SCIENTIA
FORESTALIS

Qualificação da madeira de três espécies de coníferas oriundas de reflorestamentos jovens

Qualification of the wood of three different kinds of conifers found in young plantations

Rafael de Avila Delucis[1], Darci Alberto Gatto[2], Diego Martins Stangerlin[3], Rafael Beltrame[2] e Rômulo Trevisan[4]

Resumo

Esse estudo foi conduzido com o objetivo de qualificar a madeira das espécies de *Pinus elliottii, Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, oriundas de plantios jovens, por meio de critérios visuais e de algumas propriedades físico-mecânicas. Para tanto, foram determinados: número de nós por m², proporção de nós, diâmetro de nós, distância entre número de nós mortos, número de anéis de crescimento, número de anéis de crescimento por polegada com e sem medula, porcentagem de lenho tardio, massa específica aparente a 12% de umidade e os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) a flexão estática. Foram ajustados modelos lineares para predição das principais propriedades físico-mecânicas. De modo geral, a madeira de *Araucaria angustifolia* apresentou melhores características do que as madeiras do gênero *Pinus*, tendo em vista a incidência de nós e as propriedades físico-mecânicas, exceto pela massa específica aparente a 12%, que não diferiu significativamente entre as espécies. Genericamente, as madeiras de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda* apresentaram propriedades físico-mecânicas semelhantes. No entanto, a madeira de *Pinus elliottii* apresentou maior porcentagem de lenho tardio e menor número de anéis de crescimento por polegada do que a madeira de *Pinus taeda*.

Palavras-chave: Massa específica, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, classificação da madeira.

Abstract

This study was conducted with the objective of qualifying the wood of *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* and *Araucaria angustifolia* from young plantations through visual criteria and some physical and mechanical properties. We determined: the number of knots per m²; knot proportions; knot diameters; distance between number of dead knots; number of growth rings; number of growth rings per inch with and without pith; late wood percentage; apparent specific mass at 12% moisture content; modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) in bending. Linear models were adjusted for prediction of the main physical and mechanical properties. In general, the wood of *Araucaria angustifolia* presented better characteristics than woods of the genus *Pinus*, considering the incidence of knots and physical-mechanical properties, except for apparent specific mass at 12%, which did not differ significantly between species. Generically, the wood of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* presented similar physical and mechanical properties. However, the wood of *Pinus elliottii* presented the highest percentage of late wood and fewer growth rings per inch than wood of *Pinus taeda*.

Keywords: Specific gravity, rupture modulus, Young's modulus, wood classification.

INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1940 e 1950, depois da escassez da madeira da única conífera nativa com importância econômica, a Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), foram introduzidas espécies exóticas do gênero *Pinus*, principalmente na região sul do Brasil. As que melhor se adaptaram às condições climatológicas foram: *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda L.*.

[1]Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais. UFPel - Universidade Federal de Pelotas, CDTec - Centro de Desenvolvimento Tecnologico. Rua Conde de Porto Alegre, 793, 96010-290, Pelotas, RS. E-mail: r.delucis@hotmail.com

[2]Doutor em Engenharia Florestal. Professor Adjunto do curso de Engenharia Industrial Madeireira. UFPel - Universidade Federal de Pelotas, CENG - Centro de Engenharias. Rua Conde de Porto Alegre, 793, 96010-290, Pelotas, RS, E-mail: darcigatto@yahoo.com, beltrame.rafael@yahoo.com

[3]Doutor em Ciências Florestais. Prof. Adjunto do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, 78550-000, Sinop, MT, Brasil. E-mail: stangerlin@cpd.ufmt.br

[4]Doutor em Engenharia Florestal. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Floretais. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen. 98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil. E-mail: romulo_trevisan@yahoo.com.br

A utilização da madeira de Pinus é mais adequada do que a de espécies nativas, pois em sua maioria são oriundas da região norte do Brasil, dessa forma apresenta vantagens em razão dos menores custos logísticos e de processamento. Em comparação a outras espécies exóticas, como as do gênero *Eucalyptus*, o Pinus logra vantagem econômica, em decorrência das problemáticas de qualidade.

