

Efeito da densidade e da cor na molhabilidade da superfície  
de madeiras de eucalipto

Effect of density and color on the surface wettability of eucalypt woods

Wanessa Aparecida Santos<sup>1\*</sup> e Rosilei Aparecida Garcia<sup>1</sup>**RESUMO**

O objetivo deste estudo foi investigar o efeito da densidade e da cor na molhabilidade da superfície de madeiras de eucaliptos. Foram estudadas sete espécies de eucalipto: *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976. As medições de ângulo de contato foram realizadas pelo analisador de formato da gota DSA 100. As madeiras foram classificadas em três classes de densidade: muito alta, alta e baixa; e dois grupos de cor: amareladas e avermelhadas. As madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram as superfícies mais hidrofóbicas enquanto as madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* apresentaram as superfícies mais molháveis. As madeiras com maior luminosidade (L\*) apresentaram maior molhabilidade (ex. *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis*); e as madeiras com maior tonalidade amarela (b\*) e maior cromaticidade (C\*<sub>ab</sub>) na composição da cor apresentam superfícies mais hidrofóbicas (ex. *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla*). A densidade da madeira teve um efeito importante na fase inicial da molhabilidade, afetando pouco o ângulo de contato ao longo do tempo. As variáveis L\*, b\* e C\*<sub>ab</sub> tiveram maior impacto na molhabilidade da superfície que a densidade.

**Palavras chaves:** ângulo de contato, analisador do formato da gota, espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976.

**ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the effect of density and color on the surface wettability of eucalypt woods. Seven eucalypt woods were studied: *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. Color analyzes were performed in the CIE 1976 L\*a\*b\* space color. Contact angle measurements were made by the drop shape analyzer DSA 100. The woods were classified into three density classes: very high, high and low; and two-color groups: yellowish and reddish. *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* woods exhibited the most hydrophobic surfaces while *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis* woods had the most wettable surfaces. Woods with higher luminosity (L\*) had greater wettability (e.g. *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis*); and woods with greater yellow hue (b\*) and higher chromaticity (C\*<sub>ab</sub>) in the color composition had more hydrophobic surfaces (e.g. *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla*). The wood density had an important effect in the initial phase of the wettability, affecting little the contact angle over time. The L\*, b\* and C\*<sub>ab</sub> variables had greater impact on surface wettability than density.

**Keywords:** contact angle, drop shape analyzer, CIE 1976 L\*a\*b\* space color.

**INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, houve um aumento crescente na utilização de espécies de eucalipto na fabricação de produtos sólidos de madeira. Dentre os fatores que contribuem para o destaque do eucalipto, como matéria prima, estão a alta produtividade das florestas, devido ao clima tropical ou subtropical, em maior parte do território brasileiro, favorecendo um crescimento ininterrupto e um acúmulo de biomassa; as condições de solo favoráveis; e o melhoramento genético, o qual proporciona uma melhor adaptação das espécies às diferentes condições edafoclimáticas existentes no país (ARAÚJO et al., 2017; LONGUE JÚNIOR; COLODETTE, 2013; VALVERDE et al., 2012). Vários problemas associados às madeiras de eucalipto, tais como, elevada retratibilidade, colapso durante

1. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Seropédica / RJ, Brasil. \* Autor correspondente: wanessa\_santosrj@hotmail.com

a secagem e a presença de tensões de crescimento têm sido reduzidos com os avanços tecnológicos (LATORRACA, et al., 2015; TEIXEIRA, et al., 2009). Entretanto, segundo Silva et al. (2005, 2009), os poucos estudos sobre este material ainda dificultam o uso de madeira sólida. Bons resultados na qualidade da superfície das madeiras são alcançados através do conhecimento das características e propriedades anatômicas, química e física, assim como, dos parâmetros de usinagem.

Na indústria moveleira, a obtenção de um produto final de qualidade depende, principalmente, da qualidade da superfície da madeira, os quais têm influência considerável sobre a estética do produto (STANOJEVIC et al., 2017). A qualidade da superfície da madeira é uma das propriedades mais estudadas no processo de acabamento e na resistência a colagem (KILIC et al., 2006). Dentre os parâmetros que avaliam a qualidade da superfície, a molhabilidade e a cor da madeira são características que concedem resultados que permitem diagnosticar, de forma concisa e direta, a qualidade da superfície (PEREIRA et al., 2017).

A molhabilidade é a capacidade de um líquido de se espalhar sobre a superfície do material (WANG et al., 2017), sendo afetada, no caso da madeira, pelas propriedades físicas tais como rugosidade superficial, a qual é associada à estrutura anatômica e à usinagem, densidade, teor de umidade; e pela composição química, principalmente pela natureza e teor de extrativos (TSHABALALA, 2005).

