



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PERFIL DE DENSIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE PINUS POR MÉTODOS RADIOGRÁFICOS

Felipe Silva Bastos<sup>1</sup>  
Vinícius Resende Castro<sup>1</sup>  
Paula Gabriella Surdi<sup>2</sup>  
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PERFIL DE DENSIDADE DO LENHO DE ÁRVORES DE PINUS POR MÉTODOS RADIOGRÁFICOS

Felipe Silva **BASTOS**<sup>1</sup>; Vinicius Resende de **CASTRO**<sup>1</sup>; Paula Gabriella **SURDI**<sup>1</sup>;  
Angélica de Cássia Oliveira **CARNEIRO**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

**Resumo:** O trabalho tem como objetivo, a determinação e comparação dos resultados da análise do perfil de densidade aparente do lenho de árvores de pinus, utilizando imagens digitais de raios X. No estudo foram utilizadas amostras radiais do lenho de cinco árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 7 anos e 10 meses. Os perfis radiais de densidade aparente foram obtidos através aplicação da metodologia de imagens digitais de raios X que propicia diferentes formas de avaliação dos resultados, seja na forma qualitativa (escala de cinza e escala *rainbow*) e quantitativa (gráficos de densitometria de raios X). Os dados foram obtidos e avaliados com maior agilidade e facilidade no processamento de análise do lenho, sendo, portanto, recomendada nos trabalhos que demandem a avaliação da densidade de significativo número de amostras do lenho de árvores de coníferas e de folhosas, de forma não destrutiva e com alta precisão.

**Palavras-chave:** propriedades físicas, densitometria de raios X, método não-destrutivo.

## QUALITATIVE EVALUATION OF THE DENSITY PROFILE OF PINUS TREES BY RADIOGRAPHIC METHODS

**Abstract:** The objective of this work was to determine and compare the results of the analysis of the apparent density profile of the pine tree wood using digital X - ray images. In the study were used radial samples of the wood of five trees of *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, at 7 years and 10 months. Radial profiles of apparent density were obtained by applying the X-ray digital imaging methodology, which provides different ways of evaluating the results, both qualitatively (gray scale and rainbow scale) and quantitative (X-ray densitometry) graphs. The data were obtained and evaluated with greater agility and ease in the analysis of the wood, and it is therefore recommended in the studies that require the evaluation of the density of a significant number of samples of the wood of coniferous and hardwood trees in a nondestructive way and with high precision.

**Keywords:** physical properties, X-ray densitometry, non-destructive method.

### 1. INTRODUÇÃO

A densidade aparente da madeira é expressa pela razão da massa e volume da madeira, na condição de 12 % de umidade, como descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997). Os métodos convencionais de determinação da densidade aparente, em madeira, são aplicados para corpos de prova obtidos, de modo geral, por métodos destrutivos. Neste contexto, os métodos radiográficos de atenuação de raios X para a determinação da densidade aparente do lenho apresentam vantagens por ser uma metodologia não destrutiva, além disso, propicia a otimização do tempo, melhora a precisão das análises e aumenta a eficiência no processamento dos dados (CASTRO, 2014).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

A técnica da densitometria de raios X em madeiras foi implantada no Brasil por Amaral (1994), sendo uma importante ferramenta na avaliação da qualidade do lenho das árvores submetidas aos tratamentos silviculturais e variações climáticas, bem como para a caracterização tecnológica da madeira. A técnica possibilita, da mesma forma, a determinação da produção anual da biomassa do lenho e a sua relação com a estrutura anatômica; a aplicação na genética e melhoramento florestal e na avaliação do efeito da fertilização, irrigação, desrama, ataque de fungos e insetos, etc (MOTHE et al., 1998; POLGE, 1965; TOMAZELLO FILHO et al., 2005; CASTRO, 2014).