No entanto, para o correto emprego dessa madeira se faz necessária a completa elucidação de seus parâmetros tecnológicos. Dentre as possibilidades de utilização que demandam esse conhecimento consolidado, têm destaque às peças confeccionadas com *Pinus* utilizadas para fins estruturais que por esse motivo quando solicitadas, precisam corresponder com segurança.

Na caracterização de seu comportamento mecânico faz-se necessário que sejam levadas em consideração algumas propriedades físicas, químicas e anatômicas, já que são as mesmas que dão origem a essa resistência mecânica. Nesse sentido, têm destaque características como: a massa específica, a geometria dos traqueídeos, a inclinação das microfibrilas da camada S2, o tipo de lenho e os conteúdos de lignina e celulose (PANSHIN e DE ZEEW, 1970; LARSON, 1973).

Abordando a silvicultura, as propriedades físicas e mecânicas da madeira de coníferas como as do gênero *Pinus* podem variar em razão do sítio (profundidade, fertilidade, estrutura do solo, etc.), tratos silviculturais, origem (florestas plantadas ou nativas) e tipo de povoamento (HASELEIN et al., 2000).

No cenário industrial brasileiro a incidência de defeitos naturais nessas espécies de coníferas são largamente enunciadas em trabalhos científicos em decorrência do manejo inadequado dos povoamentos florestais existentes. Dentre esses defeitos detectados visualmente, a proporção e a localização de nodosidades são determinantes na qualificação da resistência mecânica com vistas à classificação desse material (KRETSCHMANN, 2010; CADEMARTORI et al., 2012).

A classificação de madeiras no Brasil é dificultada pelo grande número de espécies florestais e pelos métodos incompletos de classificação. Para madeiras de coníferas existem os procedimentos descritos na Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 12498 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1991c), que prevê a avaliação de defeitos provenientes do desdobro, na NBR 12297 (ABNT, 1991b) que avalia os defeitos naturais e de secagem, na NBR 11700 (ABNT, 1991a) que prevê a classificação da madeira em cinco grupamentos conforme os critérios: defeitos naturais e de secagem e na NBR 7190 (ABNT, 1997) que prevê as recomendações e determinações para ensaios mecânicos para a qualificação da madeira visando seu emprego para fins estruturais.

Esse trabalho tem como objetivo realizar a qualificação da madeira das espécies de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* oriundas de reflorestamentos jovens por meio de critérios visuais e de algumas propriedades físicas e mecânicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem e confecção das amostras

As amostras para realização do trabalho foram procedentes da empresa ARAUPEL S.A., localizada em Quedas do Iguaçu, no Estado do Paraná, e foram obtidas a partir do sorteio de um talhão de cada uma das espécies estudadas (*Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*), abrangendo a maior representatividade dos crescimentos das mesmas na região.

As espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* sofreram apenas um desbaste e no momento da derrubada tinham 13 anos de idade. Já o povoamento de *Araucaria angustifolia* possuía 19 anos de idade e havia sofrido dois desbastes. Nesse contexto, cabe ressaltar que as idades das madeiras avaliadas indicam que sua constituição não apresentava formação de lenho adulto, já que para coníferas como as do gênero *Pinus* e *Araucaria* essa formação ocorre aproximadamente a partir 17 e 20 anos, respectivamente (ROLIM e FERREIRA, 1974; PALERMO et al., 2013).

Em cada um dos talhões sorteados foram medidos os diâmetros à altura do peito (DAP; 1,3 m) de todas as árvores, determinando-se a média aritmética ($\overline{X}$) e o desvio padrão (DP), sendo os dados extraídos de um inventário florestal. Com base nesses dados retornou-se a campo e foram identificadas as árvores de boa forma florestal, que estavam na faixa (DAP= $\overline{X}$ ± DP) mais próxima do ponto de amostragem previamente determinado. Dessas foram sorteadas cinco árvores de cada espécie conforme o procedimento D5535-94 da American Society of Testing and Materials - ASTM (1995b). Em conformidade com as prescrições normativas respectivas a essa norma, cinco árvores configuram uma suficiência amostral representativa para o estudo de uma espécie qualquer. Nesse contexto outros autores com ob-

jetivos semelhantes ao do presente estudo selecionaram cinco árvores ou menos (SANTINI et al., 2000; VALE et al., 2009; MELO et al., 2010).

