



RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA DE MADEIRAS DE *Corymbia* e *Eucalyptus*

Anna C. de A. ANDRADE¹; Francisco A. V. da SILVA¹; José R. M. da SILVA; Mônica B. OLIVEIRA¹; José T. LIMA¹; Jordão C. MOULIN e Roberto A. BRAGA JÚNIOR²

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade de Lavras, Lavras, Brasil

² Departamento de Engenharia, Universidade de Lavras, Lavras, Brasil

RESUMO

A indústria de piso de madeira no Brasil tem destaque no mercado mundial, estando entre os principais produtores e exportadores. O mercado de piso de madeira é bastante competitivo, o que força as empresas a buscarem sempre por novas tecnologias e metodologias eficientes para o processo produtivo para tornar seus produtos mais competitivos. É de grande relevância estudos para a melhoria no processo produtivo, influenciando diretamente no aproveitamento e na qualidade dos pisos. Um fator a ser avaliado é a usinagem, por motivo das empresas trabalharem com produção em grande escala e uso de altas velocidades de avanço e RPM, não sendo modificados para diferentes espécies processadas e outro ponto é utilização de espécies alternativas como *Eucalyptus* e *Corymbia*. O objetivo deste trabalho foi qualificar a superfícies de madeiras utilizando o rugosímetro de arraste. Para a realização deste trabalho foram utilizadas tábuas de cinco espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, provenientes de plantio do projeto de desenvolvimento e pesquisa florestal (PRODEPEF) implantado na Universidade Federal de Lavras, com 37 anos de idade. As tabuas foram secas em estufa convencional até umidade 12%. Foram transportadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF-UFLA) para confecção dos corpos de prova e realização dos ensaios de usinagem que utilizou plaina desempenadeira com duas velocidades de avanço e duas rotações para o eixo porta ferramentas. Foi realizada a qualificação da superfície usinada por meio dos parâmetros de rugosidade (Ra e Rz). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) a 5% de significância, para caracterização e diferenciação da densidade e ângulo de grã e delineamento fatorial 5 x 2 x 2 (Espécie x velocidade de avanço x RPM) com cinco repetições para avaliação da influência da variação dos parâmetros de usinagem. Os resultados dos parâmetros de rugosidade “Ra” e “Rz” foram baixos comparados a os obtidos em outras literaturas. Estatisticamente os parâmetros velocidade de avanço e RPM avaliados não foram significativos, já a densidade foi o que mais influenciou na usinagem. Quanto maior a densidade melhor foi a usinagem para a análise de rugosidade.

Palavras-chave: Processamento mecânico, Qualidade, Pisos.

ABSTRACT

The wood flooring industry in Brazil has featured on the world market, being among the main producers and exporters. The wood flooring market is quite competitive, which forces companies to always seek for new technology and efficient methodologies for the production process to make their products more competitive. It is highly relevant studies to improve the production process, directly influencing the use and quality of the floors. One factor to be assessed is the machining, by reason of the companies work with large-scale production and



use of high-speed advance and RPM, not being modified for different species processed and another point is the use of alternative species such as *Eucalyptus* and *Corymbia*. The aim was to qualify the surfaces of wood using the roughness of drag. For this work we used boards of five species of *Eucalyptus* and *Corymbia*, from plantation development project and forest research (PRODEPEF) deployed at the Federal University of Lavras, 37 years old. The tablets were dried in a conventional oven until moisture 12%. They were transported to the Wood Machining Laboratory (DCF-UFLA) for preparation of specimens and carrying out machining tests which used planer trowel with two forward speeds and two rotations to the shaft tool holder. Qualifying was held the machined surface by the roughness parameters (R_a and R_z). We used a completely randomized design (CRD) to 5% significance for characterization and differentiation of density and grain angle and factorial design $5 \times 2 \times 2$ (Species \times RPM forward speed) with five replications to evaluate the influence of variation of machining parameters. The results of roughness parameters "R" and "RZ" were low compared to those obtained in other literatures. Statistically the forward speed and RPM parameters evaluated were not significant, since the density was the strongest influence on machining. The higher the density was better machining roughness analysis.

Key-words: Mechanical Processing, Quality, Floors.