A análise de ângulo de contato é uma medida quantitativa da molhabilidade e permite estimar a molhagem e a penetração de um líquido (FRIHART; HUNT, 2010). Superfícies com ângulos de contato de 0° apresentam uma molhabilidade completa (superfície hidrofílica); ângulos < 90° caracterizam superfícies parcialmente molháveis; enquanto ângulos > 90° caracterizam superfícies completamente hidrofóbicas (não molhável) (LATTHE et al., 2014; LUZ; RIBEIRO; PANDOLFELLI et al., 2008; WÄLINDER, 2000). Assim, quanto menor o ângulo de contato, maior a molhabilidade e vice-versa (FANG et al., 2016; WANG et al., 2017). A determinação do ângulo de contato pode ser realizada no modo estático e dinâmico. No modo estático, a medição do ângulo de contato é feita pela deposição de uma gota na superfície do substrato em que o cosseno do ângulo de contato está relacionado à energia superficial da amostra e é calculado pela equação de Young (TSHABALALA, 2005). No modo dinâmico, o método da balança de Wilhelmy é mais conhecido em que o ângulo de contato é determinado com o uso de uma balança de precisão, que mede a força exercida sobre uma pequena amostra de perímetro conhecido, quando ela é mergulhada e retirada de um líquido com tensão superficial conhecida (TSHABALALA, 2005). O método mais recente para medição de ângulo de contato é o analisador de formato da gota (DAS – Drop Shape Analyzer) que permite calcular o ângulo estático e dinâmico; e mensurar a energia superficial de sólidos e a tensão superficial de líquidos (KRÜSS, 2011).

As madeiras apresentam uma ampla e variada coloração podendo apresentar tons amarelado, avermelhado, amarronzado entre outros. A cor da madeira é uma propriedade estética importante para a identificação, classificação e indicação de uso de uma determinada espécie; e quando associada à textura e ao desenho, afeta diretamente o valor comercial das madeiras (BARROS et al., 2014; CSANÁDY et al., 2015).

A cor da madeira é resultante da composição química das substâncias presentes no xilema, tais como extrativos e ligninas (SILVA et al., 2015), sendo influenciada por diversos fatores, tais como, espécie, densidade, teor de umidade, teor de extrativos, estrutura anatômica, idade da árvore e tratamentos silviculturais (GARCIA et al., 2014; GIERLINGER et al., 2004; KLUMPERS et al., 1993; MOSEDALE et al., 1996; RINK; PHELPS, 1989). Além disso, a cor pode ser um indicador das propriedades tecnológicas da madeira.

Neste contexto, a demanda por produtos de alto padrão, bem acabados e duráveis, torna importante a realização de estudos sobre a qualidade da superfície da madeira. Um bom acabamento da superfície pode agregar valor à peça de madeira, influenciando, diretamente, no preço final do produto. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da densidade e da cor na molhabilidade da superfície de madeiras de eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Espécies de eucalipto estudadas

Foram estudadas, as espécies *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus robusta* Sm., *Eucalyptus saligna* Sm., *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. O material foi proveniente de

árvores de 12 anos de idade, coletadas de um plantio da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., situada no município de Guanhães, Minas Gerais (latitude de 18° 46' 16" Sul, longitude de 42° 55' 55" Oeste e a altitude de 744 m). Amostras com dimensões de 150 x 35 x 20 mm (comprimento x largura x espessura) foram aplainadas em uma das faces e acondicionadas em câmara climática a 20°C e 65% de umidade relativa (UR) até obter peso constante. O teor de umidade das amostras após o acondicionamento foi de aproximadamente 12%.

A densidade aparente das madeiras foi determinada de acordo com as especificações da ASTM D 2395-93 (ASTM, 1999).

### **Espectroscopia da cor da madeira**

As análises colorimétricas foram realizadas com o espectrofotômetro CM 2600d da Konica Minolta no espaço de cor  $L^*a^*b^*$  CIE 1976 segundo a norma ISO 11664-4:2008 (ISO, 2008), em que foram obtidas as variáveis: luminosidade ( $L^*$ ) variando do preto (zero) ao branco absoluto (100); coordenadas cromáticas  $a^*$  [variando de verde ( $-a^*$ ) a vermelho ( $+a^*$ )] e  $b^*$  [variando de azul ( $-b^*$ ) ao amarelo ( $+b^*$ )] em uma escala de +60 a -60; croma ( $C^*_{ab}$ ), variando de 0 (acromático) à 60; e ângulo de tonalidade ( $h_{ab}$ ), o qual inicia-se no eixo  $+a^*$  em que 0° representa o vermelho, 90° o amarelo, 180° o verde e 270° o azul. Os parâmetros  $C^*_{ab}$  e  $h_{ab}$  foram calculados pelas equações (1) e (2).

$$C^*_{ab} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

e

$$h_{ab} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

As medições de cor foram efetuadas na face tangencial em 10 pontos equidistantes ao longo do comprimento da amostra utilizando o iluminante D65, ângulo de observação de 10°, luz especular incluída e abertura de 3 mm («*Small Area View*» SAV). Foram utilizadas 15 repetições para cada espécie. Os dados foram transferidos para o *software* SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, da Konica Minolta e transportado para o *software* Microsoft Office Excel para as análises estatísticas.

