto, por amostrarem com a mesma intensidade (5 discos) e, conseqüentemente, apresentarem a mesma demanda por tempo e custo, pode-se concluir que a amostragem alternativa estima com mais exatidão a densidade básica média do tronco, tendo em vista a sua maior proximidade na estimativa dessa propriedade com o método de amostragem de metro em metro.

5 CONCLUSÕES

No caso deste estudo, as seguintes conclusões puderam ser estabelecidas:

- ✓ os três métodos de amostragem destrutiva sugerem o mesmo padrão longitudinal de variação. Os métodos de amostragem de metro em metro e tradicional simulam com mais eficiência esse comportamento, enquanto que, para o método alternativo, é necessária a adição de um ponto a 100% da altura comercial;
- ✓ para a determinação da densidade básica média da árvore, sugere-se a utilização da amostragem alternativa, pois este método estima a densidade básica média do tronco com valores semelhantes aos da amostragem de metro em metro com um mesmo número de amostras da amostragem tradicional. Além disso, apresentou a menor variação dos dados em relação à média;
- ✓ a amostragem na forma de baguetas diamétrais tendeu a subestimar o valor da densidade básica determinada nas amostras na forma de cunha, em função da não proporcionalidade dos tipos de madeira;
- ✓ o padrão de variação longitudinal da densidade básica foi mais bem representado pelo modelo da terceira potência (cúbico) utilizando as amostragens tradicional e alternativa em todas as classes diamétricas, enquanto o modelo da quarta potência foi melhor para representar a variação longitudinal da densidade básica utilizando a amostragem de metro em metro;
- ✓ em função da pequena variação da densidade no sentido longitudinal, uma única árvore foi requerida para se estimar a densidade básica média da árvore, determinada pelos três métodos de amostragem destrutiva;

- ✓ a densidade básica no sentido radial aumentou da medula para a casca e foi mais bem explicada pelo modelo linear para a classe de diâmetro intermediária e quadrático para a classe de maior diâmetro;
- ✓ os pontos de amostragem de 1,10 m e 1,50 m de altura do solo apresentaram, de modo geral, as melhores correlações com a amplitude do Restograph® e a penetração do pino do Pilodyn®;
- ✓ dentre as três formas de amostragem consideradas, a amostragem de metro em metro, a partir de 1,3 metro de altura do solo, apresentou os maiores valores de correlação com a amplitude e a penetração do pino do Pilodyn®;
- ✓ a densidade básica determinada a 1,10 e 1,50 m de altura do solo apresentou as maiores correlações com os três métodos de amostragem considerados. Essa relação permite utilizar a densidade básica estimada nessas alturas no tronco e ajustar um modelo estatístico para estimar a densidade básica média da árvore.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, J. C. **Características de crescimento e variação da densidade básica da madeira em 12 espécies de *Eucalyptus* em 3 regiões do estado de Minas Gerais**. 1983. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

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, ago. 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14660**: madeira: amostragem e preparação para análise. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

BAMBER, R. K.; HORNE, R.; GRAHAM-HIGGS, A. Effects of fast grown on the wood properties of *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry Research**, Queen Victoria, v. 12, n. 2, p. 163-167, Apr. 1982.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O.; MIGLIORINI, A. J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-731, 1983.

BENDSTEN, B. A.; FREESE, F.; ETHINGTON, R. L. A forest sampling method for wood strength. **Forest Products Journal**, Madison, v. 20, n. 11, p. 38-47, Nov. 1970.

BENJAMIN, C. A. **Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira em florestas implantadas de Eucaliptos**. 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Avaliação do comportamento de critérios de amostragem de árvores para a determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFC, 2004. CD-ROM.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP: análise preliminar. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 5, p. 81-90, dez. 1972.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas secções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 15, p. 73-82, dez. 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2., densidade da madeira x densidade do carvão. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 20, p. 121-126, dez. 1980.

CARDOSO JÚNIOR, A. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; MENDES, L. M. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, jul./set. 2005.

CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Variabilidade da densidade da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CELULOSE E PAEPL, 3., 1983, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1983. p. 127-137.

COUTINHO, A. R.; FERRAZ, E. S. B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 38, p. 33-37, abr. 1988.

CRUZ, C. R.; MUNIZ, G. I. B.; LIMA, J. T. Variação dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 33-47, dez. 2003.

DOAT, J.; PETROFF, G. La caracterization des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêt des Tropiques**, Paris, v. 159, p. 55-72, jan./fév. 1975.

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 fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 126 p.

FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 1, p. 83-96, dez. 1970.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, jun. 1972.

FLORES, D. M. M.; CARDOSO, G. V.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para a produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades para um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **O Papel**, São Paulo, v. 61, n. 3, p. 44-55, dez. 2000.

