

Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de Pinus
(*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.) por densitometria de raios X

Evaluation radial profile of the wood of Pine trees
(*Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et. Golf.) by X-ray densitometry

Vinicius Resende de Castro¹, Mario Tomazello Filho² e Paula Gabriella Surdi¹

Resumo

No presente trabalho, foi utilizada metodologia de densitometria de raios x em amostras diamétricas do lenho de 18 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com o objetivo de avaliar o perfil radial do lenho e os valores de densidade aparente média, máxima e mínima. Das árvores de pinus, provenientes de plantio experimental com 17 anos de idade, instalado no Campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, foram extraídas amostras não destrutivas por meio de sonda de Presler, e em laboratório, determinado o perfil densitométrico. Os resultados das análises evidenciaram: i) o perfil densitométrico no sentido medula-casca; ii) a diferenciação dos lenhos juvenil e adulto; iii) a diferenciação dos lenhos inicial e tardio; iv) a possibilidade de agrupamento do lenho em 3 classes de densidade aparente; e v) que a densidade aparente mínima explica a variação da densidade aparente média por meio de análises de correlação e de regressão múltiplas. Tais resultados ressaltam a importância e a eficácia do método como metodologia não destrutiva para caracterização do lenho de *Pinus caribaea* var *hondurensis* avaliado no presente estudo, bem como, perspectiva da avaliação dos anéis de crescimento anuais em resposta às variações climáticas, além da potencialidade desta metodologia na determinação de lenho adulto.

Palavras-chave: Perfil densitométrico; densidade aparente; qualidade do lenho

Abstract

In the present study, we used the methodology of X-ray densitometry in diametric wood samples of 18 trees of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, with the objective of evaluate the radial profile of the wood and the values of minimum, maximum and average density. The wood samples of pine trees were extracted by nondestructive method with Presler probe, from experimental plantation, located on the campus of the College of Agriculture “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, and densitometry profile determined in laboratory. The analysis results showed: i) the wood densitometric profile on pith-bark direction; ii) the differentiation of juvenile and mature woods; iii) the differentiation of early and late wood; iv) the possibility of grouping the wood in 3 classes of density; v) the minimum density explains the variation of the average density by correlation analysis and multiple regression. These results highlight the importance and effectiveness of the nondestructive methodology for characterizing *Pinus caribaea* var. *hondurensis* wood in this study, as well as the prospect of annual evaluation of growth in response to climate variations rings, beyond its capability determination of adult wood.

Keywords: Densitometric profile, apparent density, quality of wood

INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960 têm sido desenvolvidos métodos de determinação da densidade do lenho por técnicas que utilizam a radiação eletromagnética, como a microdensitometria de raios X, por Polge, na França, em que amostras do lenho mais a cunha de calibração são dispostas sobre filmes radiográficos e, em seguida, sob fonte de raios X; após a revelação, o filme ra-

diográfico é analisado em microdensitômetro e os valores de densidade ótica são transformados em densidade aparente do lenho (HUGHES; SARDINHA, 1975).

No Brasil, a aplicação da técnica de atenuação dos raios X na análise de madeiras foi implantada por Amaral (1994) e Amaral e Tomazello Filho (1998), e considerada importante ferramenta na avaliação detalhada do efeito dos tratamentos silviculturais na qualidade do

¹Doutorando(a) do Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900 - Piracicaba, SP. E-mail: vresende@gmail.com; paulasurdi@usp.br.

²Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Avenida Pádua Dias, 11, 13418-900 - Piracicaba, SP. E-mail: mtomazel@usp.br.

lenho, bem como na caracterização tecnológica da madeira. A técnica de densitometria de raios X possibilita determinar a produção anual da biomassa de lenho e a relação com a sua estrutura anatômica; pode ser aplicada nos estudos da relação da genética, fertilização, irrigação, desrama, ataque de fungos e insetos, fatores climáticos e do solo, com a estrutura e qualidade da madeira (POLGE 1965; HUGHES; SARDINHA, 1975; MOTHE et al., 1998; TOMAZELLO FILHO et al., 2005).

A metodologia de densitometria de raios X aplicada no estudo do lenho das árvores apresenta como uma das principais vantagens o registro radiográfico permanente das amostras do lenho e a alta sensibilidade e resolução, aliadas à velocidade de processamento dos dados de densidade e a interpretação através dos perfis radiais de densidade (SILVA; LOUZADA, 2001).