As árvores foram derrubadas e transformadas em toras de 2,5m de comprimento, as quais foram sorteadas conforme o procedimento D143 da ASTM (1995a). Na serraria da empresa retirou-se um pranchão central (centrado pela medula e orientado no sentido longitudinal) de 8 cm de espessura. Posteriormente, os pranchões foram submetidos à secagem ao ar livre, até atingirem o teor de umidade de equilíbrio do ambiente, entre 15 a 20%.

Qualificação visual

Os pranchões centrais de cada espécie estudada foram avaliados de acordo com as prescrições normativas previstas pela Southern Pine Inspection Bureau (SPIB, 1994), quanto às seguintes características: número de nós por m^2; proporção de nós; diâmetro de nós; distância entre número de nós mortos; número de anéis de crescimento; número de anéis de crescimento por polegada com e sem medula; porcentagem de lenho tardio.

Qualificação físico-mecânica

A partir dos pranchões foram confeccionados corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 41 cm (espessura x largura x comprimento), conforme o procedimento D143 da ASTM (1995a), obtendo-se quatro repetições para cada uma das cinco toras, perfazendo um total de 20 corpos de prova por espécie.

Após a confecção dos corpos de prova, esses foram condicionados em uma câmara climatizada (20°C de temperatura e 65% de umidade relativa) até o momento que apresentassem teor de umidade de equilíbrio de 12%. Os corpos de prova foram pesados em balança eletrônica (resolução de 0,01g) e medidos com auxílio de paquímetro digital (resolução de 0,01 mm). Dessa forma, a partir desses dados foi calculada para cada corpo de prova a massa específica aparente a 12%.

Para a qualificação mecânica da madeira realizou-se ensaio mecânico de flexão estática, com um ponto central de aplicação de carga, de maneira a obter os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR). A máquina de ensaios universal foi calibrada a uma velocidade de deformação de 1,3 $mm.min^{-1}$ e o vão foi ajustado em 360 mm, de acordo com procedimentos D143 da (ASTM, 1995a).

Adicionalmente, contou-se o número de anéis de crescimento e sua porcentagem de lenho tardio, esse último não foi realizado para a madeira de *Araucaria angustifolia* devido à transição gradativa do lenho inicial para o tardio o que dificulta essa contabilização.

Análise Estatística

Para o tratamento dos dados foi empregado um delineamento experimental inteiramente casualizado. Para avaliar o efeito do fator espécie na variabilidade das propriedades número de anéis de crescimento (NºA), MOE e MOR, foram aplicadas análises de variância simples (ANOVA). Quando constatada a rejeição da hipótese de nulidade, foram aplicados testes de comparação de médias *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher com níveis de probabilidade de erro de 1 e 5%.

Para a estimativa das propriedades, massa específica aparente a 12% (ME), MOE e MOR por variáveis de avaliação mais simplificada, foram gerados modelos lineares por meio de análises de regressão simples. Para estimar a ME, os parâmetros obtidos na qualificação visual foram utilizados como variáveis independentes para o ajuste dos modelos, selecionando-se o número de anéis de crescimento (NºA) e a porcentagem de lenho tardio (LT) em razão da precisão de ajuste. Da mesma forma, para estimar o MOE e o MOR, foram ajustados modelos lineares utilizando-se como variáveis independentes o NºA e a ME.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualificação visual da madeira

Na Tabela 1, observam-se algumas diferenças qualitativas entre os gêneros *Pinus* e *Araucaria*. Em relação aos nós, pode ser verificada melhores características para a madeira de *Araucaria*, considerando que a presença de nós é um fator negativo para a qualificação da madeira. Todas as características relativas aos nós (número de nós por m^2, proporção de nós, diâmetro de nós e distância entre nós) mostram que o gênero *Araucaria* possui melhor qualificação em relação ao gênero *Pinus*, à exceção do número de nós mortos, onde a *Araucaria angustifolia* iguala-se ao *Pinus elliottii*.

A comparação das duas espécies do gênero *Pinus* permite verificar que, apesar do *Pinus taeda* apresentar maior número de nós por unidade de área e ocupar maior proporção de área da peça de madeira em relação ao *Pinus elliottii*, o diâmetro dos nós é menor e a distância entre eles é maior. Isso ocorre, provavelmente, devido

Tabela 1. Valores médios das características visuais avaliadas para as três espécies de coníferas.
Table 1. Mean values of visual characteristics evaluated for the three species of softwoods.

