

Influência da idade na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando uso na indústria moveleira

Influence of age on the machinability of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, aiming at use in the furniture industry

José de Castro Silva¹, Vinicius Resende de Castro¹ e Wesley Viana Evangelista²

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de quatro idades diferentes em sete testes de usinagem, visando à produção de móveis. A madeira estudada foi proveniente de plantios comerciais, com idades de dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos procedentes do município de Telêmaco Borba, Paraná. Utilizaram-se quatro árvores por idade e os testes foram realizados conforme norma ASTM D 1666-64, sendo eles o aplainamento, fresagem, cópia de perfil, furação, furação para espiga, corte paralelo às fibras e corte transversal às fibras. Os resultados mostraram que as madeiras oriundas das árvores mais velhas foram aquelas com os melhores desempenhos nos testes de usinagem. As madeiras de vinte e vinte e cinco anos apresentaram resultados semelhantes e tiveram os maiores índices de aprovação nos testes realizados, enquanto a madeira de dez anos apresentou o menor índice de aprovação, em especial nos testes de aplainamento, fresagem e cópia de perfil. A madeira de quatorze anos atendeu à maioria dos testes propostos pela ASTM 1666-64, já podendo ser recomendada para uso na indústria moveleira, embora apresentasse algumas restrições apenas em operações de fresagem e cópia de perfil. Concluiu-se que, entre as idades estudadas, as madeiras de vinte e vinte e cinco anos foram as que apresentaram as melhores características para a utilização na indústria moveleira.

Palavras-chave: Eucalipto, usinagem, móveis de madeira.

Abstract

This study aimed to evaluate *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood, of four different ages in seven machining tests, aimed at the production of furniture. The wood studied was from commercial plantations, aged ten, fourteen, twenty and twenty-five years old from the municipality of Telêmaco Borba, Paraná. Four trees by age were used and the tests were performed according to ASTM D 1666-64, including planing, milling, profile copy, drilling, and mortising, cut parallel to the fibers and cut transverse to the fibers. The results showed that the woods originating from older trees were those with the best performance in the machining tests. The twenty and twenty-five years old woods showed similar results and had the highest approval ratings in the tests, while the ten years old wood had the lowest approval rating, especially in planing, milling and profile copy tests. The wood of fourteen years met most of the tests proposed by ASTM 1666-64, and thus may be recommended for use in the furniture industry, although it presents some restrictions only in milling operations and profile copy. It was concluded that among the age groups, the woods of twenty and twenty-five years showed the best characteristics for use in the furniture industry.

Keywords: *Eucalyptus*, machining tests; wood furniture.

INTRODUÇÃO

A usinagem da madeira corresponde ao seu comportamento frente a operações de processamento mecânico primário, secundário e terciário. Na produção de móveis de madeira as operações de usinagem são muito importantes e realizadas em inúmeras etapas de processamento e transformação da madeira em produtos aca-

bados. De maneira a maximizar a obtenção de produtos de maior valor agregado para a indústria moveleira, essas operações devem ser continuamente monitoradas e avaliadas.

Segundo Bonduelle (2001) e Silva et al. (2005), a qualidade do produto final obtida a partir do processo de usinagem da madeira pode ser afetada por diversos fatores, como variabilidade entre indivíduos e espécies, condições operacionais das

¹Doutor. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, UFV - Universidade Federal de Viçosa. Av. P.H. Rolfs, s/nº - 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: jcastro@ufv.br, vresende@gmail.com.

²Doutor em Ciência Florestal. Professor Adjunto da Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat. Perimetral Rogério Silva, s/nº - Residencial Flamboyant - Caixa Postal 324, 78580-000 - Alta Floresta - MT. E-mail: wesley.evangelista@gmail.com.

máquinas, ferramentas de corte e treinamento do operador. Isso justifica que o processo de usinagem da madeira deva ser continuamente avaliado. Segundo Costa (1996) e Bonduelle (2001), a usinagem é ainda afetada pela espessura de corte, velocidade de avanço da madeira contra a ferramenta, ângulo de ataque, rotação do eixo porta-ferramenta e número de gumes de corte da ferramenta; além de da massa específica e grã da madeira. Ainda de acordo com Silva (2006), as principais características da madeira que afetam a usinagem são a espécie florestal, umidade, anisotropia, orientação do corte, idade da árvore, presença de sílica e minerais, textura da madeira, lenho juvenil e adulto, dureza, presença de nós, madeira de reação e tensões de crescimento.