### **Análises de ângulo de contato**

A molhabilidade da superfície das madeiras foi avaliada pela análise de ângulo de contato com o analisador de formato da gota (*Drop Shape Analyzer* DSA100), versão 1.92 da KRÜSS GmbH (Hamburg, Alemanha). O equipamento é composto por uma mesa para suporte das amostras, uma seringa dosadora e um sistema de vídeo com câmera para aquisição das imagens da gota. As medições de ângulo de contato foram realizadas pelo programa DSA1, o qual captura imagens da gota depositada na superfície do material e calcula o ângulo de contato de forma contínua ao longo do tempo de medição.

As análises foram realizadas em ambiente climatizado em que se utilizou água destilada como líquido teste, uma seringa dosadora de 100 µl, agulha com 0,5 mm de diâmetro e a altura da agulha em relação à superfície do material de 3 mm. O formato da gota foi analisado, de forma contínua, durante 120 s, com medições a cada 5 s, resultando em 24 leituras de ângulo de contato para cada ponto de cada amostra. As medições de ângulo de contato foram efetuadas em cinco pontos de cada amostra com 15 repetições por espécie.

Foram consideradas as seguintes variáveis de ângulo: ângulo de contato inicial = primeira leitura tomada 5 s após a deposição da gota na superfície da amostra; ângulo de contato final = última leitura tomada 120 s após a deposição da gota na superfície da amostra; e ângulo de contato médio = média das 24 leituras tomadas durante os 120 s de medição.

### **Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas com o programa STATISTICA 7.0. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene à 95% de probabilidade. Utilizou-se a análise de variância (ANOVA) para as variáveis que atenderam os pressupostos da análise estatística e os testes de Tukey ou Fisher à 95% de probabilidade para a comparação entre as médias. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para as variáveis que não atenderam os pressupostos da ANOVA.

As variáveis dependentes estudadas foram: (i) variáveis de cor = L\* (luminosidade), a\* (vermelho), b\* (amarelo), C\*<sub>ab</sub> (croma) e h<sub>ab</sub> (ângulo de tonalidade) e (ii) variáveis de ângulo de contato = ângulo de contato inicial, ângulo de contato final e ângulo de contato médio das sete madeiras de eucalipto. A correlação entre as variáveis dependentes foi verificada pela análise de Pearson.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização física e colorimétrica das madeiras

A densidade aparente variou significativamente entre as madeiras de eucalipto (Tabela 1), sendo possível separar as mesmas em três classes (baixa, alta e muito alta). A madeira de *Corymbia citriodora* apresentou a maior densidade aparente, classificada como muito alta (BORTOLETTO JÚNIOR, 2003; FOELKEL; BARRICHELO; MILANEZ, 1975; STURION et al., 1987) enquanto a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou a menor (0,460 g.cm<sup>-3</sup>) (classe baixa). As densidades aparentes dessas madeiras estão de acordo com aquelas encontradas por outros autores, os quais mencionam densidades aparentes de 1,04 e 0,50 g.cm<sup>-3</sup> (a 15% de umidade) para as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente (IPT, 2003); e densidades básicas entre 0,47 e 0,49 g.cm<sup>-3</sup> para a madeira de *Eucalyptus grandis* com idades entre 10 e 25 anos (ELEOTÉRIO et al., 2014; OLIVEIRA; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, 2010; SILVA, 2002). As densidades aparentes das demais madeiras (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*) não se diferenciaram entre si (Tabela 1), sendo classificadas como alta (BORTOLETTO JÚNIOR, 2003; FERREIRA; KAGEYAMA, 1978; FOELKEL, 1978; RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993), mas diferenciaram significativamente das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*.

As variáveis colorimétricas variaram significativamente entre as madeiras estudadas (Tabela 1). A luminosidade (L\*) foi maior nas madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis*, mostrando que elas apresentam cor mais clara quando comparadas às demais espécies. As madeiras de *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla* são as mais escuras (menor valor de L\*).

A tonalidade vermelha (a\*) variou significativamente entre as madeiras de eucalipto (Tabela 1). As madeiras de *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus saligna* apresentaram os maiores valores de tonalidade vermelha (a\*) enquanto a madeira de *Corymbia citriodora* apresentou os menores valores de a\*. As madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram a mesma tonalidade vermelha com valores médios de a\* de 14,96, 14,70 e 14,78, respectivamente.