Nos últimos anos, têm sido utilizados equipamentos, como o QTRS-01X "Tree Ring Scanner", que permite a determinação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento por meio da passagem de um feixe colimado de raios X, dispensando o uso de filmes radiográficos. O equipamento propicia a otimização do tempo na determinação da densidade aparente, pelo aumento da velocidade de processamento das análises e da coleta dos dados de densidade aparente com excelente resolução, permitindo arquivar os dados de densidade das amostras do lenho analisadas.

Os efeitos dos valores de densidade do anel de crescimento de árvores de sete espécies de coníferas, utilizando o equipamento QTRS-01X, foram correlacionados com a resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras e com o módulo de elasticidade dinâmico determinado por ultrassom, de acordo com o trabalho de Lin et al. (2007), permitindo a demarcação, a determinação da porcentagem e da densidade máxima e mínima dos lenhos tardio e inicial.

Em seu estudo, Ferreira e Tomazello Filho (2009) analisaram o lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, por densitometria de raios X, obtendo os perfis radiais de variação da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento, bem como a demarcação dos seus limites, além dos valores médios de densidade do lenho.

Já, Costa et al. (2010) compararam os perfis radiais de densidade aparente do lenho de árvores de *Cedrela odorata*, pelas metodologias de densitometria de raios X e equipamento QTRS-01X, não

detectando diferenças de densidade aparente nos perfis densitométricos, indicando as vantagens da leitura direta nos processos de calibração, leitura e no processamento dos dados.

Pelo exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o perfil radial do lenho de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, utilizando a metodologia de densitometria de raios X.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas 18 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 17 anos de idade, de uma plantação localizado no Campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP nas coordenadas de 22° 42' S de latitude, 47° 38' O de longitude e 540 m de altitude. Como a plantação não apresentava características homogêneas devido a ausência de tratamentos silviculturais adequados e por se tratar de uma área experimental de tamanho reduzido, pertencente ao departamento de Ciências Florestais, priorizou-se a seleção de árvores com boas condições de sanidade, e com diâmetro de tronco suficiente para atravessar a sonda de Pressler casca a casca.

Na altura do diâmetro a altura do peito (DAP - 1,3 m) foram extraídas amostras diamétricas do lenho, com 5 mm de diâmetro, por meio de uma sonda de Pressler. As amostras foram coladas em suporte de madeira e sua seção transversal foi cortada em equipamento de dupla-serra circular paralela, com 2 mm de espessura (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D). As amostras do lenho foram acondicionadas em sala de climatização (20°C, 60%UR, 24 h) (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998).

O perfil de densidade do lenho foi obtido no equipamento marca QTRS-01X, da *Quintek Measurement Systems*, EUA (Figura 2A). As amostras do lenho (12% U.R.) foram encaixadas no suporte metálico e transferidas para um compartimento interno blindado do equipamento, seguindo-se a sua calibração e o escaneamento (varredura) radial contínuo por um feixe de raios X colimado (Figuras 2B e 2C). Os valores de raios X que atravessaram a amostra do lenho foram transformados em valores de densidade aparente por meio do software QMS. Os valores pontuais de densidade que compõem o perfil radial de densidade aparente do lenho foram observados na tela do monitor, simultaneamente à imagem da seção transversal da amostra do lenho (QMS, 1999) (Figura 2D).

