

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR FASSINA BROCCO

EFEITO DO TEMPO DE TRATAMENTO NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E TRATABILIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2011

VICTOR FASSINA BROCCO

EFEITO DO TEMPO DE TRATAMENTO NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E TRATABILIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2011

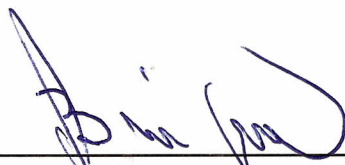
VICTOR FASSINA BROCCO

EFEITO DO TEMPO DE TRATAMENTO NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS E TRATABILIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Florestal.

Aprovada em 16 de novembro de 2011

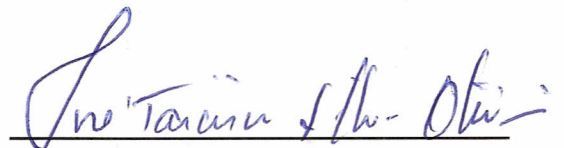
COMISSÃO EXAMINADORA



Juarez Benigno Paes

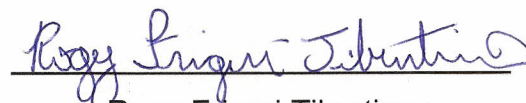
Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador



José Tarcísio da Silva Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo



Rogy Frigeri Tiburtino

Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus pais, Zenobio e Marineti e meu irmão, Vinicius pela educação, amizade, apoio, dedicação e exemplo de vida.

A todos familiares e amigos, que sempre estiveram comigo.

“Não desanime em razão da crítica. Se a censura é serviço cabível a qualquer um, a realização elevada é obra de poucos.”

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

A Deus, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas.

À Universidade Federal do Espírito Santo, e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela disponibilização de material e suporte para a realização deste trabalho.

Ao professor Juarez Benigno Paes, pela amizade, paciência, disponibilidade, orientação e conhecimentos transmitidos, tornando possível a conclusão desta monografia.

Aos membros da Banca Examinadora, professor José Tarcísio da Silva Oliveira e o mestrando em Ciências Florestais Rogy Frigeri Tiburtino, pelos comentários e sugestões.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, que de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos técnicos José Geraldo Lima de Oliveira do Laboratório de Ciência da Madeira (LCM) e Elecy Palácio Constantino do Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira (LUMber), pelo auxílio e compreensão na realização dos procedimentos fundamentais a este trabalho.

À minha namorada, Lais Gonçalves da Costa, pela amizade, carinho, paciência e dedicação, me ajudando a enfrentar todas as dificuldades.

Aos colegas da graduação e a todos aqueles de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

A maioria das espécies de eucalipto apresenta baixa resistência natural e está susceptível ao ataque de organismos deterioradores, necessitando de tratamentos preservativos, para assegurar um melhor desempenho e vida útil nos diversos meios de utilização. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do tempo de tratamento nas propriedades mecânicas e tratabilidade da madeira de eucalipto. O material foi tratado pelo método de célula-cheia (Bethell), submetido a um vácuo inicial e pressão com três tempos de tratamento (60, 90 e 120 min). As amostras foram retiradas do cerne/alburno de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*, com dimensões de 2 x 2 x 30 cm (radial x tangencial x longitudinal). Para o tratamento das peças foi utilizado um produto a base de borato de cobre cromatado (CCB). Foi utilizada uma solução de 2% de ingredientes ativos de CCB. As características mecânicas foram avaliadas para a compressão paralela e flexão estática. Houve diferença significativa para a interação espécie e tempo de tratamento para a resistência a compressão paralela, tendo o tempo de tratamento de 90 e 120 min causado redução na resistência à compressão paralela para a espécie *Corymbia torelliana*. A espécie *Eucalyptus cloeziana* se apresentou mais resistente que a espécie *Corymbia torelliana* em todas as características mecânicas testadas, independente do tempo de tratamento. Para a resistência e rigidez à flexão estática, não houve diferença significativa entre os tempos de tratamento testados. A espécie *C. Torelliana* apresentou maior penetração dos elementos boro e cobre quando comparada a *E. Cloeziana*, não havendo influência do tempo de tratamento na penetração do CCB nas amostras.

