

PARÂMETROS DE QUALIDADE DA USINAGEM PARA DETERMINAÇÃO DOS DIFERENTES USOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

José Reinaldo Moreira da Silva¹, Marcelo Martins², Gabriel Marcos Vieira Oliveira³, Pedro Paulo de Carvalho Braga³

(recebido: 25 de março de 2008; aceito: 22 de dezembro de 2008)

RESUMO: Os produtos de madeira fabricados pela indústria moveleira necessitam ter qualidade das superfícies usinadas otimizadas e padronizadas. São observados métodos de qualificação, incluindo a inspeção visual, determinação do avanço por dente, rugosímetros, *laser* ou simples tato dos encarregados da produção. Além disso, independente da qualidade é necessária a indicação dos usos para todas as peças produzidas. O empirismo dos parâmetros de qualidade na indicação de usos, nem sempre condiz com o ideal. Objetivou-se, neste trabalho, determinar a qualidade de superfícies de madeiras de *Eucalyptus* aplainadas e definir adequados usos para as diferentes classes de qualidade obtidas. Foram usinados diferentes corpos-de-prova de *Eucalyptus* spp, numa desempenadeira, com velocidades de avanço de 3, 6, 15 e 30 m*min⁻¹. Para a qualificação utilizou-se a determinação do avanço por dente ($fz_{\text{calculado}}$ e fz_{medido}), e a qualificação visual (ASTM D-1666-87, 1995). Posteriormente, foram indicados usos a partir das qualidades obtidas. Os percentuais dos corpos-de-prova considerados satisfatórios foram decrescentes com aumento da velocidade de avanço, apresentando 92%, 69%, 0% e 0%, para velocidades de avanço de 3, 6, 15 e 30 m*min⁻¹, respectivamente. Corpos-de-prova usinados com velocidade de 3 e de 6 m*min⁻¹ foram indicados para produtos da indústria de móveis ou de esquadrias de acabamento como rodapés, molduras de armários e alizares. 54% dos corpos-de-prova usinados com velocidades de 15 m*min⁻¹ foram indicadas para corrimão, lambris, peças estruturais aparentes e pisos. Já para 46 e 100% dos corpos-de-prova usinados com velocidades de 15 e 30 m*min⁻¹, respectivamente, foram indicados para confecção de peças estruturais internas de divisórias, peças estruturais não aparentes de telhados e cercas divisórias e, ou, portões externos.

Palavras-chave: Madeira de *Eucalyptus*, qualidade da usinagem, definição de usos.

PARAMETERS OF QUALITY OF THE WOODWORKABILITY FOR DETERMINATION OF DIFFERENT USAGE OF *Eucalyptus* WOOD

ABSTRACT: Wood products used in the furniture industry need to have wood work machine surfaces quality optimized and patronized. There are some classification methods to determine the wood quality, including visual inspection, determination of the advance per tooth (fz), rugosimeter and laser or just touching. After the wood classification it is determined the usage of the different wood qualities. The empiricism of the quality parameters in the indication of uses is not always ideal. This study determined the quality of surfaces of *Eucalyptus* flat wood and defined appropriate uses for the different quality classes obtained. It had been worked machine different *Eucalyptus* samples by planer with speed of advance of 3,6,15 and 30 m*min⁻¹. To classify the wood, the determination of the advance per tooth (calculated fz and measured fz) and the visual qualification (ASTM D – 1666-87, 1995) were used. Later the wood usage according to quality was determined. The percentage of good samples decreased as the speed advance increased: reaching 92%, 69%, 0% and 0% for advance speed of 3,6,15 and 30 m*min⁻¹ respectively. Samples prepared at the speed of 3 and 6 m*min⁻¹ were used to fabricate furniture, cabinet frame and thresholds. About 54% of samples prepared at the speed of 15 m*min⁻¹ were used for railing, lambris, structural panels and flooring. About 46% and 100% of samples prepared at the speed of 15 and 30 m*min⁻¹, respectively, were used to fabricate dividers, trusses, fences and, or, exterior gates.

Key words: *Eucalyptus*, wood quality, wood workability, usage determination.

1 INTRODUÇÃO

As dificuldades no uso da madeira do *Eucalyptus*, sob a forma sólida, estão baseadas na falta de conhecimentos de como trabalhar corretamente esse material. É preciso conhecer a estrutura da madeira e os

parâmetros de usinagem para entender as relações que proporcionam os bons resultados em qualidade (Silva et al., 2005).