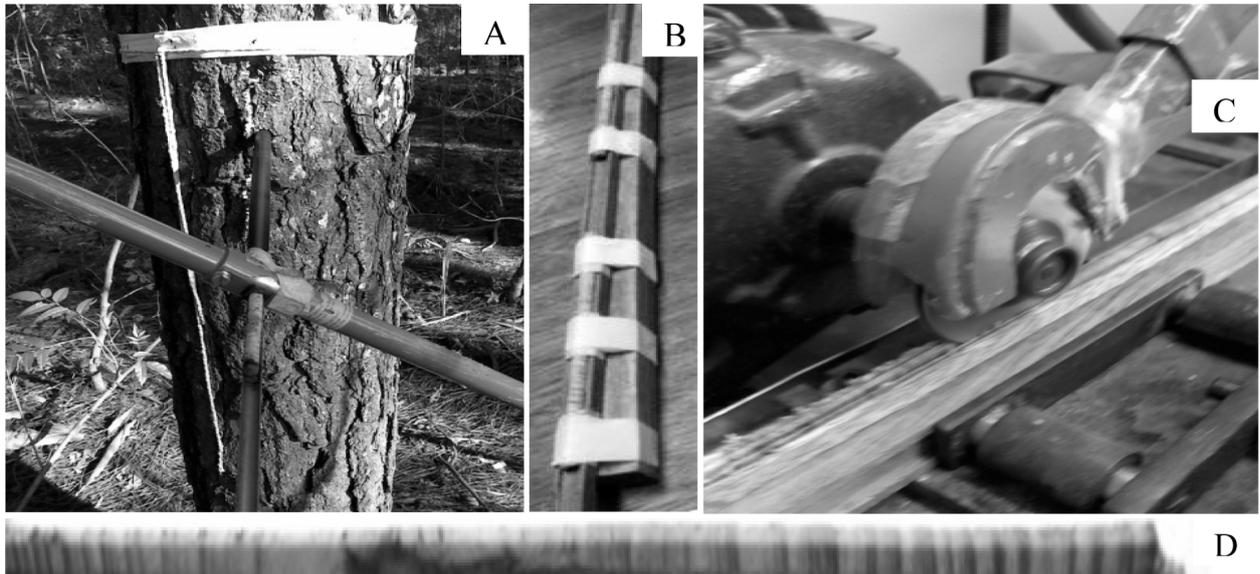


Figura 1. Extração das amostras de lenho de árvore de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (A) extração de amostra do lenho com sonda de Pressler; (B) colagem da amostra do lenho em suporte de madeira; (C) corte das amostras do lenho em equipamento de dupla serra; (D) amostra diametral do lenho com de 2 mm de espessura.

Figure 1. Wood samples extraction of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*' tree. (A) wood sample extraction with the Pressler probe; (B) bonding of the wood sample on the timber holder; (C) wood sample cutting with double saw equipment; (D) diametral sample of wood with 2 mm of thickness.

