

Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais

Evaluation of mechanical properties of the wood of tropical pines species

Rosilani Trianoski¹, Jorge Luis Monteiro de Matos²,
Setsuo Iwakiri² e José Guilherme Prata²

Resumo

O estudo das propriedades da madeira é fundamental para sua correta aplicação nas diferentes utilizações. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é avaliar as propriedades mecânicas da madeira de sete espécies de *Pinus* tropicais, compará-las com as propriedades da madeira do *Pinus taeda*, e estabelecer correlações com a massa específica. Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas as espécies *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, mais o *Pinus taeda*, provenientes de plantios florestais experimentais localizados na região de Ventania-PR e Itararé-SP. Após amostragem das árvores, coleta e preparação dos corpos de prova, foram efetuados os ensaios para determinação da massa específica (COPANT, 1972a), flexão estática (COPANT, 1972b), compressão paralela às fibras (COPANT, 1972c), cisalhamento (COPANT, 1972d) e dureza Janka (COPANT, 1972e). Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio dos testes de Grubb's, Shapiro Wilk's, Bartlett, ANOVA, Tukey e correlações de Pearson. Os resultados indicaram que as espécies *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa* e *Pinus maximinoi* apresentam as propriedades mecânicas mais elevadas, já as três variedades de *Pinus caribaea* e o *Pinus chiapensis* são as de menor resistência, podendo ser agrupadas numa classe inferior. Em comparação com a madeira do *Pinus taeda*, as espécies de *Pinus* tropicais demonstraram elevado potencial e em grande parte dos casos excelentes propriedades, muitas vezes superior à espécie de referência, podendo ser aplicadas em diversas finalidades, como matéria prima complementar ou substituta nas indústrias de base florestal.

Palavras-chave: Ensaios mecânicos, *Pinus* tropicais, *P. maximinoi*, *P. taeda*, *P. tecunumanii*, *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. chiapensis*.

Abstract

The study of wood properties is very important for correct application in several uses. The objective of this study was to evaluate the wood mechanical properties of seven tropical pine species, compare them with the properties of *Pinus taeda*, and establish correlations between density and the wood mechanical properties. For the development of this research we selected the species *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* and *Pinus tecunumanii*, and *Pinus taeda*, from experimental forest plantations located in Ventania-PR and Itararé-SP. The studied wood properties were: density (COPANT, 1972a), static bending (COPANT, 1972b), compression parallel to grain (COPANT, 1972c), shear (COPANT, 1972d) and Janka hardness (COPANT, 1972e). Data were statistically analyzed using Grubb's tests, Shapiro Wilk's, Bartlett, ANOVA, Tukey and Pearson correlations. The results indicated that *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa* and *Pinus maximinoi* showed higher mechanical properties than *Pinus taeda*, while the three varieties of *Pinus caribaea* and *Pinus chiapensis* are of lower resistance, and can be grouped in lower quality classes. In comparison to *Pinus taeda*, the tropical pines species demonstrated high potential use and in most cases excellent properties exceeding the comparison species. These species can be used for various purposes replacing others traditionally used in forest based industries.

Keywords: Tropical pine species, mechanical testing, *P. maximinoi*, *P. taeda*, *P. tecunumanii*, *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. chiapensis*.

¹Engenheira Industrial Madeireira, Professora Doutora. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Curitiba, PR, 80.210-170 - E-mail: rosilani@ufpr.br.

²Engenheiro Florestal, Professor Doutor. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Av. Prof. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Curitiba, PR, 80.210-170. E-mail: jmatos@ufpr.br; setsuo@ufpr.br; jgprata@ufpr.br

INTRODUÇÃO

O estudo das características da madeira é essencial para seu uso eficiente, bem como pelo fornecimento de importantes informações para a sua industrialização. De acordo com Gonçalves et al. (2009) a intensificação no uso da madeira como matéria prima para fins industriais e construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades, sejam elas físicas ou mecânicas. Dias e Lahr (2004) afirmam que o conhecimento destas propriedades possibilita um uso mais racional da madeira e Lucas Filho (1997) corrobora relatando que além de proporcionar informações sobre sua industrialização, aplicação, racionalização e economia, fornecem parte dos subsídios necessários para se utilizar este recurso com segurança.

