

Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*Use of the resistograph for *Eucalyptus* wood basic density and perforation resistance estimativeJosé Tarcísio Lima¹, Robert Cardoso Sartório², Paulo Fernando Trugilho¹,
Clair Rogério da Cruz³, Renato da Silva Vieira⁴**Resumo**

O principal objetivo deste trabalho foi estimar a densidade básica (DB) e a resistência à perfuração das madeiras de sete clones de *Eucalyptus* com 16 anos de idade, plantados experimentalmente na região de Aracruz, ES. Para isso, os caules das árvores foram perfurados no nível do DAP com um resistógrafo, seguindo-se a determinação da densidade básica da madeira de discos cortados da mesma região. A média de resistência à perfuração medida pelo resistógrafo, denominada por amplitude (A), foi 24%, variando de 12% a 33%, entre clones. As densidades básicas médias das madeiras dos clones amostradas ao nível do DAP variaram de 0,433 g.cm⁻³ a 0,642 g.cm⁻³, entre clones. Os perfis gráficos diametrais da amplitude apresentaram tendência de crescimento de casca a casca. Os perfis diametrais da densidade básica, em geral mostraram tendência em aumentar da medula para o alburno. Entretanto, em vários clones, a densidade apresentou um máximo na região próxima do limite entre o alburno interno e o cerne externo. A estimativa da densidade básica média das madeiras dos clones em função da amplitude resultou em ajuste significativo pelo modelo linear para cinco dos sete clones. A estimativa da densidade básica dos sete clones, reunidos em função da amplitude, resultou na equação: $DB = 0,430 + 0,0061A$, com $R^2 = 64\%$. O resistógrafo mostrou-se um instrumento de fácil trabalhabilidade em campo, demonstrando grande potencialidade de sua utilização para futuros trabalhos.

Palavras-chave: Resistógrafo, Madeira, Densidade básica, Amplitude, *Eucalyptus*

Abstract

The main objective of this paper was to estimate the wood basic density (DB) and the resistance to the perforation of seven 16-years-old *Eucalyptus* clones, experimentally planted at Aracruz, Espírito Santo State, Brazil. For this, the trees stems were perforated at the DBH level, following the determination of the wood basic density of discs cut at the same position. The average of the resistance to the perforation measured by the Resistograph, named by amplitude (A), was 24%, varying from 12% to 33%, depending on the clone. The average wood basic density of the clones sampled at the DBH level was 0.547 g.cm⁻³, varying from 0.433 g.cm⁻³ to 0.642 g.cm⁻³, depending on the clone. The diametric profile of the amplitude presented growing tendency of amplitude from bark-to-bark. The diametric profiles of the basic densities, in general showed that this characteristic tends to increase from the pith to the sapwood. However, in several clones, the density presented a maximum in the region around the boundary between the inner sapwood and the outer heartwood. The estimative of the average wood basic density of the clones as function of the amplitude resulted on significant linear model for five of the seven clones. The estimative of the basic density of the seven clones together as function of the amplitude resulted in the significant equation: $DB = 0.430 + 0.0061A$, with $R^2 = 64\%$. It was possible to verify that the Resistograph is an ease-to-use instrument in the field, showing high potential for utilization in future researches.

Keywords: Resistograph, Wood, Basic density, Amplitude, *Eucalyptus*

¹Professor Associado I do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Campus Universitário – Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: jtlima@ufla.br; trugilho@ufla.br

²Pesquisador do Centro de Pesquisas e Tecnologias da Aracruz Celulose S.A. – Caixa Postal 331011 – Aracruz, ES - 29197-000 - E-mail: rcsa@aracruz.com.br

³Professor Visitante do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Sergipe – Av. Marechal Rondon, s/n – Campus Universitário – São Cristóvão, SE - 49100-000 - E-mail: clairogerio@yahoo.com

⁴Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Campus Universitário – Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: vieiralavras@uol.com.br

INTRODUÇÃO

A amostragem para a determinação da densidade básica da madeira normalmente implica na destruição da árvore, o que impede que futuras observações sejam efetuadas ou que a árvore sirva como matriz em programas de melhoramento florestal. Além disso, essa amostragem consome grande tempo, com os inconvenientes que isso traz. Visando reduzir essas limitações, foram desenvolvidos os chamados métodos não-destrutivos e os semidestrutivos. Entre estes, menciona-se o método que usa o Resistograph® (também denominado por resistógrafo), cuja aplicação tem sido crescente para a avaliação do lenho de árvores no Brasil.

De acordo com Rinn *et al.* (1996), o princípio do resistógrafo é bastante simples: uma broca de 3 mm de diâmetro, feita de aço, é direcionada para dentro da madeira a uma predeterminada taxa, dependendo da espécie de madeira, e do modelo empregado. Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares, as variações entre lenhos inicial e tardio nos anéis de crescimento, seu desenho típico (por exemplo, anéis difusos ou porosos) e a forma em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais. A variação na resistência resulta em aumentos e decréscimos na intensidade de torque aplicado à haste da broca. Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência da furadeira são medidas eletronicamente como um valor de resistência à perfuração. A medição fornecida pelo resistógrafo é denominada de amplitude pelo fabricante 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.