Propriedade	PT	PE	AA
Número de nós por m² (unid.)	47	41	31
Proporção de nós (%)	3,6	3,1	1,1
Diâmetro de nós (cm)	2,7	2,9	1,9
Distância entre nós (cm)	37,7	34,1	48,4
Número de nós mortos (unid.)	4	3	3
Nº de anéis de crescimento (unid.)	11	10	13
Nº de anéis de crescimento por polegada com medula (unid.)	3	3	4
Nº de anéis de crescimento por polegada sem medula (unid.)	3	3	4
Porcentagem de lenho tardio	26,4	29,0	14,1

Em que: PE= *Pinus elliottii*; PT= *Pinus taeda*; AA= *Araucaria angustifolia*.

à existência de vários nós em uma mesma posição do tronco. Além disso, o número de nós mortos também é maior para o *Pinus taeda*, o que é considerado depreciativo na qualificação da madeira.

Em seu estudo, Cademartori et al. (2012), avaliando toras de *Pinus elliottii* com idades entre 28 e 32 anos, verificaram uma menor incidência média de nós comparada ao presente estudo (22,63 nós.m^{-2} para madeira verde e 23,38 nós.m^{-2} para madeira seca). Os mesmos autores sugeriram um plano de manejo florestal como medida preventiva à incidência de defeitos naturais como a nodosidade.

Em relação à massa específica visual (SPIB, 1994), por meio do número de anéis de crescimento por polegada e da porcentagem de lenho tardio, pode-se afirmar que ambos os gêneros podem ser considerados de madeira leve, pois apresentam menos de seis anéis por polegada.

Em relação à porcentagem de lenho tardio, verifica-se que o gênero *Araucaria* enquadra-se como madeira extremamente leve, com menos do que 15% de lenho tardio (SPIB, 1994). Ao comparar as duas espécies de Pinus, o *Pinus elliottii* apresenta-se com massa específica ligeiramente maior que o *Pinus taeda*, em razão da maior porcentagem de lenho tardio.

Em seu estudo utilizando-se a metodologia de classificação visual, Carreira e Dias (2005) ressaltaram como principais vantagens do método o baixo custo, a elevada eficácia, o pequeno número de pessoas envolvidas na tarefa (duas pessoas) e a satisfatória relação volume de material analisado e o tempo requerido para a análise (7m³ em dois dias).

Qualificação por meio de ensaios mecânicos

Ao analisar o número de anéis de crescimento por polegada nos corpos de prova confeccionados para os ensaios mecânicos pode-se observar que há diferença significativa em nível de 95% entre as três espécies de coníferas utilizadas nos ensaios de flexão estática, com um desvio padrão total (desvio padrão do conjunto de dados das três espécies) de 1,2 anéis.pol^{-1}. Os intervalos de confiança para *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* foram respectivamente: $IC_{95\%}$(2,2; 3,0); $IC_{95\%}$(3,0; 3,9); $IC_{95\%}$(3,1; 3,9).

Na Tabela 2, pode-se observar que há um menor número de anéis de crescimento por polegada para *Pinus elliottii* em relação às espécies de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*. Isso indica que, provavelmente, a madeira de *Pinus elliottii* apresenta uma menor massa específica em relação às demais espécies.

Tabela 2. Teste de médias para o número de anéis de crescimento por polegada entre as três espécies de coníferas.
Table 2. Test averages for the number of growth rings per inch between the three species of softwoods.

Espécie	Média (anéis)	
PT	3,4	a
PE	2,6	b
AA	3,5	a

Em que: PE= *Pinus elliottii*; PT= *Pinus taeda*; AA= *Araucaria angustifolia*. Valores seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher.

O número de anéis de crescimento não é um indicador determinante para a avaliação das propriedades mecânicas da madeira. Para a madeira de coníferas, quanto mais largos os anéis, menor é a proporção de lenho tardio, assim menor é sua massa específica e a resistência mecânica (MORESCHI, 2005).