Quando a madeira é destinada para confecção de móveis, assoalhos, esquadrias e outros produtos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem

¹Professor do Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – jreinaldo@ufla.br

²Engenheiro Florestal, mestrando na Ciência e Tecnologia da Madeira – Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – marcelomartins31@yahoo.com.br

³Graduandos em Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais/DCF – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – gabrielmvo@gmail.com, pedropaulobraga22@yahoo.com.br

executada melhora o seu desempenho frente aos processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada. É importante entender que a correta trabalhabilidade da madeira, requer conhecimento de suas propriedades, dos parâmetros de usinagem e de suas interações (Silva et al., 2005). Também é importante conhecer qual a qualidade desejada em função da peça produzida, que segundo Weing (2000), pode ser definida em função da magnitude do avanço por dente (f_z), que é a marca deixada sobre a superfície, após a usinagem ciclóide, conforme Figura 1.

Kninmonth e Whitehouse (1991) afirmaram que a qualidade obtida não é um aspecto pontual e sim uma relação ampla de todas as propriedades do material trabalhado. Contudo, é importante verificar a variação dessas propriedades através de medições no âmbito macro e microscópico.

Segundo Silva (2002), o conceito de qualidade da usinagem é diferentemente apresentado por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas através do cálculo do avanço por dente (f_z – Equação 1) ou da profundidade do arco ciclóide (t). O f_z é expresso em marcas por polegada linear ou em milímetros (Weissenstein, 2000; Costa, 1996; CETMAM/SENAI, 1996; SENAI, 1995). O segundo grupo considera não somente os parâmetros indicados acima, mas também a presença de

falhas na superfície. Essas falhas são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações. Toda essa variação estrutural pode apresentar defeitos na forma de “buracos”, trincas e pré-rachamentos (Bonduelle et al., 2002, Silva et al., 1999).

$$f_z = \frac{V_f * 1000}{n * z} \quad (1)$$

em que:

f_z = avanço por dente, em mm;

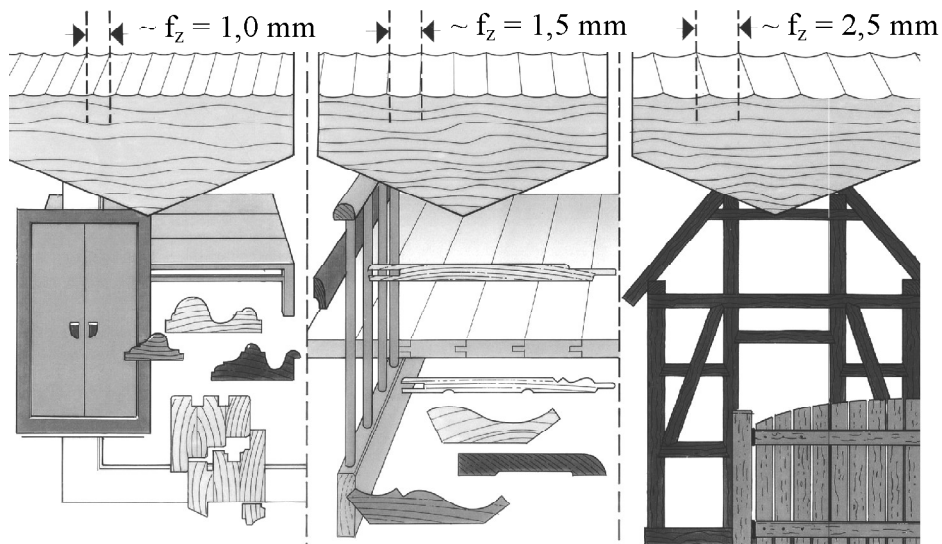
V_f = velocidade de avanço da peça, em $m \cdot \text{min}^{-1}$;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min^{-1} ;

z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

A melhoria da qualidade do acabamento pode ser alcançada com a redução da velocidade de avanço da madeira e/ou o aumento do número de gumes ativos de corte e da frequência de rotação do eixo porta-ferramenta da máquina.

Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas. Primeiramente, têm-se as variações das propriedades da madeira, seguido das características de funcionamento das máquinas e das ferramentas de corte e por último o treinamento da mão-de-obra (Silva et al. 1996). Segundo



Fonte: Weing (2000)

Figura 1 – Indicação de produtos de madeira para diferentes qualidades da superfície usinada, em função do avanço por dente (f_z).