O resistógrafo foi utilizado inicialmente para a avaliação *in situ* da integridade de troncos de *Picea abies* (RINN, 1994). Com base nos resultados, três classes de danos puderam ser estabelecidas para 37 árvores danificadas, entre 38 inspecionadas. Além da inspeção de árvores quanto à condição patológica de seu tronco, o resistógrafo também tem sido empregado para a estimativa da densidade da madeira de folhosas (ECKSTEIN e SASS, 1994) e de coníferas (LIN *et al.*, 2003); para a avaliação de perfis verticais de densidade em aglomerados, painéis de fibra de densidade média (MDF) e em painéis de partículas orientadas (OSB) (WINISTORFER *et al.*, 1995); e para a estimativa das densidades das madeiras determinadas por densitometria de

raios-X em seis espécies (*Abies alba*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus cembra*, *Tilia platyphyllos* e *Populus sp.*) (RINN *et al.*, 1996) e em *Pseudotsuga menziesii* (CHANTRE e ROZEMBERG, 1996).

A aplicação do resistógrafo no melhoramento da densidade da madeira foi verificada por Isik e Li (2003). Segundo esses pesquisadores, em 14 famílias de irmãos completos de *Pinus taeda*, a densidade determinada pelo método destrutivo convencional foi correlacionada fenotipicamente com a amplitude, resultando em coeficientes de correlação considerados de fracos (0,29) a moderados (0,65), com base nos valores de árvores individuais dos quatro locais. A correlação de famílias entre as duas medições, entretanto foi muito mais forte (0,92), da mesma forma que a correlação genética aditiva (0,95). A densidade da madeira e a resistência à perfuração foram consideradas como sob forte controle genético em nível de família (herdabilidade biparental $h^2 = 0,95$ para densidade da madeira e $h^2 = 0,85$ para a resistência à perfuração). A eficiência de usar o resistógrafo como um instrumento de seleção indireta para melhoramento da densidade da madeira foi 87% no nível de família.

Entre os poucos trabalhos publicados sobre a utilização do resistógrafo em madeira de *Eucalyptus* spp, pode-se citar que esse instrumento foi empregado eficientemente em *E. globulus*, com idade acima de 75 anos, para determinar a profundidade de início do apodrecimento (COSTELLO e QUARLES, 1999). A correlação entre a profundidade de madeira sadia no caule, medida pela densidade em laboratório, e a profundidade de madeira sadia, determinada pelo resistógrafo, resultou em coeficientes de correlação variando de 0,977 a 0,982.

No Brasil, o resistógrafo foi empregado como método para indicar a presença de cupins internamente aos troncos de árvores urbanas da cidade de São Paulo (AMARAL, 2002), mostrando maior eficiência quando o ataque de cupins era intenso. Lima *et al.* (2006), avaliaram o desempenho do resistógrafo para estimar a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* e concluíram que a associação entre os valores de amplitude e de densidade básica foi alta, com valores de coeficientes de correlação variando de 0,706 a 0,812.

A adoção de um método não-destrutivo de caracterização da madeira pode representar ganho de grande significado para as estratégias de melhoramento florestal, principalmente quando também são consideradas a rapidez e a confiabilidade dos resultados.

Para sete clones de *Eucalyptus* produzidos a partir de híbridos naturais, os principais objetivos

deste trabalho foram: i) avaliar o perfil diametral da resistência à perfuração com a broca do resistógrafo; ii) avaliar o perfil diametral da densidade básica determinada pelo método destrutivo e iii) estimar a densidade básica em função da resistência à perfuração com a broca do resistógrafo.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas quatro árvores amostradas ao acaso entre as dominantes e co-dominantes de seis clones e duas de um clone de *Eucalyptus* com 16 anos de idade. Esses clones são híbridos naturais do Horto Florestal de Rio Claro, envolvendo, pelo lado materno, as espécies *E. grandis*, *E. urophylla* ou *E. saligna*.

As árvores plantadas em espaçamento de 3,0 x 3,0 metros, foram coletadas na região de Ara-cruz (ES) em local com: latitude 19° 44' 56" S; longitude 40° 9' 23" W; altitude de 35 m; relevo plano; clima tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno – classificado como AW, segundo Köppen; temperatura média 23,6° c umidade relativa anual de 85%; precipitação 1122 mm anuais; e solo argissolo amarelo distrófico textura arenosa/média.

Tabela 1. Médias e coeficientes de variação do diâmetro do tronco (DAP) e altura total das árvores de sete clones de *Eucalyptus*.

Table 1. Averages and coefficients of variation of the tree diameter at the breast height (DBH) in the stem and total height of seven *Eucalyptus* clones.

Clone	DAP (cm)	CV (%)	Altura total (m)	CV (%)
01	24,68	12,42	33,51	5,83
02	27,46	4,18	37,47	1,94
03	37,75	10,48	37,78	1,82
04	23,49	3,04	36,34	1,16
05	32,91	2,07	38,16	0,63
06*	36,61	6,15	37,63	0,47
07	31,27	15,88	36,13	8,12
Média	30,60		36,72	
CV (%)	18,32		4,35	

* Foram avaliadas duas árvores/clone; para os demais clones, 4 árvores avaliadas.

A Tabela 1 apresenta os valores de diâmetro do tronco e a altura total médias das árvores dos clones estudados.