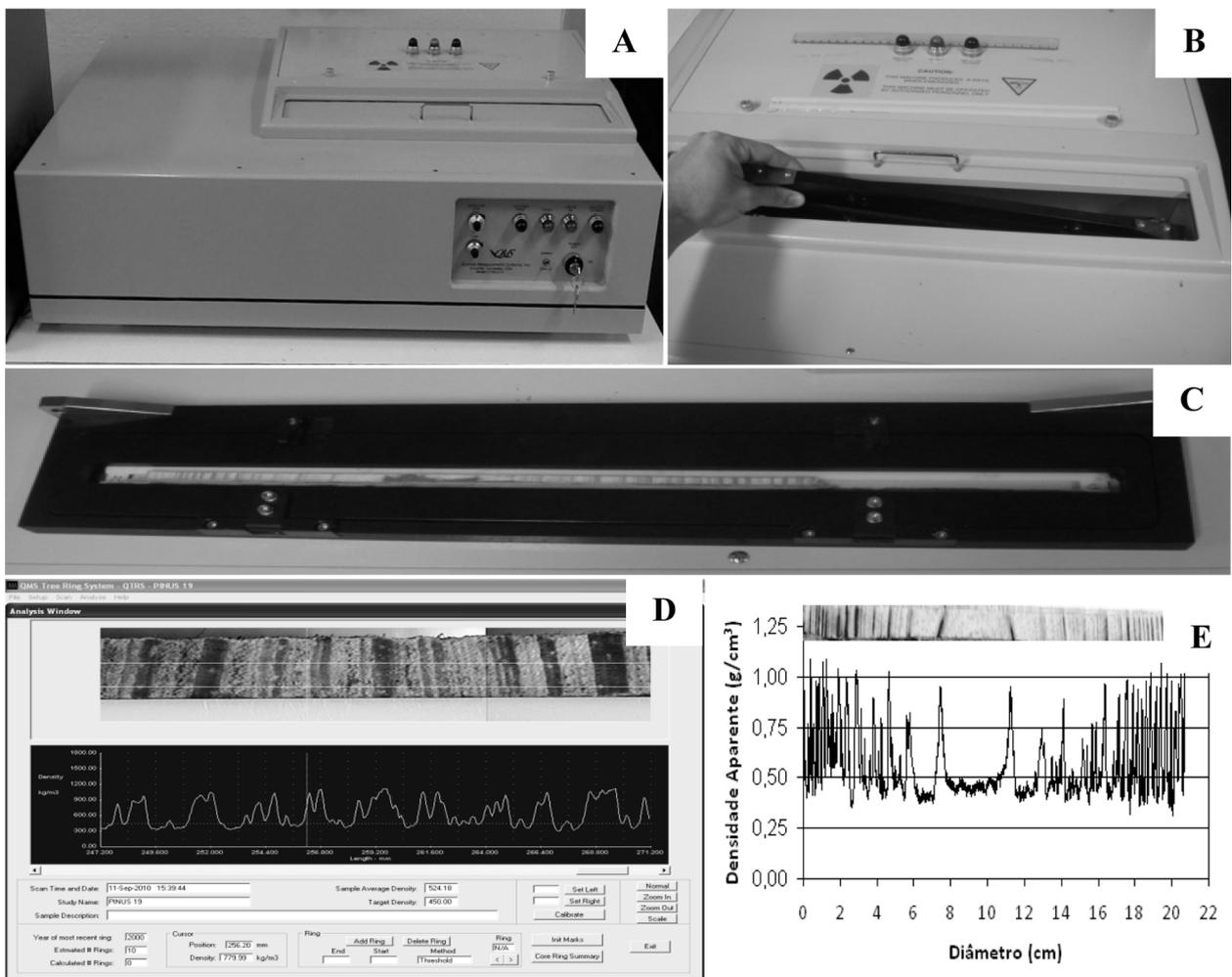


Figura 2. Obtenção dos perfis de densidade do lenho de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (A) equipamento de raios X QTRS-01X; (B, C) suporte metálico e encaixe com a amostra do lenho no compartimento de análise; (D) seção transversal do lenho e perfil de densidade aparente no monitor; (E) amostra do lenho e perfil de densidade aparente.

Figure 2. Obtaining density profiles of wood of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. (A) X-ray equipment QTRS-01X, (B, C) metal support with the sample wood in the compartment analyses; (D) cross section of wood and density profile in the monitor, (E) wood sample and apparent density profile.

