

Estudo da retenção e penetração de CCA na
madeira de teca, visando uso como mourões tratadosStudy of the retention and penetration of CCA in
teakwood, for use as treated fence postsSimone Feitosa Chagas¹, Wesley Viana Evangelista²,
José de Castro Silva³ e Márcia Aparecida Pinheiro⁴

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a retenção e penetração de arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C) na madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.), visando sua utilização como madeira tratada roliça, na forma de mourões. A madeira estudada foi proveniente de plantios comerciais localizados no estado de Mato Grosso. O material, de três idades diferentes (quatro, seis e doze anos), foi oriundo de desbastes e do aproveitamento das partes superiores do tronco, dentro da faixa diamétrica de 9 a 13 cm. O tratamento preservativo da madeira foi realizado em autoclave industrial, em sistema de vácuo-pressão e o preservativo usado foi o CCA tipo C, seguindo metodologia padrão adotada pelas empresas produtoras de mourões tratados no Brasil. Posteriormente, foram feitos testes de retenção e penetração de CCA. Avaliou-se também a massa específica aparente, a 12% de umidade, da madeira tratada e não tratada pela técnica de densitometria de raios-X. Os resultados mostraram que, para todas as idades, os valores médios de retenção de CCA foram superiores a 4,0 kg/m³ (quilos de ingredientes ativos por metro cúbico de madeira tratada), enquanto a penetração do preservativo foi do tipo parcial irregular. A seção da madeira tratada apresentou substancial aumento da massa específica aparente, em função da fixação do preservativo na madeira. Concluiu-se que a madeira de teca é de difícil tratabilidade, restringindo-se o uso como mourões tratados em situações de contato direto com o solo e umidade, conforme estabelecido pelas normas técnicas brasileiras em vigor.

Palavras-chave: *Tectona grandis*, tratamento preservativo, CCA, espectrometria de raios-X.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the retention and penetration of chromated copper arsenate (CCA type C) in teak (*Tectona grandis* L. f.), for its use as round wood, such as fence posts. The wood studied was from commercial plantations in State of Mato Grosso, Brazil. The material, of three different ages (four, six and twelve years), came from thinning and use of the upper parts of the trunk with diameter within the range 9-13 cm. The preservative treatment of the wood was carried out in an industrial vacuum-pressure autoclave system and the preservative used was the CCA type C, following the standard methodology adopted by the producers of treated fence posts in Brazil. Subsequently, tests were made of CCA penetration and retention. The apparent density at 12% moisture was also evaluated, of the treated and untreated wood by the technique of X-ray densitometry. The results showed that for all ages, the mean value of CCA retention was greater than 4.0 kg/m³ (Kilos of active ingredients per cubic meter of treated wood), while the penetration of the preservative was of the irregular partial type. The section of treated wood showed substantial increase of the bulk density as a result of preservative fixing in the wood. It was concluded that teakwood is difficult to treat, restricting its use as treated fence posts for direct contact with the ground and moisture, as established by the Brazilian technical standards.

Keywords: *Tectona grandis*, wood preservation, CCA, X-rays densitometry.

¹Mestre em Ciência Florestal. IEF - Instituto Estadual de Florestas. Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/n. - Bairro Serra Verde - Prédio Minas, 1º andar - 31630-900 - Belo Horizonte-MG. E-mail: simonefch@yahoo.com.br.

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

³Doutor em Ciência Florestal. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal. UFV - Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n. - 36570-000 - Viçosa, MG. E-mail: jcastro@ufv.br.

⁴Mestre em Ciência Florestal. UFV - Universidade Federal de Viçosa. Av. P. H. Rolfs, s/n. - 36570-000 - Viçosa, MG. E-mail: marcia_ufv@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

No ano de 2013, o Brasil continha cerca de 7,60 ha de plantios florestais de diversas espécies florestais, sendo 72,0% (5.473.176 ha) de eucalipto, 20,7% (1.570.146 ha) de pinus e 7,3% (557.652 ha) de outras espécies. Nesse período foi registrado no País 88.270 ha de plantios de *Tectona grandis* (L. f.), vulgarmente conhecida como teca (IBA, 2014). Essa espécie é plantada principalmente nos estados de Mato Grosso, Pará e Roraima. A madeira era utilizada na construção civil e para a fabricação de assoalhos, decks, móveis, embarcações e lâminas decorativas (ABRAF, 2013; IBA, 2014). No Brasil essa espécie tem se apresentado como excelente oportunidade de investimento devido à adaptação da cultura às condições edáficas e climáticas em algumas regiões do país, bem como do alto valor agregado da sua madeira.

A teca é uma espécie arbórea, decídua, nativa de florestas tropicais situadas entre 10° e 25° N, no subcontinente índico e do sudeste asiático, principalmente na Índia, Burma, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnã e Java (IPEF, 2003). A sua madeira é considerada uma das mais valiosas no mercado internacional, em função de suas características desejáveis para a construção naval e civil (CALDEIRA, 2004) e produção de móveis finos (RONDON NETO et al., 1998). Além dos usos já citados, nos países de ocorrência natural a madeira de pequenas dimensões pode ser usada também como fonte de energia, caixotaria, escoramento, construção civil etc. (PIMENTEL et al., 2008). Em virtude disso, os plantios comerciais de teca no Brasil têm apresentado excelente oportunidade de investimento devido à sua adaptação a algumas regiões do País, bem como do alto valor agregado da sua madeira.

O rápido crescimento dos indivíduos de teca em algumas regiões do Brasil e a formação de fuste retilíneo estimularam o plantio em larga escala para a produção de madeira serrada para o mercado externo. O estado do Mato Grosso foi pioneiro nos plantios de teca no país, devido às suas condições edafoclimáticas favoráveis. Nessa região, o incremento médio anual, entre 20 e 25 anos, é de aproximadamente 15 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em termos de produção líquida, para povoamentos desbastados aos 5, 10 e 15 anos (LEITE et al., 2011).

