

ESTUDO DAS VARIAÇÕES DE DENSIDADE DA MADEIRA DO *Liquidambar styraciflua* E DO *Pinus tecunumannii*, COMO PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA A PRODUÇÃO DE MÓVEIS

STUDY OF VARIATIONS IN WOOD DENSITY OF *Liquidambar styraciflua* AND *Pinus tecunumannii* AS PARAMETERS OF QUALITY FOR FURNITURE PRODUCTION

Rezende, M.A.¹, Costa, V.E.¹, Aroni, A.S.¹; Severo, E.T.D.²

¹Departamento de Física e Biofísica, IBB-UNESP/Botucatu
e-mail: rezende@ibb.unesp.br , vladimir@fca.unesp.br , sergio_aroni@yahoo.com

²Departamento de Recursos Naturais, Setor de Ciências Florestais, FCA-UNESP/Botucatu
e-mail: severo@fca.unesp.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros físicos qualitativos e quantitativos da madeira das espécies *Liquidambar styraciflua* e *Pinus tecunumannii*, cultivadas em Agudos-SP, Brasil. A escolha das espécies foi baseada na produtividade e qualidade da madeira da espécie *L. styraciflua* em outras regiões, sua boa adaptação no Estado de São Paulo no Brasil e baseada também na superioridade da espécie *P. tecunumannii* dentro do gênero *Pinus sp.* cultivadas no Brasil para produção de madeira sólida. Os parâmetros avaliados foram a densidade média de cada espécie e suas variações na direção radial e axial das árvores. As determinações da densidade média e da densidade pontual da madeira foram realizadas utilizando-se a técnica de atenuação da radiação gama do ²⁴¹Am. A produtividade foi avaliada por meio do incremento médio anual de massa seca de cada espécie. Os resultados permitiram concluir que a espécie *L. styraciflua* apresenta-se como uma alternativa viável para reflorestamento no Brasil, principalmente por ter apresentado uma madeira de qualidade superior com ganhos substanciais em densidade média e com menores variações da densidade, podendo ser uma alternativa para a substituição de algumas “madeiras nobres” para a produção de móveis.

Palavras-chave: Madeira. Densidade. Produtividade. *Liquidambar styraciflua*. *Pinus tecunumannii*.

Recebido em: 10/05/2006	HOLOS Environment, v.7 n.1, 2007 - P. 61
Liberado para Publicação em: 12/06/2007	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the qualitative and quantitative physical parameters of wood of the species *Liquidambar styraciflua* and *Pinus tecunumannii*, cultivated in Agudos-SP, Brazil. The choice of the species was based on the productivity and quality of the wood of the species *L. styraciflua* in other regions, its good adaptation in the state of São Paulo in Brazil, and also the superiority of the species *P. tecunumannii* among the *Pinus sp.* cultivated in Brazil for the production of hardwood. The mean density of each tree species, as well as the variation in radial and axial directions, were measured. The mean density and point density of the wood were determined using the gamma-ray attenuation technique of ^{241}Am . Productivity was evaluated by means of the annual average increment in dry mass of each species. The results show that the *L. styraciflua* species is a viable alternative for reforestation in Brazil, mainly because of the superior quality of its wood and substantial gains in mean density and smaller variations in density, making it a good alternative to substitute some valuable hardwoods for the production of furniture.

Key words: Wood. Density. Productivity. *Liquidambar styraciflua*. *Pinus tecunumannii*.

1. INTRODUÇÃO

Os móveis e acabamentos de edificações construídas com madeira maciça geralmente são mais caros do que quando construídos com outro material convencional, isto porque a madeira fornece um conjunto de características como à durabilidade, resistência, conforto ambiental e bom acabamento, que só algumas espécies denominadas “madeira nobre” possuem. As espécies de “madeira nobre” mais utilizadas são nativas de floresta tropical como o “mogno”, “aroeira”, “jatobá”, “jacarandá”, “ipê”, etc... Devido ao alto valor agregado ao produto final fabricado com “madeira nobre”, sua exploração nas florestas nativas tornou-se uma prática comum.

Considerando a redução na oferta de madeira nobre e o avanço tecnológico, surge à necessidade de aumentar consideravelmente a produção de madeira comercial para suprir a demanda. Com isso, o emergente setor agroflorestal busca na ciência, soluções para problemas concernentes à otimização de áreas cultiváveis, para a produção de madeira, levando-se em conta a conservação do solo e a extinção de florestas nativas.