No Brasil as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam alta produtividade volumétrica, idade reduzida de corte, matéria-prima homogênea, custo competitivo da madeira, além da possibilidade de obtenção de multiprodutos da madeira, entre outros. De um modo geral, a utilização da madeira de eucalipto ainda é um desafio, quando se trata de usos não convencionais, como a indústria moveleira e alguns setores da construção civil, como esquadrias, molduras, assoalhos e revestimentos. Em virtude disso, estudos têm surgido nessa área e Priest et al. (1983), Silva (2002), González et al. (2006) e Souza et al. (2009) destacaram os bons resultados da madeira de eucalipto em operações de usinagem.

Há várias décadas, o *Eucalyptus grandis* vem sendo cultivado intensivamente no País, com o objetivo principal de atender às demandas do setor de celulose e papel, painéis e energia. Com relação à indústria de móveis, Silva (2002), fazendo referência a vários autores, destacou que o *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais promissoras para esse setor, em razão de suas propriedades físico-mecânicas, além da qualidade final apresentada nos processos de usina-

gem, acabamento, colagem e união com pregos e parafusos. Serpa et al. (2003) e González et al. (2006) também destacaram o uso da madeira de *Eucalyptus grandis* na indústria de móveis.

Os estudos de qualidade da madeira para a produção de móveis devem levar em consideração as variações da idade da árvore, pois tem influência significativa nas propriedades da madeira. O uso de árvores com idades mais avançadas proporcionam toras de maior diâmetro e rendimento em madeira serrada, além de madeiras com maior estabilidade dimensional, porcentagem de cerne, madeira adulta e com possibilidade de obtenção de produtos de maior valor agregado. Aliado a isso, árvores de idades mais avançadas poderão ter resultados mais satisfatórios em operações de usinagem da madeira.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de quatro idades diferentes e em sete operações de usinagem, visando à produção de móveis.

MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada foi da espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, proveniente de árvores com idades de dez, quatorze, vinte e vinte e cinco anos de plantios comerciais da empresa Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., localizada no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná. Os plantios estavam localizados em altitudes variando de 700 a 900 metros, com latitude de 24° 15' S e longitude de 50° 39' W. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa/Cfb, predominantemente subtropical úmido transicional para o temperado, com verões quentes e invernos mais frios, com ocorrência esporádica de geadas. As características do material genético utilizado, bem como as características edáficas da região dos plantios podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados sobre o material genético e local dos plantios das árvores de *Eucalyptus grandis*.

Table 1. Data on the genetic material and location of the plantations of *Eucalyptus grandis* trees.

Idade (anos)	Talhão	Tipo de solo	Procedência
10	Colônia 070b	Latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, "A" moderado, ácrico epidistrófico, fase campo, relevo suave e ondulado.	Mudas por sementes, pomar clonal, procedência Telêmaco Borba (KLABIN) e origem Coff's Harbour.
14	Mortandade 004a	Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa a muito argilosa, "Ä" moderado, álico, fase floresta, relevo suave e ondulado.	Mudas por sementes, pomar clonal, procedência Telêmaco Borba (KLABIN) e origem Coff's Harbour.
20	Invernadinha 191	Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa, "Ä" moderado, ácrico, fase floresta, relevo suave e ondulado.	Mudas por sementes e procedência África do Sul.
25	Pinhal bonito 195	Podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa, "Ä" moderado, distrófico, epi-eutrófico, fase floresta, relevo ondulado.	Mudas por sementes e procedência APS Mogi-Guaçu.