A existência de material com propriedades não conhecidas, tais como àqueles provenientes de desbastes e das partes superiores do tronco, os quais apresentam diâmetros reduzidos e impróprios

para serraria, incrementou a necessidade da caracterização destas madeiras para a destinação mais adequada, de maior agregação de valor e aproveitamento do tronco das árvores. Nesse sentido, a realização de estudos sobre as propriedades tecnológicas da madeira é muito importante. Questões de ordem econômica são também justificadas para o melhor uso desse material. Uma análise dessa natureza será muito importante e trará contribuições para o setor florestal, podendo auxiliar na tomada de decisão sobre o planejamento, administração e retorno financeiro com os empreendimentos florestais com a madeira de teca.

No Brasil, o uso da madeira tratada é ainda muito pequeno quando comparado ao seu consumo em outros países de tradição florestal e também quando comparado, dentro do país, ao uso da madeira para outros fins, como a produção de celulose, carvão vegetal e painéis reconstituídos. Os principais produtos de madeira tratada produzidos no Brasil são na forma de cercas, mourões, postes, cruzetas, dormentes e estruturas para a construção civil (ABRAF, 2013). De acordo com Tufolo Netto (2010), o setor rural é o principal consumidor de madeira tratada, correspondendo a 60% do consumo de madeira tratada no Brasil em 2010, principalmente na forma de mourões, estacas e componentes de instalação rural. Segundo ABRAF (2013), em 2012, estimou-se uma produção de madeira tratada de 1,6 milhão de m³, com aumento da produção em relação aos anos anteriores. Esse aumento foi devido ao maior conhecimento do mercado sobre esse tipo de produto, qualidade e suas diversas aplicações. Além disso, a madeira tratada é substituta das madeiras nativas de alta durabilidade natural, que são cada vez mais raras e escassas no mercado, colaborando assim com a preservação das florestas nativas. Apesar desse aumento de produção, o consumo de madeira tratada ainda é muito baixo no Brasil, correspondendo, em 2012, a apenas 0,9% do consumo total de toras no país.

Para o uso de mourões tratados com CCA, as normas brasileiras NBR 9480 (ABNT, 2009) e NBR 16143 (ABNT, 2013) recomendam uma retenção de 4,0 kg/m³ de madeira tratável para usos sem contato com o solo; 6,5 kg/m³ para usos em contato direto com o solo; 9,6 kg/m³ para usos estruturais de difícil substituição, reparo, manutenção e de alta responsabilidade estrutural; e 12,8% para usos em contato direto com o solo ou água doce, em ambientes com alto potencial de biodeterioração por fungos e

insetos xilófagos. Em todos esses casos, a penetração de CCA deverá ser de 100% no alburno.

Este trabalho teve como objetivo o estudo da retenção e penetração do preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C) na madeira de teca (*Tectona grandis*), proveniente de desbastes e de partes superiores do tronco, em três diferentes idades, visando seu uso na forma de mourões roliços tratados.

MATERIAL E MÉTODOS

O material foi proveniente de plantios comerciais de teca (*Tectona grandis*), localizados

no município de Santo Antônio do Leverger, estado do Mato Grosso. A região apresentava precipitação média anual de 1.346,9 mm, umidade relativa média de 73% e temperatura média inferior e superior de 20°C e 30°C, respectivamente. O clima da região é Aw-clima tropical com estação seca, segundo a classificação de Köppen. Foram avaliadas toras oriundas de árvores de desbastes e das porções superiores do tronco (Figura 1), que não se mostravam adequados para serraria, com diâmetro entre 9,0 e 13,0 cm e comprimento de 2,50 m, com idades de quatro, seis e doze anos, originados de três diferentes talhões (Tabela 1).