Palavras-chave: Madeira, Tempo de tratamento, CCB, Propriedades mecânicas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 O problema e sua importância.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Introdução e importância do eucalipto.....	3
2.2 Organismos xilófagos.....	4
2.3 Produtos e tratamentos preservativos.....	4
2.4 Influências do tratamento preservativo nas propriedades da madeira....	6
3 METODOLOGIA.....	8
3.1 Espécies utilizadas, procedência, coleta e amostragem.....	8
3.2 Tratamento preservativo, secagem e amostragem das peças.....	8
3.3 Caracterização mecânica da madeira tratada.....	10
3.4 Determinação da penetração do CCB nas amostras.....	12
3.5 Análise e avaliação dos resultados.....	14
4 RESULTADOS DA PESQUISA.....	15
4.1 Características mecânicas das madeiras.....	15
4.2 Avaliação da penetração do CCB na madeira.....	19
5 CONCLUSÕES.....	21
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corpos de prova confeccionados para o tratamento preservativo..	8
Figura 2 - Autoclave-piloto empregada para o tratamento da madeira.....	9
Figura 3 - Representação gráfica para a primeira situação do tratamento.....	10
Figura 4 - Ensaio de compressão paralela às fibras.....	11
Figura 5 - Ensaio de Flexão estática.....	11
Figura 6 - Representação das amostras retiradas para a determinação da penetração.....	12
Figura 7 - Análise colorimétrica para a determinação do elemento cobre nas peças tratadas.....	12
Figura 8 - Análise colorimétrica para a determinação do elemento boro nas peças tratadas.....	13
Figura 9 - Padrões de penetração do teste de tratabilidade de madeira.....	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de umidade das peças tratadas submetidas aos ensaios mecânicos.....	15
Tabela 2 - Propriedades mecânicas das peças tratadas corrigidas para 12% de umidade, conforme tempo de tratamento e espécie.....	16
Tabela 3 - Resumo das análises de variância das propriedades mecânicas..	17
Tabela 4 - Comparações entre as médias de resistência à compressão (MPa) para os parâmetros espécie e tempo de tratamento.....	17
Tabela 5 - Comparações entre as médias de resistência (MPa) e rigidez (GPa) à flexão estática das espécie estudadas.....	18
Tabela 6 - Penetração de boro e cobre (nota) por espécie e tempo de tratamento.....	19
Tabela 7 - Resumo das análises de variância da penetração do elemento boro e cobre nas peças. Dados transformados em raiz (notas + 0,5).....	19
Tabela 8 - Comparações entre penetrações (notas) do boro para as espécies analisadas.....	20

1 INTRODUÇÃO

A utilização desenfreada de espécies arbóreas de elevada resistência natural conduziu a escassez e a elevação do preço dessas espécies no Brasil, obrigando assim o setor florestal brasileiro a utilizar em construções nos meios rural e urbano madeira de baixa durabilidade natural.

Em função das condições favoráveis de crescimento e produção as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* vêm sendo utilizadas em larga escala no Brasil como alternativa para suprir o consumo de madeira para produção de celulose, papel, carvão vegetal, lenha, chapas de fibras e produtos sólidos de madeira.

A maioria das espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* apresenta baixa resistência natural e são susceptíveis ao ataque de organismos deterioradores (fungos decompositores, insetos e organismos marinhos), necessitando de tratamentos preservativos, para assegurar um melhor desempenho e vida útil nos diversos meios de utilização.

1.1 O problema e sua importância

A maioria dos trabalhos com tratamentos preservativos se restringe ao tratamento em si, sem a preocupação em avaliar os efeitos das condições de tratamento nas alterações das propriedades mecânicas da madeira tratada.

Segundo Costa et al. (2001), trabalhos têm sido desenvolvidos com a finalidade de aumentar a estabilidade dimensional da madeira e seus subprodutos. Uma forma de reduzir a contração ou o inchamento é por meio do preenchimento dos espaços existentes no interior da madeira com produtos químicos capazes de reagir com a água existente na madeira.