Figure 1 – Indication of wood products for different qualities of wood work machine surface, in function of the advance per tooth (f_z).

Bet (1999) todos esses parâmetros fornecem uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade do processo de fabricação. Após as operações de usinagem, é executada sua qualificação para posterior determinação do uso. Contudo, o empirismo dos parâmetros de qualidade na indicação de usos nem sempre é correto e/ou otimizado. Objetivou-se, neste trabalho, determinar a qualidade de superfícies de madeiras de *Eucalyptus* aplainadas e definir adequados usos para as diferentes classes de qualidade obtidas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As tábuas utilizadas foram obtidas de toras de *Eucalyptus* sp. provenientes de plantio clonal, com idade de 32 anos, de propriedade da Universidade Federal de Lavras. As mesmas foram obtidas com 3 m de comprimento, 25 mm de espessura e larguras variáveis. A seguir, procedeu-se à secagem até 12% de umidade (base seca), em estufa de secagem convencional, na Unidade de Desdobro e Secagem da Madeira (DCF/UFLA). A seguir, as tábuas foram transportadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA), onde foram cortadas

e aplainadas, obtendo os corpos-de-prova de 450 x 240 x 22 mm. Esses corpos-de-prova foram entabecados até alcançar o equilíbrio higroscópico local e posteriormente foram usinados em uma plaina desempenadeira com três facas, frequência de rotação de 4470 min⁻¹ e com velocidades de avanço de 3, 6, 15 e 30 m*min⁻¹, que foram consideradas os tratamentos com 13 repetições cada. Para tanto, foi utilizado um alimentador de avanço mecânico.

Para evitar a influência dos desgastes dos gumes de corte na qualidade das usinagens entre os diferentes tratamentos, utilizaram-se facas novas e a seqüência dos corpos-de-prova foi sorteada, adotando procedimento de Silva et al. (2005). Terminados os ensaios, os corpos-de-prova foram transportados para a câmara climática do Laboratório de Tecnologia da Madeira (DCF/UFLA).

Segundo Vieira (2006), Guimarães (2005), Silva et al. (2005), Silva (2002) e Bonduelle (2001), se o número de dentes ativos for considerado igual ao número de dentes da ferramenta, obtém-se uma razão aproximadamente igual ao número de dentes da ferramenta, entre o fz observado na superfície (fz_{medido} – Equação 2) e o fz calculado pela



Figura 2 – Aplainamento dos corpos-de-prova utilizando alimentador de avanço mecânico.

Figure 2 – Surface planing of samples using mechanical progress feeder.

Equação 1 ($fz_{\text{calculado}}$). Esse aspecto somente é verificado se a máquina não possui sistema de fixação de ferramentas tipo “hidrocentrante” e retificação dos dentes após sua fixação. Então, neste trabalho, na determinação do $fz_{\text{calculado}}$ (Equação 1) utilizou-se o número de dentes ativos igual a 1, pois a plaina desempenadeira utilizada não possui os requisitos descritos anteriormente.

Posteriormente, foram lançados de forma padronizada cinco campos de leitura em cada face aplainada, em que mediram-se os avanços por dente (fz_{medido} - Equação 2).

$$fz_{\text{medido}} = \frac{C_{\text{total}}}{NC - 1} \quad (2)$$

Em que:

fz_{medido} = avanço por dente medido (mm);

C_{total} = Comprimento total do campo de leitura (mm);

NC = número de cristas presentes no comprimento total do campo de leitura (adimensional).

Também, baseando-se na norma ASTM D-1666-87 (1995), foi executada qualificação visual das superfícies aplainadas, por três avaliadores. Para tanto, atribuiu-se notas de caráter subjetivo, mas com definição preestabelecida dos defeitos analisados, que se encontram descritos na Tabela 1. Em seguida, determinou-se um único valor por superfície, por meio do consenso entre os três avaliadores ou pela média aritmética quando não foi possível estabelecer o referido consenso.

Tabela 1 – Classificação da qualidade da superfície da madeira de *Eucalyptus*, após aplainamento.

Table 1 – Classification of the quality of surface of *Eucalyptus* wood, after planing.

Nota	Classificação da superfície aplainada
1	Excelente (isento de defeitos)
2	Boa
3	Regular
4	Ruim
5	Muito ruim

Fonte: ASTM D-1666-87 (1995).

