

Efeito do encharcamento prolongado no comportamento físico-mecânico das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*Effect of prolonged waterlogging on physical and mechanical behavior of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus grandis* woodTainise Vergara Lourençon¹, Magarete R. F. Gonçalves², Darci Alberto Gatto², Jalel Labidi³, Luis Serrano³ e Bruno Dufau Mattos¹**Resumo**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do encharcamento prolongado em algumas propriedades físico-mecânicas das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*. Para tanto, foram abatidas três árvores de cada espécie de povoamentos homogêneos de 50 anos de idade. A obtenção das amostras ocorreu a partir da divisão das árvores em três partes, cada uma com 1 m de altura. Cada parte foi subdividida em quatro amostras com 25 cm de altura e denominadas toretes. Destes, um torete foi utilizado como controle e os demais, foram submersos em água e retirados em diferentes tempos: 4, 8 e 12 meses. Para a caracterização da madeira foram realizados ensaios de flexão estática, determinação de massa específica aparente (ME) a 12% e ângulo de contato. Os resultados mostram que o módulo de ruptura das duas espécies diminuiu até os 8 meses de encharcamento e que ocorreu uma densificação da madeira e homogeneização da ME para ambas espécies.

Palavras-chave: encharcamento, madeira submersa, massa específica aparente, práticas empíricas, madeira estrutural.

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of long term waterlogging in some physical and mechanical properties of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus grandis* wood. Three trees of each specie were obtained in experimental homogeneous plantations aged 50 years. The samples were obtained dividing each tree into three parts of 1 m. Each part was subdivided into four samples with 25 cm height and denominated small logs. One part was used as control sample and the others were immersed into water and taken out at different times: 4, 8 and 12 months. The wood samples were tested for static bending mechanical test, specific gravity (SG) at 12% and contact angle. The results showed that the modulus of rupture of the two wood species decreased until 8 months of waterlogging and there was an increase of homogeneity and specific gravity of the two kinds of wood.

Keywords: waterlogging, submerged wood, specific gravity, empirical techniques, structural wood.

INTRODUÇÃO

Existe uma série de fatores que levam a madeira a ser exposta a água por períodos prolongados, seja este fato intencional ou não. Na construção civil, em diversas situações, são planejadas construções em que a madeira é utilizada em ambientes ligados diretamente a água. Em algumas indústrias do setor madeireiro, as

toras de madeira são reservadas em água, enquanto aguardam o processo de produção, com a finalidade de prevenir rachaduras e ataque de fungos e insetos. Outras situações são observadas, como florestas inundadas devido a criação de reservatórios de água (TENENBAUM, 2004; VAN DER KOOYE, 2011) ou então, madeiras pertencentes a peças arqueológicas subaquáticas (BJÖRDAL et al., 1999; JENSEN; GREGORY,

¹Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. UFPEL –Universidade Federal de Pelotas - Rua Conde de Porto Alegre, 793 - 96010-290, Centro, Pelotas, RS. E-mail: tainise@gmail.com, brunodufaumattos@gmail.com.

²Doutor Professor no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. UFPEL –Universidade Federal de Pelotas - Rua Conde de Porto Alegre, 793 - 96010-290, Centro, Pelotas, RS. E-mail: margareterfg@gmail.com, darcigatto@yahoo.com.

³Departamento de Engenharia Química e Ambiental da Universidad del País Vasco. UPV – Plaza de Europa 1, CP 20018, San Sebastián, Espanha. E-mail: jalel.labidi@ehu.es, luis.serrano@ehu.es.

2006; TAMBURINI et al., 2014). Além destas práticas, submeter a madeira por períodos prolongados em água, vem sendo utilizado por agricultores como técnica para aumentar a resistência a biodegradação da madeira, porém trata-se de um conhecimento empírico que atravessou gerações. Esta técnica também já foi utilizada na construção civil no século XX (CASTELINHO, 2013). Em todas essas utilizações, são conferidas novas características a madeira devido a submersão em água por longos períodos e estudos referentes a este contexto são mínimos ou inexistentes.

Com o crescimento do uso da madeira, devido as suas diversas vantagens mas, principalmente por ser um recurso natural e renovável, há um conseqüente crescimento na utilização de madeiras de florestas plantadas de rápido crescimento, em que, na maioria dos casos, trata-se do gênero *Eucalyptus* (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2012).

Dessa forma, conhecer o comportamento destas madeiras, nas mais diversas situações a que são submetidas, torna-se de suma importância. Cabe ressaltar a carência de estudos similares, o que torna esse estudo preliminar um subsídio de conhecimento para pesquisas acerca de materiais arqueológicos aquáticos, utilização da madeira advinda de florestas inundadas, influência na resistência a biodegradação, estocagem de madeira em água para suprimir rachadura, utilização de madeira em atracadouros, entre outros.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo, avaliar algumas propriedades físico-mecânicas de madeiras de rápido crescimento, submetidas ao encharcamento em água por períodos prolongados.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou, como matéria prima, madeiras de reflorestamento provenientes de plantios homogêneos, originários do Centro Agropecuário da Palma, pertencente a Universidade Federal de Pelotas, situado na BR 116 - km 537, município do Capão do Leão - RS (latitude 31°52'00" S, longitude 52°21'24"W e altitude de 13,24m). Para o presente trabalho, seguiu-se a norma ASTM D5536-94 (2010). Desta forma, foram abatidas seis árvores a 10 cm do solo tendo, em média, 20 cm de diâmetro cada,

sendo três da espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e três da espécie *Corymbia citriodora* Hill & Johnson, ambas com 50 anos de idade. Em cada uma das árvores foram extraídas amostras a partir da divisão destas em três partes com 1 m de altura, as quais foram denominadas de topo, intermediária e base. Cada uma das três partes foi subdividida em quatro amostras denominadas toretes, com 25 cm de comprimento. Destes, um torete (não encharcado) foi utilizado como amostra controle (T_0) e os demais foram submetidos ao processo de encharcamento. A Figura 1 ilustra o procedimento de extração de amostras acima descrita.