Tratamentos com preservativos hidrossolúveis podem reduzir as propriedades mecânicas da madeira. Os efeitos dos tratamentos nas propriedades mecânicas estão relacionados com as espécies de madeira, tipo de propriedade mecânica,

composição química do preservativo, retenção do preservativo, tamanho e qualidade das peças, temperatura da secagem, bem como temperatura e umidade nas condições em que a madeira tratada será utilizada (KRETSCHMANN, 2010).

Alguns autores, dentre eles Pinheiro (2002), relatam que a preservação química sob vácuo-pressão, com preservativos hidrossolúveis (CCA e CCB), não provocam qualquer redução nas propriedades mecânicas da madeira, podendo, em alguns casos, até elevar seus valores. Porém, o mesmo autor não relata as influências das variações das condições de tratamento nas propriedades da madeira.

A realização do presente trabalho é justificada pela escassez de pesquisas na área de preservação e, sobretudo na avaliação dos efeitos dos tratamentos nas propriedades mecânicas da madeira.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do tempo de tratamento sob vácuo-pressão, com CCB, nas propriedades mecânicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana*.

1.2.2 objetivos específicos

Analisar o efeito do tempo de tratamento (60, 90 e 120 min), por meio da penetração de borato de cobre cromatado (CCB) nas peças tratadas; e

Verificar por meio de ensaio mecânico (flexão estática e compressão paralela às fibras) a ocorrência de alterações nas propriedades das madeiras tratadas de *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução e importância do eucalipto

Segundo a Assembléia Legislativa de Minas Gerais (2004), as primeiras mudas de eucalipto que chegaram ao Brasil foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868. O plantio do eucalipto em escala comercial data da primeira década do século XX (1904). Inicialmente, foi introduzido como monocultura destinada a suprir a demanda de lenha para combustíveis das locomotivas e dormentes para trilhos da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Além disso, era utilizado para a produção de mourões de cercas e postes margeando a ferrovia, fornecendo ainda o madeiramento para a construção das estações e vilas. Do Estado de São Paulo, o plantio de eucalipto se estendeu para todo o centro e sul do País.

De acordo com Torres et al. (2011), além do emprego da madeira de eucalipto para construções e benfeitorias rurais, com o surgimento e expansão de hotéis fazendas, a mesma vem sendo empregada para a confecção de moveis rústicos para ambientes internos e externos, aproveitando na fabricação dos móveis, a forma natural da madeira, em que as peças podem receber tratamento preservativo e acabamento simples (vernizes, óleos e ceras). Os móveis rústicos são versáteis, sendo utilizados na composição de interiores (sala e cozinha) e exteriores (jardins e áreas de lazer), onde a madeira, caso receba o devido tratamento, poderá constituir artefatos de grande durabilidade e resistência, além de combinar com a paisagem natural.

Em função da importância da madeira de eucalipto para os mais diversos usos, e de sua susceptibilidade ao ataque de organismos deterioradores, esta necessita de tratamento químico que lhe forneça proteção contra fungos e insetos xilófagos (brocas e cupins) e que, conseqüentemente, aumente sua vida útil (TORRES et al., 2011).

2.2 Organismos xilófagos

De acordo com Oliveira et al. (1986), os agentes que degradam a madeira são classificados em bióticos e abióticos, sendo os primeiros responsáveis pelos maiores danos causados à madeira. Os organismos xilófagos de maior importância em relação à deterioração da madeira são classificados em microrganismos (bactérias, bolores e fungos), insetos (coleópteros e cupins) e brocas marinhas (moluscos e crustáceos).

Os insetos também podem danificar a madeira e em muitas situações devem ser considerados nas medidas de preservação. Os insetos da ordem Isoptera constituem os principais inimigos da madeira, porém em uma escala mais ampla, são uma ameaça menos grave do que os fungos (CLAUSEN, 2010). Segundo o referido autor, a biodeterioração afeta inicialmente a resistência da madeira, ou sua capacidade de resistir a impactos. Estes efeitos geralmente são seguidos por reduções em valores de resistência à flexão estática e eventualmente, todas as propriedades de resistência serão seriamente reduzidas.