**Tabela 1.** Médias de densidade aparente e das variáveis colorimétricas das madeiras de eucalipto.

**Table 1.** Means of the specific gravity and color variables of the eucalypt woods.

Espécies	Densidade aparente à 12%U (g.cm <sup>-3</sup> )	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
<i>Corymbia citriodora</i>	0,951 a (0,95)	68,54 c [474,42]	6,35 e [82,37]	20,70 b [455,74]	21,66 d [178,86]	72,98 a [971,53]
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,749 b (0,75)	72,59 a [788,83]	8,61 d [219,13]	20,94 b [515,32]	22,66 cd [277,13]	67,70 b [829,47]
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,741 b (0,66)	70,10 b [593,89]	14,78 b [700,60]	21,96 a [739,13]	26,48 a [793,68]	56,09 c [527,40]
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,758 b (0,76)	65,93 e [259,67]	15,22 a [824,20]	20,72 a [662,16]	25,72 ab [706,63]	53,76 d [234,06]
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,703 b (0,08)	67,23 cd [381,77]	14,96 ab [726,64]	20,67 b [450,74]	25,83 b [680,09]	54,15 d [269,25]
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,712 b (0,08)	66,64 de [317,57]	14,64 b [688,38]	21,39 a [713,21]	26,25 ab [739,49]	55,64 c [459,33]
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,460 c (0,03)	73,25 a [862,36]	13,06 c [437,18]	18,72 c [142,68]	22,83 c [302,02]	55,13 c [387,46]
Teste de Levene	1,59 <sup>NS</sup>	11,15*	6,79*	11,41*	7,91*	16,96*
ANOVA – Valor F	70,13*	-	-	-	-	-
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	-	529,56*	790,90*	418,75*	662,08	759,02

\*Significativo a 95% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo. Valores entre parêntesis = desvio padrão. Valores entre colchetes = média dos postos de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si. Variáveis dependentes: L\* = luminosidade, a\* = vermelho, b\* = amarelo, C\*<sub>ab</sub> = croma e h<sub>ab</sub> = ângulo de tonalidade.

As madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla* apresentam os maiores valores médios de  $b^*$  (amarelo) (Tabela 1). A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou o menor valor médio de  $b^*$ . As madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram os maiores valores de croma ( $C^*_{ab}$ ) enquanto as madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* apresentaram os menores valores.

As madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus camaldulensis* apresentaram os maiores ângulos de tonalidade ( $h_{ab}$ ) se aproximando mais do eixo  $b^*$  no diagrama de cromaticidade indicando que elas apresentam uma cor mais amarelada quando comparadas às demais. As madeiras de *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus saligna* apresentaram os menores  $h_{ab}$ , ou seja, maior proximidade do eixo vermelho, caracterizando a cor mais avermelhada dessas espécies (Tabela 1). Em madeiras com valores de  $a^* > 10$ , a tonalidade vermelha manifesta-se de forma mais pronunciada que a amarela ( $b^*$ ), predominando a nuance vermelha na formação da cor (ATAYDE et al., 2011; COSTA et al., 2011; GONÇALEZ et al., 2001). Sendo assim, obtém-se dois grupos de madeiras em termo de cor: madeiras amareladas (*Corymbia citriodora* e *Eucalyptus camaldulensis*) e madeiras avermelhadas (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*). Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Garcia et al. (2014) no qual foi observado uma alta luminosidade ( $L^* > 67$ ) e baixa cromaticidade para a madeira de *Corymbia citriodora*; e por Muñiz (2002) que classificou as madeiras de *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus saligna* em tons variando de pardo-avermelhado a vermelho.

### Molhabilidade da superfície das madeiras

As médias do ângulo de contato e médias dos postos de Kruskal-Wallis das madeiras de eucalipto são apresentados na Tabela 2.

As madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram os maiores valores de ângulo inicial, indicando uma menor molhabilidade da superfície na fase inicial enquanto as madeiras de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* apresentaram os menores

**Tabela 2.** Médias de ângulo de contato da superfície da madeira de sete espécies de eucalipto.

**Table 2.** Means of contact angle of the wood surface of seven eucalypt species.

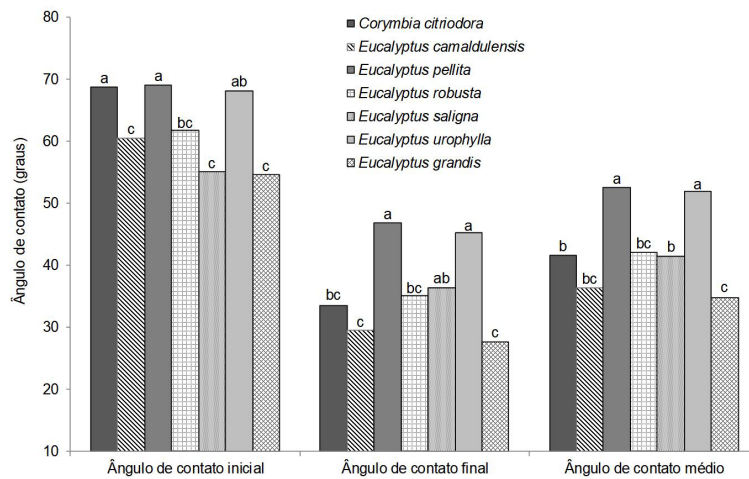
Espécie	Ângulo inicial (°)		Ângulo final (°)		Ângulo médio (°)	
	Média	Postos Kruskal-Wallis	Média	Postos Kruskal-Wallis	Média	Postos Kruskal-Wallis
<i>Corymbia citriodora</i>	68,82	329,89 a	33,55	244,49 bc	41,68	255,03 b
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	60,56	241,67c	29,62	193,14 c	36,38	194,09 bc
<i>Eucalyptus pellita</i>	69,15	330,48 a	46,89	347,15 a	52,57	345,57a
<i>Eucalyptus robusta</i>	61,84	249,89 bc	35,17	251,59 bc	42,03	248,06 bc
<i>Eucalyptus saligna</i>	55,12	187,88 c	36,39	277,65 ab	41,46	260,03 b
<i>Eucalyptus urophylla</i>	68,11	324,99ab	45,27	348,82 a	51,93	351,06 a
<i>Eucalyptus grandis</i>	54,66	176,19 c	27,66	178,65 c	34,72	179,87 c
Teste de Levene	3,88*	-	6,16*	-	3,87*	-
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	-	86,93*	-	88,13*	-	86,54*