Em função da homogeneidade do material dentro de cada idade, utilizaram-se apenas quatro árvores por idade. De cada árvore utilizou-se as duas primeiras toras, ambas com comprimento de três metros. Após a derrubada das árvores, as toras foram desdobradas em engenho de serra fita simples, utilizando-se cortes tangenciais paralelos. Em seguida, das tábuas foram confeccionados corpos de prova com dimensões nominais de 20 x 150 x 600 mm (espessura x largura x comprimento) e secos até 12% de umidade. Os corpos de prova foram confeccionados de regiões retiradas aleatoriamente ao longo das tábuas, evitando-se as extremidades e madeira com defeitos. Para os testes de usinagem não foram utilizadas as tábuas diametrais, contendo a região medula-casca.

Foram realizados sete testes de usinagem, determinados conforme a norma ASTM D 1666-64 (ASTM, 1995) e para cada teste foram utilizados 240 corpos de prova, correspondendo a quinze corpos de prova por árvore e sessenta corpos de prova por idade. Os testes realizados foram o aplainamento, fresagem, cópia de perfil, furação, furação para espiga, corte paralelo às fibras e corte transversal às fibras. Quando presentes, foram identificados os principais defeitos de usinagem da madeira, descritos pela norma ASTM D 1666-64 (ASTM, 1995), sendo eles o arrancamento de fibras, queima de superfície, marcas de maravalha pela prensagem contra o dorso da ferramenta de corte, saída de fragmento da madeira (lascas), levantamento de fibras, arpejamento superficial, aspereza de superfície e esmagamento das fibras em lugar de corte. Os testes foram realizados no Centro Tecnológico da Madeira e do Mobiliário (CETMAM/SENAI), no município de São José dos Pinhais, estado do Paraná.

A metodologia utilizada nos testes e a avaliação dos resultados foram feitas conforme preconizado pela ASTM D 1666 (ASTM, 1995), sendo a seguinte:

1) Aplainamento: utilizou-se uma plaina desengrossadeira com quatro facas, com velocidade de alimentação de 5 m x min.⁻¹; rotação do eixo de 4.500 rpm e espessura de corte de 1,7 mm. A qualidade do acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície, contando-se o número de marcas das facas contidas em um espaço de uma polegada.

2) Fresagem longitudinal e transversal: utilizou-se uma tupa de mesa, com facas retas e descartáveis em metal duro. A dimensão do cabeçote

foi de 81 x 51 mm e as dimensões da faca foram de 40 x 12 mm. O avanço foi de 10,4 m x min.⁻¹ e a rotação do motor de 5.000 rpm. A profundidade de corte foi de 2,2 mm. A qualidade de acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície e do arrancamento de fibras.

3) Cópia de perfil: utilizou-se uma tupa, com facas descartáveis e perfis intercambiáveis em metal duro. A dimensão do cabeçote foi de 93 x 41 mm e a largura da faca foi de 40 mm, com três furos e limitador. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 5.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície.

4) Furação: utilizou-se uma furadeira múltipla, com rotação de 3.500 rpm, munida de broca normal helicoidal em aço rápido para furação de cavilha, com diâmetros de 8, 10 e 12 mm e profundidade de corte de 50 mm. Foram realizados três furos passantes e três furos não passantes. Os furos foram avaliados quanto à presença de arrancamento das fibras, superfície felpuda, esmagamento e aspereza de corte.

5) Furação para espiga: utilizou-se uma furadeira horizontal, com uma broca de 8 mm de diâmetro, com 2 canais paralelos, calçada com metal duro na ponta. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 5.000 rpm. As dimensões de cada furo foram de 70 x 8 x 30 mm, respectivamente, de comprimento, largura e profundidade. Os furos foram avaliados quanto à presença de lascas ou arrancamento das fibras e superfície felpuda das partes internas do furo.

6) Corte paralelo às fibras: utilizou-se uma serra circular com 72 dentes. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 6.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície e arrancamento das fibras.

7) Corte transversal às fibras: utilizou-se uma serra circular com 56 dentes. O avanço foi manual e a rotação do motor foi de 6.000 rpm. A qualidade de acabamento foi avaliada através da rugosidade da superfície e arrancamento de fibras.