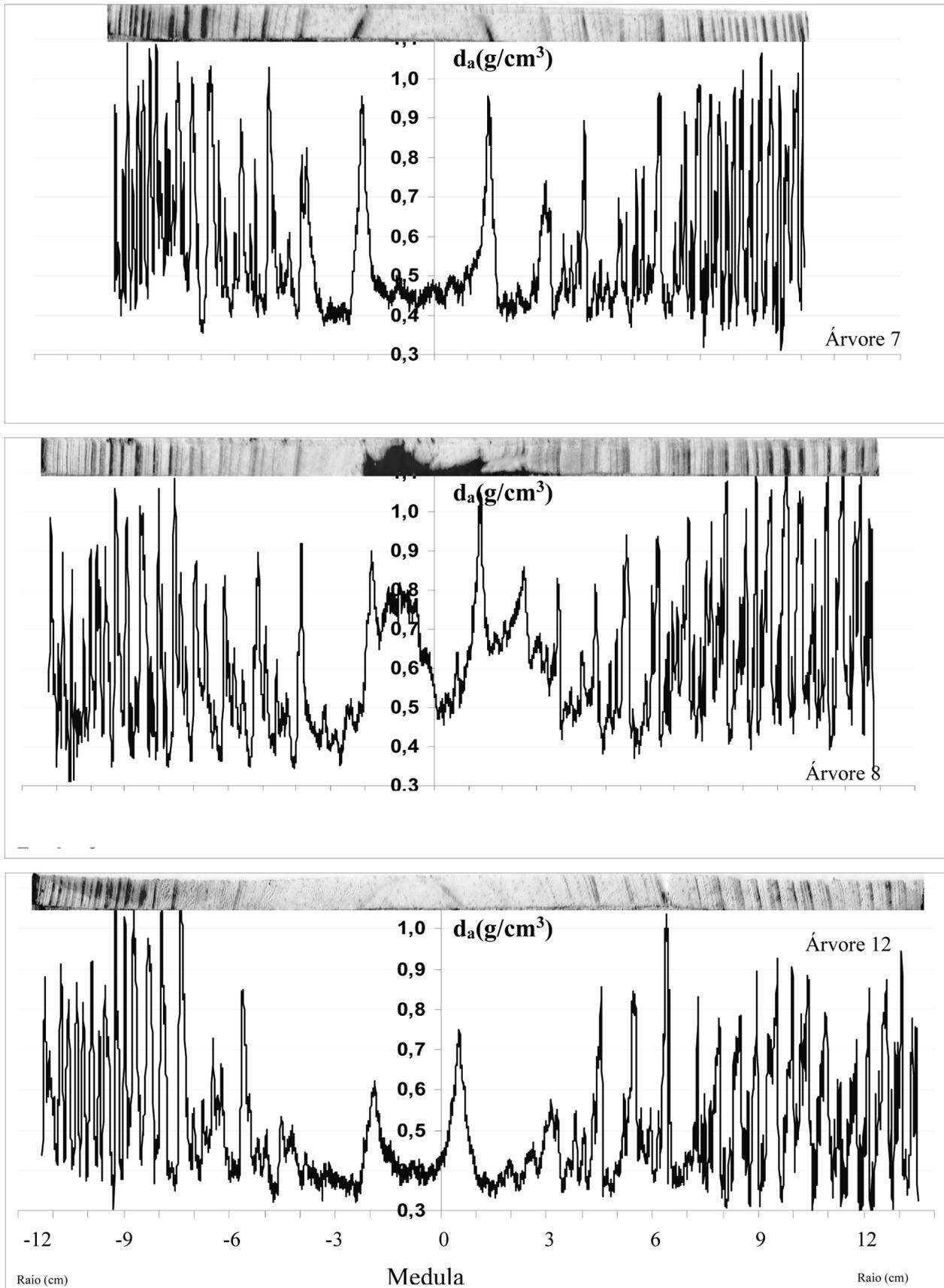


Figura 3. Seção transversal do lenho das árvores 7, 8 e 12 de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com a respectiva variação da densidade aparente do lenho (g/cm^3), na direção casca-casca.

Figure 3. Wood cross section of trees number 7, 8 and 12 of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, with their respective wood density variation (g/cm^3), in the bark-bark direction.

Os valores radiais de densidade aparente do lenho, obtidos pelo software QMS originaram um arquivo DAT (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do lenho a cada 40 μm). O arquivo DAT foi lido em planilha eletrônica, construindo-se os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores (QMS, 1999) (Figura 2E).

Na análise estatística foi utilizado o programa "Software Package Social Science" (SPSS), no qual, para as variáveis em análise no lenho, foram considerados como repetição, o valor médio, máximo e mínimo da densidade aparente no perfil radial de cada árvore selecionada. O teste de Scott-Knott (95% de probabilidade) foi utilizado com o objetivo de separar os grupos de médias. Posteriormente, aplicou-se uma análise Correlação de Pearson e a Regressão Múltipla (*stepwise*) para as variáveis de densidade. Na análise de regressão múltipla considerou-se como variável dependente a densidade aparente média e como independentes as densidades aparente máxima e mínima do lenho de cada uma das 18 árvores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da densitometria de raios X, utilizando o QTRS-01X na determinação da densidade aparente do lenho, permitiu a leitura direta das amostras, evitando o uso de filme radiográfico. O processo de calibração de leitura dos resultados e do processamento dos dados foi automático determinando de forma precisa e pontual a densidade aparente do lenho na seção radial.

Os perfis diametrais de densidade aparente do lenho de três árvores (7, 8 e 12) de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, representativas das 18 analisadas, indicaram um aumento do seu valor a partir da medula, com estabilização nas proximidades da casca (Figura 3), conforme verificado por Ferreira e Tomazello Filho (2009) em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, implantadas na Estação Ecológica Experimental de Itirapina, em 1969, e submetidas à resinagem desde 2004.