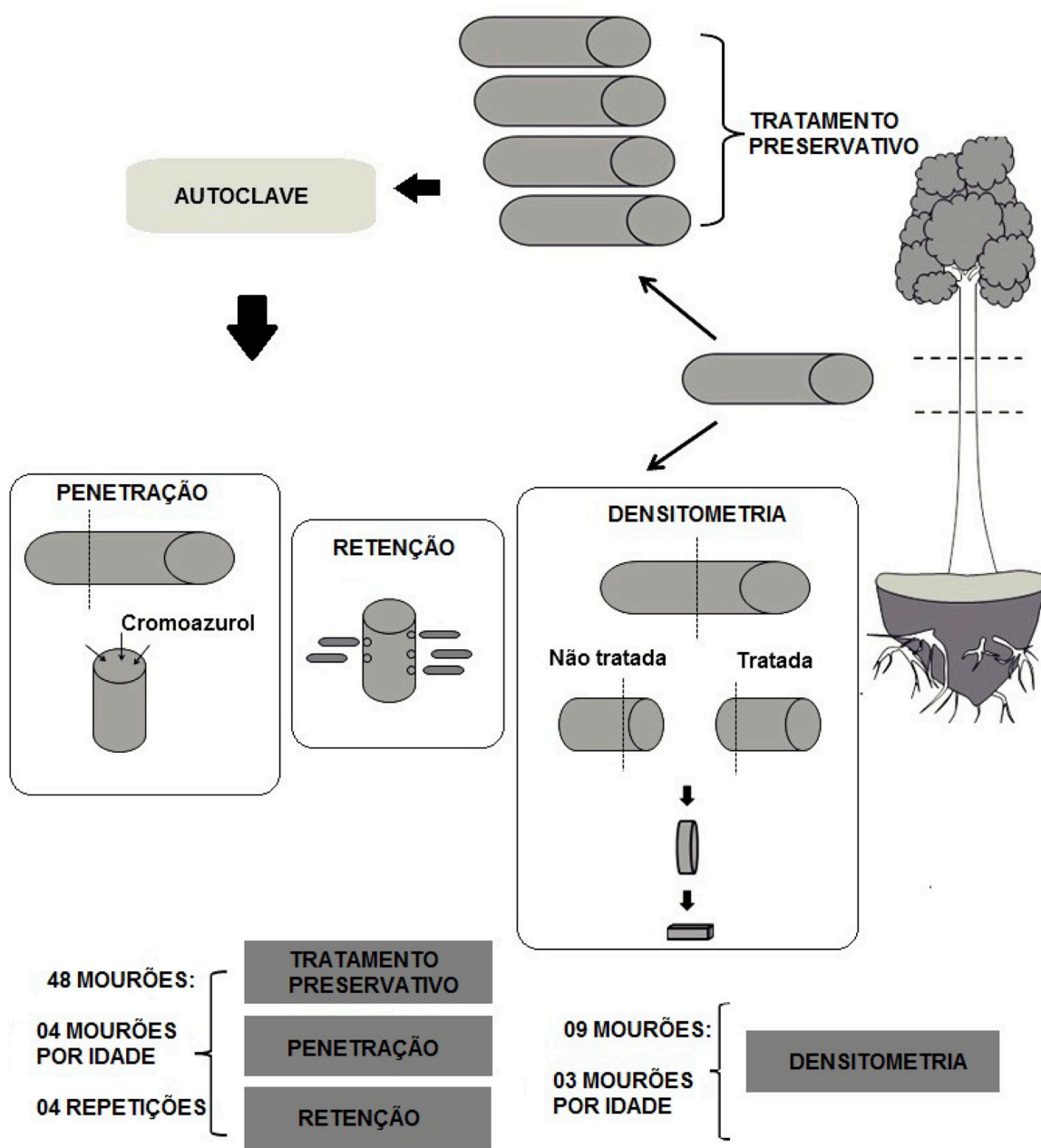


Figura 1. Esquema da retirada das toras ao longo do tronco das árvores de teca, nas diferentes idades.
Figure 1. Scheme for log removal along the trunk of teak trees of different ages.

Tabela 1. Dados referentes aos talhões de teca.

Table 1. Data relating to teak stands.

Talhão ¹	Idade de desbaste (anos)	Espaçamento (m)	Tipo de Solo	Topografia	Coordenadas (datum WGS 1984)
001	12	3,0 x 2,0	Latossolo vermelho	Relevo plano (0 a 2 % de declividade)	Lat. -15,94 Long. -55,66
005	6	3,0 x 2,0	Latossolo vermelho	Relevo plano (0 a 2 % de declividade)	Lat. -15,95 Long. -55,67
007	4	3,0 x 2,0	Latossolo vermelho amarelo	Relevo suavemente ondulado (2 a 4 % de declividade)	Lat. -15,95 Long. -55,68

¹Dados fornecidos por Companhia do Vale do Araguaia.

Foram avaliadas quarenta e oito toras, provenientes de três idades e dezesseis toras por idade, retiradas de diferentes alturas do tronco (Figura 1). Após a identificação, as toras foram transportadas para o Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), campus de Viçosa, Minas Gerais. As toras foram descascadas e submetidas à secagem natural até atingir uma umidade média inferior a 30%, base seca, e em seguida foi realizado o tratamento preservativo da madeira.

Para a realização do tratamento preservativo utilizaram-se mourões bem retilíneos, sem rachaduras e outros defeitos. Nesse estudo foram realizados quatro tratamentos preservativos em uma autoclave industrial, sendo cada bateria de tratamento preservativo considerada como repetição e, em cada tratamento foram utilizados quatro mourões de teca para cada idade avaliada. Em síntese, o modelo experimental constou de quatro mourões x três idades x quatro repe-

tições, num total de quarenta e oito mourões tratados. A autoclave industrial, pertencente ao LPM/UFV, possui dimensões de 0,80 m x 3,00 m (diâmetro x comprimento) e o método de tratamento preservativo utilizado foi pelo processo Bethell. O tratamento preservativo foi realizado com aplicação de 30 min. de vácuo inicial a 560 mmHg, 90 min. de pressão a 12 kgf./cm² e vácuo final de 15 min. a 560 mmHg (Figura 2). A metodologia de tratamento utilizada nesse trabalho correspondeu àquela recomendada pelos maiores fabricantes de CCA tipo C no Brasil e também à metodologia aplicada pela maioria das empresas produtoras de mourões de cerca de eucalipto no país.

O preservativo utilizado foi o arseniato de cobre cromatado (CCA, tipo C), de registro comercial Osmose K 33 C, produzido pela Montana Química S/A. A concentração utilizada da solução preservativa foi de 2% de ingredientes ativos. O uso dessa concentração foi justificado pela sua aplicação no mercado para o tratamen-

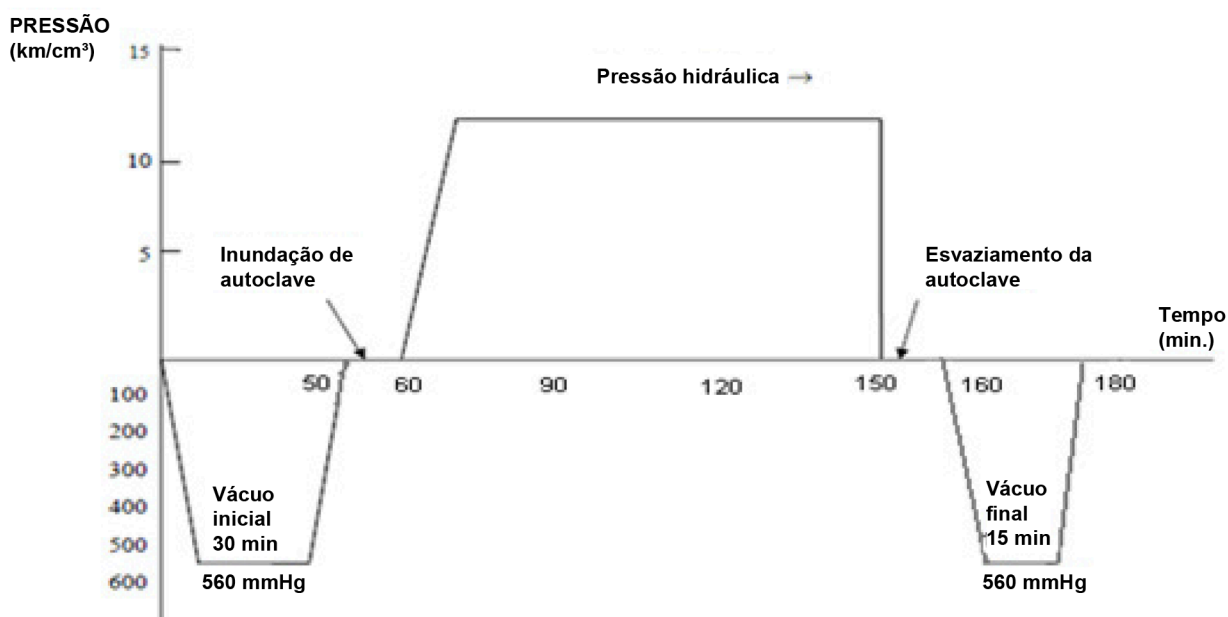


Figura 2. Representação gráfica do processo de tratamento preservativo dos mourões de teca. Fonte: Campos-Sales et al. (2003) (Adaptado).