Para a estabilização da madeira em 12% de umidade, os toretes controle, foram colocados em uma câmara climática nas condições de 20°C de temperatura e de 65% de umidade relativa do ar. Os demais toretes foram submetidos ao processo de encharcamento a partir da submersão em caixas d'água de fibra de vidro de 1000 l, preenchidas com água potável proveniente da rede pública. Os toretes submetidos ao encharcamento foram retirados em diferentes tempos: 4, 8 e 12 meses (T_4 , T_8 e T_{12} , respectivamente). Após cada coleta, os toretes encharcados, foram encaminhados as mesmas condições de climatização dos controles, até a confecção das amostras para os ensaios físicos e mecânicos.

Para realização do ensaio de flexão estática a três pontos e determinação das propriedades mecânicas de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), utilizou-se uma máquina universal de ensaios mecânicos - da marca EMIC, Modelo DL30000 e seguiu-se a norma americana ASTM D 143-94 (ASTM, 2000), adaptada para seção transversal de menor dimensão. Para tal, retirou-se uma prancha central de cada torete, totalizando a confecção de, em média, 285 corpos de prova (cp's) para cada espécie, com dimensões de 15 x 15 x 210 mm³ (largura, espessura e comprimento, respectivamente) orientados da medula para a casca.

Para a determinação da massa específica aparente, inicialmente, as amostras provenientes dos corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos, foram colocadas em câmara climatizada para atingir a umidade de 12%, posteriormente, mensurou-se as dimensões e massa dos corpos de prova, e dessa maneira calculou-se a $ME_{12\%}$ conforme a norma ASTM D 143-94 (2000).

Para avaliar a molhabilidade superficial das madeiras, foi utilizada a técnica de ângulo de contato. Para tanto, um goniômetro Dataphysics,

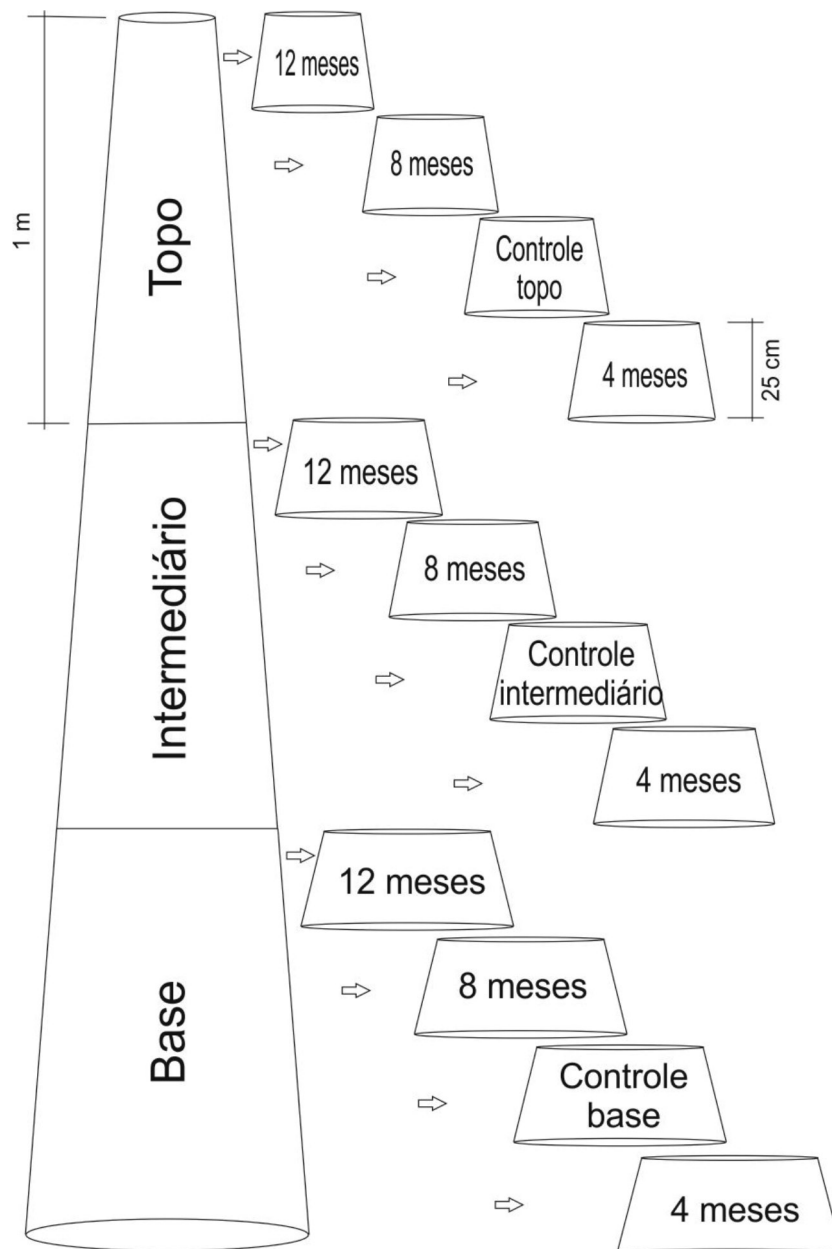


Figura 1. Esquema representativo da metodologia de extração das amostras de madeira de cada uma das árvores utilizadas.