Após a separação dos corpos-de-prova por classe de qualidade, os três avaliadores passaram a definir diferentes formas de utilização dos mesmos, considerando as qualidades apresentadas e baseando-se nas indicações de Weing (2000), conforme Figura 1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do avanço por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) e medido (fz_{medido}) para as quatro velocidades de avanço encontram-se na Tabela 2. Observa-se que nos corpos-de-prova aplainados com velocidade de avanço de 3 m*min⁻¹ não foi possível a visualização do avanço por dente devido à baixa magnitude das distâncias entre os picos, impossibilitando a obtenção do avanço, por dente medido (fz_{medido}). Porém, observando que a relação entre os valores dos avanços por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) e medido (fz_{medido}) é aproximadamente igual a uma unidade, o fz_{medido} na velocidade de avanço de 3 m*min⁻¹ deverá ser de aproximadamente 0,7 mm.

Devido às semelhanças entre os valores dos avanços por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) e medido (fz_{medido}), pôde-se afirmar que a ferramenta utilizada apresenta um dente ativo. As condições de vibrações das máquinas, trepidações dos corpos-de-prova e variações intrínsecas às propriedades da madeira foram responsáveis pelas pequenas diferenças encontradas. Todos esses fatores provocam variações tanto na velocidade de avanço como na frequência de rotação do eixo porta-ferramenta, corroborando os resultados de Guimarães (2005). Contudo, observa-se (Tabela 2) que o aumento da velocidade de avanço promoveu maior diferença entre os valores médios e que aumentos na velocidade de avanço implicam em aumentos nos valores dos avanços por dente de forma proporcional. Esse fato está relacionado à pequena variação dos demais parâmetros de usinagem.

O porcentual de corpos-de-prova classificados por notas (ASTM D-1666-87, 1995), para as quatro diferentes velocidades de avanços, encontra-se na Tabela 3. Observa-se que apenas as velocidades de avanço de 3 e 6 m*min⁻¹ não apresentaram superfícies classificadas como ruim (nota 4) ou muito ruim (nota 5). Também pôde-se observar que 92%, para 3 m*min⁻¹ e 69%, para 6 m*min⁻¹, dos corpos-de-prova foram considerados satisfatórios, pois foram classificados de excelente (nota 1) a boa (nota 2). Esse fato representa que as etapas de lixamento após a usinagem para redução dos defeitos serão reduzidas ou até desnecessárias, para a maioria das peças usinadas nessas condições.

Para as velocidades de avanço de 15 e 30 m*min⁻¹, nenhum corpo-de-prova recebeu classificação satisfatória, de excelente (nota 1) a boa (nota 2). Também 46%, para velocidade de 15 m*min⁻¹ e 100%, para 30 m*min⁻¹ foram avaliados como não satisfatórias (notas 4 e 5), conforme indicação da ASTM D-1666-87 (1995). Esses percentuais indicam a forte necessidade de processos de lixamento,

Tabela 2 – Valores médios dos avanços por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) e medido (fz_{medido}) e as diferenças para os aplainamentos com diferentes velocidades de avanço.

Table 2 – Calculated ($fz_{\text{calculado}}$) and measured (fz_{medido}) medium values of the advance per tooth and the differences for the planning at different advance speeds.

Velocidade de avanço ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	Valores médios de avanço por dente (fz), em mm		Diferença (mm) ($fz_{\text{calculado}} - fz_{\text{medido}}$)
	$fz_{\text{calculado}}$	fz_{medido}	
3	0,7	-	-
6	1,3	1,4	0,1
15	3,4	3,1	0,3
30	6,7	6,3	0,4

Tabela 3 – Porcentuais de corpos-de-prova classificados, segundo a ASTM 1666-87 (1995), para os aplainamentos com diferentes velocidades de avanço.

Table 3 – Percentile of samples classified according to the ASTM 1666-87 (1995), for wood surface planning at different advance speeds.

Velocidade de avanço ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	Percentual de corpos-de-prova classificados (%)				
	Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
3	38	54	8	0	0
6	23	46	31	0	0
15	0	0	54	38	8
30	0	0	0	38	62

visando à melhoria da superfície, nessas velocidades de avanço (Tabela 3).

Aumentos de 3 para $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ reduziram em 15% e 8% dos corpos-de-prova com nota 1 e 2, respectivamente. Já aumentos de 15 para $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ocasionaram redução de 54% com nota 3 e aumento também de 54% com nota 5 (Tabela 3). A redução de qualidade está relacionada com a estrutura da madeira, pois, além de aumentar o avanço por dente, altas velocidades de avanço provocam mais arrancamento de fibras.