A análise de variância da proporção de lenho tardio indica que não há diferença significativa ao nível de 95% (F= 0,9; P= 0,3440) entre as espécies de *Pinus* quando analisados os corpos de prova de flexão estática. As médias foram de 41% para *Pinus elliottii* e 36% para *Pinus taeda*, enquanto os intervalos de confiança foram res-

pectivamente de $IC_{95\%}$(35; 46) e $IC_{95\%}$(30; 41). Resultados semelhantes em termos de médias foram encontrados por Haselein et al. (2000) avaliando povoamentos de *Pinus elliottii* com 30 anos de idade (37% de lenho tardio).

Para a massa específica aparente a 12% de umidade verificou-se com a análise de variância que não há diferença significativa ao nível de 95% entre as espécies (F= 0,73; P= 0,4875). As médias foram de 0,43 g.cm^{-3} para *Pinus elliottii*, 0,44 g.cm^{-3} para *Pinus taeda* e 0,45 g.cm^{-3} para *Araucaria angustifolia*, por sua vez os intervalos de confiança foram respectivamente de $IC_{95\%}$ (0,41; 0,44), $IC_{95\%}$(0,42; 0,46) e $IC_{95\%}$(0,43; 0,46).

O valor médio de 0,45 g.cm^{-3} para a madeira de *Araucaria angustifolia* gerou contradição de resultados quando comparada com a massa específica obtida pelo método visual, pois esse valor de massa específica não pode ser considerado de uma madeira extremamente leve como o critério visual atribuiu (SPIB, 1994). Dessa forma, pode-se verificar que embora o critério visual, que leva em conta a proporção de lenho tardio, possa qualificar seguramente a madeira de Pinus, não pode ser utilizado para a madeira de *Araucaria angustifolia*, pois a transição do lenho inicial para o tardio se faz gradativamente tornando difícil essa quantificação.

Valores médios similares foram evidenciados por alguns autores. Haselein et al. (2000) encontraram 0,42 g.cm^{-3} e 0,51 g.cm^{-3} para a madeira de *Pinus elliottii*. Melo et al. (2010) avaliando um povoamento de aproximadamente 50 anos obtiveram valores de 0,39 g.cm^{-3} para o lenho juvenil e 0,48 g.cm^{-3} para o lenho adulto. Já Mattos et al. (2011), em um estudo que ocorreu em povoamentos com idades entre 12 e 18 anos, encontraram 0,46 g.cm^{-3} para madeira de *Pinus elliottii*, 0,45 g.cm^{-3} para madeira de *Pinus taeda* e 0,45 g.cm^{-3} para madeira de *Araucaria angustifolia*.

A partir dos modelos de regressão, verificou-se que os parâmetros de número de anéis de crescimento por polegada e proporção de lenho tardio permitem estimar a massa específica aparente a 12% de umidade das três espécies de coníferas (Tabela 3).

A massa específica é influenciada entre outros fatores pela largura dos anéis de crescimento e mais ostensivamente pela proporção de lenho tardio. A variabilidade entre lenhos inicial e tardio é mais pronunciada em coníferas, no sentido base-topo há um decréscimo, no sentido medula-casca há um acréscimo (KOLLMANN e CÔTÉ, 1968).

Pode-se observar que à medida que aumenta o número de anéis de crescimento por polegada de espessura aumenta também a massa específica, sendo que para o povoamento de *Pinus taeda* o coeficiente de determinação do modelo denotou-se mais elevado.

Por meio da análise de variância para o MOE (F= 11 e P= 0,0001), pode-se afirmar que há diferença significativa entre as três espécies de coníferas com desvio padrão total de 2.379,29 MPa. Os intervalos de confiança para *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* foram respectivamente: $IC_{95\%}$(6410,41; 7959,47); $IC_{95\%}$(5022,18; 6659,8); $IC_{95\%}$(8800,29; 10349,35).

Tabela 4. Teste de médias para o MOE entre as três espécies de coníferas.
Table 4. Test averages for the MOE between the three species of softwoods.

Espécie	Média (MPa)	
PE	5.840,94	a
PT	7.184,94	a
AA	9.574,82	b

Em que: Valores seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher; PE= *Pinus elliottii*; PT= *Pinus taeda*; AA= *Araucaria angustifolia*.