Segundo Oliveira et al. (1986), após a colonização predominante de bactérias, aparecem os bolores primários e fungos manchadores, estes últimos, são capazes de provocar manchas profundas no alburno da madeira. Estas manchas são causadas pelo desenvolvimento, no interior da madeira de hifas pigmentadas (na grande maioria dos casos) ou de hifas que secretam substâncias coloridas.

Os fungos xilófagos são os organismos responsáveis pelas maiores perdas causadas a estruturas de madeira, como postes, dormentes e moirões. Para avaliar a resistência natural da madeira a fungos, são necessários testes acelerados em laboratório, nos quais amostras de madeira são expostas aos fungos xilófagos causadores das podridões branca ou parda (PAES et al., 2005).

2.3 Produtos e tratamentos preservativos

Segundo Paes (1991), vários fatores podem influenciar a penetração e a distribuição de soluções preservativas aquosas na madeira, destacando-se, a concentração da

solução, o processo e o tempo de tratamento empregado, bem como as características inerentes à própria madeira, sendo de difícil controle os fatores relacionados às características da madeira a ser preservada.

De acordo com Freitas (2002), os preservativos hidrossolúveis apresentam inúmeras vantagens em relação aos preservantes oleossolúveis: maior facilidade de formação de complexos com os componentes da parede celular, resistente à lixiviação, a aplicação pode ser feita à temperatura ambiente, não são corrosivos a metais, são quimicamente estáveis, não são inflamáveis, não exalam cheiro e permitem acabamento da madeira, como a aplicação de tintas e vernizes.

Segundo Lepage (1986), em razão da presença do boro em sua composição, o borato de cobre cromatado (CCB), é especialmente recomendado para tratamentos caseiros em razão de sua fixação na madeira ser mais lenta, o que lhe confere uma maior penetração quando comparado ao arseniato de cobre cromatado (CCA), embora seja também usado em tratamentos em autoclave.

Os métodos de preservação de madeira são basicamente de dois tipos: processos com pressão, em que a madeira é impregnada em recipientes fechados sob pressão; e processos sem a utilização de pressão, em que há uma variação dos procedimentos e equipamentos utilizados (LEBOW, 2010).

Segundo Déon (1989), dos métodos de preservação utilizados no mundo os mais eficientes são aqueles aplicados sob condições de vácuo e pressão, e dentre estes o mais importante é o de célula-cheia ou Bethell, que tem por fim preencher ao máximo as células da madeira com o preservativo.

O processo de célula-cheia (Bethell) é empregado quando se deseja a retenção de ma máxima quantidade de preservativo, além de uma penetração uniforme na peça. Quando preservativos hidrossolúveis são empregados, o controle sobre a retenção é obtido pela regulação da concentração da solução de tratamento (LEBOW, 2010).

A eficiência de um tratamento preservativo é determinada pela distribuição, penetração e pela quantidade da substância tóxica absorvida e retida pela madeira (HUNT; GARRATT, 1967).

De maneira geral, a penetração média do preservativo na madeira tratada deve ser superior a 1,0 cm de profundidade (FARIAS SOBRINHO et al., 2005). A Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 9480, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2009) cita que a retenção deve ser de, pelo menos, 6,5 kg de ingredientes ativos/m³ de madeira para peças a serem utilizadas em contato com o solo.

2.4 Influências do tratamento preservativo nas propriedades da madeira

O creosoto mineral e suas soluções são praticamente inertes à madeira e não apresentam influencia química que possa afetar a sua resistência mecânica. Produtos químicos comumente utilizados em sais preservantes hidrossolúveis como; cobre, arsênio e amônia são reativos com a madeira. Portanto, estes produtos quando utilizados em condições não adequadas podem reduzir as propriedades mecânicas da madeira e promover a corrosão dos fixadores mecânicos (LEBOW, 2010).