Após a identificação e marcação das árvores, os diâmetros ao nível do peito (DAP) foram medidos com o auxílio de uma fita diamétrica. Nessa posição do caule foi executado o ensaio de resistência à perfuração com o resistógrafo (Resistograph F-500), ajustado para madeiras duras. A perfuração foi conduzida a uma velocidade média de 16,8 cm.min⁻¹, no período da manhã e da tarde, quando os ventos eram imperceptíveis ou suaves, evitando-

se eventuais efeitos de tensões internas do tronco sobre a broca. Os perfis gráficos eram impressos em papel, quando passavam por uma primeira análise ainda no campo, e estocados na unidade eletrônica do aparelho para posterior descarregamento no programa F-Tools Pro. As árvores foram, então, derrubadas e suas alturas medidas com trena de 50 m. De cada caule, também no nível do DAP, foi removido um disco de 3 cm de espessura, visando determinação da densidade básica.

Como o resistógrafo registra 100 pares de profundidades avançadas pela broca e de amplitudes por centímetro de penetração na madeira, inicialmente os dados foram descarregados em um computador pelo programa F-Tools Pro. A seguir os dados foram exportados para uma planilha eletrônica, sendo que para cada centímetro de penetração da broca, foi feita uma média da amplitude (%). Todos os valores de amplitudes, referentes à movimentação inicial e final da broca, quando ela não toca a madeira, e à perfuração da casca foram descartados.

Em laboratório, com os discos divididos em cunhas, foram determinadas as densidades básicas pelo método de imersão em água, usando-se balança de 0,001 g de precisão. Para isso, as cunhas foram seccionadas em fragmentos de um centímetro de largura, visando a construção de um perfil diametral da densidade básica. A Figura 1 ilustra a amostragem no caule para determinação da amplitude e da densidade básica.

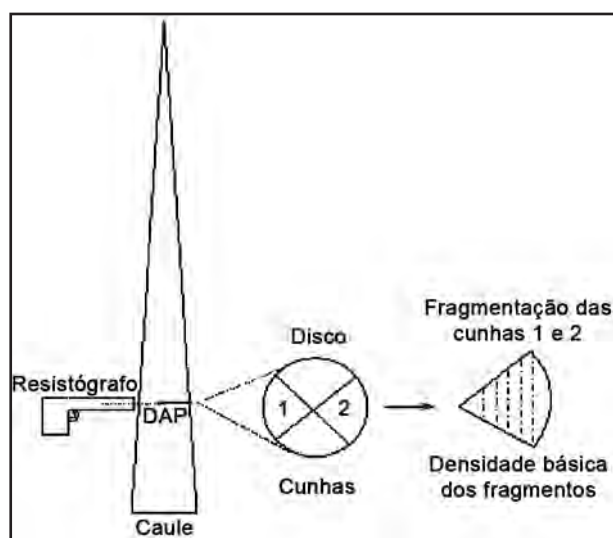


Figura 1. Esquema de coleta de dados.

Figure 1. Scheme of data collection.

Depois de coletados e preparados, os dados de densidade básica e de amplitude foram submetidos a análises gráficas para uma visualização do fenômeno e definição dos modelos a serem ajustados. Optou-se pelo ajuste dos modelos linear e quadrático, sendo que a definição

do melhor modelo foi feita com base na significância da regressão e dos coeficientes da regressão, coeficiente de determinação corrigido e erro padrão residual. Foram ajustados modelos para os clones e um geral. Para isso, foi empregado o programa estatístico Minitab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resistógrafo mostrou-se rápido e bem adaptado ao trabalho de campo. Para uma árvore de 30 cm de diâmetro e com a velocidade de avanço da broca igual a 16,8 cm.min⁻¹, foram necessários cerca de dois minutos para executar a operação de perfuração do caule. Os gráficos produzidos em papel no campo revelaram diferentes magnitudes de amplitude e perfis para diferentes árvores e clones. Mesmo assim, foi possível constatar que várias leituras eram similares, quando os ensaios eram repetidos em posições próximas no mesmo caule.

De acordo com o trabalho de campo e com a posterior análise dos dados do resistógrafo, recomenda-se que a espessura da casca seja medida ou que ela seja removida na posição usada para aplicação da broca. Além disso, a orientação da broca do resistógrafo no tronco deve ser verificada com cuidado para que ela atravesse o mais proximamente possível a região da medula. A inobservância desse cuidado poderá produzir um gráfico que não represente o perfil real da propriedade avaliada. Em árvores com troncos de seção assimétrica ou com medula excêntrica devido à ocorrência de lenho de tração, a execução dessa tarefa exige mais experiência e atenção.

Medições da amplitude com o resistógrafo

A Figura 2 reproduz para a árvore 1 do Clone 2 os gráficos exibidos pelo F-Tools Pro e pela planilha eletrônica, neste caso construído com os dados exportados do primeiro programa.