Considerando o alto percentual de corpos-de-prova reprovados pela classificação da ASTM D-1666-87 (1995), os três classificadores apontaram os prováveis usos da madeira, considerando as qualidades obtidas. Nesse sentido, 92% (notas 1 e 2) dos corpos-de-prova usinados com velocidade $3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 3a e 3b) somados com 69%

(notas 1 e 2) daqueles usinados com velocidade de $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 3c e 3d) foram indicados para produtos da indústria de móveis ou de esquadrias de acabamento como rodapés, molduras de armários e alizares. Já 8; 31 e 54% dos corpos-de-prova usinados com velocidades de 3 (Figura 4a), 6 (Figura 4b) e $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 4c), respectivamente, foram indicadas para corrimão, lambris, peças estruturais aparentes e pisos, uma vez que receberam nota 3 (regular). Já para 46% (notas 4 e 5) e 100% (notas 4 e 5) dos corpos-de-prova usinados com velocidades de 15 (Figura 5a e 5b) e $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 5c e 5d), os avaliadores indicaram como peças estruturais internas de divisórias, peças estruturais não aparentes de telhados e cercas divisórias e/ou portões externos. Em todos os casos, foi considerada a utilização da superfície aplainada com todos os aspectos existentes, sem a necessidade de utilização de lixamentos.