Entre as principais atividades industriais que utilizam madeira como matéria prima, sobressaem os segmentos da indústria de móveis e da construção civil (DIAS; LAHR, 2004; SILVA, 2007; NAHUZ, 2007). A indústria moveleira se caracteriza pela grande velocidade produtiva e por elevados volumes de produção, as quais garantem a sua competitividade, porém, para manter essas características, requer matéria prima de qualidade e uniforme (SILVA, 2007). Já o setor da construção civil, encontra na madeira, um conjunto de características técnicas, econômicas e estéticas que dificilmente são encontradas em outro material, porém, seu uso se restringe a utilização de poucas espécies com aceitação pelos usuários e construtores (NAHUZ, 2007).

Segundo o último autor, a utilização concentrada em poucas espécies, resulta em escassez e preço elevado, fator que gera a necessidade de substituição das espécies tradicionalmente empregadas por espécies alternativas.

Entre as diversas espécies que foram introduzidas como alternativas às madeiras nobres e excessivamente exploradas, bem como para suprir o elevado volume de madeira consumido nos diversos segmentos do setor madeireiro, destacam-se as do gênero *Pinus*. O *Pinus taeda* é o mais plantado e utilizado industrialmente na região Sul do país (SHIMIZU, 2008), porém apresenta algumas limitações técnicas, o que impede sua aplicação em alguns produtos sólidos, assim como o desenvolvimento de novos produtos.

Dessa forma, para garantir fornecimento de matéria prima à indústria madeireira, preços competitivos, utilização e consolidação da madeira de *Pinus* em alguns segmentos industriais,

tornam-se necessários não apenas incentivos ao aumento das áreas plantadas com o *Pinus taeda*, mas também, direcionamento de esforços no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a introdução e qualificação da madeira de outras espécies. Entre essas, é possível citar as espécies de *Pinus* tropicais, as quais podem, além de aumentar a produtividade, volume de madeira ofertado e diversificação de matéria prima, fornecer madeira com propriedades superiores aos mais diversos usos (TRIANOSKI, 2012).

Um passo inicial e de grande importância já foi dado a partir do programa coordenado pela Central América and México Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE), o qual por meio de diversas parcerias promoveu a introdução de espécies de *Pinus* tropicais em diversas partes do mundo, onde no Brasil, este programa fortaleceu a silvicultura e revelou grande potencial produtivo a partir dos testes de progênes e procedências. Outro, de grande relevância e objetivo similar, é o programa coordenado pelo Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais (CCGMPT).

Embora essas espécies tenham revelado grande potencial produtivo, escassos e incompletos são os estudos relativos à qualidade de sua madeira, sobretudo em relação às propriedades mecânicas. Alguns pesquisadores têm buscado preencher esta lacuna, como por exemplo, Klock (1989, 2000); Moura et al. (2005), Bortolotto (2008), Moraes Neto et al. (2009 a, b) e Florsheim (2010).

Considerando a importância do conhecimento das propriedades da madeira destas espécies para sua correta aplicação às mais diversas finalidades e maior geração de valor econômico ao setor, esse trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de sete espécies de *Pinus* tropicais, compará-las com as propriedades apresentadas pelo *Pinus taeda*, e estabelecer correlações entre massa específica e propriedades mecânicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizadas sete espécies de *Pinus* tropicais: *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*. O *Pinus taeda* foi utilizado como parâmetro de comparação das propriedades, por ser a espécie mais plantada e utilizada industrialmente.

Todas as espécies são provenientes de plantios experimentais com 17 e 18 anos de idade, em espaçamento 2,5 m x 2,5 m, localizados nas regiões de Itararé – SP (24°06'33''S e 49°19'57''W) e Ventania – PR (24°14'45''S e 50°14'34''W). Os plantios pertencem à empresa Valor Florestal e foram instalados a partir de um programa de pesquisa e desenvolvimento em parceria com a Central América and México Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE) e o Centro de Conservação Genética e Melhoria de Pinheiros Tropicais (CCGMPT).