Figure 2. Graphic representation of the preservative treatment process of teak fence posts. Source: Campos-Sales et al. (2003) (adapted).

to de mourões, e também pela obtenção satisfatória dos índices de retenção e penetração em mourões de *Eucalyptus* spp., conforme estudos de Evangelista (2011) e Valle et al. (2013). O CCA utilizado tinha 47,5% de CrO_3 , 18,5% de CuO e 34,0% de As_2O_5 , conforme Standard P5-06 da AWWA (2006).

Após o tratamento preservativo, os mourões foram devidamente armazenados para ocorrência das reações de fixação primária dos princípios ativos do CCA na madeira e em seguida foram realizadas as análises de penetração e retenção de CCA.

Para a análise de penetração de CCA, os mourões de teca foram seccionados em amostras com 60 cm de comprimento a partir da base, com o auxílio de uma motosserra. Em seguida utilizou-se uma solução cromoazurol-S, que foi aplicada em toda região transversal dos mourões a 60 cm da base. A penetração do CCA na madeira foi confirmada pela detecção do elemento cobre, onde a madeira tratada adquiria coloração azul escuro e a madeira não tratada adquiria uma coloração rosa. A análise da penetração foi feita com base na classificação utilizada por Campos-Sales et al. (2003) (Figura 3).

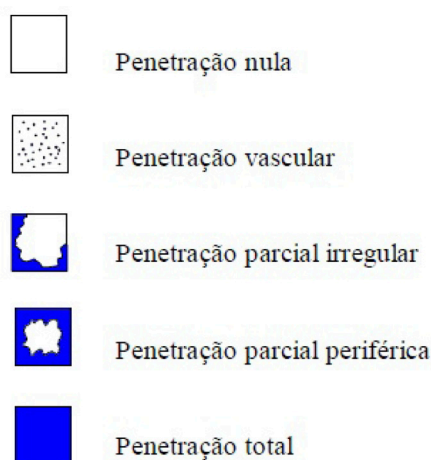


Figura 3. Avaliação da penetração de CCA na madeira de teca. Fonte: Campos-Sales et al. (2003) (Adaptado).

Figure 3. Evaluation of the penetration of CCA into teakwood. Source: Campos-Sales et al. (2003) (adapted).

Para a análise da retenção do CCA, retiraram-se cinco baguetas ao longo de toda a seção circular da madeira tratada, a 50 cm a partir da base das toras, com auxílio de uma broca extratora especial, com 53 mm de comprimento e diâmetro interno de 13 mm. Após a retirada das baguetas, separou-se cuidadosamente a região tratada (evidenciada por uma coloração esverdeada) da não

tratada, avaliando-se apenas o material tratado. Em seguida determinou-se a massa específica aparente, a 0% de umidade, da região tratada e posteriormente, esse material foi triturado em moinho de facas tipo Willey Te-680 e a serragem obtida foi peneirada em uma peneira tipo Mesh 35, recolhendo-se toda a serragem que passava por essa peneira. Essa serragem foi seca em estufa a $103^\circ \pm 2^\circ \text{C}$, por cerca de 2 h, e colocado em cubetas de plástico com 2,5 cm de diâmetro e fundo de Myler, cobertas com plástico parafilme, e levadas a um espectrômetro de raios-X Shimadzu-EDX-720, onde foi determinada, em porcentagem, a retenção de CCA na madeira. As análises de retenção foram realizadas na empresa Montana Química S.A., localizada no município de São Paulo, estado de São Paulo.

Para a caracterização da madeira sólida, avaliou-se a massa específica aparente, a 12% de umidade, da madeira tratada e não tratada com CCA, pela técnica de densitometria de raios-X. Para isso, foram selecionados aleatoriamente três mourões de teca correspondes a cada idade. Cada mourão foi seccionado em duas partes, sendo uma delas submetida ao tratamento preservativo já descrito e a outra parte mantida "in natura", ou seja, sem nenhum tratamento químico. Para uma melhor comparação da madeira tratada com aquela não tratada, tomou-se o cuidado de justapor as partes seccionadas na posição exata da condição anterior ao corte. De cada uma das seções (tratada e não tratada), retirou-se um disco de madeira, com três centímetros de espessura, para análise do perfil densitométrico. Esses discos foram cortados e produzidas seções retangulares contendo as regiões diametrais (madeiras de alburno-medula-alburno). Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em sala de climatização, à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, por um período de 24 horas, conforme recomendado por Amaral e Tomazello Filho (1998). Posteriormente, as amostras foram analisadas por um densitômetro de raios-X modelo QTRS-01X, através de fonte colimada de feixes de raios-X, sendo os perfis radiais de densidade obtidos pelo software QMS. Os registros da massa específica aparente eram feitos na madeira a cada $40 \mu\text{m}$.