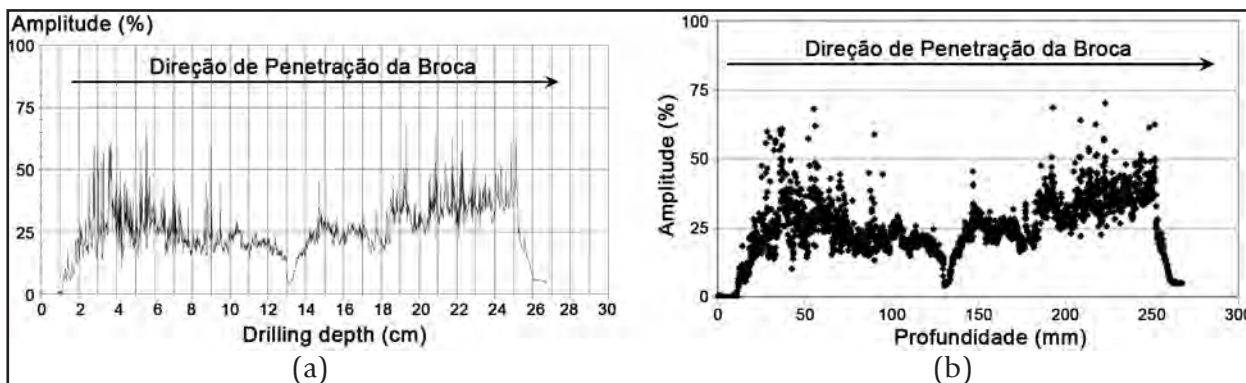


Figura 2. Reprodução dos gráficos exibidos pelo F-Tools Pro (a) e pela planilha eletrônica após exportação dos dados (Exemplo: Árvore 1 do Clone 02).

Figure 2. Reproduction of the graphics displayed by the F-Tools Pro (a) and by the electronic sheet (b) after exportation of the data (Example: Tree 1 of the Clone 02).

Para cada avaliação foi determinada uma média por clone que está apresentada na Tabela 2. A média geral de amplitude, correspondente à resistência à penetração da broca, foi de 24%. A maior amplitude média (33%) foi produzida pelo Clone 06 e a menor pelo Clone 07 (12%). Nota-se também que a menor variação de amplitude entre árvores ocorreu no Clone 06 e a maior no Clone 04, sendo compatíveis com os de amplitude encontrados por Gantz (2002) para *Eucalyptus globulus* (7 anos de idade, densidade aparente da madeira de 0,590 a 0,620 g.cm⁻³) e para *Eucalyptus urophylla* (4 anos de idade, densidade aparente de 0,590 a 0,630 g.cm⁻³), que foram de 17,18 e 21,90%, respectivamente. Lima *et al.* (2006) encontraram amplitude média de 13,7%, variando de 7,3% a 23,8%, para clones de *Eucalyptus*, com sete anos de idade, plantados na região do Vale do Rio Doce (MG). Na Tabela 2 observa-se também que, de acordo com o teste de Scott-Knot, a 5% de probabilidade, os valores de amplitude formam dois grupos de clones, enquanto as densidades básicas formam quatro grupos.

Tabela 2. Médias e coeficientes de variação (CV) para amplitude e densidade básica da madeira determinadas ao nível do DAP para sete clones de *Eucalyptus*.

Table 2. Averages and coefficients of variation (CV) for amplitude and wood basic density determined at the DBH level for seven *Eucalyptus* clones.

Clone	Amplitude		Densidade básica	
	Média (%)	CV (%)	Média (g.cm ⁻³)	CV (%)
01	29 a (18; 30)	22,71	0,568 b (0,546; 0,615)	5,58
02	29 a (24; 33)	15,60	0,576 b (0,563; 0,595)	2,55
03	28 a (22; 30)	11,78	0,565 b (0,543; 0,580)	2,75
04	18 b (15; 20)	26,94	0,531 c (0,512; 0,545)	2,86
05	17 b (13; 21)	20,11	0,515 c (0,509; 0,524)	1,46
06	33 a (31; 33)	3,47	0,642 a (0,615; 0,669)	5,95
07	12 b (10; 15)	18,90	0,433 d (0,414; 0,449)	4,55
Média	24		0,547	
CV	32,63		11,77	