Os testes de usinagem avaliaram apenas o desempenho da madeira frente às diferentes máquinas e ferramentas frequentemente utilizadas nas marcenarias no Brasil. Os defeitos nos corpos de prova e sua intensidade sobre as peças foram analisados por quatro marceneiros experientes que, mediante critérios pré-estabelecidos, utilizaram, como referência, corpos de prova da madeira de mogno (*Swietenia macrophylla* King), que por sua vez foram avaliados segundo os mesmos parâmetros utilizados para a madeira do *Eucalyptus grandis*.

Para avaliação dos testes de usinagem, para cada defeito foi aplicado um peso com critérios de julgamento subjetivos, variando de 1 a 5, em que a nota 1 significou corpos de prova isentos de defeitos e as demais notas foram proporcionais à intensidade crescente de defeitos dos corpos de prova, conforme descrito abaixo:

- a) Nota 1 – Conceito Excelente – Madeira sem defeitos.
- b) Nota 2 – Conceito Bom – Madeira com defeitos em intensidade menor que 50%.
- c) Nota 3 – Conceito Regular – Madeira com 50% de defeitos.
- d) Nota 4 – Conceito Ruim – Madeira com defeitos em intensidade maior que 50%.
- e) Nota 5 – Conceito Muito Ruim – Madeira com 100% de defeitos.

Foram considerados aprovados para a utilização no setor moveleiro os corpos de prova que obtiveram notas 1 e 2.

Para a caracterização da madeira, determinou-se a massa específica básica e aparente, a 12% de umidade, da madeira. Utilizaram-se quatro árvores para cada idade, totalizando dezesseis árvores. De cada árvore foram tomadas as duas primeiras toras, ambas com três metros de comprimento. Da tábua diametral, tomaram-se quatro posições equidistantes (0, 33, 66 e 100%), no sentido medula-casca, com quatro repetições por posição, totalizando 128 amostras para cada idade. As amostras, de formato retangular, apresentaram dimensões de 1,0 x 2,0 x 3,0 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal. Para a determinação da massa a 12% de umidade e absolutamente seca, a 0% de umidade, utilizou-se uma balança digital, com precisão de 0,01g. O volume foi determinado a partir das dimensões lineares dos corpos de prova, com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. A massa específica básica foi determinada pela relação entre a massa absolutamente seca e o volume saturado, enquanto a massa específica aparente foi determinada pela relação entre a massa e o volume da madeira, ambos a 12% de umidade. Os testes de massa específica foram realizados no Laboratório de Propriedades da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, estados de Minas Gerais.

Para avaliação dos dados dos testes de usinagem, utilizou-se a análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis e, para a comparação entre as médias, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney, em nível de 5%

de probabilidade de erro ($p < 0,05$). Na análise estatística dos dados da massa específica da madeira, aplicou-se a análise de variância a 5% de probabilidade de erro e quando significativo, aplicou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, considerando o efeito do fator idade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à massa específica da madeira, o maior valor médio da massa específica básica e aparente a 12% de umidade foi observado na madeira de vinte anos, enquanto o menor valor médio foi observado na madeira de dez anos (Tabela 2). Foram observadas diferenças estatísticas entre todas as idades, exceto entre as idades de quatorze e vinte e cinco anos. A determinação da massa específica nesse trabalho teve apenas como objetivo a caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* e os valores observados nesse trabalho estão em conformidade com os resultados observados por Goulart et al. (2003) e Haselein et al. (2004).

Tabela 2. Valores médios da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades.
Table 2. Average values of specific gravity of *Eucalyptus grandis* wood of different ages.

Idade (anos)	Massa específica básica (g/cm ³)	Massa específica aparente a 12% de umidade (g/cm ³)
10	0,34 c ¹ (0,03) ²	0,46 c (0,06)
14	0,41 b (0,05)	0,55 b (0,06)
20	0,47 a (0,08)	0,60 a (0,08)
25	0,42 b (0,07)	0,55 b (0,07)

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).
²Valores entre parênteses abaixo do valor médio correspondem ao desvio padrão.