Bacha e Barros (2004) alertam que o estoque de área reflorestada no Brasil diminuiu de 1995 a 2000, após ter aumentado de 1970 a 1995. Conforme os mesmos autores, no período de 1998 a 2001 houve aumento da área anualmente reflorestada. A

Recebido em: 10/05/2006	HOLOS Environment, v.7 n.1, 2007 - P. 62
Liberado para Publicação em: 12/06/2007	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

perspectiva é que essa área atinja 220 a 230 mil hectares por ano no período de 2003 a 2010, crescimento este que deverá ser comandado pelas empresas de papel e celulose, as quais ampliará o seu poder de mercado na oferta de madeira de reflorestamento.

A produção anual de madeira de reflorestamento no Brasil é estimada em 120 milhões de metros cúbicos (LIMA e REZENDE, 2003) e atende as necessidades das indústrias para a produção de celulose, energia, laminados, aglomerados e compensados. As espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* são as principais fornecedoras dessa matéria-prima devido ao rápido crescimento e facilidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo, diferentemente das espécies de “madeira nobre”.

Busca-se hoje uma espécie de madeira que tenha boas propriedades físico-mecânicas aliadas ao crescimento rápido para que possa substituir as madeiras nobres no setor moveleiro e na construção civil. As espécies do gênero *Pinus* são consideradas de crescimento rápido, porém as madeiras dessas espécies possuem baixa densidade média e pontos de densidade mínima extremamente baixos diminuindo sua resistência mecânica e conseqüentemente sua durabilidade.

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade dos parâmetros físicos e a produtividade, em massa, de duas espécies cultivadas no centro-oeste do Estado de São Paulo com a finalidade de propor uma espécie alternativa para produção de madeira sólida.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Madeira

Neste trabalho, as madeiras utilizadas foram de duas espécies exóticas, o *Liquidambar styraciflua* originada da América Central e México, escolhida para este estudo devido à sua alta produtividade e sua boa adaptação na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo-Brasil, e a espécie *Pinus tecunumannii* com origem em florestas temperadas, também com boa adaptação em várias regiões do Brasil, escolhida por ser uma das melhores espécies deste gênero para a produção de madeira sólida (LIMA e REZENDE, 2003).

As espécies foram plantadas em 1986 na Fazenda da empresa Duratex S.A., localizada a 550 m de altitude, latitude 22° 19'S e longitude 48° 52'W, município de Agudos-SP, em latossolo vermelho escuro, fase arenosa. Essas espécies foram submetidas ao mesmo manejo florestal desde o plantio até a coleta em setembro de 2000.

2.2. Amostragem

Para a determinação da densidade da madeira foram escolhidas 9 árvores de cada espécie, divididas em três classes de diâmetro determinado à altura do “peito” (DAP): 1ª classe (20 a 25 cm); 2ª classe (26 a 30 cm); 3ª classe (31 a 37 cm).. A

seleção das três árvores de cada classe de diâmetro e de cada espécie foi feita de maneira aleatória.

De cada árvore selecionada foram cortadas 4 amostras em forma de disco com 6 cm de espessura, nas seguintes posições relativas à altura comercial (Hc): 0 %, 25 %, 50 % e 75 %. A altura comercial das árvores deste reflorestamento é considerada pela Empresa a altura onde o diâmetro com casca é de 5,0 cm.

Os discos foram armazenados em estantes de madeira, em ambiente ventilado dentro do Laboratório, com suas faces livres e em contato com o ar, para secar naturalmente até atingir o equilíbrio com a umidade ambiente, ou seja, até atingir massa praticamente constante. Em seguida, as faces dos discos foram aplainadas e lixadas a fim de se obter faces lisas, paralelas e com uniformidade na sua espessura final, variando entre 2 e 3 cm.

2.3. Determinação da Densidade

A determinação da densidade das amostras foi realizada no Laboratório de Física Aplicada do Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista no campus de Botucatu. Utilizou-se uma técnica nuclear para a determinação das densidades, descrita por Ferraz (1976), aprimorada e utilizada por Rezende et al. (1998) e denominada Técnica de Atenuação da Radiação Gama (TARG) do ^{241}Am .