1. INTRODUÇÃO

Os rugosímetros são equipamentos que determinam perfis lineares em superfícies de materiais. Eles medem variações verticais em função de um deslocamento horizontal e é usado para verificar rugosidade em materiais como metais, plásticos, superfícies de dentes entre outros. O método de avaliação da superfície com rugosímetro tem sido muito usado para determinar a rugosidade da superfície de madeira sólida e compósitos de madeira, apresentando bons resultados (Kilic et al., 2006; Silva et al., 2006; Silva et al., 2008; Tiburcio, 2009; Braga et al., 2010; Varanda et al. 2010) mostraram que o rugosímetro de arraste pode ser utilizado para verificação da rugosidade de superfícies usinadas de madeira.

Segundo Sandak e Martino (2005) cada material tem a sua superfície composta de picos e vales em miniatura. O tamanho e a distribuição espacial desses picos e vales influenciam as propriedades específicas da superfície. O rugosímetro de arraste fornece parâmetros que representam uma forma da expressão matemática entre a variação vertical das superfícies, expresso pelos picos e vales e o deslocamento horizontal do sensor (agulha). Os parâmetros normalmente utilizados nas avaliações de rugosidade são: R_a , R_q , R_t , R_z . De acordo González (1987) há aqueles que se fundamentam em medidas de profundidade, os seguintes parâmetros ficam definidos, como R_a , dado pelo comprimento de amostragem, que indica a medida da rugosidade, o R_q , que é a raiz da média dos quadrados das ordenadas do perfil efetivo, o R_z , a média aritmética dos valores de rugosidade parcial, o R_t , a distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo.

De acordo com Silva et al.(2008), analisando madeiras de *Eucalyptus grandis* concluiu que, inicialmente os parâmetros de rugosidade R_a e R_q apresentaram uma correlação com a velocidade de avanço, pois os valores médios dos parâmetros R_a e R_q tendem a aumentar à medida que a velocidade de avanço aumenta. O parâmetro de rugosidade R_a baseia-se na medição da textura de uma superfície por meio do recurso da linha. É sabido que quanto menor o valor desse parâmetro menor é a rugosidade do material (SORAGI, 2009).



O objetivo desse trabalho foi avaliar a superfície de madeiras por meio do rugosímetro de arraste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas tábuas de cinco espécies, pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* (Tabela 1), provenientes de plantio do projeto de desenvolvimento e pesquisa florestal (PRODEPEF) implantado na Universidade Federal de Lavras- UFLA com 37 anos de idade, localizado em Lavras/MG.

Tabela 1. Distribuição e identificação das espécies utilizadas por gênero.

Gênero	Espécie	Identificação
<i>Corymbia</i>	<i>C. citriodora</i>	A
	<i>C. maculata</i>	B
<i>Eucalyptus</i>	<i>E. dunnii</i>	C
	<i>E. grandis</i>	D
	<i>E. urophylla</i>	E

As tábuas foram obtidas após desdobro das toras em serra fita, na qual foi utilizado o método de desdobro tangencial de cortes sucessivos. Posteriormente foram empilhadas e entabacadas em estufa do tipo convencional e secas até atingir 12% de umidade.

Após secas, as tábuas foram transportadas e armazenadas para acondicionamento no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA), onde foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 800 x 100 x 25 mm (C x L x E) e posteriormente foram executados os ensaios de usinagem.

Os ensaios foram desenvolvidos na plaina desempenadeira com cabeçote contendo três facas e a velocidade de avanço foi controlada por inversor de frequência ligado ao alimentador de avanço. Foram utilizadas velocidades de avanço de 15 e 30 m.min⁻¹ e rotações de 3300 e 4500 RPM, para cada velocidade de avanço e rotação foram utilizados cinco corpos de prova. Paralelamente ao ensaio de usinagem, foi determinado à densidade aparente e o ângulo da grã em cada corpo de prova.

As análises de rugosidade foram realizadas por meio de rugosímetro de arraste, os parâmetros analisados foram o Ra e Rz. A metodologia de análise da rugosidade foi feita de acordo com Silva et al. (2006), sendo demarcados retângulos de 10 x 5 mm (C x L) sobre os corpos de prova para indicar a localização da medição da rugosidade e uma seta indicando o sentido de medição.

Para análise estatística dos dados destinados a caracterização e diferenciação da densidade e desvio da grã foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para comparação múltipla de médias foi utilizado o teste Scott-Knott a 5% de significância. O modelo estatístico utilizado foi dado pela Equação 1:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Em que:



Y_{ij} = valor observado na parcela experimental que recebeu o nível i ($i= 1, 2$ e 3) do fator α e na repetição k ($k= 1, 2$ e 3);

μ = representa uma constante geral;

α_i = efeito do nível i do fator α ;

ε_{ij} = erro experimental.