A análise da massa específica aparente por densitometria de raios-X foi realizada no Laboratório de Densitometria de Raios X em Madeira, do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

Para a análise estatística da retenção de CCA, utilizou-se a análise de variância, em nível de 5% de probabilidade de erro, considerando os efeitos das diferentes idades; quando a análise se mostrou significativa, aplicou-se o teste Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. A análise estatística dos dados obtidos por densitometria de raios-X foi realizada através do teste t para amostras dependentes, a 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Statistica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Penetração de CCA

Na análise de penetração de CCA na madeira de teca foram verificadas irregularidades na distribuição do preservativo em todos os tratamentos (Figura 4). Essas irregularidades foram registradas na delimitação entre o albarno e cerne, bem como na seção permeável que recebeu a solução preservativa. Na madeira tratada (Figura 4B), as setas brancas mostram regiões periféricas da madeira de teca, possivelmente correspondentes a madeira de albarno e que não receberam tratamento com CCA ou receberam de forma irregular e não profunda.

Na região do cerne não ocorreu uma reação positiva com o cromoazurol-S, ou seja, não houve a formação de coloração azul. Isso indicou que o CCA não penetrou e se distribuiu nesse tecido, o que já era esperado, pois a maioria das espécies florestais madeireiras apresenta cerne impermeável (NICHOLAS; SIAU, 1973). A maior impermeabilidade do cerne, quando comparado ao albarno, é explicada pelas alterações anatômicas e

químicas que ocorrem durante as transformações do albarno em cerne (HUNT; GARRATT, 1953, citados por EVANGELISTA, 2011).

Com base nos resultados observados, os mourões de teca apresentaram penetração do tipo parcial e irregular, de acordo com a classificação utilizada por Campos-Sales et al. (2003).

Para a confirmação de que a metodologia aplicada nesse trabalho não foi responsável pela não efetividade do tratamento preservativo da madeira de teca na autoclave, realizou-se um novo tratamento contendo mourões de teca juntamente com mourões de *Eucalyptus* sp., que reconhecidamente possui a madeira com albarno permeável (TAMBLYN, 1984; BOTELHO et al., 2000; EVANGELISTA, 2011). O tratamento preservativo foi realizado seguindo-se a mesma metodologia empregada anteriormente no tratamento dos mourões de teca (Figura 2). Os resultados desse novo tratamento mostraram que os mourões de eucalipto apresentaram penetração total do albarno e penetração nula do cerne, enquanto os mourões de teca apresentaram os mesmos resultados já anteriormente observados, ou seja, uma penetração do tipo parcial irregular das regiões mais periféricas (Figura 5).

Considerando o local de retirada dos mourões nas árvores de teca, espera-se uma penetração radial mais profunda e uniforme do CCA, devido à maior porcentagem de madeira de albarno. Apesar de a porcentagem de albarno não ter sido quantificada nesse trabalho, os mourões de teca apresentam visualmente alta porcentagem do mesmo, o que conseqüentemente deveria contribuir também para uma penetração radial mais profunda. Montana Química (2012), realizando

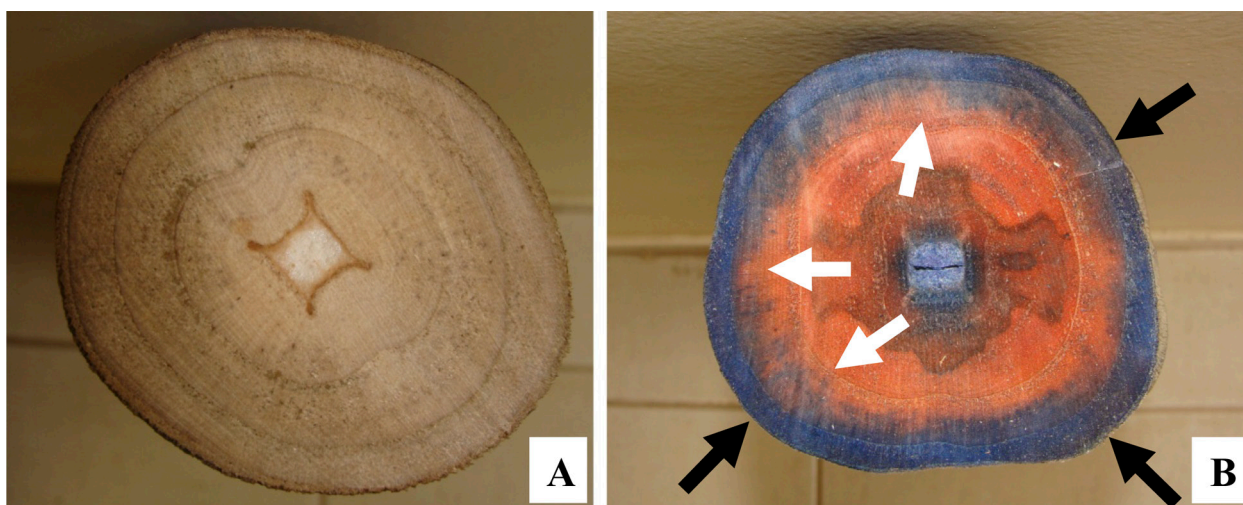


Figura 4. Madeira de teca tratada com CCA antes (A) e após (B) a aplicação da solução de cromoazurol-S. Setas pretas: regiões com penetração de CCA; setas brancas: regiões sem penetração de CCA.

Figure 4. Teak wood treated with CCA before (A) and after (B) applying the solution chrome-azurolo-S. Black arrows: regions with penetration of CCA, white arrows: regions without penetration of CCA.



Figura 5. Madeiras de teca e eucalipto submetidas ao teste de cromoazurol-S após o tratamento preservativo simultâneo das duas espécies.

Figure 5. Teak and eucalyptus woods submitted to chrome-azurol-S test after the simultaneous preservative treatment of both species.

um estudo sobre a tratabilidade da madeira de teca, com a mesma metodologia de tratamento preservativo adotada nesse trabalho, também observou uma distribuição não uniforme de CCA na região do alburno, sugerindo a existência de um tecido impermeável localizado entre o alburno e o cerne. Nesse caso, o autor classificou a madeira de teca como parcialmente tratável.

Com base na metodologia de tratamento preservativo empregada, não houve atendimento das normas NBR 9480 (ABNT, 2009) e NBR 16143 (ABNT, 2013) quanto à obtenção de uma penetração total da madeira de alburno dos mourões de teca.