O percentual de umidade base seca (U_{bs}) na madeira foi determinado logo após o ensaio com a TARG, a partir da retirada de uma pequena parte da amostra, que era aferida sua massa neste instante, obtendo a massa úmida (MU) e depois seca em estufa obtendo a massa seca (MS). A U_{bs} foi calculada conforme equação 1. Todas as amostras obtiveram aproximadamente a mesma U_{bs} , em torno de 12 %.

$$U_{bs} = \frac{MU - MS}{MS} 100\% \quad (1)$$

A TARG consiste em determinar a densidade da madeira pela atenuação da radiação gama do radioisótopo ^{241}Am quando essa atravessa um ponto da amostra com espessura mensurável e umidade conhecida. A radiação de fundo e o coeficiente de atenuação de massa são determinados previamente. Estes parâmetros estão relacionados na equação 2 descrita por Rezende et. al., (1999).

$$\rho = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{1 - \tau I_0} - BG\right) - \ln\left(\frac{I}{1 - \tau I} - BG\right)}{\mu_m \chi_m} \quad (2)$$

Na equação 2, ρ (g/cm^3) é a densidade pontual na umidade da amostra, μ_m (cm^2/g) é o coeficiente de atenuação de massa da madeira, χ_m (cm) é a espessura da amostra no ponto, τ (minutos) é o tempo morto do sistema eletrônico, BG

(contagens/minutos) é a radiação de fundo e I_0 e I (contagens/minutos) são as taxas de contagens sem a amostra e com a amostra respectivamente.

O equipamento da TARG é constituído pelas seguintes partes: uma fonte de ^{241}Am fixa e blindada que gera um feixe de radiação gama que é colimado (6,0 mm de altura por 0,5 mm de largura) na direção horizontal; um detector de cintilação sólida fixado a 10,0 cm defronte ao feixe; e um trilho horizontal e perpendicular ao feixe com um carrinho para fixar e mover a amostra. A parte do feixe colimado que atravessa a amostra é detectada e o sinal eletrônico é transmitido para um contador que o retransmite para um banco de dados. A amostra fixada no carrinho é deslocada sobre um trilho por meio de um eixo com rosca sem fim que gira mediante a transmissão por uma correia ligada a um motor elétrico. Os valores das densidades são mostrados em um gráfico de densidade pontual e ponderada pela distância radial da amostra.

Para a determinação da homogeneidade na distribuição da densidade foram determinadas às densidades pontuais utilizando a TARG ao longo da direção radial no sentido divergente a partir do centro de cada disco.

A partir das densidades pontuais, foi determinada a densidade ponderada de cada disco (ρ_{md}) de acordo com a equação 3 (COSTA, 2006). Em seguida determinou-se à densidade média ponderada de cada árvore (ρ_{ma}) utilizando a densidade ponderada e a massa de cada disco, conforme a equação 4, e por fim, determinou-se a densidade média das árvores de cada espécie pela média aritmética das árvores conforme REZENDE, 1997.

$$\rho_{md} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \rho_i (2i - 1) \quad (3)$$

$$\rho_{ma} = \frac{\rho_{md1}m_1 + \rho_{md2}m_2 + \rho_{md3}m_3 + \rho_{md4}m_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} \quad (4)$$

Na equação 3, ρ_{md} (g/cm^3) é a densidade média ponderada de cada disco, n é o número de pontos e ρ_i (g/cm^3) é a densidade pontual no ponto i . Na equação 4, ρ_{ma} (g/cm^3) é a densidade média ponderada de cada árvore, m_j (g) é a massa a de cada disco j , ρ_{mdj} (g/cm^3) é a densidade média ponderada de cada disco j , onde $j = 1, 2, 3$ e 4 são os respectivos discos 0, 25, 50 e 75 %Hc.