Figure 1. Scheme of wood samples extraction from each tree.

modelo OCA foi utilizado. Foram selecionadas quatro amostras do cerne e quatro amostras do alburno do T_0 , T_4 , T_8 e T_{12} . O ângulo de contato foi determinado de acordo com o método da gota séssil com água deionizada ($5 \mu\text{l}$) em três pontos distintos da superfície das amostras de madeira, nas seções longitudinal tangencial e longitudinal radial. O comportamento da gota foi avaliado a partir da cinética de absorção em cinco momentos distintos, após 5, 25, 45, 65 e 85 s de contato entre a gota e a superfície da madeira. O volume da gota foi medido na mesma cinética de molhabilidade e fornecido

pelo equipamento. Os valores médios de ângulo de contato e volume da gota foram obtidos a partir da média dos três pontos, medidos em cada amostra e para cada seção anatômica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de MOE e MOR foram avaliados por meio de análise de variância fatorial (ANOVA fatorial) considerando como fatores o tempo de encharcamento (T_0 , T_4 , T_8 , T_{12}), posição axial na tora (topo, intermediário e base) e inte-

ração entre eles. Posteriormente, com os dados que apresentaram diferença estatística, ou seja, quando observado valor de probabilidade significativo ($p < 0,05$), em que rejeita-se a hipótese nula, utilizou-se o teste de médias LSD de Fisher, em nível de 5% de probabilidade de erro, para o agrupamento das variáveis conforme a Tabela 1.

Como pode ser visto na Tabela 1, para ambas espécies e variáveis, a interação dos fatores não foi estatisticamente significativa e tal fato indica que os fatores se comportam de forma isolada. Ao analisar isoladamente o MOE e MOR para o fator tempo de encharcamento, para ambas espécies, observou-se diferença estatística significativa, com 1% de probabilidade de erro, já para o fator posição, apenas o MOE da espécie *Corymbia citriodora*, apresentou diferença estatística significativa.

Os resultados tidos como significativos pela ANOVA fatorial (Tabela 1) foram desdobrados e analisados separadamente na Tabela 2. Verificou-se para o fator tempo de encharcamento que os valores médios de MOE e MOR, para ambas espécies, apresentaram diminuição até o T_8 , período de tempo considerado crítico neste estudo, e um posterior retorno à média no T_{12} , aproximando os valores de T_{12} ao verificado no T_0 . O aumento das médias para MOE e MOR, na espécie *Corymbia citriodora*, e para o MOR *Eucalyptus grandis* representa retorno ao mesmo grupo estatístico do T_0 .

No estudo de Fojutowski et al. (2014) sobre

as propriedades da madeira de carvalho após 2 anos de submersão no mar, também foram encontrados menores valores para módulo de elasticidade. Nesse contexto, teoriza-se que a diminuição do MOE e MOR até 8 meses (T_8) possa ter ocorrido devido a uma fragilização na microestrutura da madeira, em função do longo período de submersão em água, com mudança no ângulo da microfibrila, o qual afeta diretamente estas propriedades (VIA et al., 2009) e assim, acredita-se que após este período possa ter ocorrido um rearranjo celular microestrutural.

A diferença estatística nos valores médios de MOE para o fator posição, na espécie *Corymbia citriodora*, encontra-se na Tabela 2. Observa-se que a base das árvores apresentou menor rigidez que as demais posições, diferente do comportamento encontrado por Izekor et al. (2010) e Ogunsanwo e Akinlade (2011), que encontraram variações moderadas destas propriedades decrescendo da base em direção ao topo. No entanto, Machado et al. (2014) afirmam que a variação longitudinal é muito mais significativa para a massa específica do que para as propriedades mecânicas. Além disso, para o MOR do *Corymbia citriodora* e MOE e MOR do *Eucalyptus grandis*, não ocorreram diferenças estatísticas em função da posição axial e conforme anteriormente relatado por Panshin e de Zeeuw (1980), o índice de uniformidade axial elevado é considerado uma vantagem para utilização da madeira, especialmente em aplicações estruturais.

Tabela 1. ANOVA fatorial para MOE e MOR das espécies *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*
Table 1. Factorial ANOVA for MOE and MOR of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus grandis*

Espécie	Variável	Fator	SQ	GL	QM	Razão f
<i>C. citriodora</i>	MOE	Tempo de encharcamento	4,69x10 ⁸	3	1,56 x10 ⁷	8,76**
		Posição	1,98x10 ⁸	2	9,90 x10 ⁷	5,54**
		Interação	5,11x10 ⁷	6	8,53 x10 ⁶	0,48 ^{ns}
	MOR	Tempo de encharcamento	15418,9	3	5139,62	4,95**
		Posição	2038,49	2	1019,25	0,98 ^{ns}
		Interação	7386,02	6	1231	1,19 ^{ns}
<i>E. grandis</i>	MOE	Tempo de encharcamento	5,06x10 ⁸	3	1,69 x10 ⁸	11,41**
		Posição	5,63x10 ⁷	2	2,82 x10 ⁷	1,91 ^{ns}
		Interação	2,73x10 ⁷	6	4,55 x10 ⁶	0,31 ^{ns}
	MOR	Tempo de encharcamento	20721,8	3	6907,26	5,6**
		Posição	882,31	2	441,16	0,36 ^{ns}
		Interação	2181,36	6	363,56	0,29 ^{ns}

Obs.: SQ – soma dos quadrados; GL – grau de liberdade; QM – quadrado médio; ** - significativo em nível de 1% de probabilidade de erro; * - significativo em nível de 5% de probabilidade de erro; ns – não significativo.