Atualmente, com o desenvolvimento de equipamentos de imagens digitais de raios X direcionados para a ortopedia, odontologia, zootecnia, zoologia, entre outras áreas (WOO NORDAL, 2006), abriu-se a possibilidade para sua aplicação na análise da qualidade da madeira e de seus produtos. A literatura relata a utilização de imagens radiográficas digitais em tons de cinza da madeira para a determinação da sua densidade pela metodologia de atenuação de nêutrons, além da caracterização dos defeitos do tronco resultantes do crescimento das árvores e do ataque de organismos xilófagos (WU; PENG, 2007; VAN DEN BULCKE et al., 2009; TRTIK et al., 2007). Através de recursos digitais e softwares de processamento, é possível reclassificar essas imagens, através do tratamento com escalas de cores contrastantes, a fim de realçar as informações de interesse no estudo.

Ainda mais, vale destacar a utilização para detectar as variações dos valores de densidade dos anéis de crescimento e sua correlação com as condições climáticas, ciclo do carbono, influência da fertilização, etc. (CHERUBINI et al., 2013; SURDI et al., 2014).

Pelo exposto, o presente trabalho tem como objetivos determinar e analisar o perfil de densidade aparente do lenho de árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, utilizando imagens digitais de raios X e recursos gráficos computacionais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As cinco árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 7 anos e 10 meses, DAP de 30 cm, foram selecionadas das plantações florestais da Fazenda Pedra Maria, localizadas na região de Buri, SP (coordenadas de 48° 26' 13,8"W; 23° 52' 07,5"S; altitude de 660 m), da empresa Pinus Brasil Agro Florestal Ltda.

Para a determinação da densidade aparente, foram cortadas seções transversais do lenho na base do tronco das árvores. Posteriormente, foram climatizadas em condições normais de laboratório (20 °C e 60% U.R.) para a posterior avaliação densitométrica.

Na seção transversal dos discos do lenho foram demarcadas e cortadas 2 amostras radiais (20x10 mm, largura x espessura), coladas em suportes de madeira, seccionadas em equipamento de dupla serra circular paralela (amostras de 2,0 mm de espessura), acondicionadas (câmara de climatização, 20°C, 24h, 60% U.R., 12-15% U.E.) (CASTRO, 2014).

Para a obtenção do perfil radial da densidade aparente do lenho utilizou-se o equipamento de raios X digital modelo LX-60. As amostras do lenho, utilizadas na análise de densitometria de raios X, e uma cunha de calibração de acetato de celulose foram inseridas no compartimento blindado do equipamento de raios X, seguindo-se a operação de calibração e de leitura automática (30 Kv, 19 segundos), gerando-se imagens digitais do lenho juntamente com a cunha de calibração de elevado contraste e alta resolução na tela do monitor. Estas, posteriormente, foram salvas em formato

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

TIF (FAXITRON, 2009) e analisadas com *software ImageJ*, transformando-se, por comparação com a escala de tons de cinza da cunha, em valores de densidade aparente do lenho a cada 50  $\mu\text{m}$  de distância ao longo da medula-casca. Posteriormente, foram transferidos para planilha eletrônica e construídos os perfis radiais de densidade aparente do lenho.

Através de recursos gráficos, as imagens em escala de cinza foram tratadas com as cores da escala *rainbow*, no *software Photoshop*, partindo-se do limite inferior, representada pela cor azul até o vermelho, mostrando os valores mínimos e máximos de densidade. A análise das amostras nesta escala possibilita a diferenciação, demarcação, contagem e mensuração de anéis de crescimento, além da possibilidade de verificar a distinção e a flutuação de densidade em um maior contrastaste de cores, facilitando a interpretação de forma qualitativa.

Recomenda-se, no entanto, a justaposição da imagem da seção transversal do lenho (imagem escaneada), com as imagens de escala de cinza e *rainbow*, além do gráfico do perfil densitométrico, para possibilitar a comparação com a estrutura anatômica macroscópica do lenho.

A densidade aparente média das árvores foi determinada a partir dos raios (2 por árvore) das 5 árvores analisadas. Nas análises estatísticas foi aplicado o programa SAS, sendo aferidos os “outliers”. A análise da variância (ANOVA) foi utilizada para verificar o efeito dos tratamentos (árvores) e aplicado o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de densidade aparente da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* encontram-se na Tabela 1. O valor médio da densidade aparente foi de 0,432  $\text{g/cm}^3$ .