Como a maioria dos preservativos, madeira devidamente tratada com CCA não mostra alterações significativas em sua resistência. Entretanto, o uso de tratamentos de longa duração em temperaturas elevadas ou a alta pressão utilizada durante o tratamento preservativo podem diminuir a resistência da madeira (MILTON, 1995).

Burmester e Becker (1963,1964), ao empregarem 10 tipos de preservativos hidrossolúveis, com nível de retenção entre 8 e 24 kg.m⁻³, obtiveram pequena variação na resistência dos elementos submetidos a ensaios de flexão, de compressão paralela e perpendicular às fibras, mas a resistência ao impacto na flexão foi reduzida significativamente. Para um nível de retenção próximo a 9 kg.m⁻³ de um preservativo composto por sais de fluoreto-cromo, constaram acréscimo na resistência à compressão paralela.

Segundo Ronai (1989), após a preservação completa em amostras de *Picea excelsa*, observou-se variação em algumas propriedades mecânicas. A experimentação foi desenvolvida, por meio de ensaios de tração paralela às fibras e, como resultado, foram obtidos valores inferiores às amostras sem o referido tratamento preservativo. Verificou-se também acréscimo da deformação axial, provavelmente ocasionada pela redução do atrito interno. O mesmo autor relata que os efeitos do tratamento preservativo nas propriedades mecânicas da madeira devem ser analisados a partir de futuras pesquisas.

3 METODOLOGIA

3.1 Espécies utilizadas, procedência, coleta e amostragem

As madeiras utilizadas neste estudo encontravam-se no Laboratório de Ciência da Madeira (LCM) do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro, ES, em forma de pranchões, sendo proveniente de árvores de *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana* com 15 anos de idade, provenientes da Região do Vale do Aço no Estado de Minas Gerais.

Para o preparo dos corpos de prova foram utilizadas amostras retiradas contendo o cerne e o alburno das espécies de eucalipto empregadas. As amostras foram confeccionadas com dimensões de 2 x 2 x 30 cm (Figura 1) no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira (LUMber) do DEF.



Figura 1 - Corpos de prova confeccionados para o tratamento preservativo.

3.2 Tratamento preservativo, secagem e amostragem das peças

Para o tratamento das peças foi utilizado um produto a base de borato de cobre cromatado (CCB), formulado segundo indicações da NBR 9480 da ABNT (2009), tendo sido utilizada uma solução de 2% de ingredientes ativos de CCB. Ao serem

empregados 1.600,80 g de dicromato de potássio; 1.351,00 de sulfato de cobre penta hidratado, e 1.008,14 g de ácido bórico.

As peças de *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana* foram tratadas pelo método de célula-cheia (Bethell) em uma autoclave-piloto de 19,5 cm de diâmetro e 53,0 cm de comprimento (Figura 2).