Para avaliação da influência da variação dos parâmetros de usinagem em R_a e R_z foi utilizado o delineamento fatorial em $5 \times 2 \times 2$, sendo cinco níveis para as fontes de variação “Espécie” e dois níveis para “velocidade de avanço” e “Rotação por Minuto”. Para comparação múltipla de médias foi utilizado o teste Scott-Knott a 5% de significância. O modelo estatístico utilizado foi dado pela Equação 2:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (2)$$

Em que:

Y_{ijkl} = valor observado na parcela experimental que recebeu o nível i ($i= 1, 2$ e 3) do fator α , o nível j ($j= 1, 2$ e 3) do fator β e o nível k ($k= 1$ e 2) do fator γ na repetição l ($l= 1, 2$ e 3);

μ = representa uma constante geral;

α_i = efeito do nível i do fator α ;

β_j = efeito do nível j do fator β ;

γ_k = efeito do nível k do fator γ ;

$\alpha\beta_{ij}$ = efeito da interação entre o nível i do fator α e o nível j do fator β ;

$\alpha\gamma_{ik}$ = efeito da interação entre o nível i do fator α e o nível k do fator γ ;

$\beta\gamma_{jk}$ = efeito da interação entre o nível j do fator β e o nível k do fator γ ;

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$ = efeito da interação entre o nível i do fator α , o nível j do fator β e o nível k do fator γ ;

ε_{ijklm} = erro experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de rugosidade R_a e R_z coletados foram submetidos à análise de variância (Tabela 2). Observa-se que todas as interações foram não significativas, em que apenas a espécie influenciou na variação do R_a e R_z .

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os parâmetros de rugosidade “ R_a ” e “ R_z ” da superfície da madeira de *Eucalyptus* em diferentes padrões de usinagem

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		R_a	R_z
Espécie (E)	4	2,143 *	80,046 *
Velocidade avanço (VA)	1	0,149 ns	1,947 ns
Rotação por minuto (RPM)	1	0,810 ns	59,287 ns
E x VA	4	0,752 ns	27,046 ns
E x RPM	4	0,498 ns	6,463 ns
VA x RPM	1	0,683 ns	2,035 ns
E x VA x RPM	4	0,318 ns	22,497 ns
Erro	80	0,478	23,798
CV (%)		27,92	34,19

GL: Graus de Liberdade; CV(%): Coeficiente de variação experimental. ns: Não significativo a 95% de probabilidade; *: Significativo a 95% de probabilidade.



Os resultados diferem dos encontrados por Silva et al. (2006, 2008); Braga (2011) e Dias Junior et al. (2013), os quais trabalharam com espécies mais jovens e de menor densidade, observaram que nas maiores velocidades de avanço os valores de Ra e Rz foram maiores e para baixa velocidade de avanços com rpm maiores tem-se uma diminuição nos valores de rugosidade. Porém esses autores ressaltam que baixas velocidades de avanço com rpm excessivos pode causar o efeito de raspagem na peça usinada provocando o escurecimento da superfície da madeira. Segundo Bonduelle (2002) um valor excessivo de rpm também causa o desgaste prematuro do gume de corte da ferramenta, diminuindo sua vida útil.

Os valores significativos para os parâmetros de rugosidade Ra e Rz entre espécies são devidos as diferentes densidades e aos diferentes valores encontrados para o ângulo da grã (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para os valores de densidade e desvio de grã para madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Densidade	Ângulo da grã
Espécie	4	0,0836*	16,184*
Erro	20	0,0024	6,144
CV (%)		5,06	73,92

GL: Graus de Liberdade; CV(%): Coeficiente de variação experimental; ^{ns}: Não significativo a 95% de probabilidade; * : Significativo a 95% de probabilidade.

De acordo com a análise de variância as espécies tiveram valores significativos para densidade (Figura 1) e ângulo da grã (Figura 2).