Tabela 1. Densidade aparente das árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Árvore	Densidade aparente média ( $\text{g/cm}^3$ )
A	0,414 bc
B	0,469 a
C	0,392 c
D	0,453 ab
E	0,374 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Estudos foram conduzidos com as espécies parentais do híbrido e registra-se que Iwakiri et al. (2001) encontraram para a madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* densidade aparente de 0,43  $\text{g/cm}^3$  aos 10 anos de idade. De acordo com Carpanezi et al. (1986) a madeira do *Pinus elliottii* var. *elliottii*, em idades mais avançadas, possui densidade básica variando entre 0,50 e 0,56  $\text{g/cm}^3$ . Com base nestes dados de literatura, observa-se que o valor médio de densidade aparente do híbrido estudado foi mais próximo ao da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

A diferença da densidade aparente média do lenho entre as árvores pode ser explicada pelo fato da análise de densitometria de raios X ocorrer de forma linear (contínua e radialmente) ao longo de todo o raio. Dessa forma, não possibilita a eliminação de possíveis defeitos, como microfissuras nas amostras. As variações da

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

largura e as imperfeições anatômicas do lenho dos anéis de crescimento, e a presença dos canais de resina são, desta forma, detectadas pela passagem do feixe colimado de raios X e, quando registradas graficamente e em termos de média indicam diferenças dos valores da densidade aparente média do lenho.

Para a inferência qualitativa da densidade aparente do lenho das cinco árvores em estudo foi criado um histograma, que pode ser visualizado na Figura 2 a seguir.

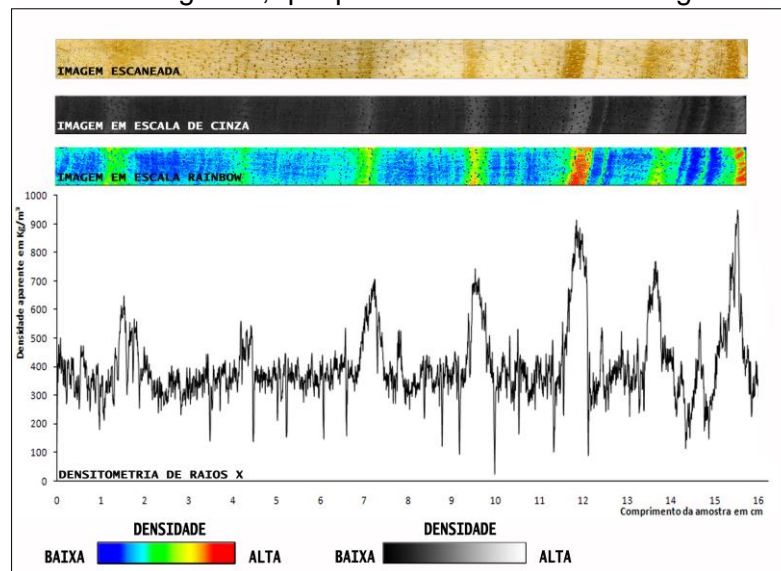


Figura 2. Comparação da imagem escaneada, escala de cinza, escala *rainbow* e perfil de densitometria por raios X. Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se na imagem escaneada (análise qualitativa), que alguns anéis de crescimento podem ser identificados a olho nu sem auxílio de equipamentos. Porém, a percepção da flutuação densidade entre os anéis de crescimento é melhor visualizado nas imagens de raios X digital na escala de cinza e na escala *rainbow*.

A análise dos dados na escala de cinza (análise qualitativa) é interpretado da seguinte maneira: as faixas de coloração clara, onde se localização os traqueídes de parede mais espessa (indicativa de maior densidade, maior atenuação de raios X), são características do lenho outonal/tardio dos anéis de crescimento anuais. Já os tons de cinza mais escuros são indicativos de regiões de menor densidade, menor atenuação dos raios X e traqueídes de parede delgada, caracterizando períodos favoráveis de crescimento, ou seja, lenho primaveral/inicial.