Os perfis de densidade aparente do lenho relacionaram-se com a estrutura anatômica dos anéis de crescimento com os maiores valores no lenho tardio (em torno de 0,71 g/cm^3), em relação ao inicial (em torno de 0,44 g/cm^3). O limite dos anéis de crescimento no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, através do perfil radial de densidade por densitometria de raios X, foi demarcado com maior nitidez quan-

do comparado com a imagem da seção transversal da superfície da amostra do lenho, lixada e escaneada. Tal resultado abre a perspectiva de estudos de avaliação dos anéis de crescimento anuais em resposta às variações climáticas, utilizando a densitometria de raios X. A metodologia de demarcação dos anéis de crescimento pelo perfil radial de densidade aparente do lenho dos anéis de crescimento foi aplicada com resultados satisfatórios, por Ferreira (2009); Alvarado et al. (2010) para árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Swietenia macrophylla*, respectivamente.

A região do lenho localizada próxima a medula apresentou menor valor de densidade aparente (0,46 g/cm^3), em relação à região próxima a casca (0,64 g/cm^3), caracterizando a madeira juvenil e adulta, respectivamente. De modo geral, tal modelo de variação indicou: (i) aumento da densidade do lenho no sentido medula-casca; e (ii) a variação intra e inter-anual de densidade indicativa da presença de zonas fibrosas de coloração escura no lenho (traqueídes de parede espessa), intercaladas pelas de coloração mais clara no lenho (traqueídes de parede delgada). Esse modelo de variação, de acordo com Tomazello Filho et al. (2001), é uma resposta da atividade cambial à sazonalidade das variáveis ambientais (temperatura, precipitação, luminosidade etc.) com reflexo na anatomia e na qualidade do lenho. Entretanto, Gatto et al. (2008), delimitando a idade de maturação do lenho usando-se de características anatômicas da madeira de *Luehea divaricata* Mart. (açoita-cavalo), afirmaram que o comprimento de fibra foi a variável anatômica que melhor definiu o ano de segregação dos lenhos juvenil-adulto da madeira. Esta delimitação poderia ser complementada com a utilização do perfil densitométrico.

Verificou-se, também, que em algumas regiões do lenho de *P. caribaea* var. *hondurensis* houve um aumento da densidade aparente, pela impregnação do lume das células com resina e, conseqüentemente, maior atenuação dos feixes de raios X, dificultando a distinção dos limites dos anéis de crescimento, comportamento semelhante ao ocorrido em árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* nos trabalhos de Ferreira (2009) e Ferreira e Tomazello Filho (2009).

De acordo com a Tabela 1, a densidade aparente média do lenho das 18 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou diferenças estatísticas significativas, possibilitando agrupá-las, pelo teste estatístico Scott-Knott ($p < 0,05$),

em três classes, sendo (i) de menor densidade (árvores 5, 3, 17, 16 e 10 com densidade média de 0,46 g/cm³; variação de 0,41-0,48 g/cm³), (ii) de densidade intermediária (árvores 12, 18, 2, 9, 14, 4, 11, 13, 1 e 7 com densidade média de 0,53 g/cm³; variação de 0,50-0,56 g/cm³) e (iii) de maior densidade (árvores 15, 8 e 6 com densidade média de 0,64 g/cm³; variação de 0,63-0,65 g/cm³). As árvores da classe (iii), de maior densidade aparente, apresentaram maior porcentagem de lenho tardio, principalmente, na madeira adulta, além de impregnação do lume das células com resina, resultando em aumento da sua densidade aparente média pela maior atenuação dos raios X. As árvores da classe (i), de menor densidade aparente do lenho, apresentaram maior porcentagem de lenho inicial na madeira juvenil, reduzindo o valor médio da densidade aparente.

As densidades mínima e máxima do lenho de todas as árvores analisadas variaram de 0,17 a 0,31 e 0,97 a 1,15 g/cm³, respectivamente. Para as 18 árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* os valores de densidade aparente média, mínima e

máxima foram de 0,54, 0,17 e 1,15 g/cm³, respectivamente, indicando elevada precisão do método de densitometria de raios X, com leitura de 40 µm de distância no sentido radial do tronco. Os valores de densidade aparente média do lenho das árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* são similares aos encontrados por Bendtsen e Senft (1986) e Ferreira e Tomazello Filho (2009).

O coeficiente de variação da densidade aparente média do lenho variou de 6,09 e 23,35% nas árvores 17 e 6, respectivamente; para a densidade aparente mínima e máxima houve uma variação de 15,7 e 4,8%, respectivamente. As variações da densidade aparente são explicadas pela incidência do feixe colimado de raios X de acordo com as regiões do lenho, apresentando baixos valores no lenho inicial e maiores valores no lenho tardio.