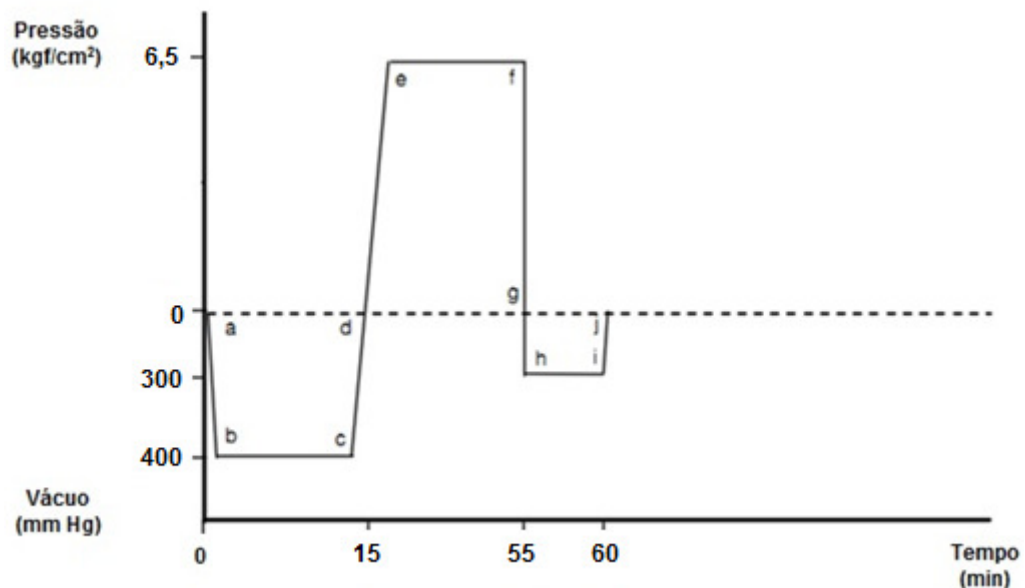


Figura 2 - Autoclave-piloto empregada para o tratamento da madeira.

As peças foram submetidas a três tempos de tratamento (60, 90 e 120 minutos). Para cada tempo de tratamento aplicou-se um vácuo inicial de 400 mmHg, seguido de uma pressão de $6,5 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e um vácuo final de 300 mmHg. Os tempos de vácuo inicial e vácuo final para todos os tratamentos foram de 15 e 5 min, respectivamente. Os tempos de pressão utilizado nos tratamentos foram de 40, 70 e 100 min, respectivamente. A Figura 3 ilustra o processo de tratamento para a primeira situação empregada.

Após o tratamento preservativo, as peças foram secas em local sombreado e ventilado por duas semanas e posteriormente, transferidas para uma estufa mantida

a 50 °C por 48 horas, e, posteriormente climatizadas no LCM, durante uma semana, para estabilização da umidade das amostras.



em que a-b = aplicação do vácuo inicial, b-c = manutenção do vácuo, c = aplicação da solução preservativa, c-d = liberação do vácuo, d-e = aplicação da pressão, e-f = manutenção da pressão, f-g = liberação da pressão, g-h = aplicação do vácuo final, h-i = manutenção do vácuo final, i-j = liberação do vácuo final e j = descarga e retirada das peças tratadas.

Figura 3 - Representação gráfica para a primeira situação do tratamento.

3.3 Caracterização mecânica da madeira tratada

Após a secagem e aclimação das peças tratadas, foram determinadas as propriedades mecânicas das peças tratadas e das peças sem o tratamento preservativo, ao utilizar uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas.

Foram determinadas a resistência à compressão paralela às fibras (Figura 4) e a resistência e a rigidez à flexão estática (Figura 5). Para a compressão paralela foram empregados corpos de prova de 2 x 2 x 3 cm (radial x tangencial x longitudinal), obtidos do seccionamento de três amostras tratadas, tomadas aleatoriamente no lote. O ensaio de flexão estática foi realizado com as amostras nas dimensões em que foram tratadas (2 x 2 x 30 cm), conforme recomendações do Método Brasileiro - MB 26 da ABNT (1940).

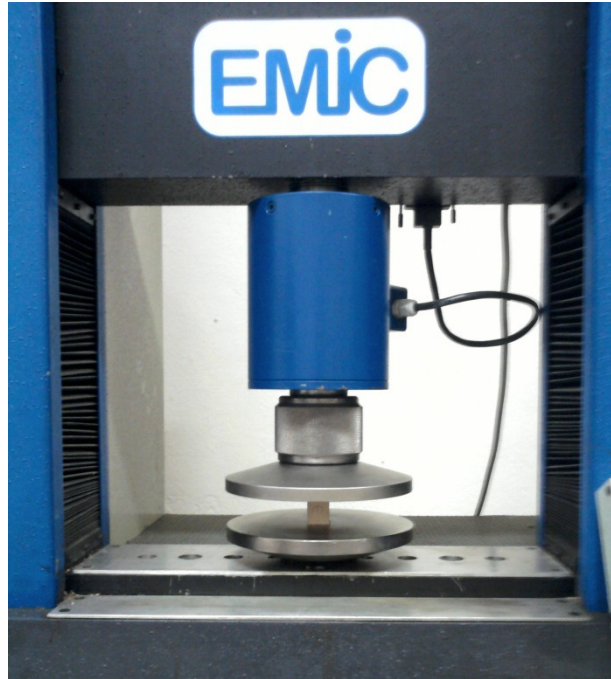


Figura 4 - Ensaio de compressão paralela às fibras.