Tabela 2. Valores médios para MOE e MOR do desvio padrão e teste de médias LSD de Fisher nos fatores que apresentaram diferença estatística significativa

Table 2. MOE and MOR mean values for the standard deviation and Fisher LSD average test for factors that were statistically significant

Espécie	Fator		MOE (MPa)	MOR (MPa)
C. citriodora	Tempo de encharcamento	T ₀	18854,5 ± 5122,71 c	161,191 ± 37,13 b
		T ₁	17174,2 ± 3927,6 b	150,86 ± 27,46 ab
		T ₂	15489,5 ± 3416,01 a	141,1 ± 27,92 a
		T ₃	18352,4 ± 4288,9 bc	154,909 ± 34,53 b
	Posição	Topo	18074,9 ± 4545,88 b	
		Int.	18204,1 ± 4228,11b	-
		Base	16389 ± 4363,29 a	
E. grandis	Tempo de encharcamento	T ₀	13565,6 ± 051,21 c	109,9 ± 36,36 b
		T ₁	10444,7 ± 3284,59 a	90,57 ± 30,94 a
		T ₂	10247,5 ± 3305,97 a	87,41 ± 30,9 a
		T ₃	12253,7 ± 4428,98 b	99,43 ± 39,24 ab

Obs.: Int. – intermediário; T₀ – amostras controle; T₄ – tempo referente a 4 meses; T₈ – tempo referente a 8 meses; T₁₂ – tempo referente a 12 meses; Médias seguidas de letras minúsculas distintas, dentro de cada fator, diferem estatisticamente entre si.

Para análise da ME (Figuras 2 e 3) foram compostos gráficos em que adotou-se cores frias, como o azul e o verde, para os menores valores de ME, e cores quentes, como o amarelo, o laranja e o vermelho, para os maiores valores de ME.

Com base em análise visual da Figura 2, observou-se que para a madeira de *Corymbia citriodora* as cores amarelo e laranja aparecem nas amostras controle e as cores amarelo, laranja e vermelha (maiores ME) são encontradas nas amostras do T₄, na região próxima a casca e ao topo, nas amostras do T₈, com maior densificação próxima à casca e a base, e nas amostras do T₁₂, altamente densificadas e homogêneas na região da base ao topo e da medula à casca. Os resultados obtidos mostram que ocorre densificação na madeira encharcada e com relação direta ao tempo de encharcamento.

Ainda na Figura 2, pode ser verificado o crescimento intensificado da ME na direção da medula para à casca, conforme previamente indicado na literatura (CARMO, 1996; GATTO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2011; LOURENÇO et al., 2013).

Quanto a análise visual da ME para a madeira da espécie *Eucalyptus grandis* na Figura 3, observou-se a ocorrência de crescimento da ME no sentido da medula para a casca, porém, com intensidade bem menor do que o ocorrido na espécie *Corymbia citriodora*. Além disto, também, é possível observar que a maior concentração e homogeneização da ME ocorreu no T₁₂ em região próxima a casca indo da base ao topo.

Os resultados obtidos demonstram que o encharcamento possibilita o crescimento da massa específica aparente e que a intensidade desta está relacionada as espécies de madeiras utilizadas no encharcamento.

Conforme Burger e Richter (1991), a ME reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso e é, talvez, a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente outras propriedades. O comportamento apresentado pelas duas espécies testadas quanto à ME pode ser relacionado a possíveis alterações na composição química da madeira, devido ao processo de encharcamento.

O comportamento típico da gota na superfície da madeira de cerne e alburno (Figura 4) mostra que em todos os casos a gota decresce com o decorrer do tempo e que em ambos os lenhos do T₁₂ ocorre um espalhamento da gota bastante visível. O aumento da higroscopicidade superficial da madeira devido a longos períodos em água, também foi relatado por Fojutowski et al. (2014) em estudo do carvalho após 2 anos de submersão no mar.

Os resultados referentes a molhabilidade para espécie *Corymbia citriodora* (Figura 5) apresentaram no T₁₂, menores ângulos de contato que os demais tempos de encharcamento, incluindo os controles, tanto nos diferentes lenhos quanto nas distintas seções anatômicas. Este comportamento evidencia o aumento da higroscopicidade desta madeira devido ao período de encharcamento prolongado.