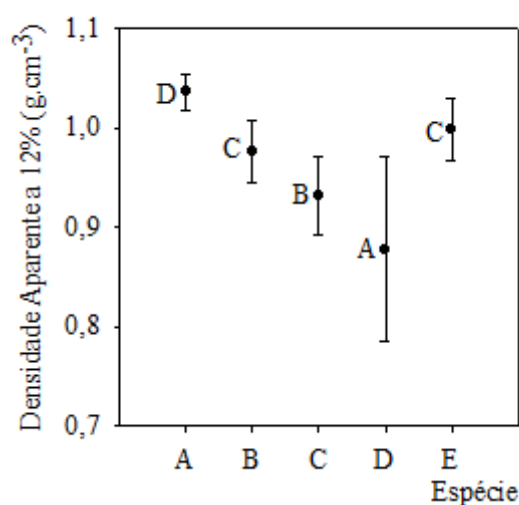


Figura 1. Relação de densidade aparente entre espécies

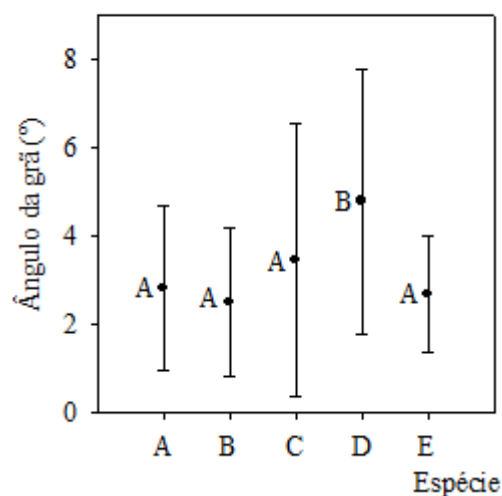


Figura 2. Relação de desvio de grã entre espécies.



Quando comparado os valores de densidade e ângulo de grã aos Ra e Rz encontrados, observa-se que os maiores valores foram provenientes da espécie com menor densidade e maior desvio de grã (Figura 3 e 4). De acordo com Silva et al. (2002), madeiras de baixa densidade possuem tecidos lenhosos mais frágeis, apresentando superfícies aveludadas ocasionadas pelo arrancamento das células durante a usinagem.

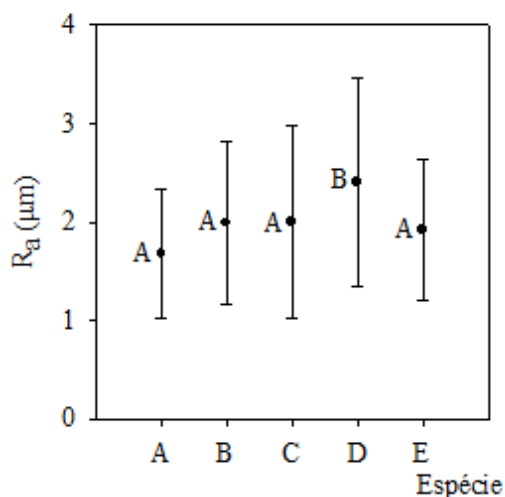


Figura 3: Relação do parâmetro de rugosidade “Ra” entre espécies.

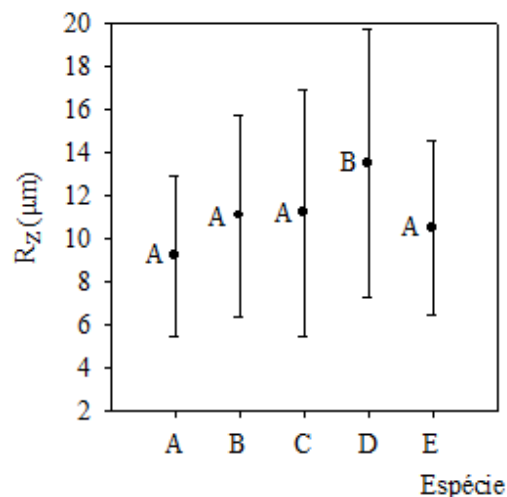


Figura 4: Relação do parâmetro de rugosidade “Rz” entre espécies.

Com base nos gráficos gerados na avaliação da rugosidade, foi observado que o perfil da superfície aplainada da madeira de maior densidade houve picos menores e vales profundos, bem como a extensão desses vales foi menor. Por outro lado, o perfil da superfície da espécie com menor densidade foi caracterizado por uma incidência de maiores picos e vales. Na Figura 5 pode ser visualizado o perfil de rugosidade para as superfícies usinadas.