Figura 5 - Ensaio de Flexão estática.

O teor de umidade das peças submetidas aos ensaios mecânicos foi determinado segundo a NBR 7190 da ABNT (1997), para tanto, após os ensaios, foram determinadas a massa inicial dos corpos de prova, e posteriormente mantidos em estufa, com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem massa constante,

considerada como massa seca. Os valores obtidos das resistências foram corrigidos para umidade padrão de referência de 12%, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

3.4 Determinação da penetração do CCB nas amostras

Para a determinação da penetração do CCB, nos corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão estática, foram retiradas amostras de 2 cm de comprimento, na região central das peças tratadas (Figura 6).

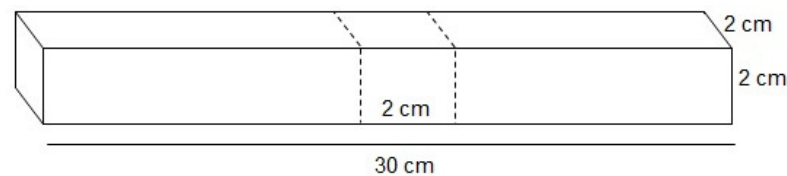


Figura 6 - Representação das amostras retiradas para determinação da penetração.

A penetração do CCB foi avaliada para o elemento cobre e boro. Para tanto, foram aplicados nas amostras retiradas uma solução de cromo-azurol S (determinação do elemento cobre) (Figura 7) e uma solução de álcool polivinílico e de iodo (determinação do elemento boro) (Figura 8), preparadas conforme metodologia descrita pela NBR 6232 da ABNT (1973).

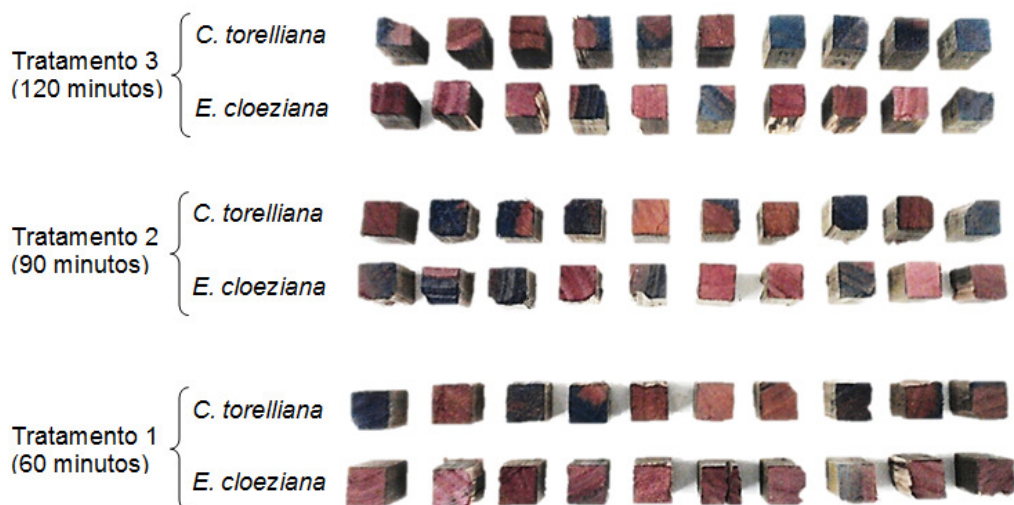


Figura 7 - Análise colorimétrica para determinação do elemento cobre nas peças tratadas.