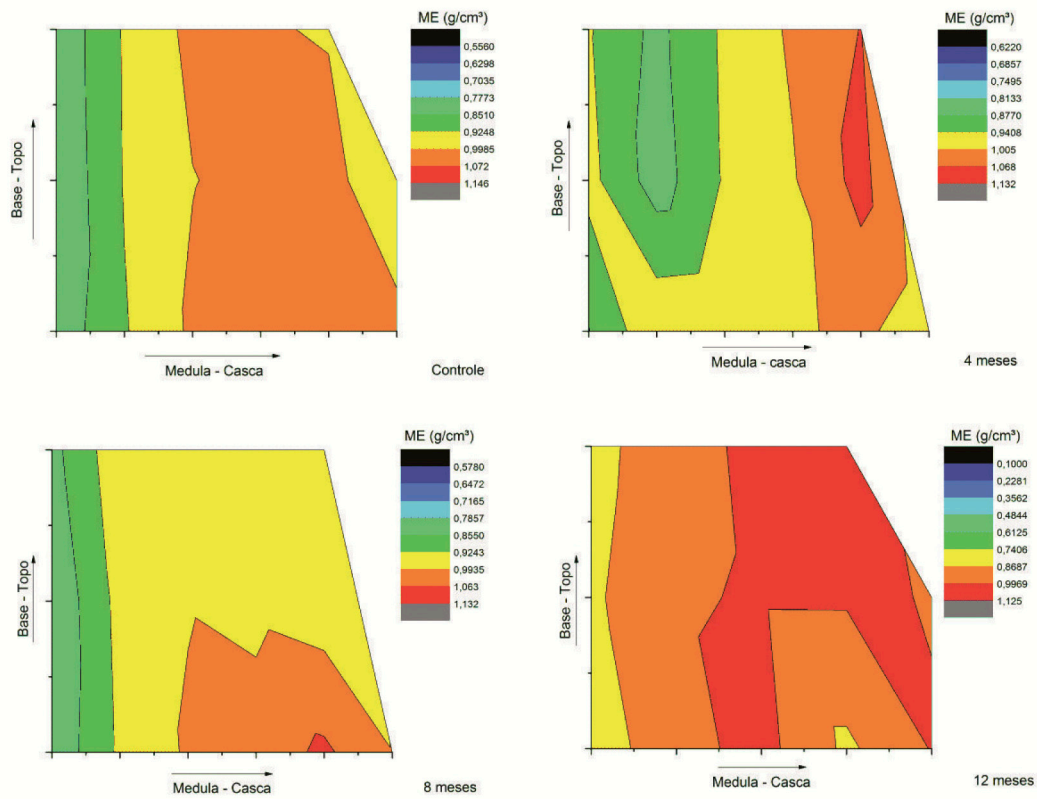


Figura 2. Massa específica aparente (ME) das amostras controle e encharcadas, observada na madeira da espécie *Corymbia citriodora*, no sentido medula-casca e base-topo, nos diferentes tempos de encharcamento.
Figure 2. Specific gravity (EG) of control and soaked wood samples, observed in *Corymbia citriodora* wood, in the pith-bark and base-top directions, after different times of waterlogging.

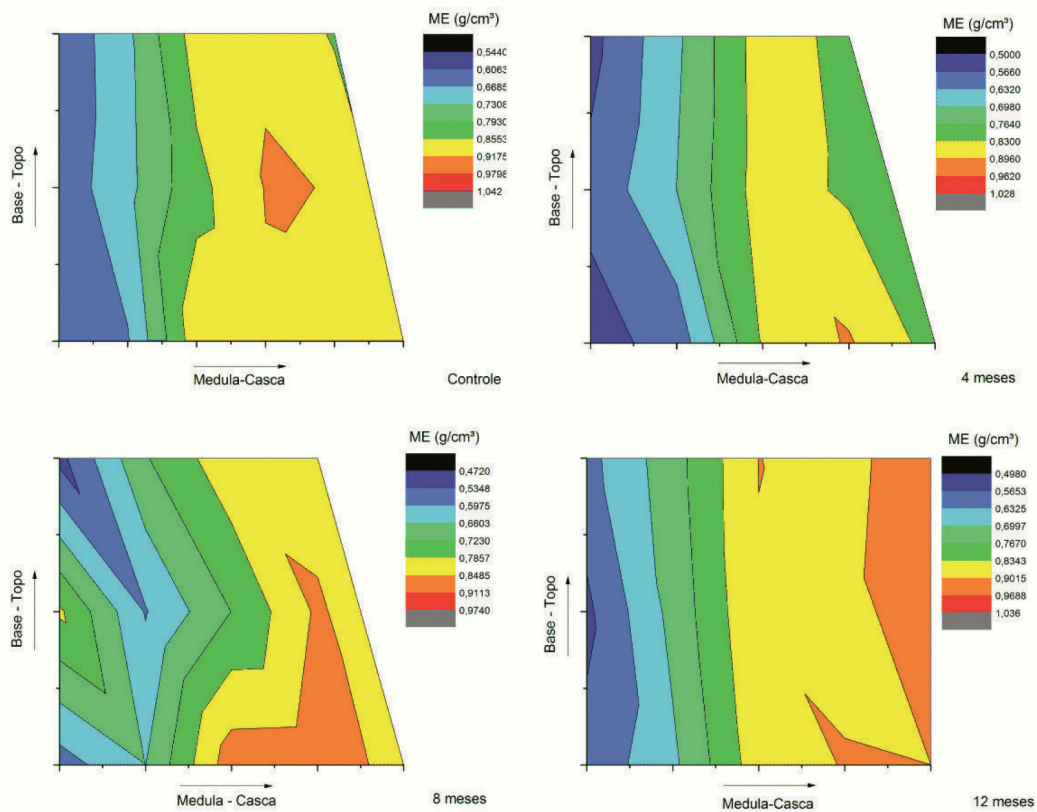


Figura 3. Massa específica aparente (ME) das amostras controle e encharcadas observada na madeira da espécie *Eucalyptus grandis*, no sentido medula-casca e base-topo, nos diferentes tempos de encharcamento.
Figure 3. Specific gravity (EG) of control and soaked wood samples observed in *Eucalyptus grandis* wood, in the pith-bark and base-top directions, after different times of waterlogging.