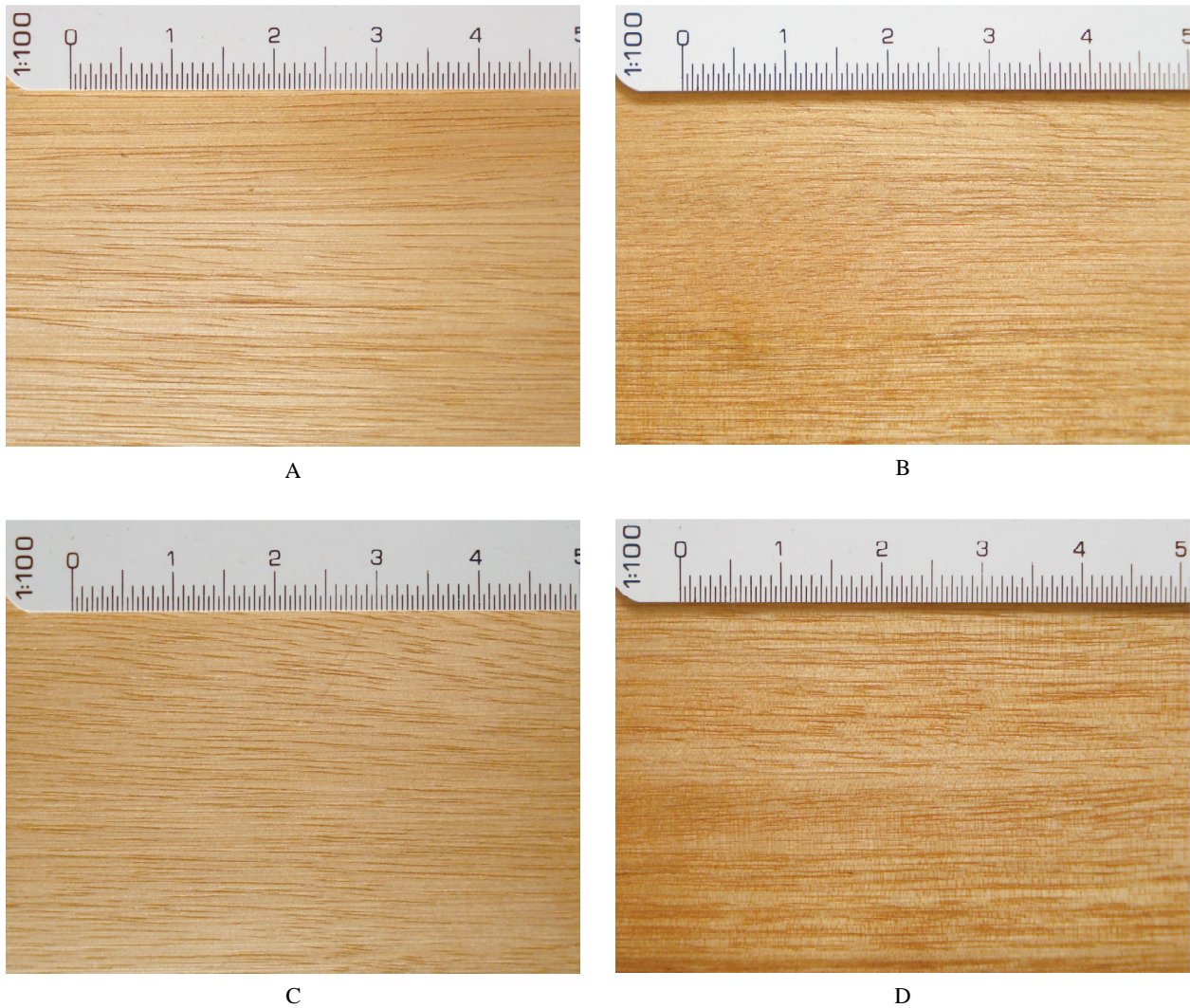


Figura 3 – Superfície aplainada e qualificada como excelente e boa (ASTM D-1666-87, 1995), em que A, B, C e D representam as notas 1 e 2 na velocidade de avanço de 3 e 6 $m \cdot min^{-1}$, respectivamente.

Figure 3 – Flat surfaces qualified as excellent and good (ASTM D-1666-87, 1995); A, B, C and D represent scores 1 and 2 at the advance speed of 3 and 6 $m \cdot min^{-1}$, respectively.