Na Tabela 4, pode-se observar que a *Araucaria angustifolia* apresentou um maior valor médio de MOE e diferente significativamente em

Tabela 3. Modelos de regressões para estimativa da massa específica aparente a 12% de umidade em função do número de anéis de crescimento por polegada e da proporção de lenho tardio.
Table 3. Regression models for apparent specific mass 12% humidity moisture content of the species in the number of growth rings and proportion of late wood.

Espécies	Equação	$R^2_{aj.}$%	S_{yx}	F	P
PE	ME= 0,298093+0,0488097*NºA	65	0,03	34	0,0001
PT	ME= 0,328061+0,033007*NºA	75	0,03	48	0,0001
AA	ME= 0,324843+0,0357946*NºA	35	0,04	11	0,0045
PE	ME= 0,308299+0,00288969*LT	75	0,03	57	0,0001
PT	ME= 0,31197+0,00364372*LT	59	0,04	24	0,0002

Em que: PE= *Pinus elliottii*; PT= *Pinus taeda*; AA= *Araucaria angustifolia*; ME= massa específica (g cm^{-3}); NºA= número de anéis; LT= lenho tardio (%); R^2aj=coeficiente de determinação ajustado; Syx= erro médio padrão; F= fator F calculado; P= nível de probabilidade de erro.

relação ao *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Tal madeira apresenta maior MOE provavelmente devido a características químicas e anatômicas, pois seu número de anéis de crescimento não foi significativamente maior do que o de *Pinus taeda*, embora tenha sido maior do que o da madeira de *Pinus elliottii*.

Com relação à análise de variância para o MOR, pode-se afirmar que não há diferença significativa ao nível de 95% (F= 3; P= 0,0733) entre as três espécies de coníferas no ensaio de flexão estática. As médias foram de: 54,42 MPa para *Pinus elliottii*, 54,52 MPa para *Pinus taeda* e 63,05 MPa para *Araucaria angustifolia*, com um desvio padrão total de 12,94 MPa. Os intervalos de confiança para *Pinus elliottii, Pinus taeda e Araucaria angustifolia* foram $IC_{95\%}$(50,21; 58,64); $IC_{95\%}$(50,01; 58,94); $IC_{95\%}$(58,84; 67,27), respectivamente

O número de anéis de crescimento e a massa específica apresentam correlações entre si e estas também podem influenciar na resistência a flexão estática (MOE e MOR). Pela análise de regressão linear simples foi possível definir a relação funcional entre as características de resistência a flexão estática com o número de anéis de crescimento e a massa específica (Tabela 5).

Os modelos de regressão definidos (Tabela 5) indicam que à medida que aumenta o número de anéis de crescimento e/ou a massa específica, também aumenta o módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) das espécies. Assim, como no presente estudo, Melo et al. (2010) encontraram correlações significativas do número de anéis de crescimento por área e da massa específica com o MOE e o MOR de flexão estática na madeira de povoamentos de *Araucaria angustifolia* com aproximadamente 50 anos de idade.

Conforme Latorraca e Albuquerque (2000) as propriedades mecânicas da madeira variam quando comparadas entre lenhos juvenil e adulto e inicial e tardio, no entanto massa específica não é principal parâmetro para explicar essa comparação. Nesse contexto, os mesmos autores destacaram os ângulos fibrilares dos traqueídeos como maiores responsáveis.

Os valores de resistência mecânica da madeiras estudadas no presente estudo estão aproximados daqueles de madeira adulta publicados pela literatura (HASELEIN et al., 2000; CARREIRA e DIAS, 2005; MELO et al., 2010). Nesse contexto, a madeira de *Araucaria angustifolia* genericamente apresentou melhores características do que a madeira das espécies do gênero *Pinus* estudadas, tanto do ponto de vista da ocorrência de defeitos naturais, como em relação as suas propriedades físico-mecânicas. Na comparação entre as madeiras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* não foram verificadas diferenças marcantes, dessa forma pode-se indicar que tais madeiras em termos de seus defeitos naturais e propriedades físico-mecânicas podem ser indicadas em usos semelhantes.

Tabela 5. Modelos de regressões para MOE e MOR das espécies em função do número de anéis de crescimento e massa específica.
Table 5. MOE and MOR regression models for species depending on the number of growth rings and specific gravity.