A permeabilidade da madeira é uma propriedade importante quando se estuda a preservação de madeiras, permitindo melhor compreensão dos mecanismos de penetração dos preservativos. Ela é definida como a facilidade em que os fluidos são transportados através de um material poroso através de um gradiente de pressão. A permeabilidade é influenciada pela porosidade, estrutura anatômica e umidade da madeira, sendo que todos esses parâmetros estão interligados (NICHOLAS; SIAU, 1973; SIAU, 1984). A porosidade corresponde à fração volumétrica dos espaços vazios da madeira e para que ela seja permeável, esses poros devem estar desobstruídos e interconectados (SIAU, 1984). A ocorrência de uma penetração parcial irregular na região do al-

burno pode ter ocorrido provavelmente devido à presença de extrativos, como a tectoquinona, ou de outras substâncias presentes na madeira dessa espécie, o que afetou a permeabilidade da madeira, causando a sua redução.

Para atender as normas técnicas brasileiras vigentes, de forma a proporcionar um tratamento preservativo realmente efetivo a madeira de teca, deve ser testada novas formas de tratamento preservativo para essa espécie. Técnicas relacionadas ao processo de tratamento preservativo, como o uso de maiores pressões de impregnação em autoclaves, incisão da madeira e uso de microondas promovem aumento da permeabilidade da madeira e são técnicas descritas com sucesso por Tamblyn (1984), Torgovnikov e Vinden (2006), Lebow (2010) e Vinden et al. (2011), no tratamento da madeira de cerne ou de madeiras de baixa permeabilidade. O uso dessas técnicas possivelmente contribuiria para uma penetração mais regular e profunda de preservativos na madeira de teca. Estudos nessa área são de grande importância para essa espécie, para proporcionar um tratamento preservativo mais efetivo e também devido à importância econômica que essa espécie tem assumido no Brasil.

Retenção de CCA

Através da análise de variância, não foi verificado efeito significativo do fator idade, sen-

do o menor e o maior valor médio de retenção observados nas idades de quatro e doze anos, respectivamente (Tabela 2). Os dados médios de retenção observados atenderam, em parte, as norma NBR 9480 (ABNT, 2009) e NBR 16143 (ABNT, 2013), evidenciando que a madeira ainda apresenta restrições quanto à retenção para usos em contato com o solo. Somente com retenções superiores a 6,5 kg/m³ a madeira poderia ser utilizada em contato direto com o solo de forma segura e possivelmente proporcionar maior vida útil em serviço.

Tabela 2. Valores médios de retenção de CCA na madeira de teca de três idades.

Table 2. Mean values of CCA retention in teakwood of three different ages.

Repetições	Idades (anos)		
	4	6	12
01	6,5 ¹	5,7	6,8
02	6,2	4,4	4,8
03	4,1	3,9	6,5
04	3,9	4,3	4,7
Média	5,2	4,6	5,7
Desvio padrão	1,4	0,8	1,1
% amostras retenção igual ou superior a 6,5 kg/m ³	25	0	50

¹O valor de cada repetição corresponde a média de retenção de quatro mourões tratados em autoclave.

Para a madeira de quatro anos, verificou-se que os menores e maiores valores médios de retenção foram de 3,9 e 6,5 kg/m³ de madeira tratada de CCA, respectivamente, e que apenas 25% das amostras apresentaram retenção mínima igual ou superior a 6,5 kg/m³ estabelecida pelas NBR 9480 e NBR 16143 para uso como mourões em contato com o solo. Na madeira de seis anos, os menores e maiores valores médios de retenção foram de 3,9 e 5,7 kg/m³, respectivamente, e nenhuma das amostras apresentou uma retenção mínima igual ou superior a 6,5 kg/m³. Para a madeira de doze anos, os menores e maiores valores médios de retenção foram de 4,7 e 6,8 kg/m³ e 50% das amostras apresentaram uma retenção mínima igual ou superior a 6,5 kg/m³.

De maneira geral verificou-se que, para as três idades, os valores médios de retenção de CCA encontraram-se superiores a 4,0 kg/m³, sendo viável sua utilização em ambientes internos e externos dentro das classes 1, 2, 3 e 4 propostos pela NBR 16143 (ABNT, 2013). Ainda de acordo com essa mesma norma, a madeira roliça de teca poderá ser utilizada na forma de cercas, colunas, cruzetas, estruturas de telhados, móveis, playgrounds, ponte ou passarelas e tabuleiros,

entretanto desde que não haja contato direto com o solo, água doce ou salgada.

Considerando a metodologia utilizada nesse trabalho, o tratamento preservativo de teca objetivava, pelo menos, uma retenção mínima de 6,5 kg/m³ devido essa metodologia de tratamento ser efetiva para outras espécies (CAMPOS-SALES et al., 2003; EVANGELISTA, 2011; SCHNEID, 2013; VALLE et al., 2013). De acordo com os valores de retenção de CCA estabelecidos por IBDF/LPF (1988) e os resultados da penetração do tipo parcial irregular, a madeira de teca das três idades pode ser classificada como de difícil tratabilidade.

Os valores de retenção de CCA obtidos na madeira de teca foram abaixo do valor esperado (mínimo de 6,5 kg/m³ de madeira tratada) e isso reforça a ideia de novas pesquisas com o objetivo de aumentar a permeabilidade da madeira à impregnação com preservativos, bem como a retenção de preservativos. Uma maior absorção e distribuição do preservativo na madeira de teca possivelmente irão proporcionar maior penetração e retenção, aumentando a resistência natural da madeira e sua vida útil em serviço.

Densitometria de raios-X

Para a caracterização da madeira de teca, foi estimada a massa específica aparente, a 12% de umidade, pela técnica de densitometria de raios-X. Os valores de massa específica aparente da madeira sem tratamento observados nesse trabalho são similares aos observados por Pimentel et al. (2008) e Lima et al. (2009).

Com relação à madeira tratada, foi observada diferença estatística da massa específica entre a madeira tratada e não tratada, em todas as idades (Tabela 3). Comparando-se os valores encontrados para as amostras tratadas e não tratadas com CCA, houve uma grande diferença na massa específica aparente, sendo evidenciado um incremento médio de 0,364 g/cm³ nas regiões tratadas.