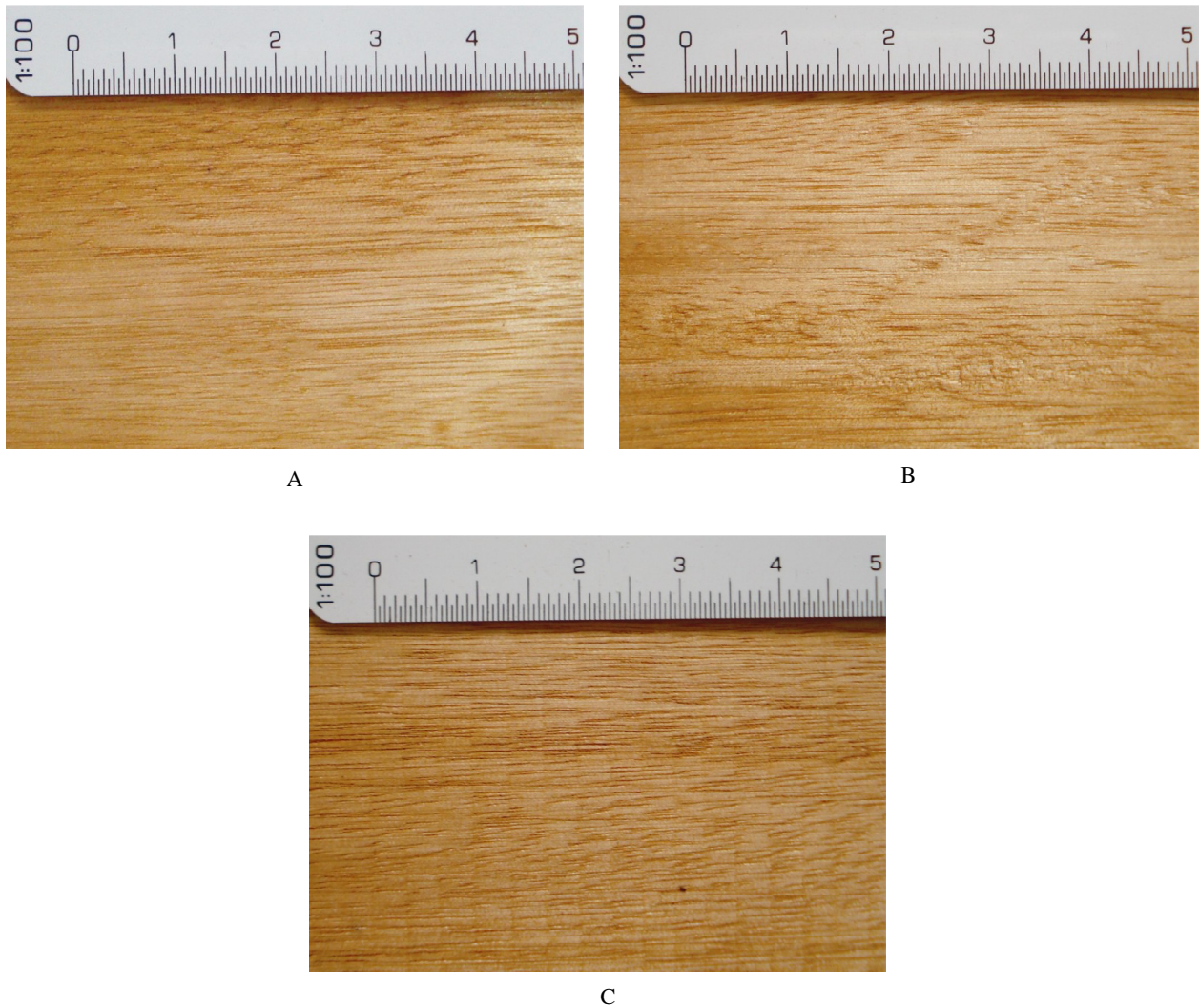


Figura 4 – Superfície aplainada e qualificada como regular (ASTM D-1666-87, 1995), em que A, B e C representam as notas 3 na velocidade de avanço de 3, 6 e 15 $m \cdot min^{-1}$, respectivamente.

Figure 4 – Flat surface qualified as regular (ASTM D-1666-87, 1995); A, B and C represent scores 3 at the advance speed of 3, 6 and 15 $m \cdot min^{-1}$, respectively.