A densidade média ponderada (ρ_{ma}) de cada árvore (com 12 % de umidade, conforme determinado na amostra ensaiada, também chamada de ρ_{12}) foi extrapolada em densidade da árvore seca, ou seja, a 0 % de umidade (ρ_0) por meio da equação 5, e depois transformada em densidade básica da árvore (ρ_b) por meio da equação 6 (REZENDE, 1997, 2003).

$$\rho_0 = \frac{1 - \sqrt{1 - 0,2208\rho_{12}}}{0,1218} \quad (5)$$

$$\rho_b = \frac{0,98\rho_0}{1 + 0,24\rho_0} \quad (6)$$

A densidade básica é muito utilizada em ciências florestais, apesar de não possuir significado físico. É útil nas determinações de inventários florestais, porque é a razão da massa seca com o volume verde, ou volume saturado de água. Esse volume verde é exatamente o volume da árvore em pé, que pode ser determinado e monitorado por meio de técnicas dendrométricas.

2.4. Produtividade

Para determinação da produtividade em termos de IMAV (Incremento Médio Anual de Volume), em m³/ha.ano, foram realizadas medições anuais in situ de todas as 120 árvores do tratamento, segundo normas metodológicas da empresa Duratex S.A.

Devido às variações de densidade da madeira, a produtividade de uma espécie de reflorestamento também pode ser representada pelo IMAM (Incremento Médio Anual de Massa). O IMAM, em ton/ha.ano foi definido como o produto do IMAV e da densidade básica média das árvores amostradas e divididas por 10³ para a conversão de prefixos kg por ton (LIMA e REZENDE, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medidas pontuais de densidade e das ponderadas na direção radial de cada amostra são apresentados nas figuras de 1 a 6 em forma de gráfico comparativo entre as duas espécies. Foram analisados 72 discos, sendo 36 de cada espécie, 12 de cada classe de diâmetro e 4 de cada árvore. Para ilustrar graficamente os resultados, utilizou-se um único disco representativo de cada árvore e uma árvore por classe de diâmetro. Esse procedimento pôde ser feito, devido à semelhança existente entre estas figuras para as árvores de uma mesma espécie.

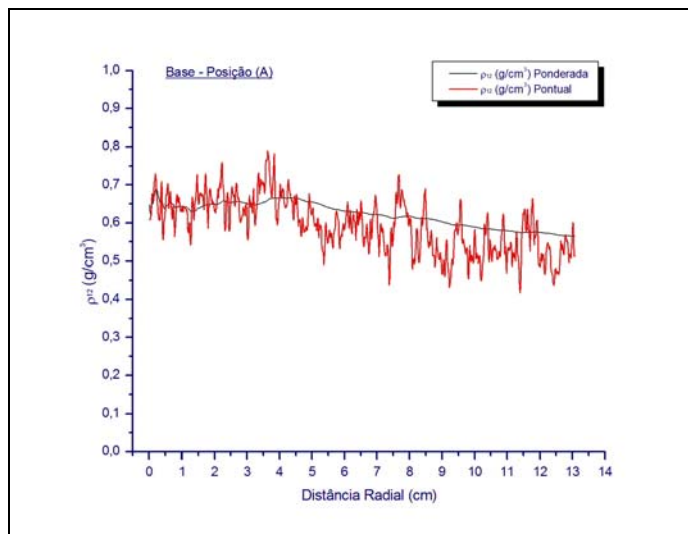


Figura 1. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12% de umidade) na direção radial do disco a 0 % da altura comercial (Base), da 1ª classe de diâmetro da espécie *Liquidambar styraciflua*.

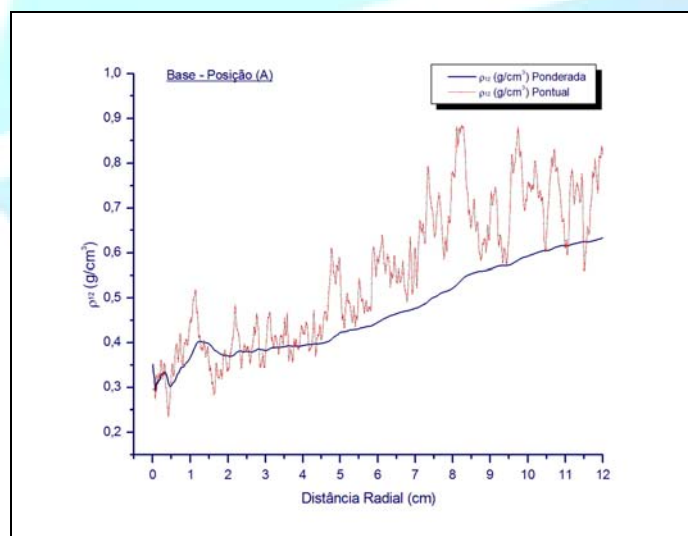


Figura 2. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12% de umidade) na direção radial do disco a 0% da altura comercial (Base), da 1ª classe de diâmetro da espécie *Pinus tecunumanni*.