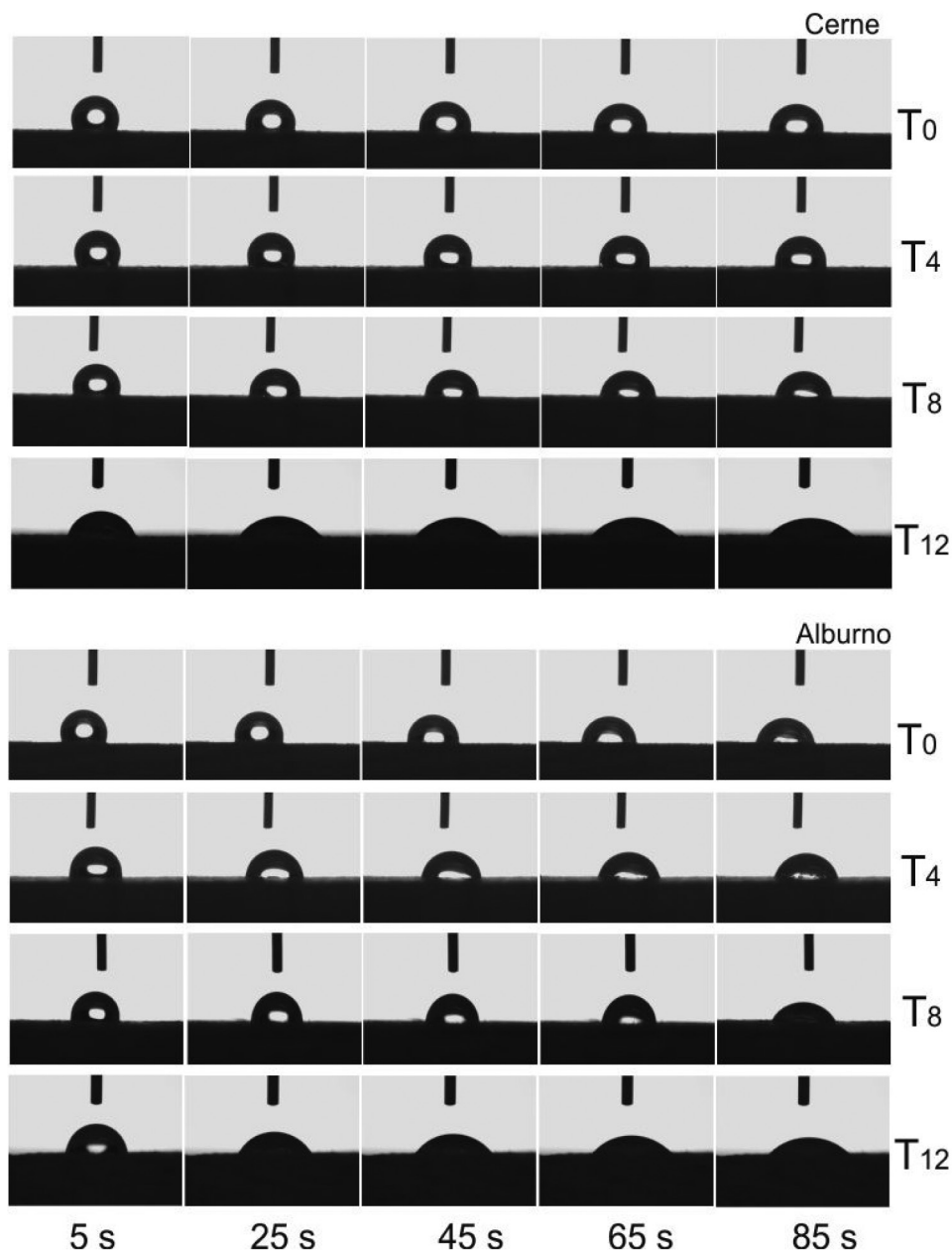


Figura 4. Comportamento típico da gota na superfície da madeira de cerne e alburno em função do tempo de encharcamento.

Figure 4. Typical behavior of the drop on the surface of the heartwood and sapwood wood in relation to waterlogging time.

Observa-se que o ângulo de contato (ângulo θ), no alburno da espécie *Eucalyptus grandis* (Figura 6), no tempo referente a 12 meses de encharcamento em água, apresentou comportamento semelhante a espécie *Corymbia citriodora*, com ângulos menores que os demais períodos de encharcamento e controles. Já o cerne da espécie *Eucalyptus grandis*, apresentou menores ângulos no período de 8 meses de submersão em água.

Para o controle do cerne na seção tangencial, de ambas espécies (Figura 5 e 6), observou-se a presença de caráter hidrofóbico, que refere-

-se ao ângulo superior a 90° (POGORZELSKI et al., 2013), comportamento também observado para o cerne radial até metade da cinética (45 s). No alburno controle, de ambas espécies e seções anatômicas, o comportamento troca de hidrofóbico para hidrofílico aos 25 s, tal como observado em outros casos por Hakkou et al., (2005); Cademartori et al., (2013), em que tal fato ocorre devido a característica hidrofílica natural da madeira. Estes resultados mostram que ambas espécies quando avaliadas nas amostras controle, principalmente no cerne, apresentam naturalmente alta hidrofobicidade superficial.