O diâmetro do tronco das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a densidade aparente média do lenho apresentou baixo coeficiente de determinação (R²), de 0,2312 (Figura 4). Tal resultado pode ser explicado pela presença de resina em áreas dispersas do lenho, resultando

Tabela 1. Valores médios de densidade aparente (g/cm³) do lenho para as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*
Table 1. Mean values of apparent density (g/cm³) of the wood of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* trees.

Árvore	DAP (cm)	Densidade aparente (g/cm ³)		
		Média	Mínima	Máxima
5	18	0,41 A ¹ (± 0,05; 11,19) ²	0,21	0,97
3	16	0,45 A (± 0,10; 20,56)	0,28	1,03
17	16	0,47 A (± 0,03; 6,09)	0,20	1,03
16	21	0,48 A (± 0,09; 18,57)	0,27	1,10
10	18	0,48 A (± 0,04; 9,30)	0,26	1,01
12	25	0,50 B (± 0,08; 15,86)	0,28	1,12
18	13	0,51 B (± 0,05; 10,21)	0,27	1,01
2	18	0,51 B (± 0,09; 18,07)	0,26	1,12
9	23	0,52 B (± 0,09; 17,07)	0,29	1,05
14	21	0,52 B (± 0,09; 18,7)	0,26	1,07
4	16	0,53 B (± 0,09; 17,79)	0,17	1,11
11	18	0,53 B (± 0,07; 14,32)	0,30	1,11
13	26	0,55 B (± 0,11; 20,85)	0,19	1,13
1	22	0,56 B (± 0,09; 17,05)	0,25	1,15
7	21	0,56 B (± 0,08; 14,97)	0,31	1,11
15	21	0,63 C (± 0,11; 16,72)	0,27	1,14
8	23	0,64 C (± 0,15; 13,89)	0,31	1,14
6	23	0,65 C (± 0,08; 23,25)	0,31	1,08
		0,54 (± 0,17; 19,12)	0,26 (± 0,04; 15,7)	1,08 (± 0,05; 4,8)

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$).

2. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão (g/cm³) seguido do coeficiente de variação (%).

Tabela 2. Correlação de Pearson para os valores médios de densidade aparente média, máxima e mínima do lenho.
Table 2. Pearson correlation for the mean values of average, maximum and minimum apparent density.

Variáveis	Densidade média	Densidade máxima	Densidade mínima
Densidade média	1	0,407*	0,672*
Densidade máxima		1	NS
Densidade mínima			1

* = Significativo ($\alpha=0,05$) NS = não significativo

no aumento do valor da densidade aparente. Nesse sentido, a densidade aparente do lenho independe do valor do diâmetro do tronco das árvores. Ferreira e Tomazello Filho (2009), avaliando 30 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de acordo com a distribuição de diâmetro do tronco, obtiveram diferenças significativas entre as classes de diâmetro e atribuíram-nas às variações de espessura e porcentagem dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento.

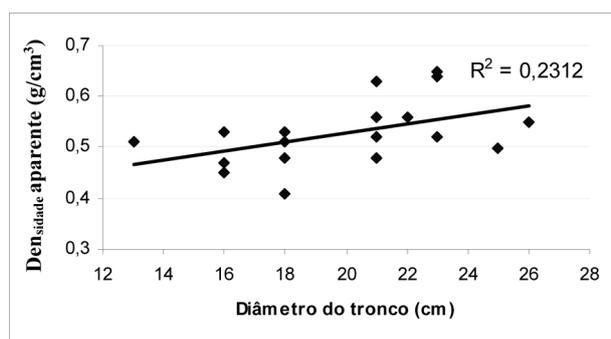


Figura 4. Correlação entre a densidade aparente média do lenho e o diâmetro do tronco das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Figure 4. Correlation between mean wood density and trunk diameter of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* trees.

As correlações da densidade aparente máxima e mínima com a densidade média foram significativas em nível de 95% de probabilidade e positivas (Tabela 3). O teste mostrou um maior valor de correlação entre a densidade média e mínima, possivelmente ocasionada pela maior presença de lenho inicial, o qual diminuiu os valores de atenuação de raios X, ocasionando menor densidade média do lenho.

Tabela 3. Análise de regressão múltipla entre a densidade aparente média do lenho (variável dependente) e suas componentes, densidade máxima e mínima (variáveis independentes), com base nos valores médios por posição radial.