\*Significativo a 95% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si.

valores de ângulo de contato inicial, ou seja, estas superfícies são mais hidrofílicas e mais molháveis inicialmente quando comparada com as demais espécies (Figura 1). Entretanto, o comportamento da molhabilidade da superfície dessas espécies não manteve o mesmo comportamento ao longo do tempo (Figura 2). As madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* mantiveram os maiores valores de ângulo ao longo do tempo (ângulo final e ângulo médio), porém o mesmo não ocorreu para a madeira de *Corymbia citriodora*.

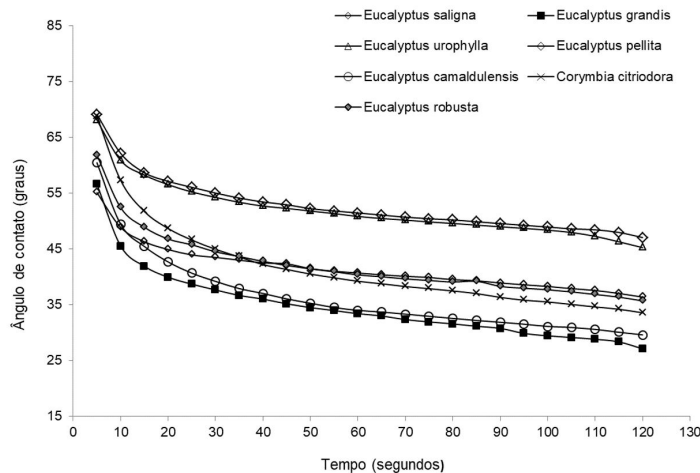
No ângulo de contato final, os maiores valores foram encontrados para as madeiras de *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna*; os menores valores para *Eucalyptus robusta*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* (Figura 1).

As madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram os maiores valores de ângulo de contato médio; as madeiras de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus grandis* apresentaram os menores valores de ângulo médio; enquanto que as madeiras de *Corymbia citriodora*



**Figura 1.** Ângulo de contato da superfície da madeira de sete espécies de eucalipto. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si.

**Figure 1.** Contact angles of the wood surface of seven eucalypt woods. Means with the same letter are not statistically different between them.



**Figura 2.** Comportamento do ângulo de contato da superfície da madeira de sete espécies de eucalipto em função do tempo.

**Figure 2.** Contact angle behavior of the wood surface of seven eucalypt species as a function of time.

e *Eucalyptus saligna* apresentaram valores intermediários, não se diferenciando das madeiras de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus robusta* (Figura 1).

As madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram a menor molhabilidade (maiores valores de ângulo inicial, final e médio) ao longo do tempo; as madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* obtiveram os menores valores de ângulo (inicial, final e médio) ao longo do tempo, apresentando, portanto uma maior molhabilidade; enquanto que as demais espécies apresentaram um comportamento intermediário entre as madeiras com superfícies mais molháveis e menos molháveis (Figura 2). De acordo com Wang et al., 2017, a maioria das madeiras atinge uma excelente molhabilidade com um ângulo de contato inferior ou igual a 30°. A molhabilidade pode ser afetada por diversos fatores, tais como, densidade, rugosidade da superfície, a qual é influenciada pela anatomia e usinagem (TSHABALALA, 2005), e presença de extrativos (PIAO et al., 2010), os quais aumentam a hidrofobicidade da superfície da madeira, de modo a repelir o seu contato com as moléculas de água (STANGERLIN et al., 2013) entre outros fatores.

O efeito dos extrativos na molhabilidade depende mais da sua natureza ou composição química do que do teor. As madeiras de eucalipto estudadas apresentam diferenças importantes em relação ao teor de extrativos totais com 13,89% para o *Eucalyptus camaldulensis*, 10,12% para o *Corymbia*

*citriodora*, 9,06% para o *Eucalyptus saligna*, 7,78% para o *Eucalyptus urophylla*, 7,79% para o *Eucalyptus robusta*, 7,36% para o *Eucalyptus pellita* e 4,54% para o *Eucalyptus grandis* (MEDEIROS NETO, 2017).