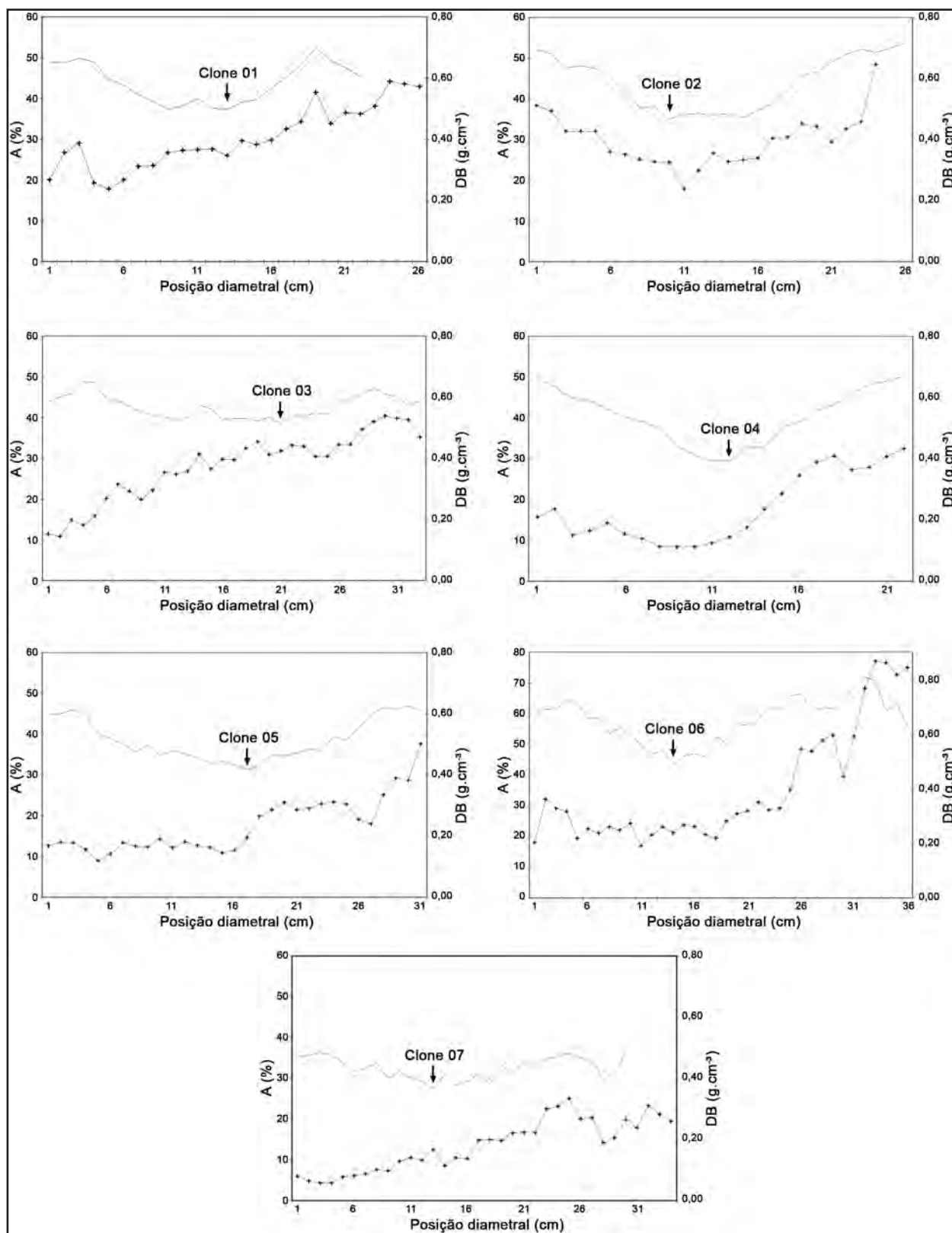
Os valores entre parênteses se referem aos mínimos e máximos encontrados para cada clone. (The values between brackets refer to the minimum and maximum found for each clone).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knot.

Avaliação do perfil diametral da amplitude medida pelo resistógrafo

Em praticamente todas as árvores avaliadas foi observada uma tendência de aumento da amplitude à medida que a broca penetrava no lenho das árvores do clone. Gantz (2002) também relata

essa tendência na perfuração de caules de *Eucalyptus globulus* e de *E. urophylla*, usando o Resistógrafo RESI(R) B400 Pro. Em vários perfis observa-se uma redução da amplitude na região central do caule e simetria da amplitude, provavelmente correspondendo a dois lados do caule (Figura 3).



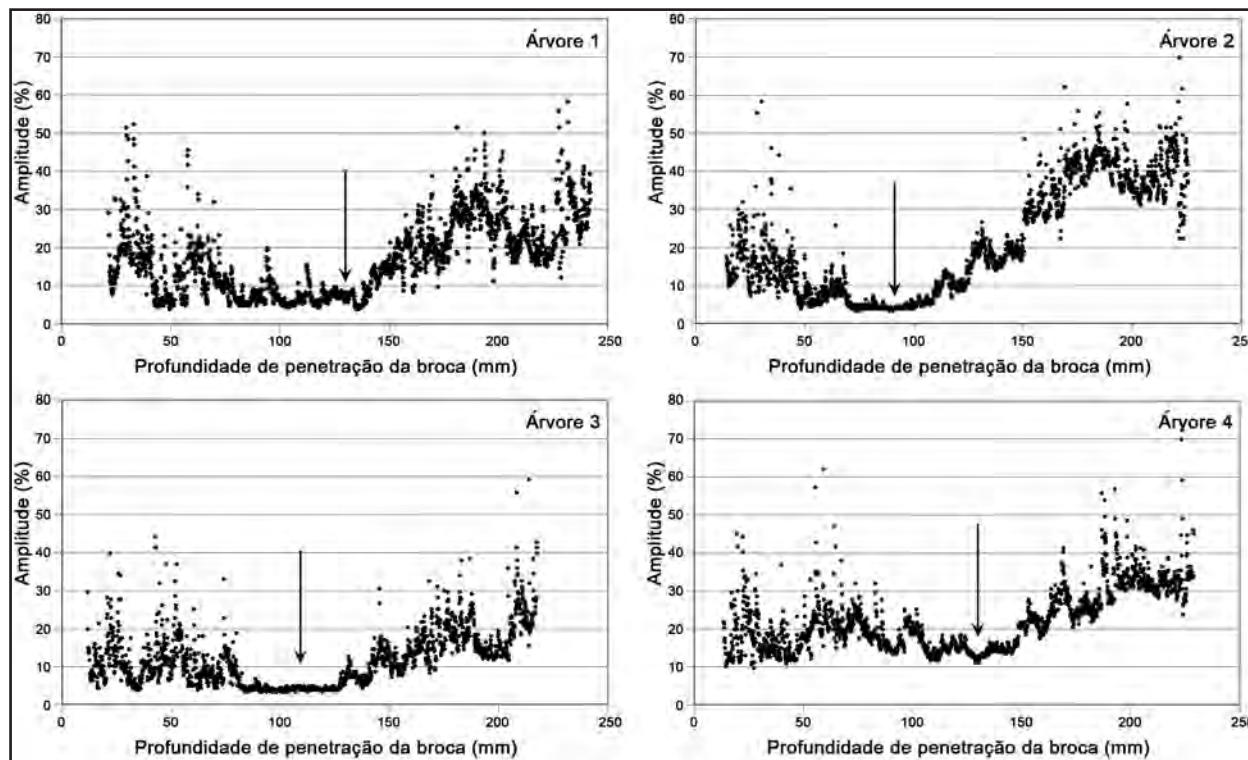
[DB ___; A + + +; as setas indicam a posição da medula] [DB ___; A + + +; the arrows indicate the pith position]