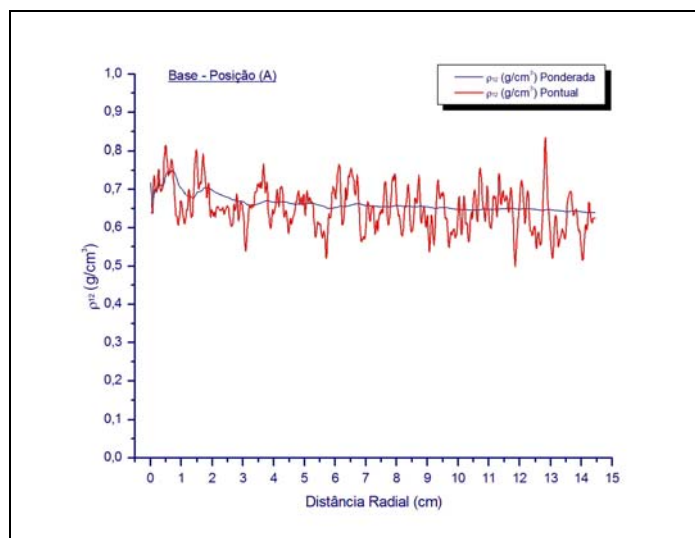


Figura 3. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12 % de umidade) na direção radial do disco a 0 % da altura comercial (Base), da 2ª classe de diâmetro da espécie *Liquidambar styraciflua*.

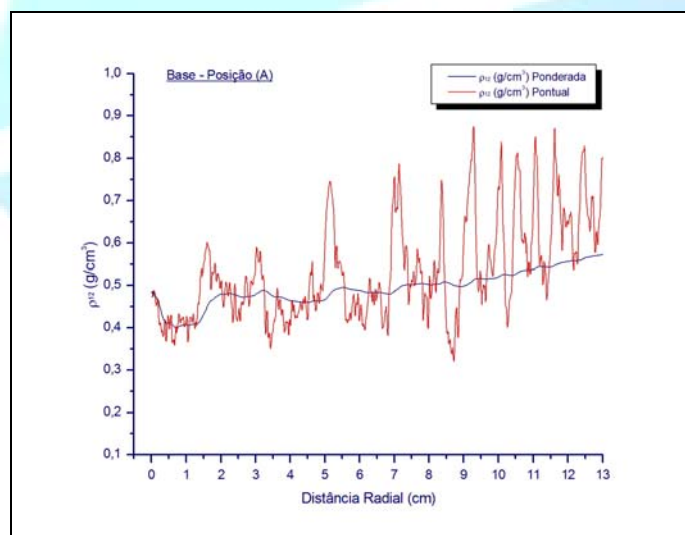


Figura 4. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12% de umidade) na direção radial do disco a 0% da altura comercial (Base), da 2ª classe de diâmetro da espécie *Pinus tecunumanni*.

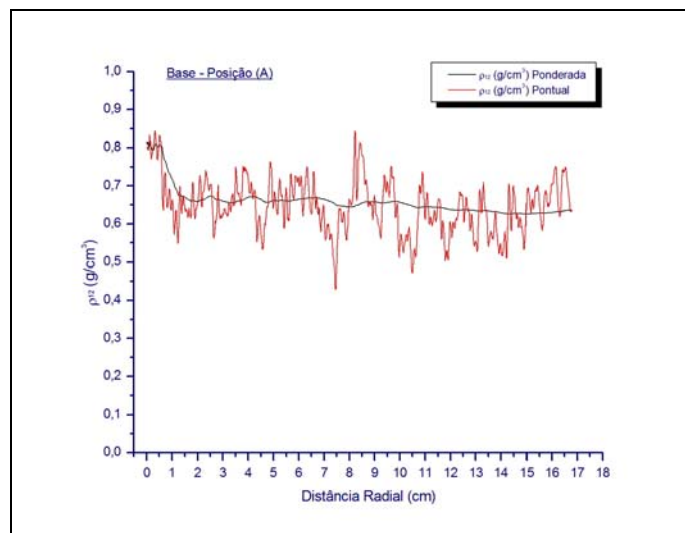


Figura 5. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12% de umidade) na direção radial do disco a 0 % da altura comercial (Base), da 3ª classe de diâmetro da espécie *Liquidambar styraciflua*.