A madeira de *Eucalyptus camaldulensis* apesar de apresentar o maior teor de extrativos totais (13,89%) revelou um comportamento diferenciado comparado às demais espécies estudadas mostrando uma maior molhabilidade da superfície. Gardner et al. (1995) relatam que os extrativos tem um efeito relevante na molhabilidade da madeira devido a sua complexidade e composição, alguns deles quando estão presentes na interface da mesma (extrativos-líquido) podem direcionar o seu grupo funcional hidrofílico para o grupo polar do líquido, estabelecendo ligações químicas e causando uma alteração aparente na tensão superficial do líquido ou na tensão interfacial líquido-madeira, levando a diminuição ou ao aumento da energia superficial da madeira; e, conseqüentemente, conferindo uma maior ou menor molhabilidade.

### Correlação entre cor e ângulo de contato

As análises de Pearson mostraram que a densidade apresentou correlações significativas com as variáveis colorimétricas (exceto  $C^*_{ab}$ ) e todas as variáveis de ângulo, embora essas correlações tenham sido baixas (Tabela 3). A correlação entre densidade e  $L^*$  indica que as madeiras mais densas tendem a apresentar cores mais escuras (menores valores de  $L^*$ ). Por exemplo, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou a menor densidade aparente e maior luminosidade (Tabela 1). A densidade apresentou uma correlação significativa e negativa com a tonalidade vermelha ( $a^*$ ), indicando que as madeiras mais densas apresentam menos pigmento vermelho. Entretanto, observando gráfico de dispersão (Figura 3), notam-se comportamentos distintos entre os grupos de madeiras amareladas (*Corymbia citriodora* e *Eucalyptus camaldulensis*) e avermelhadas (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*). Para o grupo de madeiras avermelhadas, nota-se que a tonalidade vermelha aumenta com a densidade enquanto no grupo das madeiras amarelas, a densidade diminui com o aumento de  $b^*$ .

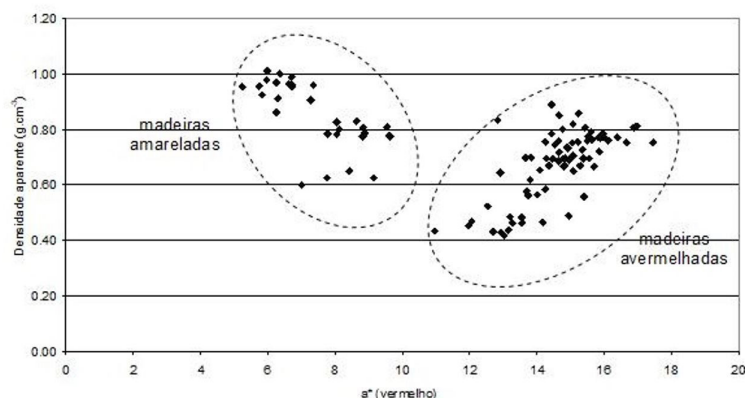
As maiores correlações foram encontradas entre a coordenada  $a^*$  (tonalidade vermelha) e as variáveis colorimétricas  $C^*_{ab}$  ( $r = 0,81$ ) e  $h_{ab}$  ( $r = -0,94$ ); entre a coordenada  $b^*$  e  $C^*_{ab}$  ( $r = 0,64$ ); e entre  $C^*_{ab}$  e  $h_{ab}$  ( $r = -0,72$ ) (Tabela 3). A densidade apresentou uma correlação significativa e positiva

**Tabela 3.** Correlação entre as variáveis colorimétricas, densidade aparente e ângulo de contato das madeiras de eucalipto.

**Table 3.** Correlations between colorimetric variables, specific gravity and contact angle of the eucalypt woods.

Variáveis	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*_{ab}$	$h_{ab}$	Ângulo inicial	Ângulo final	Ângulo médio
Densidade	-0,39*	-0,36*	0,48*	-0,07 <sup>NS</sup>	0,58*	0,44*	0,26*	0,28*
$L^*$		-0,40*	-0,51*	-0,58*	0,25*	-0,31*	-0,38*	-0,39*
$a^*$			0,30*	0,81*	-0,94*	0,07 <sup>NS</sup>	0,28*	0,34*
$b^*$				0,64*	-0,06 <sup>NS</sup>	0,39*	0,43*	0,44*
$C^*_{ab}$					-0,72*	0,13 <sup>NS</sup>	0,42*	0,46*
$h_{ab}$						0,20*	0,15 <sup>NS</sup>	-0,20*

\*Significativo a 95% de probabilidade. <sup>NS</sup> Não significativo.  $L^*$  = luminosidade,  $a^*$  = vermelho,  $b^*$  = amarelo,  $C^*_{ab}$  = croma e  $h_{ab}$  = ângulo de tonalidade.