Para avaliação das propriedades propostas neste trabalho foi utilizada a norma COPANT, criada em 1972 com finalidade de estabelecer uma norma panamericana para caracterização de madeiras, tendo como base os conceitos da norma ASTM. Ressalta-se que esta norma engloba procedimentos de amostragem de árvores em campo para caracterização de espécies, diferentemente da norma NBR 7190 que estabelece amostragem por lotes de madeira. Além disso, a opção pela escolha desta norma está associada à caracterizações e avaliações realizadas em outros países onde a CAMCORE instalou seus experimentos, bem como, por apresentar maior visibilidade para comparação de características físicas e mecânicas de madeiras estudadas no mundo inteiro, e no Brasil, cujos acervos de informações obtidos por este método podem ser encontrados junto ao Centro de Pesquisas de Produtos Florestais (CPPF-INPA), Laboratório de Produtos Florestais de Brasília (LPF) e outras universidades.

Foram selecionadas cinco árvores por espécie, de acordo com a amostragem recomendada pela norma COPANT, 1972f, cujas características médias de crescimento são apresentadas na Tabela 1.

As árvores selecionadas foram derrubadas e seccionadas nas posições relativas a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (diâmetro

mínimo 8 cm). Entre cada uma destas posições foi retirada uma tora de 2,6 m, totalizando 4 toras por árvore. Posteriormente foram desdobradas em pranchões e pranchas (10 cm de espessura), seccionadas com 0,65 m de comprimento e larguras que variavam de 4 a 8 cm, dependendo de cada ensaio. O material destinado aos ensaios mecânicos propostos neste trabalho foi seco naturalmente, climatizado até uma umidade de equilíbrio próxima de 12%, sendo então, efetuada a confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova passaram por mais um período de climatização (20° ± 2° C e 65% ± 5%), determinando-se então, a sua massa específica aparente (COPANT, 1972a) e posteriormente a caracterização mecânica segundo os procedimentos recomendados pela Norma COPANT. Os ensaios realizados foram Flexão estática (COPANT 555, 1972b), Compressão paralela às fibras (COPANT, 1972c), Cisalhamento (COPANT, 1972d) e Dureza Janka (COPANT, 1972e), sendo executados em Máquina Universal de Ensaio Emic (DL-30 – 300.000N). Detalhes das etapas de realização deste trabalho podem ser obtidas em Trianoski (2012).

Os dados foram submetidos à análise estatística por meio dos testes de Grubb's Shapiro Wilk's, Bartlett e análise de variância. Quando rejeitada a hipótese de nulidade, foi efetuada a comparação de médias por meio do Teste de Tukey. Foram também realizadas correlações de Pearson entre a massa específica de cada corpo de prova e sua respectiva propriedade mecânica. Todos os testes foram efetuados no Programa *Statgraphics Centurion XVI* (2009), à 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades mecânicas das espécies estudadas.

Tabela 1. Características de crescimento das espécies de *Pinus* tropicais e *Pinus taeda*.

Table 1. Growth characteristics of tropical pines and *Pinus taeda*.

Espécie	Diâmetro médio (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)
<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> ¹	33,16	22,96	26,86
<i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> ¹	34,45	22,54	26,34
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> ²	38,17	22,60	25,28
<i>P. chiapensis</i> ²	48,53	25,00	29,80
<i>P. maximinoi</i> ²	44,26	22,60	27,60
<i>P. oocarpa</i> ²	38,31	21,80	26,72
<i>P. tecunumanii</i> ²	44,40	23,00	26,33
<i>P. taeda</i> (referência) ²	33,95	16,25	18,50

¹: Características para árvores com 17 anos; ²: Características para árvores com 18 anos.

Tabela 2. Resultados médios das propriedades mecânicas e da massa específica aparente (12%) da madeira de espécies de Pinus tropicais e *Pinus taeda*.

Table 2. Mean values of the mechanical properties and wood density (12%) of tropical pines wood and *Pinus taeda*.