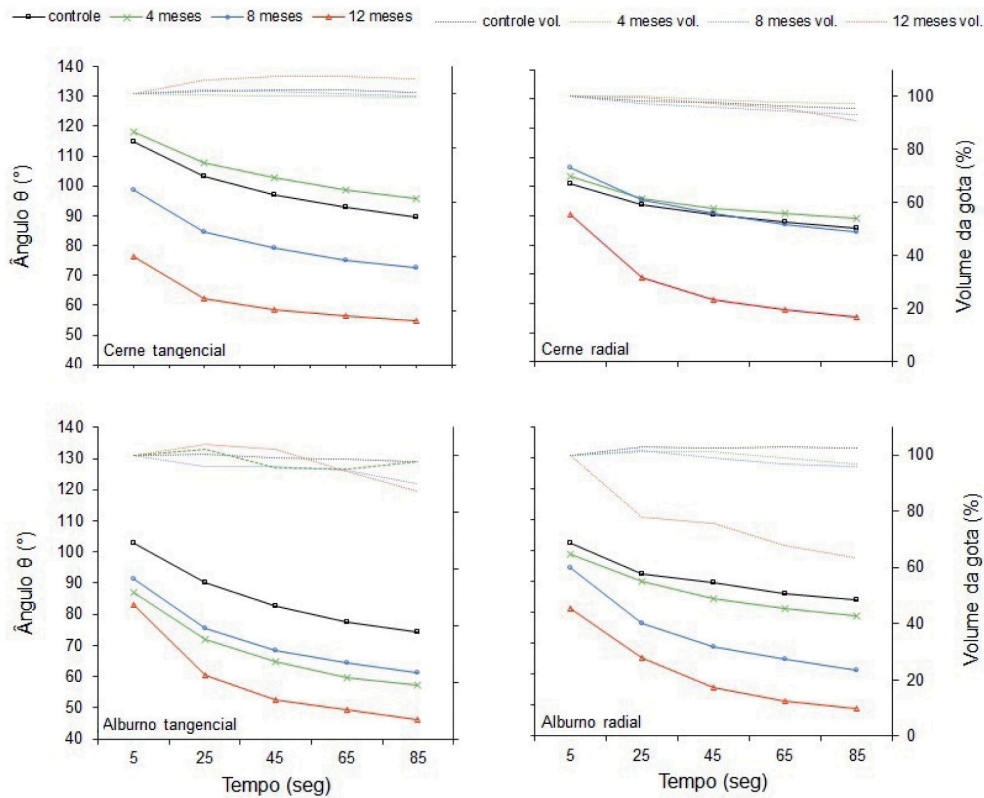


Figura 5. Análise da molhabilidade da madeira da espécie *Corymbia citriodora*, a partir da determinação do ângulo de contato e volume da gota em função do tempo de submersão em água.

Figure 5. Wetting ability analysis of *Corymbia citriodora* wood, for the determination of the contact angle and drop volume according to waterlogging time.

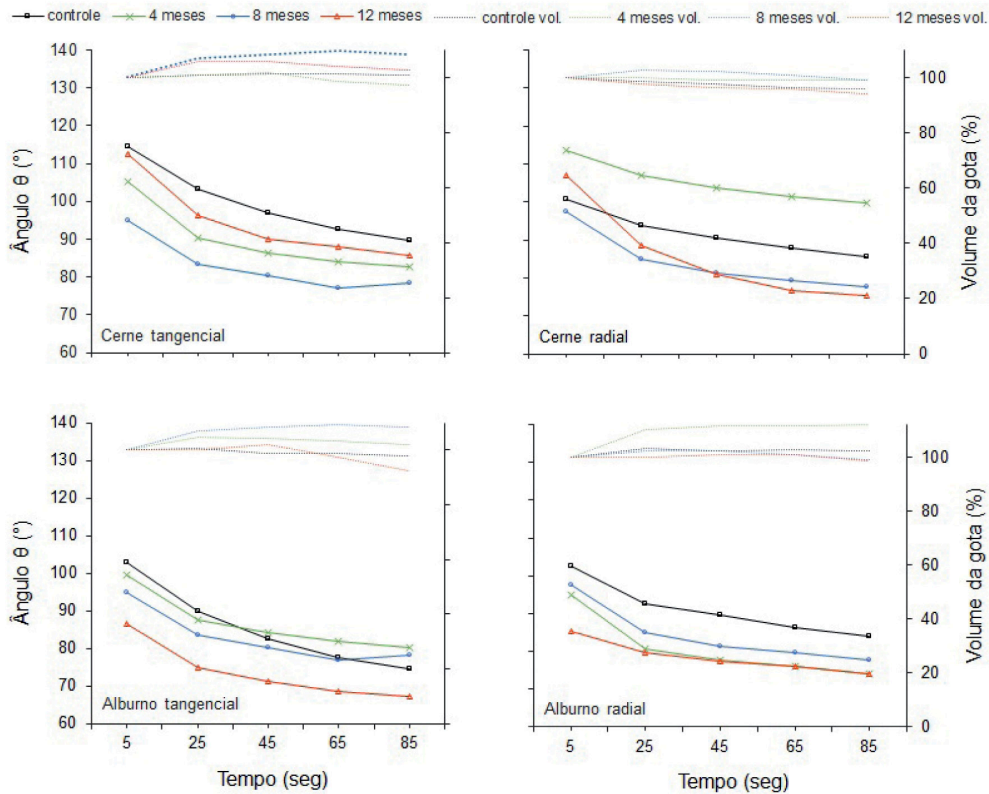


Figura 6. Análise da molhabilidade da madeira da espécie *Eucalyptus grandis*, a partir da determinação do ângulo de contato e volume da gota em função do tempo de submersão em água.

Figure 6. Wetting ability analysis of *Eucalyptus grandis* wood, for determination of the contact angle and drop volume according to waterlogging time.

O volume da gota, em todos os casos analisados, para ambas espécies, mostrou-se constante no cerne em ambas seções anatômicas. No alburno ocorreram pequenas variações durante a cinética de molhabilidade, justificada pela anatomia deste lenho, todavia, na seção anatômica radial do alburno, da espécie *Corymbia citriodora*, a diminuição do volume no T_{12} foi mais acentuada, e este comportamento explica-se devido a menor homogeneidade anatômica nesta superfície (BRISOLARI, 2008).