GANTZ, C. H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. 2002. 88 p. Dissertation (Mesters in Forest Science) - University of North Carolina State, Raleigh.

GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in eucalypt hybrid *urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*). **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 33, n. 1, p. 3-8, Feb. 2001.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 167 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Duxbury, 1976. 704 p.

HANS, A. S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, grown in Zambia. **Holzforschung**, Berlin, v. 26, n. 4, p. 138-171, Aug. 1972.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 495 p.

HEIN, P. R. G. **Adequação do Resistógraph® para estimativa da densidade básica da madeira de Eucalyptus**. 2006. 40 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão uma introdução à econometria**. 2. ed. São Paulo: Hicitec, 1977. 379 p.

KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. Prediction of whole-tree basic density and pulp yield using wood core samples in *Eucalyptus nitens*. **Appita Journal**, Mooroolbark Vic, v. 55, n. 1, p. 43-38, Jan. 2002.

LAUSBERG, M. J. F.; GILCHRIST, K. F.; SKIPWITH, J. H. Wood properties of *Eucalyptus nitens* grown in New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 25, n. 2, p. 147-163, Apr. 1995.

LIMA, J. T. The wood density of 3 *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Annals of Science Forest**, Les Ulis, v. 52, n. 4, p. 347-352, Aug. 1995.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 2, p. 197-206, Apr. 2000.

LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M. Desempenho do Resistograph na estimativa da densidade básica da madeira de eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 10., 2006, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: UNESP/CEVEMAD/IBRAMEM, 2006. CD-ROM.

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Revista Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 123-127, jan./mar. 1992.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 75, p. 85-93, set. 2007.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 107-116, jan./fev. 2004.

LOSCHI NETO, A.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; RABELO, G. F. Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 673-682, out./dez. 2008.

MALLAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p. 1-19.

MANFREDI, V. **Variações no rendimento da polpa sulfato ao longo do tronco de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith.** 1985. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MANFREDI, V.; BARRICHELO, L. E. G. Variação do rendimento de celulose sulfato ao longo do tronco do eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 18., 1985, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1985. p. 26.

McKENZIE, H. M.; SHELBOURNE, C. J. A.; KIMBERLEY, M. O.; McKINLEY, R. B.; BRITTON, R. A. J. Processing young plantation-grown *Eucalyptus nitens* for solid-wood products: 2., predicting product quality from tree, increment core, disc and 1-m billet properties. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 33, n. 1, p. 79-113, Feb. 2003.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A. Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for basic density, pilodyn penetration and diameter in *Eucalyptus globulus*. **Forest Genetics**, Zvolen, v. 7, p. 321-332, 2000.

MUNERI, A.; RAYMOND, C. A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties: 2., fiber length and coarseness. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, n. 1/2, p. 41-56, Feb. 2001.

OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex. Maiden).** 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.

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

PÁDUA, F. A. de; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Amostragem da madeira para a avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 10., 2006, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro: UNESP/CEVEMAD/IBRAMEM, 2006. CD-ROM.

PÁDUA, F. A. de; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; CARDOSO JÚNIOR, A. A.; OLIVEIRA, A. C. de. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, dez. 2004.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; REZENDE, M. A.; ABREU, H. S. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* ENGELM através da atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p. 1-6, ago./dez. 2004.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw Hill, 1980. 705 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw Hill, 1982. 722 p.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on eastern Transvaal Highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 144, p. 10-22, 1988.

RAYMOND, C. A. Genetics of *Eucalyptus* wood properties. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 59, n. 5/6, p. 525-531, 2002.

RAYMOND, C. A.; MACDONALD, A. C. Where to soot your pilodyn: whiting tree variation in basic density in plantations *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*, Tasmania. **New Forests**, Dordrecht, v. 15, n. 3, p. 205-221, June 1998.

RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties: I., basic density. **Wood Science and Technology**, Berlin, n. 35, p. 27-39, 2001.

RAYMOND, C. A.; SCHIMLECK, L. R.; MUNERI, A.; MICHELL, A. J. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E.nitens* for wood properties: 3., predict pulp yield using near infrared reflectance analysis. **Wood Science and Technology**, New York, v. 35, n. 3, p. 203-215, June 2001.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, H.; SCHAR, E. Resistograph and x-ray density charts of wood comparative evaluation on drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v. 50, n. 4, p. 303-331, Aug. 1996.

ROBISON, T. L.; MIZE, C. W. Specific gravity and fiber length in a European black alder provenance study. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.19, n. 3, p. 225-235, June 1987.

ROCHA, M. G. B. **Variação da densidade básica e correlações entre caracteres de progênies jovens de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em duas etapas de crescimento.** 1983. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSADO, S. C. S. **Avaliação da densidade básica da madeira com um novo aparelho e correlações entre caracteres, em diferentes idades, em *Eucalyptus* spp.** 1982. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROSADO, S. C. S.; BRUNE, A.; OLIVEIRA, L. M. Avaliação da densidade básica da madeira de árvores em pé. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 7, n. 2, p. 147-153, mar./abr. 1983.

ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; OLIVEIRA, A. D. Amostragem destrutiva e não destrutiva para a avaliação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 21., 1988, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1988. p. 37-42.

SHIMOYAMA, V. R. de S.; BARRICLELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, dez. 1989.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência anatômica e química sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 24., 1991, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 23-35.

SILVEIRA, V. **Comportamento de clones de *Eucalyptus* em diversos ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamento**. 1999. 124 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SPRAGUE, J. R.; TALBERT, J. B.; BRYANT, R. L. Utility of the Pilodyn in selection for mature wood specific gravity in loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 2, n. 4, p. 696-701, Dec. 1983.

SOUZA, M. A. M. **Deformação Residual Longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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**, Colombo, n. 14, p. 28-38, jun. 1987.

TEIXEIRA, M. L.; VARGAS FILHO, R. Estudo da variabilidade da madeira de *e. grandis* ao longo do tronco e sua influência nas características do carvão vegetal. **Revista Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 90-98, jan./mar. 1994.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

TRUGILHO, P. F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P. R.; MATOS, J. L. M. Tensão de crescimento em árvores de *Eucalyptus dunnii*: I., efeito da idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SBEF/SBS, 2003. p. 1-7.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, jul./dez. 2001.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 20, p. 307-319, 1990.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial da amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2005.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 30 meses de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 210-217, jul./dez. 1981.

WILKINS, A. P. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 53, n. 3, p. 168-172, June 1990.

WILKINS, A. P.; HORNE, R. Wood density variation of young plantation grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 40, n. 1/2, p. 39-50, May 1991.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality in fast grown plantations. In: IUFRO CONFERENCE, 1980, Oxford. **Proceedings...** Oxford: IUFRO, 1980. p. 169-188.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

ZOBEL, B. J.; SPRAGUE, J. R. **Juvenile wood in forest trees**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 300 p.

ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Análise de variância da densidade básica em função do método de amostragem e classe diamétrica.....	84

Anexos (...Continua...)

ANEXO B

TABELA 1B	Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem tradicional.....	84
TABELA 2B	Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem tradicional.....	84
TABELA 3B	Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem tradicional.....	84
TABELA 4B	Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem tradicional.....	85
TABELA 5B	Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem alternativa.....	85
TABELA 6B	Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem tradicional.....	85
TABELA 7B	Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem alternativa.....	85
TABELA 8B	Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem alternativa.....	86
TABELA 9B	Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro.....	86
TABELA 10B	Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro.....	86
TABELA 11B	Teste para a igualdade do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro.....	86
TABELA 12B	Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro..	87
TABELA 13B	Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro.....	87

TABELA 14B	Teste para a falta de ajustamento do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro.....	87
TABELA 15B	Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	87
TABELA 16B	Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	88
TABELA 17B	Teste para a igualdade do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	88
TABELA 18B	Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	88
TABELA 19B	Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	88
TABELA 20B	Teste para a falta de ajustamento do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.....	89

ANEXOS

TABELA 1A Análise de variância da densidade básica em função do método de amostragem e classe diamétrica.

FV	GL	SQ	QM	F
Método	3	0,09344343	0,03114781	272,7*
Classe	2	0,02203715	0,01101858	96,4*
Resíduo	194	0,02216170	0,00011424	

*significativo, a 5%

TABELA 1B Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem tradicional.

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (β)	9	75,09369	8,343743	
Parâmetros (θ)	3	75,06344	25,02115	
Redução (H0)	6	0,03024	0,005041	12,3*
Resíduo	241	0,09882	0,00041	
Total	250	75,1925		

*significativo, a 1%

TABELA 2B Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem tradicional

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (β)	12	75,15043	6,262536	
Parâmetros (θ)	4	75,12002	18,78001	
Redução (H0)	8	0,03040	0,003801	21,49*
Resíduo	238	0,04208	0,000177	
Total	250	75,19251		

*significativo, a 1%

TABELA 3B Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem tradicional.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	1	0,014548	0,014548	
Res. Regressão	248	0,204075	0,000823	
Falta Ajustamento	13	0,009468	0,000728	0,88 ^{ns}
Resíduo	235	0,19461	0,000828	
Total	249	0,21862		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 4B Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem tradicional.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	2	0,089449	0,044725	
Res. Regressão	247	0,129173	0,000523	
Falta Ajustamento	12	0,006102	0,000508	0,97 ^{ns}
Resíduo	235	0,12307	0,000524	
Total	249	0,21862		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 5B. Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem alternativa

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (β)	9	76,44847	8,494274	
Parâmetros (θ)	3	76,41419	25,4714	
Redução (H0)	6	0,03428	0,005713	42,0*
Resíduo	241	0,03275	0,000136	
Total	250	76,48122		

*significativo, a 1%

TABELA 6B Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem alternativa.