Espécie	Flexão Estática		Compressão Paralela às Fibras		Cisalhamento	Dureza Janka	ME ^{Aparente} (12%)
	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	MOR ¹ (MPa)	MOE ² (MPa)	(MPa)	N	g.cm ⁻³
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	65 ab ⁴⁵ (31,23)	7.187 bc ⁴⁵ (39,24)	30 de ⁴⁰ (24,88)	9.189 c ⁴⁰ (45,88)	10,64 bc ¹¹⁶ (15,21)	2.808 bc ⁴⁰ (34,01)	0,491 d ²⁴¹ (15,47)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	58 b ⁴² (28,32)	6.060 c ⁴² (36,61)	28 e ⁴⁰ (21,60)	9.447 c ⁴⁰ (36,42)	9,10 c ⁹⁰ (10,61)	2.153 d ⁴⁰ (14,22)	0,435 e ²⁰⁶ (11,89)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	62 ab ⁴⁵ (22,66)	7.106 bc ⁴⁵ (31,48)	34 bcd ⁴⁰ (18,71)	10.956 bc ⁴⁰ (31,78)	10,49 bc ⁸¹ (19,66)	2.692 bcd ⁴⁰ (20,34)	0,502 d ²⁰⁶ (11,67)
<i>Pinus chiapensis</i>	59 b ⁴⁵ (17,12)	7.293 bc ⁴⁵ (20,36)	33 cde ⁴⁰ (12,72)	10.060 c ⁴⁰ (22,25)	8,72 c ⁸⁶ (19,81)	2.528 cd ⁴⁰ (21,11)	0,435 e ²¹¹ (10,00)
<i>Pinus maximinoi</i>	70 a ⁴⁵ (18,71)	8.943 a ⁴⁵ (24,47)	37 abc ⁴⁰ (20,40)	12.990 ab ⁴⁰ (39,66)	11,37 ab ⁸⁸ (19,21)	3.405 a ⁴⁰ (20,18)	0,533 bc ²¹³ (15,19)
<i>Pinus oocarpa</i>	70 a ⁴⁵ (25,37)	7.993 ab ⁴⁵ (35,71)	39 a ⁴⁰ (23,00)	12.212 abc ⁴⁰ (28,26)	11,95 a ⁶³ (15,89)	3.429 a ⁴⁰ (25,12)	0,552 b ¹⁸⁸ (13,51)
<i>Pinus tecunumanii</i>	71 a ⁴⁵ (16,14)	8.943 a ⁴⁵ (24,47)	39 a ⁴⁰ (22,39)	14.049 a ⁴⁰ (35,03)	11,42 ab ⁷² (16,85)	3.410 a ⁴⁰ (24,58)	0,577 a ¹⁹⁸ (13,35)
<i>Pinus taeda</i>	64 ab ⁴⁰ (23,74)	8.234 ab ⁴⁰ (28,23)	37 abc ³⁸ (19,07)	12.432 abc ³⁸ (28,82)	10,52 bc ⁵⁷ (14,57)	3.162 ab ³⁷ (24,62)	0,527 c ¹⁷² (14,59)

¹Módulo de Ruptura; ²Módulo de Elasticidade; ME aparente: Massa específica aparente a 12%; Médias seguidas de mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey em 5% de probabilidade de erro; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de Variação; Valores sobrescritos indicam o número de corpos de prova ensaiados.

Verifica-se que o maior valor médio do módulo de ruptura à flexão estática foi obtido a partir do *Pinus tecunumanii*, onde esta espécie apresentou diferença estatística significativa apenas em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea* e ao *Pinus chiapensis*. Não foi evidenciada diferença estatística significativa entre o *Pinus taeda*, utilizado como parâmetro de referência, e as espécies de Pinus tropicais. Para o módulo de elasticidade a flexão, observa-se também que o *Pinus tecunumanii*, juntamente com o *Pinus maximinoi*, apresentaram os maiores valores médios, diferindo estatisticamente do *Pinus chiapensis* e das três variedades de *Pinus caribaea*. Para esta propriedade é evidenciada diferença estatística significativa entre o *Pinus taeda* e uma das espécies de Pinus tropicais, o *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

No ensaio de compressão paralela às fibras pode ser notado que as espécies de Pinus tropicais: *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa* e *Pinus maximinoi*, juntamente com o *Pinus taeda* apresentaram os maiores valores médios tanto para o módulo de ruptura como para o módulo de elasticidade, não diferindo estatisticamente entre si. Já as variedades de *Pinus caribaea* e o *Pinus chiapensis* apresentaram-se os menores valores médios, constituindo classes de resistência e rigidez mais baixas.