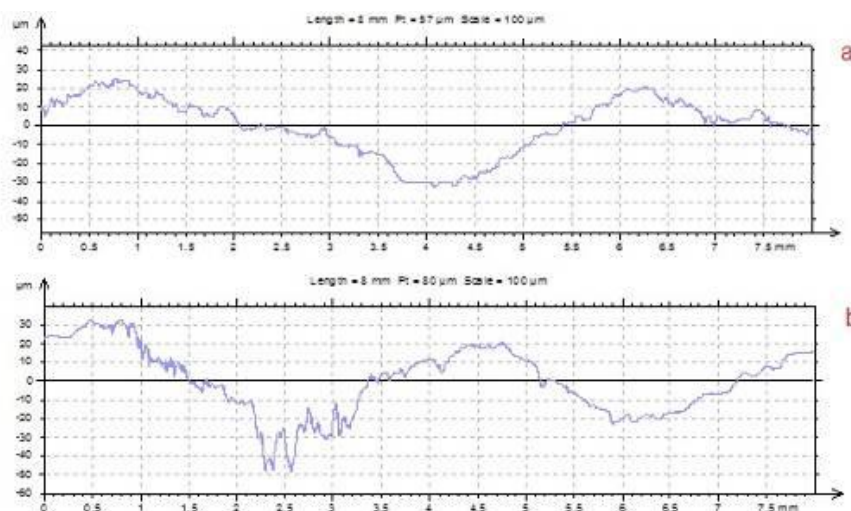


Figura 5. Perfil de rugosidade de amostras de *Eucalyptus* em que, **a** é a espécie com maior densidade e **b** a espécie com menor densidade



Os valores médios dos parâmetros de rugosidade Ra e Rz encontrados no presente trabalho (Tabela 4), foram menores que os encontrados por outros autores que trabalharam com madeiras da mesma espécie e de espécies diferentes. Esse resultado pode ser explicado pela diferença das densidades e idades, já que os autores trabalharam com espécies de idade e densidade inferior aos do presente trabalho. Os resultados encontrados para rugosidade foram satisfatórios para a análise de rugosidade.

Tabela 4. Valores médio dos parâmetros de rugosidade Ra e Rz

Velocidade de avanço x RPM	Ra (μm)	Rz (μm)
15 x 3300	2,44	15,04
15 x 4500	2,43	13,78
30 x 3300	2,69	15,04
38 x 4500	2,34	13,22

4. CONCLUSÃO

Os valores dos parâmetros de rugosidade Ra e Rz não foram influenciados por diferentes velocidades de avanço e RPM.

Fatores como densidade e desvio de grã influenciam diretamente na rugosidade da madeira usinada. Os menores valores dos parâmetros de rugosidade Ra e Rz foram obtidos para as madeiras com maior densidade, pois quanto menor a densidade e maior o ângulo da grã maior foi o parâmetro de rugosidade Ra e Rz.

5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio da CAPES, do CNPq e da FAPEMIG por conceder recursos financeiros para aquisição de suplementos fundamentais para a realização desse trabalho, bem como viabilizar a participação no II CBCTEM

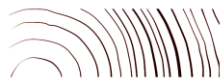
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONDUELLE, A.; CRUZ, C. R.; SILVA, J. R. M. **Processo mecânico da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p (Notas de aula).

BRAGA PPC, SILVA JRM, GONTIJO TG, TEIXEIRA RL, NUNES ACM. Qualificação de superfícies de diferentes madeiras usinadas. In: Anais Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais; 6.; Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Rio de Janeiro; 2.; 2010; Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IF, 2010.

BRAGA, P. P. C. Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de Coffea arábica; 2011.88 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DIAS JUNIOR, A. F.; SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, V. 04, n.01, P.93-107, 2013.



GONZÁLEZ, R. V. B. Rugosidade superficial. Joinville. 1987.

KILIC M, HIZIROGLU S, BURDURLU E. Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment* 2006; 41(8):1074-1078. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.008>

SANDAK JAKUB, NEGRI MARTINO, Wood Surface Roughness – What Is It?, Proceedings of the 17th International Wood Machining Seminar, Rosenheim, Vol.1 pp.242-250

SILVA, F. D.; BITTENCOURT, R. M. Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8, 2002, Uberlândia, MG. Anais... Uberlândia: UFU, 2002. p.289-298.

SILVA, J. R. M. et al. A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 10, 2006, São Pedro. Anais...São Pedro: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, J. R. M.; BRAGA, P. P. C.; MARTINS, M. Identificação de parâmetros de rugosidade para qualificação de pisos de *eucalyptus grandis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11. 2008, Londrina. Anais... Londrina: EBRAMEN, 2008. 1 CDROM.

SORAGI, L. C. Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem. 2009. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TIBURCIO UFO. Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento [tese] Guaratingueta: Universidade Estadual Paulista; 2009.

VARANDA LD, ALVES MCS, GONÇALVES MTT, SANTIAGO LFF. A influência das variáveis do lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. *Cerne* 2010; 16:23-32.