Ainda mais, a aplicação dessa a metodologia em dendrocronologia (determinação da idade e taxa de crescimento das árvores) e qualidade do lenho (porcentagem do lenho tardio/anel de crescimento anual) é de extrema eficiência e confiabilidade. Com a presença de 7 bandas claras é possível inferir que as árvores possuem aproximadamente 7 anos de idade.

A análise dos dados na escala *rainbow* (análise qualitativa) possibilita visualizar regiões do lenho com variações marcantes de tonalidades variando do azul, mostrando a idade com menor densidade, caracterizando lenho inicial, período favorável de crescimento, até o vermelho, região do lenho com maior densidade, representado pelo lenho tardio, período desfavorável de crescimento para a árvore.

Já a análise de densidade pelo gráfico do perfil densitométrico (análise quantitativa) permite determinar os valores crescentes de densidade aparente média, mínima e máxima dos anéis de crescimento anuais.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

Da mesma forma, caso seja foco da pesquisa, pode ser mensurada a espessura dos lenhos inicial-tardio e total dos anéis de crescimento anuais e construída a curva de crescimento em diâmetro do tronco e sua correlação com a densidade do lenho dos anéis de crescimento e do incremento anual de massa e de carbono.

## 4. CONCLUSÕES

A densidade aparente média das cinco árvores do estudo foi igual a 0,432 g/cm<sup>3</sup>, demonstrando a precisão e eficiência da metodologia no emprego análises densitométricas.

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho, interpretados de forma quantitativa, por meio de imagens digitais de raios X, auxiliam na tomada de decisões. Com auxílio dessas ferramentas de interpretação, foi possível detectar com precisão as flutuações de densidade que existem ao longo do perfil radial, sendo indicada em estudos de avaliação da qualidade do lenho que demandem grande quantidade de amostras.

O estudo expõe a gama de possibilidades de utilização da metodologia, tanto em análises qualitativas, como em quantitativas, para análise não destrutiva da madeira. Dessa forma, a avaliação do perfil de densidade do lenho de árvores por métodos radiográficos se mostra como uma ferramenta eficiente, precisa e de rápida inferência para madeiras.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Fapemig e à Capes pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

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.

CARPANEZZI, A.A.; FERREIRA, C.A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I.S.; STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; MONTAGNER, L.H.; RAUEN, M.J.; CARVALHO, P.H.R.; SIVEIRA, R.A.; ALVES, S.T. Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Brasília: Embrapa, CNPF. 1986. 89p. (Documentos, 17).

CASTRO, V.R. Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura, Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

CHERUBINI, P.; HUMBEL, T.; BEECKMAN, H.; GARTNER, H.; MANNES, D.; PEARSON, C.; SCHOCH, W.; TOGNETT, R.; Olive Tree-Ring Problematic Dating: A Comparative Analysis on Santorini (Greece). Plos One, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2013.

FAXITRON. User Manual Faxitron DX Radiography System.2009. 95 p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de Pinus tropicais. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.2, p.71-77, 2001.

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, 41, Melbourne, 1965. 19 p.

SURDI, P.G.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; CASTRO, V.R; ALMEIDA, N.F.; MENDES, R.F.; CHAIX, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 229-236, jun. 2014.

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.

TRTIK, P.; DUAL, J.; KEUNECKE, D.; MANNES, D.; NIEMZ, P. 3D imaging of microstructure of spruce wood. *Journal of Structural Biology*, v. 159, n. 1, p. 46-55, 2007.

VAN DEN BULCKE, J.; BOONE, M.; VAN ACKER, J.; VAN HOOREBEKE, L. Three-dimensional X-ray imaging and analysis of fungi on and in wood. *Microscopy and Microanalysis*, v. 15, n. 1, p. 395-402, 2009.

WOO, M. K; NORDAL, R. A. Commissioning and evaluation of a new commercial small rodent X-ray irradiator. *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2006.

WU, D.; PENG, X. F. Investigation of water migration in porous material using micro-CT during wetting. *Heat Transfer - Asian Research*, v. 36, n. 4, p. 198- 207, 2007.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