Em relação à resistência ao cisalhamento, o *Pinus oocarpa* apresentou o maior valor médio, no entanto, não apresenta diferença

estatística em relação às espécies *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi*. Em comparação com o *Pinus taeda*, apenas a primeira espécie é estatisticamente superior à espécie de referência, e as demais apresentaram resultados médios estatisticamente iguais.

Para a propriedade de dureza, novamente observa-se que as espécies *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus maximinoi* apresentaram os maiores resultados médios, sendo estatisticamente iguais à espécie utilizada como referência. Já as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus chiapensis* foram as que demonstraram o menor valor médio, sendo as únicas estatisticamente inferiores ao *Pinus taeda*.

De maneira geral, os valores médios de resistência e rigidez mais elevados encontrados nas espécies *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* são explicados pela maior massa específica das mesmas. Segundo Koch (1972) a massa específica influencia acentuadamente as propriedades mecânicas, estando linearmente relacionada com o módulo de ruptura, módulo de elasticidade, resistência a compressão paralela e cisalhamento. Kollmann (1959) complementa relatando que não existem dúvidas de que a resistência da madeira depende da massa específica, no entanto, é bastante difícil quantificar esta dependência, tendo em vista a influência simultânea de outros fatores.

Em termos de comparação entre espécies e com a espécie utilizada como parâmetro de referência, pode-se dizer que o *Pinus tecunumanii*, o *Pinus oocarpa* e o *Pinus maximinoi* se apresentam como de resistência mecânica similar ou superior à espécie tradicionalmente plantada e utilizada pela indústria madeireira da região Sul, as quais podem ser agrupadas em uma classe superior. Já as três variedades de *Pinus caribaea* e o *Pinus chiapensis* formam uma classe inferior, podendo ser utilizadas em produtos que requeiram menor resistência mecânica ou não estruturais.

Comparando os resultados obtidos no presente trabalho com resultados apresentados por outras pesquisas, notou-se que para a espécie *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, a literatura apresenta valores de 13,57 MPa a 113,74 MPa para módulo de ruptura e 934,00 MPa a 23.852,70 MPa para módulo de elasticidade à flexão estática, a partir de material proveniente de plantios com idade de 16 e 30 anos (FLORSHEIM, 2010). Pode-se observar que os resultados encontrados neste trabalho são similares aos determinados por essa autora e que as diferenças podem ser justificadas por aspectos inerentes a diferença de idade, procedência e amostragem.

Em relação à espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, os resultados encontrados foram de 85,30 MPa para o MOR e 9.162 MPa para o MOE à flexão estática, 41,40 MPa para o MOR à compressão paralela, cisalhamento de 11,10 MPa e dureza de 3.433 N para as faces laterais e 4.120 N para a face longitudinal (BANKS, 1977). Observa-se que os resultados obtidos por este autor são superiores ao deste trabalho, sendo justificados provavelmente pela maior massa específica (0,546 g/cm³-12%).

Já para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a literatura apresenta um número maior de pesquisas, podendo-se citar as realizadas por Banks (1977), Klock (1989) e Moraes Neto et al. (2009a). Segundo os experimentos conduzidos por esses autores, os valores médios dos ensaios de flexão estática, compressão paralela, cisalhamento e dureza Janka são compatíveis aos encontrados nesse trabalho considerando as particularidades de cada um em termos de idade, local e condições de crescimento.

Em relação ao *Pinus maximinoi* a literatura descreve valores médios de 66,07 MPa e 8.336,90 MPa para MOR e MOE à flexão, 24,12 MPa e 6.867 MPa para MOR e MOE à compressão paralela, 10,04 MPa para cisalhamento e dureza média de 2.723 N, a partir de árvores de 10 anos (KLOCK, 2000). Nota-se que os re-

sultados são inferiores ao do presente trabalho, onde essa diferença é atribuída exclusivamente à idade, e conseqüentemente às diferenças entre lenho juvenil e adulto, já que as árvores utilizadas nos dois estudos são oriundas do mesmo sítio de crescimento.