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (β)	12	76,45496	6,371246	
Parâmetros (θ)	4	76,42050	19,10512	
Redução (H0)	8	0,03446	0,004307	39,0*
Resíduo	238	0,02626	0,00011	
Total	250	76,48122		

*significativo, a 1%

TABELA 7B Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem alternativa.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	2	0,043942	0,021971	
Res. Regressão	247	0,066895	0,000271	
Falta Ajustamento	12	0,003613	0,000301	1,12 ^{ns}
Resíduo	235	0,06328	0,000269	
Total	249	0,11084		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 8B Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem alternativa.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	3	0,05025	0,01675	
Res. Regressão	246	0,060587	0,000246	
Falta Ajustamento	11	0,003282	0,000298	1,22 ^{ns}
Resíduo	235	0,05730	0,000244	
Total	249	0,11084		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 9B Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	9	279,87294	31,09699	
Parâmetros (Q)	3	279,76296	93,25432	
Redução (H0)	6	0,10998	0,01833	79,4*
Resíduo	899	0,20758	0,000231	
Total	908	280,0805		

*significativo, a 1%

TABELA 10B Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	12	279,95724	23,32977	
Parâmetros (Q)	4	279,80359	69,9509	
Redução (H0)	8	0,15365	0,019206	139,59*
Resíduo	896	0,12328	0,000138	
Total	908	280,08052		

*significativo, a 1%

TABELA 11B Teste para a igualdade do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	15	279,96216	18,66414	
Parâmetros (Q)	5	279,85423	55,97085	
Redução (H0)	10	0,10793	0,010793	81,43*
Resíduo	893	0,11836	0,000133	
Total	908	280,0805		

*significativo, a 1%

TABELA 12B Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	2	0,043942	0,021971	
Res. Regressão	247	0,066895	0,000271	
Falta Ajustamento	12	0,003613	0,000301	1,12 ^{ns}
Resíduo	235	0,06328	0,000269	
Total	249	0,11084		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 13B Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	3	0,147084	0,049028	
Res. Regressão	904	0,277605	0,000307	
Falta Ajustamento	52	0,019462	0,000374	1,24 ^{ns}
Resíduo	852	0,25814	0,000303	
Total	907	0,42469		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 14B Teste para a falta de ajustamento do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	4	0,16249	0,040622	
Res. Regressão	903	0,262199	0,00029	
Falta Ajustamento	51	0,017374	0,000341	1,19 ^{ns}
Resíduo	852	0,24482	0,000287	
Total	907	0,42469		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 15B Teste para a igualdade do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	9	336,85515	37,42835	
Parâmetros (Q)	3	336,72816	112,2427	
Redução (H0)	6	0,12699	0,021165	102,45*
Resíduo	1098	0,22684	0,000207	
Total	1107	337,0820		

*significativo, a 1%

TABELA 16B Teste para a igualdade do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	12	336,9417	28,07847	
Parâmetros (Q)	4	336,76866	84,19217	
Redução (H0)	8	0,17300	0,021625	168,75*
Resíduo	1095	0,14033	0,000128	
Total	1107	337,0820		

*significativo, a 1%

TABELA 17B Teste para a igualdade do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais

FV	GL	SQ	QM	F
Parâmetros (B)	15	336,9475	22,4637	
Parâmetros (Q)	5	336,78498	67,357	
Redução (H0)	10	0,16253	0,01623	131,97*
Resíduo	1092	0,13448	0,00013	
Total	1107	337,0820		

*significativo, a 1%

TABELA 18B Teste para a falta de ajustamento do modelo quadrático para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	2	0,1700304	0,085015	
Res. regressão	1104	0,3538297	0,00032	
Falta ajustamento	65	0,0229794	0,000354	1,11 ^{ns}
Resíduo	1039	0,33085	0,000318	
Total	1106	0,52386		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 19B Teste para a falta de ajustamento do modelo cúbico para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	3	0,2105333	0,070178	
Res. regressão	1103	0,3133268	0,000284	
Falta ajustamento	64	0,021747	0,00034	1,21 ^{ns}
Resíduo	1039	0,29158	0,000281	
Total	1106	0,52386		

ns = não significativo, a 5%

TABELA 20B Teste para a falta de ajustamento do modelo da quarta potência para a amostragem de metro em metro acrescida de pontos basais.

	FV	GL	SQ	QM	F
Regressão		4	0,2268508	0,056713	
Res. regressão		1102	0,2970094	0,00027	
Falta ajustamento		63	0,0195409	0,00031	1,16 ^{ns}
Resíduo		1039	0,27747	0,000267	
Total		1106	0,52386		

ns = não significativo, a 5%