Espécies	Equação	$R^2_{aj.}$%	S_{yx}	F	P
PE	MOE= 3621,86 + 1232,38*NºA	28	17428	8	0,0140
	MOE= -1001,97 + 18406,01*ME	21	18243	6	0,0317
	MOR= 35,339 + 7,3229*NºA	38	83	12	0,0030
	MOR= -10,3909 + 152,40*ME	62	65	30	0,0001
PT	MOE= 2442,35 + 988,22*NºA	48	17292	16	0,0013
	MOE= -3567,53 + 21307,91*ME	30	20090	8	0,0143
	MOR= 30,8085 + 6,8875*NºA	67	83	33	0,0001
	MOR= -28,354 + 187,648*ME	71	77	40	0,0001
AA	MOE= 5974,937 + 1014,216*NºA	16	20646	5	0,0500
	MOE= -6580,25+ 36262,08*ME	55	15124	23	0,0002
	MOR= 28,657 + 9,9769*NºA	28	122	8	0,0119
	MOR= -48,903 + 251,246*ME	66	85	35	0,0001

Em que: MOE= módulo de elasticidade (MPa); MOR = módulo de ruptura (MPa); NºA= número de anéis (anéis); ME= massa específica aparente a 12% ($g.cm^{-3}$); PE= *Pinus elliottii*; PT= *Pinus taeda*; AA= *Araucaria angustifolia*; Syx= erro médio padrão; F= fator F calculado; P= nível de probabilidade de erro.

CONCLUSÃO

A madeira de *Araucaria angustifolia* apresentou menor incidência de nós, seguida pelo *Pinus elliotti* e por fim o *Pinus taeda*;

As metodologias utilizadas para classificação visual não são satisfatórias para *Araucaria angustifolia* usando a porcentagem de lenho tardio como critério;

Na qualificação das duas espécies de *Pinus* pela massa específica, não há diferença quando comparada pelo critério do número de anéis por polegada;

A madeira de *Pinus elliottii* apresentou maior porcentagem de lenho tardio em sua madeira comparado ao *Pinus taeda*;

O número de anéis de crescimento apresentou comportamento satisfatório como variável independente na estimativa da massa específica aparente a 12%, do MOE e do MOR;

Os maiores valores de MOE foram obtidos para *Araucaria angustifolia*. Já para o MOR e para a massa específica aparente a 12%, as médias não diferiram significativamente entre as espécies analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11700:** madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento para uso geral: classificação. Rio de Janeiro, 1991a. 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12297:** madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral: medição e quantificação de defeitos. Rio de Janeiro, 1991b. 6 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12498:** madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral: dimensões e lotes: padronização. Rio de Janeiro, 1991c. 5 p.

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

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 143 – 94:** Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia, PA, 1995a.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 5535 - 94:** Practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties. Philadelphia, 1995b.

CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; SCHNEID, E.; HAMM, L. G. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. procedente de florestas resinadas. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 577-583, 2012.

CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus* sp plantadas no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 78-87, abr. 2005.

HASELEIN, C.R.; CECHIN. E.; SANTINI; E.J.; GATTO; D.A. Características estruturais da madeira de *Pinus Elliottii* Engelm aos 30 anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p.135-144. 2000.

KOLLMANN, F. R.; COTÉ, W. A. **Principles of Wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag. 1968. 592 p.

KRETSCHMANN, D. E. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA Forest Service, 2010. 62 p.

LARSON, P. R. The physiological basis for wood specific gravity in conifers. In: IUFRO DIVISION MEETING, 5., 1973, Stellenbosch. **Proceedings**… Stellenbosch, 1973. v.2, p.672- 680.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de janeiro, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L. MELO, R. R.; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, jan./mar. 2011.

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; DEL MENEZZI, C.H.S; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: UFPR, 2005. 169p. (Manual didático).

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4.ed. New York: Mc. Graw Hill, 1970. 722 p.

ROLIM, M. B.; FEREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, Piracicaba, n. 9, p. 47-55, 1974.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-94, 2000.

SPIB - SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU. **Standard grading rules for southern pine lumber**. Pensacola, FL, 1994.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009

Recebido em 21/05/2013
Aceito para publicação em 16/09/2013