Em referência a espécie *Pinus oocarpa*, os resultados encontrados foram de 60,84 MPa e 7.404,12 MPa e 67,69 MPa e 10.028,72 MPa para o MOR e MOE a flexão em árvores de 14 e 18 anos, respectivamente. Já para o MOR e o MOE à compressão paralela, os resultados foram de 34,76 MPa e 7.893,32 MPa, e, 38,29 MPa e 9.730,16 MPa para as respectivas idades (KLOCK, 1989). Em relação aos resultados obtidos por este autor, nota-se resultados similares para ambas as idades, onde as diferenças encontradas podem ser consideradas como resultantes da idade e da amostragem.

Para o *Pinus tecunumanii*, a literatura indica valores de 72 MPa e 8.239 MPa para MOR e MOE a flexão, respectivamente, resistência a compressão de 36 MPa e cisalhamento de 9,1 MPa a partir de árvores com 23 anos (MORAES NETO et al., 2009b). Já Moura et al., (2005) obtiveram valores de 69 MPa e 8.466 MPa, respectivamente para MOR e MOE à flexão, 31 MPa para resistência a compressão e cisalhamento de 9,81 MPa, a partir de árvores com 18 anos. Observa-se em relação a estas duas pesquisas, que os valores obtidos são similares entre si, e que os fatores idade e condições de crescimento não afetaram acentuadamente as propriedades mecânicas, gerando elevadas diferenças de valores.

Correlações entre propriedades mecânicas e massa específica

Na Tabela 3 são apresentadas as relações existentes entre massa específica e propriedades mecânicas à 12% da espécies estudadas.

Em relação aos coeficientes de correlações obtidos entre massa específica e propriedades mecânicas, nota-se resultados bastante satisfatórios, sendo verificadas, para a maioria dos casos, correlações significativas elevadas. Esses resultados são compatíveis com as afirmações de Evans (2000) e Dias e Lahr (2004), que afirmaram que as propriedades mecânicas são linearmente relacionadas com a massa específica. Haselein et al. (2002) complementaram afirmando que existe uma estreita relação entre a massa específica e as propriedades mecânicas, sendo que, qualquer fator que acarrete alteração na primeira irá produzir efeitos nas últimas.

Tabela 3. Correlações existentes entre massa específica e propriedades mecânicas.
Table 3. Correlations between density and mechanical properties.

Espécie	Flexão Estática		Compressão		Cisalhamento	Dureza
	MOR	MOE	MOR	MOE		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	0,72	0,71	0,94	0,74	0,71	0,95
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,49	0,49	0,79	0,76	0,48	0,48
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,34	0,06 ^{ns}	0,71	0,47	0,70	0,91
<i>Pinus chiapensis</i>	0,86	0,44	0,08 ^{ns}	0,63	0,84	0,94
<i>Pinus maximinoi</i>	0,78	0,54	0,54	0,35	0,69	0,86
<i>Pinus oocarpa</i>	0,75	0,72	0,81	0,73	0,79	0,93
<i>Pinus tecunumanii</i>	0,76	0,70	0,85	0,60	0,69	0,94
<i>Pinus taeda</i>	0,89	0,88	0,87	0,81	0,79	0,93

^{ns} Valores não significativos em 5% de probabilidade de erro. Todos os demais valores são significativos em 5% de probabilidade de erro.

Comparando com outras pesquisas reportadas na literatura, verifica-se que os valores encontrados neste trabalho são similares ou superiores aos descritos por Pearson e Gilmore (1980) que avaliando as propriedades de *Pinus taeda*, obtiveram coeficientes de correlações entre massa específica e módulos de ruptura e elasticidade de 0,81 a 0,89; por Klock (1989) que estudando a qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* obteve correlações entre 0,62 a 0,78 também para massa específica e módulos de ruptura e elasticidade à flexão estática; por Klock (2000) que encontrou coeficientes de 0,54 a 0,88 entre massa específica e as propriedades de flexão estática, compressão paralela, cisalhamento e dureza, a partir da caracterização da madeira de *Pinus maximinoi* com 10 anos de idade.