Figura 3. Perfis diamétricos médios da amplitude (A) e da densidade básica (DB) da madeira de sete clones de *Eucalyptus* em relação à posição através do DAP do caule.

Figure 3. Average diametric profiles of the amplitude (A) and of the wood basic density (DB) of seven *Eucalyptus* clones related to the position across the stem DBH.

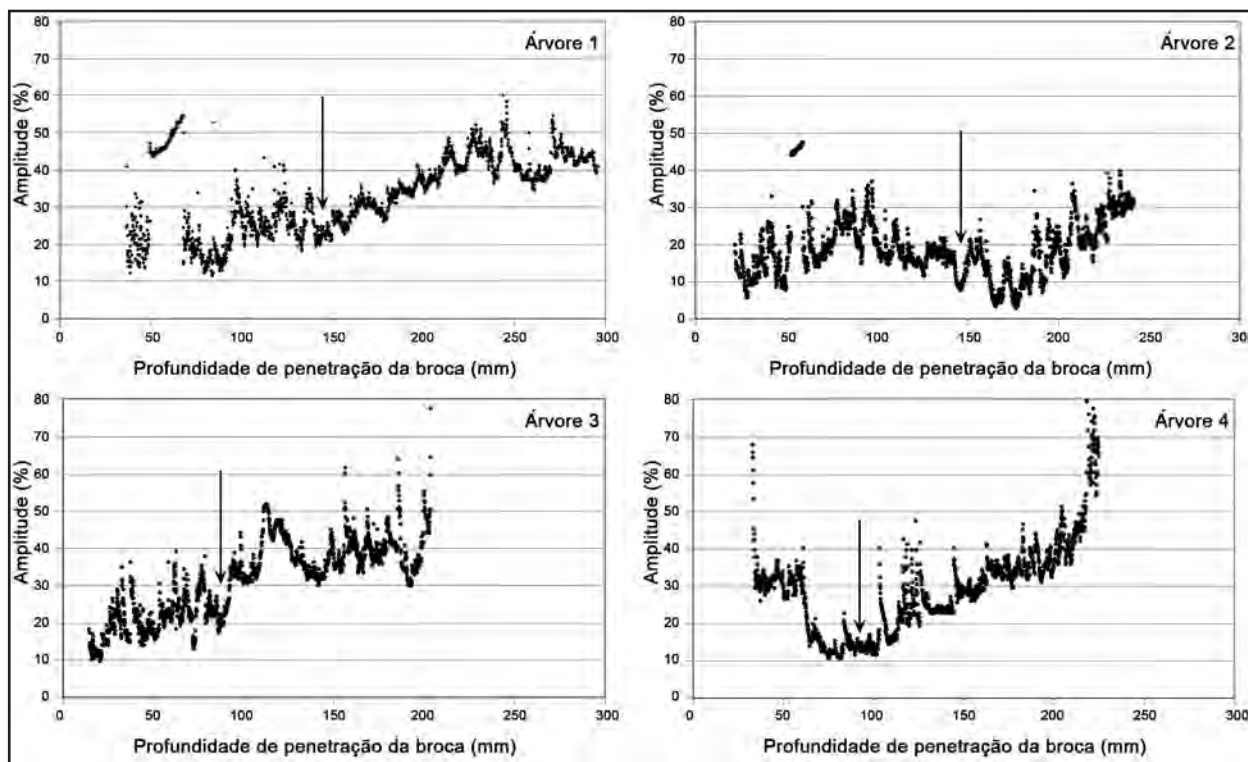
Em vários clones foi possível identificar similaridade entre os perfis de amplitude dos caules, como por exemplo, no Clone 04 (Figura 4), mas em outros, como no Clone 01 (Figura 5), perfis diferenciados são produzi-

dos. Considerando que as árvores (rametes) de todos os clones foram plantadas em um mesmo sítio, é possível deduzir que os clones com perfis mais homogêneos apresentam maior estabilidade ambiental.



As setas indicam a possível posição da medula. The arrows indicate the possible pith position.