Nos testes de usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis* foi verificado que a idade teve influência significativa nos testes na usinagem, através da análise de variância não paramétrica.

No teste de aplainamento (Tabela 3) pode-se verificar que a madeira de *Eucalyptus grandis*, independentemente da idade, apresentou um bom desempenho. Dentre as idades avaliadas, a madeira de dez anos, no entanto, apresentou o desempenho mais baixo, com o maior número de peças reprovadas, além de ser a única idade que apresentou corpos de prova avaliados com as notas 4 e 5, que corresponde aos conceitos “ruim” e “muito ruim”, respectivamente. O me-

lhor desempenho foi das madeiras de vinte e vinte e cinco anos, que ocorreu, provavelmente, devido ao maior volume de madeira adulta e melhor adequação dessa madeira às condições da máquina e peças cortantes utilizadas. Foram verificadas também diferenças estatísticas entre as madeiras de todas as idades, exceto entre as de vinte e vinte e cinco anos.

No teste de fresagem longitudinal e transversal (Tabela 4), entre as idades avaliadas, a madeira de dez anos apresentou o desempenho mais baixo, enquanto as madeiras das demais idades apresentaram desempenho mais satisfatório. Destaque pode ser dado as madeiras de vinte e vinte e cinco anos, que tiveram o maior número de corpos de prova aprovados com as notas 1 e 2. Nesse teste foi verificado que as madeiras de vinte e vinte e cinco anos não diferiram estatisticamente entre si, mas elas tiveram diferenças significativas com as demais idades. Nesse teste somente foi observado defeitos na fresagem transversal, sendo eles o arrepiamento e arrancamento de fibras e lascas e queima de superfície.

No teste de cópia de perfil (Tabela 5) foi verificado que a madeira de dez anos apresentou o desempenho mais baixo, enquanto as madeiras das demais idades apresentaram desempenhos similares. Verificou-se que a madeira de dez anos apresentou diferenças significativas em relação às madeiras das demais idades, sendo essa mesma situação observada para a madeira de vinte anos, entretanto as idades de quatorze e vinte e cinco anos não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Embora tais diferenças fossem significativas, as porcentagens de corpos de prova aprovados nas idades de quatorze, vinte e vinte e cinco anos foram similares entre as três idades. Nesse teste as madeiras dessas três idades apresentaram bons resultados, mostrando adequação aos maquinários e ferramentas utilizadas.

No teste de furação de espiga (Tabela 6) foram verificados que as madeiras de todas as idades apresentaram um bom desempenho. Dentre as idades avaliadas, a madeira de dez anos teve o desempenho mais baixo, obtendo mais notas 2 e 3, que corresponde aos conceitos "muito bom" e "regular", respectivamente, e menos no-

Tabela 3. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de aplainamento.
Table 3. Percentage of approved parts in the planing tests.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	20	33,33	21	35,00	13	21,67	5	8,00	1	2,00	2,10 a ¹	68,3
14	24	40,00	25	41,67	8	13,33	3	5,00	0	0,00	1,83 b	81,7
20	31	51,67	22	36,67	6	10,00	1	1,67	0	0,00	1,62 c	88,3
25	32	53,33	21	35,00	7	12,00	0	0,00	0	0,00	1,58 c	88,3

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Tabela 4. Porcentagem corpos de prova aprovados nos testes de fresagem longitudinal e transversal.

Table 4. Percentage of approved parts in the longitudinal and transverse milling tests.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	11	18,33	13	21,67	28	46,67	6	10,00	2	3,00	2,58 a ¹	40,0
14	24	40,00	15	25,00	15	25,00	4	7,00	2	3,00	2,08 b	65,0
20	36	60,00	18	30,00	5	8,33	1	2,00	0	0,00	1,52 c	90,0
25	38	63,33	16	26,67	4	7,00	1	2,00	1	2,00	1,48 c	90,0

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Tabela 5. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de cópia de perfil.