**Figura 3.** Correlação entre a densidade aparente (12% U) e a tonalidade vermelha ( $a^*$ ) de madeiras de eucalipto.

**Figure 3.** Correlation between specific gravity (12% H) and red hue ( $a^*$ ) of the eucalypt woods.

com os valores de ângulo, indicando que as madeiras mais densas apresentam menor molhabilidade (maiores ângulos de contato), e que a densidade tem um efeito mais importante no ângulo inicial ( $r = 0,44^*$ ). Estudos realizados por Pereira (2017) mostraram que a densidade apresenta pouco efeito sobre o ângulo de contato, o qual é mais influenciado pela rugosidade superficial e pela composição química dos extrativos. O fenômeno de molhabilidade da superfície da madeira é complexo e envolve a absorção de água por capilaridade e pelos grupos hidroxílicos (OH-) dos polímeros da parede celular. A penetração de água por capilaridade é afetada pela rugosidade superficial (DENES et al., 2005) e pela relação porosidade-densidade, enquanto que a composição química afeta a energia superficial.

Correlações significativas foram encontradas entre as variáveis colorimétricas e o ângulo de contato (Tabela 3). O ângulo de contato apresentou uma correlação significativa e negativa com  $L^*$ , ou seja, quanto menor o ângulo de contato (mais molhável a superfície), maior  $L^*$  e vice-versa. Por exemplo, as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* apresentaram a maior molhabilidade (Figura 2) e maior luminosidade (Tabela 1). Para as variáveis  $a^*$  e  $C^*_{ab}$  foram observadas correlações significativas apenas para o ângulo final e ângulo médio, enquanto que para a variável  $h_{ab}$  correlações significativas foram observadas para ângulo inicial e ângulo médio. As melhores correlações de ângulo de contato foram com as variáveis  $b^*$  e  $C^*_{ab}$ . As madeiras com maiores valores de  $b^*$  apresentam maiores valores de ângulo, essa correlação é observada, por exemplo, para as madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* (Figura 2 e Tabela 1). Sendo assim, dentre as madeiras estudadas, aquelas com mais tonalidade amarela ( $b^*$ ) são as que apresentam superfícies menos molháveis. As madeiras com maior cromaticidade ( $C^*_{ab}$ ) também são mais hidrofóbicas.

## CONCLUSÕES

As madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram as superfícies mais hidrofóbicas enquanto as madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis* apresentaram as superfícies mais molháveis.

Dentre as espécies estudadas, as análises de correlação mostraram que as madeiras com maior luminosidade ( $L^*$ ) apresentaram maior molhabilidade, exemplo das madeiras de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus grandis*; e as madeiras com maior tonalidade amarela ( $b^*$ ) e maior cromaticidade ( $C^*_{ab}$ ) na composição da cor apresentam superfícies mais hidrofóbicas, tal como, o exemplo do *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla*.

A densidade da madeira tem um efeito mais importante na fase inicial da molhabilidade, afetando pouco o ângulo de contato ao longo do tempo. As variáveis colorimétricas da madeira tiveram um efeito maior no ângulo de contato ao longo do tempo que a densidade aparente. O *Corymbia citriodora* apresentou densidade muito alta e baixa cromaticidade, o que causou baixa molhabilidade no início (efeito da densidade) e um aumento da molhabilidade ao longo do tempo (efeito da baixa cromaticidade).

As madeiras de eucalipto estudadas foram provenientes de árvores jovens, e, portanto, composta por lenho juvenil; sendo assim, recomenda-se estudos com o lenho adulto que é o foco para a indústria madeireira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM – AMERICAN STANDARD TESTING METHODS. **ASTM D2395-93** - Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. American Society for Testing and Material, Philadelphia, 1999. 7 p.

ATAYDE, C. M.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum sp.*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 231-235, 2011.

BARROS, S. V. S.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M. Caracterização colorimétrica das madeiras de três espécies florestais da Amazônia. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 337-342, 2014.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 65-78, 2003.

- COSTA, J. A.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A.; GOMES, I. A. S. Fotodegradação de duas espécies de madeiras tropicais: jatobá (*Hymenaea courbaril*) e tauari (*Couratari oblongifolia*) submetidas à radiação ultravioleta. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 133-139, 2011.
- CSANÁDY, E.; MAGOSS, E.; TOLVAJ L. **Quality of Machined Wood Surfaces**. Basel: Springer International Publishing, 265p. 2015.
- DENES, F. S.; CRUZ-BARBA, L. E.; MANOLACHE, S. Plasma treatment of wood. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005.
- ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GAVA, M.; SAVI, A. F.; MORALES, E. A. M.; CHRISTOFORO, A. L. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 90, p. 189-200, 2017.
- ELEOTÉRIO, J. R.; REICHERT, D.; HORNBURG, K. E.; MENEGUELLI, I. Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 329-336, 2014.
- FANG, Q.; CUI, H. W.; DU, G. B. Surface wettability, surface free energy, and surface adhesion of microwave plasma-treated *Pinus yunnanensis* wood. **Wood Science and Technology**, Berlim, v. 50, n. 2, p. 285-296, 2016.
- FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoria genética da densidade básica da madeira do eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...**São Paulo: SBS, 1978. p. 148-52.
- FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: USDA. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Forest Madson: USDA / Forest Service, 2010. p. 10/1-10/24
- FOELKEL, C. E. B. Madeira de eucalipto: da floresta ao digestor. **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-25, 1978.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus tereticornis* para produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n. 10, p. 17-37, 1975.
- GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; DIAS N. S. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, 2014.
- GARDNER, D. J.; WOLCOTT, M. P.; WILSON, L.; HUANG, Y.; CARPENTER, M. **Our understanding of wood surface chemistry in 1995**. Madison: USDA / Forest Product Society, 1995.
- GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRADNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L. E. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, Vancouver, v. 18, p. 102-108, 2004.
- GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 72, p. 47-58, 2001.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo, 2003. 59 p.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11664-4:2008** Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour space. Genebra, 2008. 8 p.
- KILIC, M.; SALIM, H.; BURDURLU, E.: Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, Oxford, v. 41, p. 1074-1078, 2006.
- KLUMPERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 50, n. 1, p. 403-409, 1993.
- KRÜSS, G. M. B. H. **Software for drop shape analysis DAS 1 v 1.92 for contact angle measurements systems**. User manual v 1.92-05. 2011.