Através da análise do perfil densitométrico da madeira de teca observou-se nas amostras tratadas e não tratadas uma tendência de aumento da massa específica aparente no sentido medula-casca (Figura 6). Na posição referente ao alburno, mais próxima da casca, a retenção apresentou valores máximos, evidenciando a presença de uma madeira mais permeável, que possivelmente obteve maior penetração e retenção do CCA. A retenção de CCA proporciona a impregnação dos ingredientes ativos do preservativo nos lumens e paredes celulares da madeira, resultando nesse maior aumento da massa específica.

Tabela 3. Valores médios de massa específica aparente (g/cm^3) para as madeiras tratadas e não tratadas de teca, sob três idades diferentes, por densitometria de raios-X.

Table 3. Mean values of apparent density (g/cm^3) for treated and untreated teak wood of three different ages, by X-ray densitometry.

Idades (anos)	Massa específica aparente	
	Madeiras não-tratadas	Madeiras tratadas
4	0,517 a ¹ (29,67) ²	0,943 b (33,44)
6	0,518 a (24,04)	0,797 b (38,28)
12	0,508 a (29,92)	0,895 b (27,37)

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro.

²Valores entre parênteses abaixo do valor médio central correspondem ao coeficiente de variação, em porcentagem.

A maior massa específica aparente média foi encontrada nas amostras tratadas de teca com quatro anos de idade ($0,943 \text{ g}/\text{cm}^3$), com extremos de mínimo e máximo de $0,392$ e $2,050 \text{ g}/\text{cm}^3$, respectivamente. As amostras tratadas com seis anos de idade apresentaram o menor valor de massa específica média ($0,797 \text{ g}/\text{cm}^3$), mínimo de $0,384 \text{ g}/\text{cm}^3$ e máximo de $2,361 \text{ g}/\text{cm}^3$. Para as amostras tratadas com doze anos de idade, a massa específica média foi de $0,895 \text{ g}/\text{cm}^3$, observando-se entre elas a menor variação entre o material tratado (27,37%), com valores mínimo e máximo de $0,480$ e $1,922 \text{ g}/\text{cm}^3$, respectivamente. Nas três idades avaliadas houve diferença significativa entre a massa específica aparente das madeiras tratada e não tratadas.

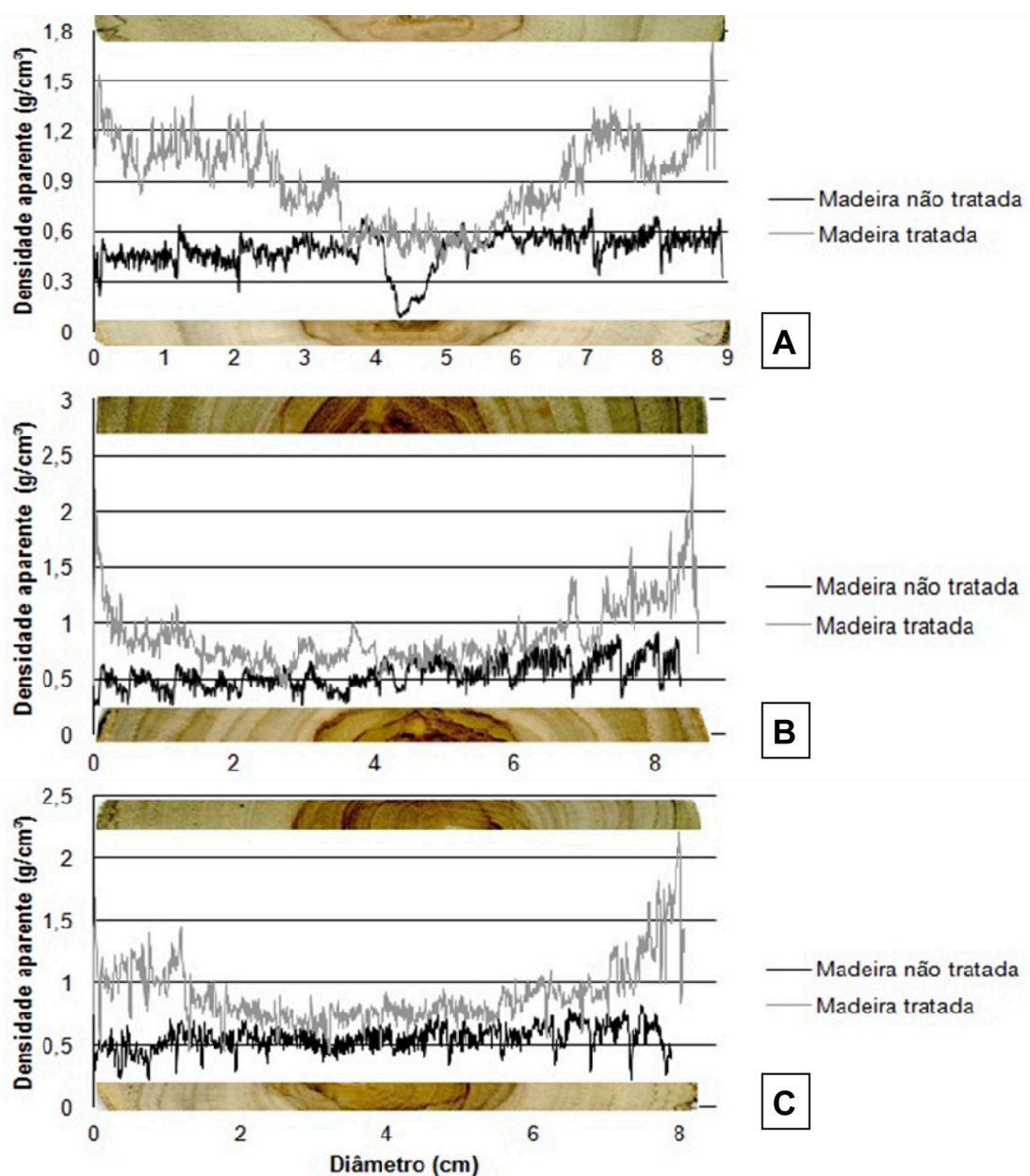


Figura 6. Perfil densitométrico da seção radial da madeira de teca, não tratada e tratada com CCA, com quatro (A), seis (B) e doze (C) anos de idade.