Figura 4. Perfil diametral da amplitude (%) medida com o resistógrafo em troncos do Clone 04 de *Eucalyptus* ao nível do DAP.
Figure 4. Diametric profile of the amplitude (%) measured with the Resistograph across the stem of the *Eucalyptus* Clone 04 at the DBH.



As setas indicam a possível posição da medula. The arrows indicate the possible pith position.

Figura 5. Perfil diametral da amplitude (%) medida com o resistógrafo em troncos do Clone 01 de *Eucalyptus* ao nível do DAP.
Figure 5. Diametric profile of the amplitude (%) measured with the Resistograph across the stem of the *Eucalyptus* Clone 01 at the DBH.

Quando se analisa o perfil diametral da amplitude em uma árvore, a assimetria resulta, provavelmente, da ocorrência de lenho de tração e das características de funcionamento do equipamento. Mas, se for considerado que o tronco da árvore é simétrico, isto é, não apresenta medula excêntrica, e que o percurso da broca seguiu a linha do diâmetro, o fator determinante para explicar a tendência crescente da amplitude seria o aumento gradativo do atrito da haste da broca com o lenho, o que demandaria maior esforço do aparelho. Esse atrito tende a ser aumentado pela serragem produzida pela própria perfuração. Adiciona-se a esse fator, o efeito que a umidade da madeira exerce na resistência à perfuração. A este respeito Lin *et al.* (2003) relatam que a resistência à perfuração da madeira de *Taiwania cryptomerioides*, medida com o resistógrafo, diminuiu à medida que o teor de umidade decrescia.

Avaliação do perfil diametral da densidade básica

Na Tabela 2 observa-se que a densidade básica média da madeira foi de 0,547 g.cm⁻³, a maior sendo encontrada no Clone 06 (0,642 g.cm⁻³) e a menor no Clone 07 (0,433 g.cm⁻³). A variação da densidade básica entre árvores de um mesmo clone foi relativamente baixa, com máximo de 6% para o CV. É interessante verificar que a ordem dos clones é idêntica para a densidade básica da madeira e para a amplitude, indicando que o resistógrafo pode ser utilizado na classificação de clones de eucaliptos quanto à densidade.

Os perfis diametraes da densidade básica de cada clone estão apresentados na Figura 3, revelando para a maioria das árvores e clones valores mínimos próximos ao centro do caule, mas não necessariamente na medula, semelhantes àqueles encontrados na literatura para a variação da densidade básica da madeira na direção da medula para a casca. Tomazello Filho (1985) verificou que as densidades básicas das madeiras de *E. grandis* e de *E. saligna* determinadas em cinco posições, aumentaram no sentido medula-casca, não sendo observada tendência de estabilização até o décimo ano. Os Clones 03 e 07 (Figura 3) mostram perfis diametraes de densidade básica da madeira mais estáveis do que aqueles observados em outros clones. Os coeficientes de variação entre as densidades básicas das madeiras através do diâmetro dos caules desses clones foram iguais a 5,9% (Clone 03) e 8,6% (Clone 07), enquanto os outros clones apresentaram CV acima de 11%. Nos Clones 01, 03, 05, 06 e 07 (Figura 3) pôde ser verificado que o valor máximo de densidade básica não está localizado na parte mais externa

do caule, mas a cerca de dois a três centímetros para dentro do caule. Esse comportamento indica, para o material em estudo, que pouco antes dos 16 anos de idade da árvore, ocorreu o início da formação de lenho maduro, com tendência de estabilização da densidade básica.

Estimativa da densidade básica média em função da amplitude registrada pelo resistógrafo

A Tabela 3 mostra as equações lineares ajustadas para descrever a relação da densidade básica média de cada clone em função da amplitude. Cinco clones apresentaram resultados significativos, sendo que o melhor ajuste foi obtido para o Clone 02 com coeficiente de determinação em torno de 50%.

Da mesma forma que elaborado para as árvores individuais, também se procedeu ao ajuste do modelo quadrático para cada clone (Tabela 4). Comparando-se os dois modelos pôde-se constatar que os dados dos clones 1, 3, 4 e 6 se ajustaram melhor ao modelo quadrático.

Tabela 3. Equações lineares ajustadas para estimar a densidade básica da madeira amostrada ao nível do DAP, em função da amplitude (A), medida pelo resistógrafo.

Table 3. Linear equations fitted to estimate the wood basic density sampled at the DBH, as a function of the amplitude (A), measured by the Resistograph.

Clone	Constante	A	R ² (%)	Sy.x (g.cm ⁻³)	F
01	0,50405	0,0026483	14,3	0,07330	13,16**
02	0,35656	0,0073739	50,0	0,06230	88,84**
03	0,59698	-0,0010546	2,7	0,06222	3,43 ^{ns}
04	0,46450	0,0037936	15,7	0,08682	15,11**
05	0,48089	0,0019953	3,7	0,07900	4,52*
06	0,56602	0,0023966	24,1	0,07439	19,38**
07	0,42718	0,0004515	0,4	0,04995	0,42 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns – não significativo.

Tabela 4. Equações quadráticas ajustadas para estimar a densidade básica da madeira do disco (DB) amostrada ao nível do DAP, em função da amplitude (A), medida pelo resistógrafo.

Table 4. Quadratic equations fitted to estimate the wood basic density of the disc (DB) sampled at the DBH, as a function of the amplitude (A), measured by the Resistograph.