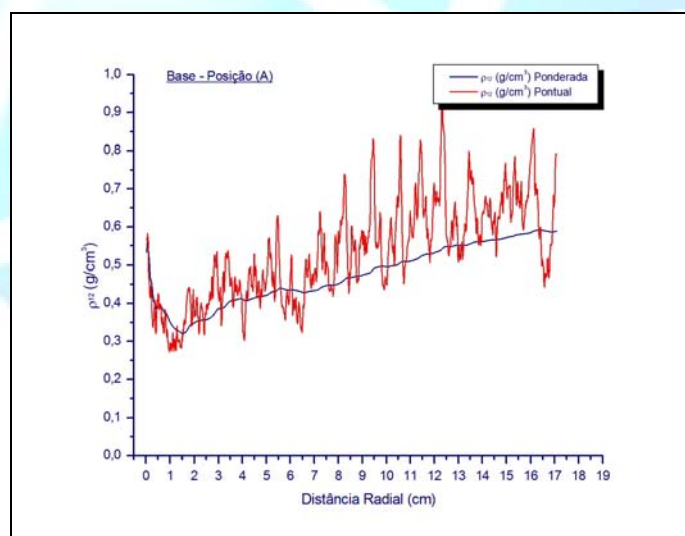


Figura 6. Variação das densidades pontuais e ponderadas (a 12% de umidade) na direção radial do disco a 0 % da altura comercial (Base), da 3ª classe de diâmetro da espécie *Pinus tecunmannii*.

Em todas as figuras verifica-se a diferença entre os valores de máximo e mínimo da densidade pontual entre as espécies. A espécie *L. styraciflua* apresentou nas figuras 1, 3 e 5 menor variação para densidade pontual que a espécie *P. tecunmannii*, demonstrando que esta espécie tem um perfil de densidade mais homogêneo. Estes resultados mostram que a madeira da espécie *L. styraciflua* possui

menor variação nos valores da densidade ao longo da direção radial comparada com a espécie *P. tecunumannii*.

Nas Figuras 2, 4 e 6 a espécie *P. tecunumannii* apresentou picos de alta e de baixa densidade dentro dos anéis sazonais. Isso mostra que a espécie foi bastante sensível aos fatores climáticos, sentindo os efeitos de estiagem e de baixas temperaturas (PALERMO et al., 2003).

Esta característica é marcante para o gênero *Pinus*, que possui uma maior sensibilidade aos fatores climáticos do que edáficos. Assim o gênero *Pinus* pode ser cultivado em solos extremamente pobres desde que tenha clima favorável: temperatura adequada; períodos de chuva; radiação solar; e umidade relativa, como em algumas regiões do nordeste do Brasil. A literatura confirma esses resultados (REZENDE, 1987; IPEF, 1976) enfatizando que o gênero *Pinus* é menos exigente nutricionalmente que o gênero *Eucalyptus*.

A homogeneidade apresentada pelo *L. styraciflua* mostrou que essa espécie sentiu menos variabilidade sazonal que o *P. tecunumannii*.

A probabilidade ao ataque de fungos está diretamente correlacionada com a densidade mínima e não somente com a densidade média, este fato foi ressaltado por Rezende (1997) e mostra a importância da técnica utilizada aqui para a avaliação da qualidade da madeira.

Os valores encontrados das densidades: média ponderada de cada árvore; média das árvores da cada classe de diâmetro; média das espécies estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores médios das classes de diâmetro da densidade média ponderada a 12% (ρ_{12}) e 0 % (ρ_0) de umidade e densidade média ponderada básica (ρ_b) de cada espécies *Liquidambar styraciflua* e *Pinus tecunumannii*

Espécie	Diâmetro	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_b (kg/m ³)
<i>L. styraciflua</i>	1ª Classe	606	568	490
<i>L. styraciflua</i>	2ª Classe	604	566	489
<i>L. styraciflua</i>	3ª Classe	613	575	495
	Média	608	570	491
	Desvio Padrão	4,7	4,7	3,2
<i>P. tecunumannii</i>	1ª Classe	536	502	440
<i>P. tecunumannii</i>	2ª Classe	512	479	422
<i>P. tecunumannii</i>	3ª Classe	533	497	436
	Média	527	493	433
	Desvio Padrão	13,1	12,1	9,5