Figure 6. Densitometry profile of the radial section of teak wood, untreated and treated with CCA, with four (A), six (B) and twelve (C) years old.

Considerando a amplitude de valores registrados, altos valores no limite máximo foram observados nas idades de quatro e seis anos (superiores a 2,000 g/cm³). Conforme registrado por Castro (2011) e Oliveira (2011), a madeira de teca tem porosidade dos vasos organizados em anéis semiporosos, com regiões de menor frequência de vasos e com presença de fibras com maior espessura da parede no final do lenho tardio de cada anel de crescimento. Os autores também observaram aumento da massa específica aparente no sentido medula-casca, sendo que Castro (2011) ainda observou uma estabilização da massa específica no lenho mais próximo da casca. Considerando que a madeira de teca tem maior massa específica na região de alburno mais próxima a casca e que densitômetro utilizado permitiu fazer determinações da massa específica a cada 40 µm de distância, é possível o registro de microrregiões com maior concentração de CCA impregnadas em células com maior espessura de parede no final do lenho tardio. Isso provavelmente poderia ter gerado registros de massa específica aparente superiores a 2,000 g/cm³.

CONCLUSÕES

A madeira de teca (*Tectona grandis*) apresenta penetração do tipo parcial irregular e retenção insatisfatória para uso na forma de mourões roliços tratados, considerando o atendimento às normas NBR 9480 e NBR 16143. A madeira de teca pode ser considerada de difícil tratabilidade, não apresentando penetração total de CCA em toda a região permeável. Com base na metodologia utilizada no tratamento preservativo dos mourões, a retenção de CCA é satisfatória para o uso da madeira tratada sem contato direto com o solo ou umidade. Os mourões roliços de teca poderão ser utilizados dentro das classes de uso 1, 2, 3 e 4, estabelecidas pela NBR 16143.

A impregnação de CCA na madeira foi suficiente para proporcionar aumento significativo da massa específica aparente nas regiões tratadas quando comparado às regiões sem tratamento preservativo.

Para maior efetividade do tratamento da madeira de teca, técnicas adicionais devem ser estudadas e avaliadas para aumentar a permeabilidade da madeira, e consequentemente proporcionar maior penetração e retenção com produtos preservativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9480**: Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – Requisitos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16143**: Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro, 2013. 19 p.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.

AMARAL, A. C. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 6, n. 11, p. 17-23, 1998.

AWPA - AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard for waterborne preservatives: P 5-06. In: _____. **2006 AWPA book of standards**. Birmingham, 2006. p. 111-116.

BOTELHO, G. M. L.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S. Caracterização química, durabilidade natural e tratabilidade da madeira de seis espécies de eucaliptos plantadas no Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 115-121, 2000.

CALDEIRA, B. R. P. R. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas e determinação da porcentagem de cerne da madeira de *Tectona grandis***. 2004. 71 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) - Instituto de Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004.

CAMPOS-SALES, C.; VIANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. F. Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae – (Pau-Rainha) uma espécie madeireira da região amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 845-853. 2003.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 104 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

- IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores: ano base 2013**. Brasília: IBA, 2014. 97 p.
- IBDF/LPF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL/ LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras da Amazônia, características e utilização**. Curuá-Uma: Estação Experimental de Curuá-Uma, 1988, v. 2, p. 30-32.
- IPEF, INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS. **Tectona grandis (Teca)**. 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>. Acesso em: 04 ago. 2014.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA-NETO, R. R.; MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A. M.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afiletagem de cerne de *Tectona grandis* L.f. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 53-59, 2011.
- LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. f. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, n. 2, p. 244-250. 2009.
- LEBOW, S. T. Wood preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 15, p1-28. (USDA Forest Service FPL General Technical Report, n.190).
- MONTANA QUÍMICA: Departamento técnico e industrial. **Relatório de tratabilidade da madeira de teca**. São Paulo: Montana Química, 2012. 5 p.
- NICHOLAS, D. D.; SIAU, J. F. Factors influencing the treatability of wood. In: NICHOLAS, D. D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments**. Syracuse: Syracuse University Press, 1973. 2 v., cap. 4, p. 299-343.
- OLIVEIRA, B. R. U. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de Tectona grandis L.f., do município de Cáceres, MT**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- PIMENTEL, M. M.; SELEGATO, P. A. M.; GARCIA, J. N.; LIMA, I. L. Variações das propriedades da madeira de *Tectona grandis* Linn. F. (teca) em função do espaçamento e da posição radial na tora. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 39, p. 1-6, 2008.
- RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L.f. (teca). **Boletim técnico - Série Extensão**, Lavras, n. 3, p. 1-29, 1998.
- SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. Avaliação do tratamento sob pressão de postes de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* com CCA-C. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 541-547, 2013.
- SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-verlag, 1984. 245 p.
- TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Sydney: Academic Press, 1984. Cap. 18, p. 343-356.
- TUFOLO NETTO, H. **Benefícios do uso da madeira de reflorestamento tratada para a construção civil**. 2010. 47 p. Monografia (Especialização em Gestão Empresarial) – Instituto Nacional de Pós Graduação, São Paulo, 2010.
- TORGOVNIKOV, G.; VINDEN, P. Microwave method for increasing the permeability of wood and its applications. In: WILLERT-PORADA, M. (Ed.). **Advances in Microwave and Radio Frequency Processing**. Netherlands: Springer-Verlag, 2006. p. 303-311.
- VALLE, M. L. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 483-492, 2013.
- VINDEN, P.; TORGOVNIKOV, G.; HANN, J. Microwave modification of Radiata pine railway sleepers for preservative treatment. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 69, n. 2, p. 271-279, 2011.

Recebido em 22/01/2014

Aceito para publicação em 01/11/2014