Table 5. Percentage of approved parts in the profile copy test.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	6	10,00	22	36,67	26	43,33	4	6,67	2	3,33	2,57 a ¹	46,7
14	25	41,67	20	33,33	11	18,33	3	5,00	1	1,67	1,92 b	75,0
20	31	51,67	14	23,33	12	20,00	3	5,00	0	0,00	1,78 c	75,0
25	29	48,33	17	28,37	12	20,00	2	3,33	0	0,00	1,90 b	76,7

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

tas 1, que corresponde ao conceito “excelente”. As madeiras das idades de quatorze, vinte e vinte e cinco anos apresentaram 100% de aprovação dos corpos de prova nesse teste. Foi verificado que a madeira de dez anos apresentou diferença estatisticamente com as demais idades, enquanto que estas não diferiram significativas entre si. Em geral, as madeiras de todas as idades apresentaram excelentes resultados nesse teste e verificou-se uma boa adequação do maquinário e as ferramentas utilizadas.

No teste de furação (Tabela 7) verificou-se também que as madeiras de todas as idades apresentaram um bom desempenho. A madeira de dez anos apresentou o desempenho mais baixo, com o menor número de corpos de prova aprovados com a nota 1. Foi verificado que as madeiras de dez, quatorze e vinte anos apresentaram diferenças significativas entre si, entretanto não foram observadas diferenças significativas entre as madeiras de vinte e vinte e cinco anos. Embora se observassem diferenças significativas entre as madeiras de quatorze e vinte anos, verificou-se que essas madeiras apresentaram a mesma porcentagem de corpos de prova aprovados nesse teste (98,3%) e que a madeira de vinte e cinco apre-

sentou 100% de aprovação dos corpos de prova ensaiados. Comparando-se as madeiras com quatorze e vinte anos, observou-se que a madeira de vinte anos apresentou quase o dobro de corpos de prova aprovados com nota 1 (conceito “excelente”). Essas diferenças se devem possivelmente a diferentes adequações dessas madeiras às condições do maquinário e ferramentas utilizados.

No teste de corte paralelo às fibras (Tabela 8) verificou-se que as madeiras de todas as idades apresentaram um bom desempenho, com destaque para as idades de vinte e vinte e cinco anos, que tiveram todos os corpos de prova aprovados com nota 1. A madeira de dez anos apresentou o desempenho mais baixo, enquanto a madeira de quatorze anos obteve também 100% dos corpos de prova aprovados, embora com notas 1 e 2. As madeiras de dez e quatorze anos apresentaram diferenças estatísticas entre si e com as madeiras das demais idades, entretanto as madeiras de vinte e vinte e cinco anos não apresentaram diferenças significativas entre si. Nesse teste as madeiras de todas as idades apresentaram um bom desempenho, no entanto a madeira de dez anos foi a única que obteve notas 2 e 3, correspondente aos conceitos “bom” e “regular”.

Tabela 6. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de furação para espiga.

Table 6. Percentage of parts as approved in the mortising test.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	45	75,00	10	16,67	5	8,33	0	0,00	0	0,00	1,37 a ¹	91,6
14	56	93,33	4	6,67	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,07 b	100,0
20	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00 b	100,0
25	59	98,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,02 b	100,0

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro (p < 0,05).

Tabela 7. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de furação.

Table 7. Percentage of parts as approved in drilling tests.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	18	30,00	25	41,67	17	28,33	0	0,00	0	0,00	1,98 a ¹	71,7
14	27	45,00	32	53,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	1,57 b	98,3
20	51	85,00	8	13,33	1	1,67	0	0,00	0	0,00	1,10 c	98,3
25	54	90,00	6	10,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,17 c	100,0

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro (p < 0,05).

Tabela 8. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de corte paralelo às fibras.

Table 8. Percentage of approved parts in the parallel to the fibers cutting tests.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	15	78,33	35	16,67	10	5,00	0	0,00	0	0,00	1,27 a ¹	83,3
14	49	85,00	11	15,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,15 b	100,0
20	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00 c	100,0
25	60	100,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,00 c	100,0

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro (p < 0,05).