Os valores apresentados no Quadro 1 mostram que o *L. styraciflua* produz uma madeira com maior densidade média que o *P. tecunumannii*, sendo a diferença em torno de 15%. Isso confere ao *L. styraciflua* uma maior resistência da madeira tanto na sua estrutura mecânica quanto na sua resistência ao ataque de fungos, visto que

esta madeira tem também um perfil de densidade bastante homogêneo. A higroscopicidade dessa madeira também é inferior ao *P. tecunumannii* já que este parâmetro está inversamente correlacionado com a densidade.

Quadro 2 - Valores do Incremento médio anual de volume (IMAV) e do Incremento médio anual de massa (IMAM) com casca (cc) e sem casca (sc) das espécies *Pinus tecunumannii* e *Liquidambar styraciflua*.

Espécie	IMAVcc (m ³ /ha.ano)	IMAVsc (m ³ /ha.ano)	IMAMcc (ton/ha.ano)	IMAMsc (ton/ha.ano)
<i>L. styraciflua</i>	32,6	29,5	16,0	14,9
<i>P. tecunumannii</i>	34,2	30,2	14,8	12,7

O Quadro 2 mostra a produtividade de ambas as espécies em IMAM, e também, que de produtividade as duas espécies estão bem próximas, sendo que o *P. tecunumannii* apresentou produtividade levemente superior em IMAV e inferior de IMAM.

As diferenças de produtividade entre estas espécies não foram relevantes, entretanto, em termos de qualidade da madeira produzida o *L. styraciflua* supera de forma bastante significativa o *P. tecunumannii*.

A madeira da espécie *L. styraciflua* é mais apropriada para móveis devido aos fatores de qualidade evidenciados pela sua densidade e pelo seu visual de coloração clara que é bastante atraente, comercialmente, para confecção de móveis.

4. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram concluir que o *L. styraciflua* pode ser uma alternativa viável e interessante para reflorestamentos no Brasil, apresentando características interessantes comparadas à espécie *P. tecunumannii* como: maior densidade média e menor variação da densidade, sendo estas características importantes para a produção de móveis e construção civil.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e ao apoio técnico da empresa Duratex S.A.

6. REFERÊNCIAS

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. Reforestation in Brazil: recent evolution and the future. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p.191-203, 2004.

Recebido em: 10/05/2006	HOLOS Environment, v.7 n.1, 2007 - P. 71
Liberado para Publicação em: 12/06/2007	ISSN:1519-8421 (CD-ROM) / ISSN:1519-8634 (ON-LINE)

COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Botucatu. 2006. 99 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

FERRAZ, E. S. B. Determinação da densidade da madeira por atenuação da radiação gama de baixa energia. **Bol. IPEF**, Piracicaba, v. 12, p.61-68, 1976.

IPEF – Instituto de Pesquisas Florestais. Curso de treinamento e atualização em experimentação. **Circular IPEF**, Piracicaba, n. 23, p.26-30, 1976.

LIMA, A. B.; REZENDE, M. A. Incrementos médios anuais de volume, massa, e energia do *Liquidambar styraciflua* na região de Agudos/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 18, n. 3, p.38-47, 2003.

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

REZENDE, M. A. **Estudo dos anéis de crescimento de duas variedades de *Pinus caribaea* cultivados na Bahia para avaliação da produtividade, massa específica e nutrição mineral**. Piracicaba. 1987. 144 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

REZENDE, M. A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. Botucatu. 1997. 138 f. Tese (Livre – Docência, Física para Engenharia Florestal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

REZENDE, M. A. Wood shrinkage of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Eucalyptus grandis* and their relationships with moisture content and specific gravity. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p.120-127, 2003.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Specific gravity variation of *Eucalyptus grandis* wood at 8 years old in function of a different productivity indexes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p.71-78, jun. 1998.

REZENDE, M. A.; SEVERO, E. T. D.; QUINTANA, I. R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação da radiação gama. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 29, n. 1/2, p.67-84. 1999.