LATORRACA, J. V. F.; JÚNIOR, A. F. D.; SILVA, G. C.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M. Anelamento e vaporização de toras visando otimização do processo de secagem da madeira eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 273-279, 2015.

LATTHE, S. S.; TERASHIMA, C.; NAKATA, K.; FUJISHIMA, A. Superhydrophobic surfaces developed by mimicking hierarchical surface morphology of lotus leaf. **Molecules**, Basel, v. 19, n. 4, p. 4256-4283, 2014.

LONGUE JÚNIOR, D. L.; COLODETTE, J. L. Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 429-438, 2013.

LUZ, A. P.; RIBEIRO, S.; PANDOLFELLI, V. C. Review article: use of the wettability in the investigation of the corrosion behaviour of the refractory materials. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 330, p. 174-183, 2008.

MOSEDALE, J. R.; CHARRIER, B.; JANIN, G. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). **Forestry**, Oxford, v. 69, n. 2, p. 111-124, 1996.

MUÑIZ, G. I. B. Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus*. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS. 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 30-63.

MEDEIROS NETO, P. N. **Resistência natural da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* a agentes xilófagos**. 2017. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro ES, 2017.

OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

PEREIRA, K. R. M. **Análise físico-química e molhabilidade da superfície de madeiras amazônicas**. 2017. 103 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

PEREIRA, K. N.; GONÇALEZ, J. C.; RAABE, J.; COSTA, A. F. Surface quality of the *Ficus* sp. wood veneers submitted to finishing treatments. **Madera y Bosques**, Veracruz, v. 23, n. 2, 2017.

PIAO, C.; WINANDY, J. E.; SHUPE, T. F. From hydrophilicity to hydrophobicity: A critical review: Part I. Wettability and surface behavior. **Wood and Fiber Science**, Monona, v. 42, n. 4, p. 490-510, 2010.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, 1993.

RINK, G.; PHELPS, J. E. Variation in heartwood and sapwood properties among 10-year-old black walnut trees. **Wood Fiber and Science**, Madison, v. 21, p. 177-182, 1989.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, E. S.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para a determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2009.

SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, 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, 2005

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; PASTORE, T.; DEL MENEZZI, C. H.; DE MELO, R. R.; GARLET, A. Molhabilidade da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, 2013.

STANOJEVIC, D.; MANDIC, M.; DANON, G.; SVRZIC, S. Prediction of the surface roughness of wood for machining. **Journal of Forestry Research**, Berlin, v. 28, n. 6, p. 1281-1283, 2017.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; ALBINO, J. C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p. 28-38, 1987.

TEIXEIRA, T. O. B.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SILVA, J. C. S.; PIRES, V. A. P. A. A percepção sobre o uso da madeira de eucalipto pelos fabricantes do polo moveleiro de Ubá-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, 2009.

TSHABALALA, M. A. Surface characterization. In ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005.

VALVERDE, A. E. L.; VALVERDE, S. R.; ALVARENGA, A. P.; MARQUES, G. M.; MENDONÇA, F. M.; OLIVEIRA, P. R. S. Cadeia produtiva de celulose. In: REZENDE, J. B. **Cadeias produtivas do complexo agroindustrial de florestas plantadas em Minas Gerais: estrutura e dinâmica**. Viçosa: EPAMIG, 2012. p. 71-92.

WÄLINDER, M. **Wetting phenomena on wood: factors influencing measurements of wood wettability**. 2000. 70 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira), KTH-Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000.

WANG, X.; WANG, F.; YU, Z.; ZHANG, Y.; QI, C.; DU, L. Surface free energy and dynamic wettability of wood simultaneously treated with acidic dye and flame retardant. **Journal of Wood Science**, Tóquio, p. 1-10, 2017.

Recebido em: 15/01/2018

Aceito em: 20/09/2018