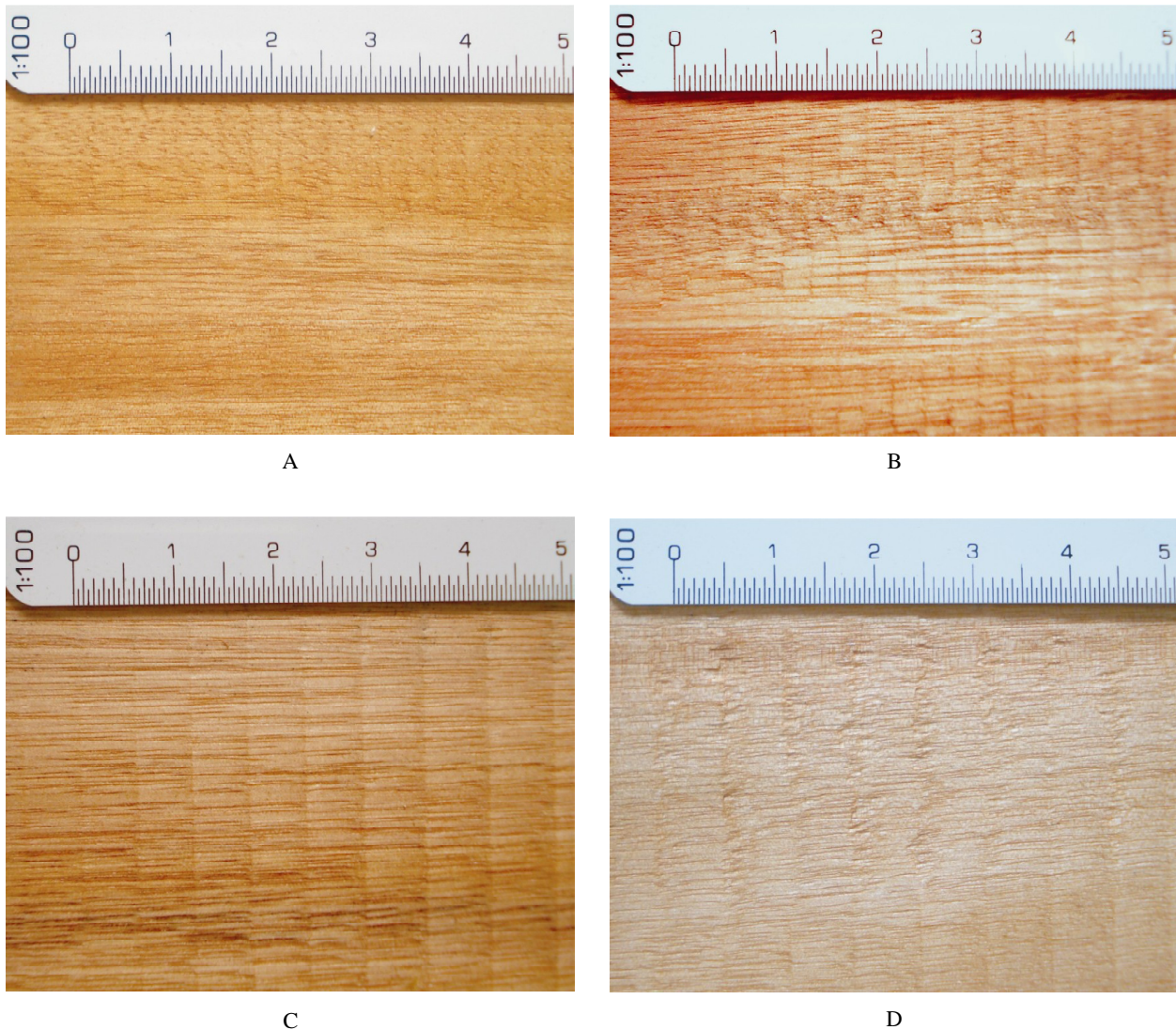


Figura 5 – Superfície aplainada e qualificada como ruim e muito ruim (ASTM D-1666-87, 1995), em que A, B, C e D representam as notas 4 e 5 na velocidade de avanço de 15 e 30 $m \cdot min^{-1}$, respectivamente.

Figure 5 – Flat surface qualified as bad and very bad (ASTM D-1666-87, 1995); A, B, C and D represent scores 4 and 5 the advance speed of 15 and 30 $m \cdot min^{-1}$, respectively.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÃO

Não foi possível visualizar o avanço por dente nos corpos-de-prova usinados com velocidade de avanço de 3 $m \cdot min^{-1}$, para frequência de rotação de 4470 min^{-1} e três facas.

O eixo porta-ferramenta da desempenadeira apresentou apenas um dente ativo.

Os percentuais de corpos-de-prova considerados satisfatórios foram decrescentes, com aumento da velocidade de avanço.

A partir das qualidades foi possível estabelecer três classes de usos.

Sugere-se promover aplainamentos com intervalos menores de velocidades de avanço, como por exemplo, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 27 e 30 $m \cdot min^{-1}$.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão de recursos financeiros e de bolsa de iniciação científica.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Tecnologia – CNPq pela concessão de recursos financeiros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. **ASTM D 1666-87 standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials** (reapproved 1994). Philadelphia. p.226-245. 1995
- BET. L. **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor**. Florianópolis, 1999. 243f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). - Universidade Federal de Santa Catarina.
- BONDUELLE, A.; CRUZ, C. R. da; SILVA, J. R. M. *Processo mecânico da madeira*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p (Notas de aula).
- BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.61, p.82-86, 2001.
- CETMAM/SENAI. **Fundamentos teóricos da afiação e manutenção de ferramentas para a indústria moveleira e madeireira**. São José dos Pinhais, 1996. 73p.
- 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.
- GUIMARÃES, M. A.M. *Avaliação de superfícies usinadas em madeira de Eucalyptus grandis*. Lavras: UFLA, 2005. 52 p.: il. (Monografia)
- KININMONTH, J. A.; WHITEHOUSE, L. J. **Properties and use of New Zealand radiata pine**: wood properties, New Zealand: Forest Research Institute, 1991. v.1.
- SENAI. **Acabador de móveis**. Ubá:CFP/JAGS, 1995. 29p.
- SILVA, J.R.M; MUÑIZ, G.I.B; LIMA, J.T; BONDUELLE, A.F. Relações da usinabilidade com a morfologia das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 479-487, 2005.
- SILVA, J.R.M. *Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do Eucalyptus grandis Hill Ex. Maiden*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 179 f. 2002.
- SILVA, J. R. M. et al. Preparação de superfícies de madeira e derivados para receber acabamento. **Boletim Agropecuário**, Lavras, v.28, p.05-26, 1999. (Boletim Técnico).
- SILVA, J.R.M. et al. *Afiação de ferramentas para o setor madeireiro*. Lavras: UFLA/DCF, 1996. 37p.
- VIEIRA, R.S. Pequenos objetos de Madeira de eucalipto: possibilidades de aproveitamento de resíduo. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras. 2006. 99 p.
- WEING. *Oberflächenqualität*. Werkzeug, Präsentation Hydrotechnik, Jointen. Author: Andreas Schreck. V. cd. 2000.
- WEISSENSTEIN, C. Usinagem, condições da ferramenta decide bom acabamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.57, p.30-32, 2000.