Table 3. Multiple regression analysis between the average apparent density (dependent variable) and its components, maximum density and minimum (independent variables), based on the mean values at the radial position.

Passos	Densidade mínima	Densidade máxima	R ²
1	62,2*	30,5	0,48

* Os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandarizados (betas) expressos em porcentagem e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão.

A variável selecionada para explicar a densidade aparente média do lenho de pinus, analisada em regressão múltipla, indicou que a densidade aparente mínima, compôs o modelo de

regressão (Equação 01) que explicou 48% da variação total da densidade aparente média, sendo que tal componente foi responsável por 62,2% da variação (Tabela 3).

$$D_{\text{média}} = -3,99 + 0,745 * D_{\text{min}} + 0,464 * D_{\text{máx}} \quad (01)$$

O resultado da correlação entre as variáveis em análise e o teste de regressão múltipla mostraram que a densidade aparente mínima explica a variação da densidade aparente média, possivelmente devido aos baixos valores de densidade do lenho inicial.

CONCLUSÕES

Com base nas condições em que esse trabalho foi realizado, podem ser propostas as seguintes conclusões: i) os perfis diametrais de densidade aparente do lenho por densitometria de raios X indicaram aumento da medula para a casca e estabilização no lenho próximo à casca; ii) os perfis radiais de densidade aparente do lenho permitiram a precisa demarcação dos anéis de crescimento anuais; iii) os valores médios de densidade do lenho agruparam as árvores em 3 classes iv) a densidade aparente mínima apresentou maior valor de correlação e explicou a variação da densidade aparente média do lenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; POLLITO, P. A. Z.; LOBÃO, M. S. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, 2010.

AMARAL, A. C. B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. *Revista Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v. 6, n. 11, p. 17-23, 1998.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth ring of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 18, n. 1, p. 23-38, 1986.

- COSTA, D. S. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; CASTRO, V. R. Comparação de métodos de densitometria de raios X na determinação do perfil radial de densidade de *Cedrela odorata*, cedro, Meliaceae. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 18, Piracicaba, 2010. Resumos... Piracicaba: USP, 2010. p. 2785.
- FERREIRA, A. T. B. **Caracterização da estrutura do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.** 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 287-298, set. 2009.
- GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; OLIVEIRA, L. S.; SANTINI, J. E. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil e adulto por meio de parâmetros anatômicos para madeira de *Luehea divaricata* Mart. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 535-540, out./dez. 2008.
- HUGHES, J. F.; SARDINHA, R. M. A. The application of optical densitometry in the study of wood structure and properties. *Journal of Microscopy*, Oxford, v. 104, n. 1, p. 91-103, 1975.
- LIN, C. J.; TSAI, M. J.; LEE, C. J.; WANG, S. Y.; LIN, L. D. Effects of ring characteristics on the compressive strength and dynamic modulus of elasticity of seven softwood species. *Holzforschung*, Berlin, v. 61, p. 414-418, 2007.
- MOTHE, F.; SCIAMA, D.; LEBAN, J. M.; NEPVEU, G. Localisation de la transition bois initial - bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. *Annales des Sciences Forestières*, Champenoux, v. 4, n. 55, p. 437-449, 1998.
- POLGE, H. Study of wood density variations by densitometric analysis of X ray negatives of samples taken with a Pressler Auger. In: SYMPOSIUM OF IUFRO, 1965, Melbourne. *Anais...* Melbourne: IUFRO, 1965. Section 41, 19 p.
- QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS. **QMS Tree Ring Analyzer Model QTRS-01X.** Users Guide., Knoxville, TN, 1999. 72 p.
- SILVA, M. E. C. M.; LOUZADA, J. L. P. C. Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (*Populus x euramericana*.cv I.214). In: SIMPÓSIO DEL CHOPO, 1., 2001, Zamora. *Proceedings...* Zamora, 2001. p. 469-478.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELA, W. (Ed.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.** São Paulo: EDUC, 2001. p. 117-143.
- TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; ROQUE, R. M. **Manual de aplicação de densitometria de raios X em amostras de madeira, CRAD e CERD.** Piracicaba, 2005. 32 p.

Recebido em 27/08/2013
Aceito para publicação em 20/03/2014