Apesar da diminuição do ângulo θ com o encharcamento, em todos os casos testados, ocorreu estabilidade do volume da gota ao longo da cinética de molhabilidade, ou seja, houve presença do fenômeno de espalhamento e ausência de absorção da gota pela madeira. Tais fatos podem ser justificados pelo aumento da massa específica aparente das madeiras encharcadas e, conseqüente, redução da porosidade (MARRA, 1992).

CONCLUSÕES

Com base no estudo preliminar do comportamento das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis* submetidas a longos períodos de encharcamento, conclui-se que o MOE e o MOR da madeira das duas espécies não diminuí se o tempo de encharcamento for de, no mínimo, 12 meses. A submersão por período prolongado (12 meses) promoveu uma densificação das madeiras testadas e homogeneização da ME no sentido base-topo e medula-casca, com relação direta ao tempo de submersão em água, além disso, longos períodos de submersão da madeira em água resultou na diminuição do ângulo de contato, principalmente aos 12 meses de encharcamento, porém, não foi observado o fenômeno de absorção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. *Anuário estatístico da ABRAF 2012*: ano base 2011. Brasília, 2012. 150 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D5536-94**: Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties. Philadelphia, 2010. 9 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D143-94**: Standards methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia, 2000. 10 p.

BJÖRDAL, C. G.; NILSSON, T.; DANIEL, G. Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden Applicable to archaeology and conservation, **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 43, n. 1-2, p. 63-73, 1999.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: NOBEL, 1991, 154 p.

CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, P. S. B; SERRANO, L.; LABIDI, J.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gympie messmate wood, **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 360-366, fev. 2013.

CASTELINHO CARACOL. Disponível em: . Acesso em: 10 out. 2013.

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto**. 1996. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

FOJUTOWSKI, A.; WRÓBLEWSKA, H.; KOMOROWICZ, M.; KROPACZ, A.; NOSKOWIAK, A.; POMIAN, I. Changes in the properties of English oak wood (*Quercus robur* L.) as a result of remaining submerged in Baltic Sea waters for two years, **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 86, Part B, p. 122-128, jan. 2014.

- GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R.; BULIGON, E. A.; STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R. M.; TREVISAN, R.; SANTINI, E. J. Estimativa da idade de segregação do lenho juvenil a adulto de *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch por meio de parâmetros anatômicos da madeira, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 675-682, 2010.
- HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis, **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, n. 1, p. 1-5, jul. 2005.
- IZEKOR, D. N; FUWAPE, J. A; OLUYEGE, A. O. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis* wood. **Archives of Applied Science Research**, v. 2, n. 6, p. 113-120, 2010.
- JENSEN, P.; GREGORY, D. J. Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood: a practical guide for their determination, **Journal of Archaeological Science**, v. 33, n. 4, p. 551-559, abr. 2006.
- LOURENÇON, T. V.; GATTO, A. D.; MATTOS, B. D.; DELUCIS, R. A. Propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* no sentido radial, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 369-375, set. 2013.
- MACHADO, J. S.; LOUZADA, J. L.; SANTOS, A. J. A.; NUNES, L.; ANJOS, O.; RODRIGUES, J.; SIMÕES, R. M.S.; PEREIRA, H. Variation of wood density and mechanical properties of blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). **Materials & Design**, v. 56, p. 975-980, 2014.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
- OGUNSANWO, O. Y.; AKINLADE, A. S. Effects of age and sampling position on wood property variations in nigerian grown *Gmelina arborea*. **Journal of agriculture and social research**, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2011.
- POGORZELSKI, S. J.; MAZUREK, A. Z.; SZCZEPANSKA, A. In-situ surface wettability parameters of submerged in brackish water surfaces derived from captive bubble contact angle studies as indicators of surface condition level, **Journal of Marine Systems**, v. 119-120, p. 50-60, jun. 2013.
- PANSHIN, A. J; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood Technology**. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1980. 704 p.
- RIBEIRO, A. O.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; ZIECH, R. Q.; MENDES, R. F. Variação da densidade básica da madeira de *Toona ciliata* Roem cultivada em diferentes localidades, **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 359-366, set. 2011.
- TAMBURINI, D.; LUCEJKO, J. J.; MODUGNO, F.; COLOMBINI, M. P. Characterisation of archaeological waterlogged wood from Herculaneum by pyrolysis and mass spectrometry, **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 86, Part B, p. 142-149, jan. 2014.
- TENENBAUM, D. J. Underwater Logging: Submarine Rediscovered Lost Wood. **Environ Health Perspect**, v. 112, n. 15, p. A892-A895, 2004.
- VAN DER KOOYE, R. **Eco Amazônia**, 2011. Disponível em: <[http://www.oecoamazonia.com/br/reportagens/suriname/181-suriname-percebe-vantagens-nas-madeiras-inundadas](http://www.oecoamazonia.com.br/reportagens/suriname/181-suriname-percebe-vantagens-nas-madeiras-inundadas)>. Acesso em: 30 jul. 2012.
- VIA, B. K.; SO, C. L.; SHUPE, T. F.; GROOM, L. H.; WIKAIRA, J. Mechanical response of longleaf pine to variation in microfibril angle, chemistry associated wavelengths, density, and radial position, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 40, n. 1, p. 60-66, jan. 2009.

Recebido em 03/02/2014
Aceito para publicação em 03/09/2014