Comparando-se ainda com o trabalho realizado por Dias e Lahr (2004), verifica-se que esses autores, estudando 40 espécies de madeiras tropicais obtiveram coeficientes de determinação de 0,62 a 0,92 entre massa específica e propriedades mecânicas, em que os melhores coeficientes foram encontrados a partir da massa específica e a propriedade de dureza, como neste trabalho.

CONCLUSÕES

A madeira das espécies *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa* e *Pinus maximinoi*, apresentaram os maiores valores médios de propriedades mecânicas, sendo, entre as espécies de Pinus tropicais, as mais indicadas para aplicações que requeram maior resistência e rigidez.

As três variedades de *Pinus caribaea* juntamente com o *Pinus chiapensis* foram as espécies que apresentaram os menores valores médios, podendo ser agrupadas em uma classe de resistência inferior.

As espécies de Pinus tropicais demonstraram elevado potencial e em grande parte dos casos excelentes propriedades, muitas vezes superior à madeira de *Pinus taeda*, podendo ser aplicadas em diversas finalidades como matéria prima complementar ou substituta da madeira das espécies *Pinus* spp. tradicionalmente utilizadas pelas indústrias madeireiras.

Os coeficientes de correlação entre massa específica e propriedades mecânicas apresentaram, na maioria dos casos, valores superiores a 0,70, indicando a forte relação entre as propriedades estudadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à Valor Florestal pela concessão de uso dos plantios experimentais, ao CNPq pela bolsa de estudos no início do doutorado da primeira autora, e ao IPEF pelas informações referentes ao CCGMPT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, C. H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*. *South African Forestry Journal*, Pretoria, n. 102, p. 1-7, 1977.

BORTOLETTO, G. Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 237-243, 2008.

COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 461: Metodo de determinación del peso específico aparente. 1972a.

COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 455: Metodo de ensayo de flexion estatica. 1972b.

- COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 464: Metodo de determinación de la compresión parallel al grano.1972c.
- COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 463: Metodo de determinación del cizallamiento paralelo al grano. 1972d.
- COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 465: Metodo de determinación de la dureza.1972e.
- COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 458: Selección y colección de muestras.1972f.
- DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.65, p.102-113, 2004.
- EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile Wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Products Journal*, Madison, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.
- FLORSHEIM, S. M. B. **Curvas de isopropriedades da madeira de árvores de *Pinus caribaea* var. *bahamensis***. 2010. 225 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; LUCIA, R. M. D.; SARTORIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.
- HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.; LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p.147-152. 2002.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus maximinoi*** H. E. Moore. 2000. 291 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*** Barr e Golf. 1989. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- KOCH, P. **Utilization of the Southern pines**. Washington: USDA Forest Service, 1972. 2 v.
- KOLLMANN, F. F. P. **Tecnologia de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera.1959. 647 p.
- LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** 1997. 101 p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O. Caracterização da madeira de cinco procedências de *Pinus tecunumanii* implantadas no Cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Brasília, n. 233, 2009b, 30 p.
- MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O.; VALE, A. T.; SOUZA, M. R. Propriedades mecânicas de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Brasília, n. 251, 2009a, 20 p.
- MOURA, V. P. G.; VALE, A. T.; OLIVEIRA, I. R. M. Caracterização física e mecânica da madeira de *Pinus tecunumanii* com vistas à produção de móveis. **Circular Técnica EMBRAPA/CENARGEN**, Brasília, n. 43, p. 1-10, 2005.
- NAHUZ, M. A. R. Atividades industriais, usos e aplicações de madeiras no Brasil com ênfase em *Pinus* e *Eucalyptus*. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal**. Jerônimo Monteiro, 2007. p. 159-208.
- PEARSON, R. G., GILMORE, R. C. Effect of fast growth rate on mechanical properties of Loblolly pine. *Forest Products Journal*, Madison, v. 30, n. 5, p. 47-54, 1980.
- SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 223 p.

SILVA, J. C. A atividade moveleira no Brasil. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro.** Jerônimo Monteiro, 2007. p. 367-420.

STATGRAPHICS. **Centurion XVI.** User Manual. by StatPoint Technologies, Inc. 2009. Disponível em: <<http://www.statgraphics.com/main.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2013.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** 2012. 553 p. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Recebido em 26/04/2013
Aceito para publicação em 12/12/2013