Clone	Constante	A	A ²	R ² (%)	F
01	0,6322	-0,0065	0,0001	21,0	10,49**
02	0,3988	0,0058	0,000009	37,4	27,13**
03	0,7509	-0,0140	0,0002	20,9	16,40**
04	0,4141	0,0102	-0,0002	19,1	9,39**
05	0,4865	0,0013	0,00005	3,75	2,23 ^{ns}
06	0,4788	0,0073	-0,00005	27,4	11,72**
07	0,4625	-0,0006	0,0002	5,5	3,02 ^{ns}

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns – não significativo.

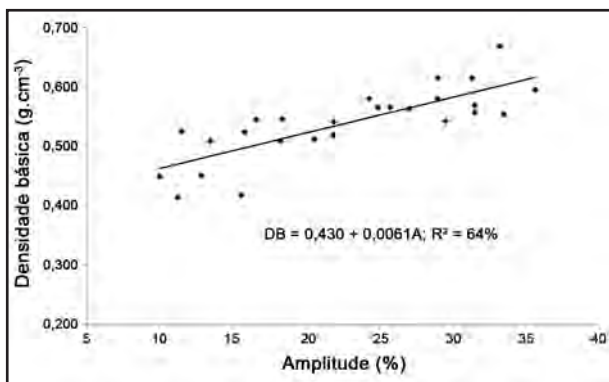


Figura 6. Estimativa da densidade básica (DB) média da madeira de sete clones de *Eucalyptus* em função da amplitude (A) medida pelo resistógrafo ao nível do DAP.

Figure 6. Estimation of the average wood basic density (DB) of seven *Eucalyptus* clones as a function of the amplitude (A) measured by the Resistograph at the DBH level.

A análise de regressão linear da densidade básica média em função da amplitude resultou em coeficiente de determinação (R^2) igual a 64%, valor de $F = 42,7$ (significativo ao nível de 99% de probabilidade) e erro padrão da regressão igual a $0,036 \text{ g.cm}^{-3}$ (Figura 6). A distribuição dos resíduos revelou equilíbrio dos valores estimados de densidade básica, quando plotados em função dos valores observados. O ajuste das variáveis ao modelo quadrático resultou em ligeira melhoria ($R^2 = 65\%$).

CONCLUSÕES

Os perfis gráficos diametrais da resistência à perfuração dos clones, representada pela amplitude, apresentaram uma tendência crescente de casca a casca, sendo que em alguns clones se observou uma redução da amplitude na parte central da curva.

Foram observados perfis similares de amplitude entre árvores do mesmo clone, indicando reprodutibilidade do método de avaliação.

Os perfis diametrais da densidade básica da madeira, em geral mostraram tendência em aumentar da medula para o alburno. Entretanto, em vários clones, essa propriedade apresentou um máximo na região próxima do limite entre o alburno interno e o cerne externo.

A estimativa da densidade básica média das madeiras dos clones em função da amplitude resultou em ajuste significativo pelo modelo linear para cinco dos sete clones.

O resistógrafo mostrou-se um instrumento de fácil trabalhabilidade em campo, demonstrando grande potencialidade de sua utilização para futuros trabalhos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade Federal de Lavras, ao CNPq, à CAPES e à Aracruz Celulose S.A. pelo apoio concedido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, R.D.A.M. Diagnóstico da ocorrência de cupins xilófagos em árvores urbanas do bairro de Higienópolis, na cidade de São Paulo. 2002. 71p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- CHANTRE, G.; ROZENBERG, P. Can drill resistance profiles (Resistograph) lead to within-profile and within-ring density parameters in Douglas fir wood? In: CTIA / IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. *Proceedings...* Quebec, 1997. p.41-47
- COSTELLO, L.R.; QUARLES, S.L. Detection of wood decay in blue gum and elm: an evaluation of the Resistograph and the portable drill. *Journal of Arboriculture*, Champaign, v.25, n.6, p.311-318, 1999.
- ECKSTEIN, D.; SASS, U. Bohrwiderstandsmessungen an laubbaumen und ihre holzanatomische interpretation. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, Berlin, v.52, n.5, p.279-286, 1994.
- GANTZ, C.H. Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species. 2002. 78p. Dissertação (Mestrado) - North Carolina State University, Raleigh, 2002.
- ISIK, F.; LI, B.L. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.33, n.12, p.2426-2435, 2003.
- 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, 2006, São Pedro. *Anais...* São Pedro: ... UNESP / CEVEMAD / IBRAMEM, 2006. (CD-ROM)
- LIN, C.J.; WANG, S.Y.; LIN, F.C.; CHIU, C.M. Effect of moisture content on the drill resistance value in Taiwan plantation wood. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.35, n.2, p.234-238, 2003.

RINN, F. Bohrwiderstandmessungen mit Resistograph - Mikorbohrungen. **Allgemeine Forst Zeitschrift**, Berlin, v.49, n.12, p.652-654, 1994.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.H.; SCHAR, E. Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. **Holzforschung**, Berlin, v.50, n.4, p.303-311, 1996.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.37-45, 1985.

WINISTORFER, P.; XU, W.; WIMMER, R. Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v.45, n.6, p.90-94, 1995.

Recebido em 10/01/2006
Aceito para publicação em 24/09/2007