No teste de corte transversal às fibras (Tabela 9) foi verificado também um bom desempenho das madeiras de todas as idades. Dentre as idades avaliadas, a madeira de dez anos foi a que apresentou o desempenho mais baixo, em função do menor número de corpos de prova aprovados com notas 1. Verificou-se que as madeiras de dez e quatorze anos apresentaram diferenças estatísticas entre si e também com as madeiras das outras idades, no entanto, as madeiras de vinte e vinte e cinco anos não apresentaram diferenças entre si. As madeiras de todas as idades apresentaram bom desempenho nesse teste, o que se deve possivelmente a adequação das madeiras às condições do maquinário e ferramentas utilizados.

As porcentagens dos corpos de prova aprovados em todos os testes propostos em função da idade das madeiras podem ser vistos na Tabela 10.

Em geral, em todos os testes realizados foi verificado que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou um bom desempenho, sendo que a madeira de dez anos foi a que apresentou o pior desempenho quando comparado as demais idades. A madeira de dez anos foi a única madeira que apresentou corpos de prova com notas 4 e 5 (conceitos "ruim" e "muito ruim", respectivamente) nos testes de aplainamento, fresagem longitudinal e transversal e cópia de perfil. As madeiras de vinte e vinte e cinco anos foram aquelas com os melhores resultados, provavelmente devido ao maior volume de madeira adulta e sua melhor adequação às condições das máquinas e peças cortantes utilizadas.

Segundo Kikuti et al. (1996), a idade de corte das árvores é um dos fatores preponderantes na qualidade da madeira serrada, não bastando obter apenas árvores de grande diâmetro, mas árvores com madeira adulta para se garantir a estabilidade e a resistência mecânica necessária. Calori et al. (1995), realizando um estudo comparativo da madeira de *Eucalyptus grandis* com idades entre onze e vinte e um anos para uso em serraria, verificaram que a madeira de maior idade apresentou os maiores rendimentos em madeira serrada, bem como maior qualidade das peças após a secagem. Os autores concluíram ainda que a idade ideal para uso em serraria, para fins de produção de móveis, deveria estar em torno de vinte anos, considerando-se as características físico-mecânicas desejáveis da madeira e o retorno econômico do investimento florestal. Priest et al. (1983), avaliando o comportamento de madeiras de *Eucalyptus grandis*, de doze e vinte e quatro anos, verificaram que a madeira de maior idade obteve os melhores resultados nos testes de usinagem, apresentando também um melhor acabamento. Segundo o mesmo autor, a madeira ideal para operações de usinagem deveria estar entre dezoito e vinte e quatro anos, devido à maior massa específica e outras propriedades características da madeira adulta.

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, a madeira de *Eucalyptus grandis* de quatorze anos, no entanto, já apresentava resultados satisfatórios nos testes de usinagem aplicados, com exceção do teste de fresagem longitudinal e transversal (Tabela 4). Desconsiderando esse teste, a

Tabela 9. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de corte transversal às fibras.

Table 9. Percentage of approved parts in the cross-sectional cutting tests.

Idade (anos)	Avaliação e porcentagem de corpos de prova										Média	Corpos de prova aprovados (%)
	Nota 1		Nota 2		Nota 3		Nota 4		Nota 5			
	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%		
10	15	25,00	35	58,33	10	16,67	0	0,00	0	0,00	1,92 a ¹	83,3
14	49	81,67	11	18,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,18 b	100,0
20	52	86,67	8	13,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,13 c	100,0
25	52	86,67	8	13,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1,13 c	100,0

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Tabela 10. Porcentagem de corpos de prova aprovados nos testes de usinagem em função da idade.

Table 10. Percentage of samples approved in the machining tests according to age.

Idade (anos)	Aplainamento	Fresagem longitudinal e transversal	Cópia de perfil	Furação para espiga	Furação	Corte longitudinal	Corte transversal
10	68,3 a ¹	40,0 a	46,7 a	91,6 a	71,7 a	83,3 a	83,3 a
14	81,7 b	65,0 b	75,0 b	100,0 b	98,3 b	100,0 b	100,0 b
20	88,3 c	90,0 c	75,0 c	100,0 b	98,3 c	100,0 c	100,0 c
25	88,3 c	90,0 c	76,7 b	100,0 b	100,0 c	100,0 c	100,0 c

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Mann-Whitney, em 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

madeira de quatorze anos já apresentava viabilidade técnica para uso pela indústria moveleira.

Os resultados obtidos nos testes de usinagem realizados nesse trabalho mostraram a potencialidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para a indústria moveleira. Outros trabalhos descritos na literatura também mostraram o potencial da madeira de *Eucalyptus grandis* para essa indústria. Silva et al. (1997) avaliaram a madeira de *Eucalyptus grandis* nas principais operações de usinagem executadas no setor moveleiro, concluindo que a espécie apresentou resultados semelhantes aos observados para as madeiras tradicionalmente utilizadas na fabricação de móveis. Gonçalves et al. (2006), avaliando a madeira de *Eucalyptus grandis* visando seu uso na indústria moveleira, concluíram que a espécie apresentou um bom comportamento perante máquinas e ferramentas, não oferecendo resistência à cortes e trabalhos manuais. Os autores, realizando a confecção de móveis de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, também concluíram que os móveis confeccionados com a madeira de *Eucalyptus grandis* tiveram maior preferência pelo consumidor, principalmente em função da cor e do desenho apresentado pela madeira.

Nos testes realizados, o defeito mais frequente foi o arrancamento de fibras e os menos frequentes foram o arrepimento das fibras, aspereza e queima de superfície. Esses defeitos foram também observados em maior frequência na madeiras de dez anos. No presente trabalho foi observado também que o desempenho da madeira de *Eucalyptus grandis*, principalmente das idades mais jovens, poderia ser maximizado com sua maior adequação às condições do maquinário e das ferramentas cortantes utilizados.

CONCLUSÕES

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou um bom desempenho para uso na indústria moveleira, com base nos resultados satisfatórios nos ensaios de usinagem aplicados nesse trabalho.

A idade da árvore teve influência nas operações de usinagem da madeira.

Dentre as idades avaliadas, a madeira de dez anos foi a com o desempenho mais baixo, principalmente nos testes de aplainamento, fresagem longitudinal e transversal e cópia de perfil, onde os resultados obtidos foram mais insatisfatórios.

A madeira de quatorze anos atendeu a maioria dos testes propostos pela ASTM 1666-64 e já pode ser recomendada para uso na indústria

moveleira, apresentando limitações apenas em operações de fresagem longitudinal e transversal e cópia de perfil.

As madeiras de vinte e vinte e cinco anos apresentaram resultados semelhantes e dentre as idades avaliadas, foram as mais aptas para a utilização na indústria moveleira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1666-64: Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (revisada em 1994). Philadelphia, 1995. p. 226-245.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. *Revista da Madeira*, Curitiba, n. 61, p. 82-86, nov. 2001.

CALORI, J. W.; FIER, I. S. N.; KIKUTI, P. Estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 5., 1995, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: EBRAMEM-EESC/USP, 1995.

COSTA, E. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ABPM/ SBS, 1996. p. 75-89.

GONÇALEZ, J. C.; BREDÁ, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEDEZ, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

- KIKUTI, P.; FIER, I. S. N.; CALORI, J. V. Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORRESTAMENTO, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABPM/ SBS, 1996. p. 53-58.
- PRIEST, D. T. MALAN, F. S., LINE, C. G., Van NIEKERK, J. P. **The yield of furniture grade timber from 12 year old *Eucalyptus grandis***. Pretoria: CSIR/National Timber Research Institute, 1983. 15 p. (CSIR Special Report, n. 281).
- SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 723-733, set./out. 2003.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SILVA, J. C. **Diagnóstico da indústria moveleira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- SILVA, J. R.; [MUNIZ, G. I. B.](#) ; [LIMA, J. T.](#); [BONDUELLE, A. F.](#) Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista. Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.479-487, mai./jun. 2005.
- SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Análise quali-quantitativa da usinagem da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: IUFRO, 1997, p. 32-35.
- SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 751-758, jul./ago. 2009.

Recebido em 04/12/2013

Aceito para publicação em 02/10/2014