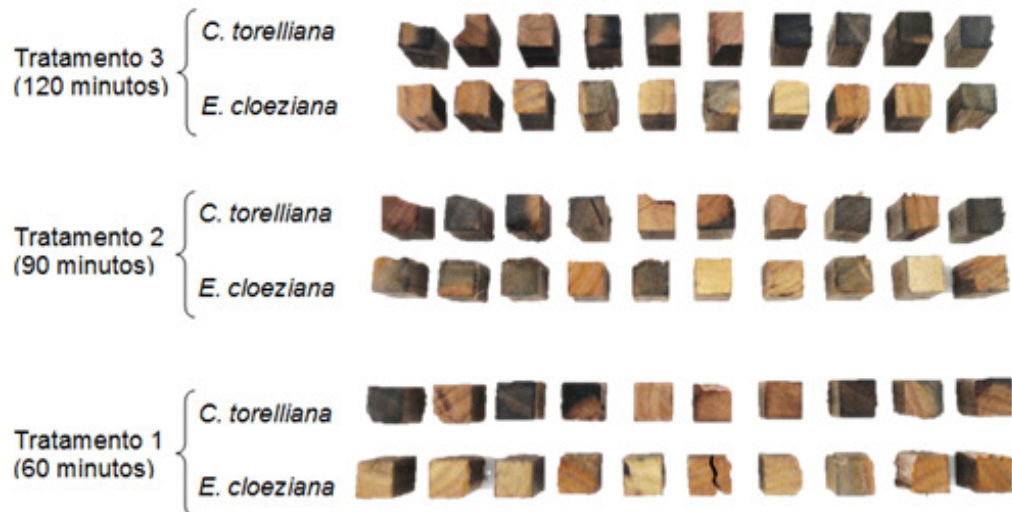


Figura 8 - Análise colorimétrica para determinação do elemento boro nas peças tratadas.

Para aplicação das soluções foram utilizados pincéis. A penetração do CCB nas peças foi avaliada por meio de notas, sendo considerada a média da nota atribuída por cinco indivíduos, de acordo com os padrões de penetração apresentado por Sales-Campos (2003) (Figura 9).






Padrão de penetração	Nota
 Penetração nula	0
 Penetração vascular	1
 Penetração parcial irregular	2
 Penetração parcial periférica	3
 Penetração total	4

Figura 9 - Padrões de penetração do teste de tratabilidade de madeira.

Fonte: Sales-Campos, (2003).

3.5. Análise e avaliação dos resultados

Na avaliação da penetração do tratamento preservativo e resultados das propriedades mecânicas foram empregadas 10 repetições por espécie e tempo de tratamento, sendo utilizado um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, em que foram analisados os efeitos da espécie (dois níveis) e o tempo de tratamento (três níveis).

A análise estatística dos dados foi processada por meio do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), desenvolvido pelo Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa, sendo os dados médios das notas de penetração transformados em raiz quadrada (nota + 0,5). Esta transformação dos dados, sugerida por Steel e Torrie (1980) foi necessária para homogeneizar as variâncias. Foi empregado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste de F.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Características mecânicas das madeiras

Na Tabela 1 constam os teores de umidade das peças submetidas aos ensaios mecânicos de flexão estática e compressão paralela às fibras, para cada situação de tratamento. Nota-se o teor de umidade nas peças empregadas para os ensaios mecânicos foi homogêneo entre os tempos de tratamento, variando entre 8,79 e 10,05 %.

Tabela 1 - Teor de umidade das peças tratadas submetidas aos ensaios mecânicos

Espécies	Ensaio Mecânico	Tempo Tratamento (Min)	Teor de umidade (%)
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Flexão	Testemunha	8,94 ± 0,21
		60	8,92 ± 0,20
		90	9,11 ± 0,34
		120	8,79 ± 0,29
	Compressão	Testemunha	9,22 ± 0,46
		60	9,76 ± 0,70
		90	9,66 ± 0,64
<i>Corymbia torelliana</i>	Flexão	120	9,76 ± 0,41
		Testemunha	9,10 ± 0,32
		60	9,09 ± 0,47
		90	9,21 ± 0,48
	Compressão	120	9,79 ± 0,81
		Testemunha	9,65 ± 0,35
		60	10,05 ± 0,36
		90	9,64 ± 0,24
		120	9,38 ± 0,41

Os resultados de resistência à compressão paralela às fibras, de resistência e rigidez à flexão estática, determinados para cada espécie e tempo de tratamento, com a devida correção para umidade padrão de referência de 12%, de acordo com a NBR 7190 da ABNT (1997), encontram se na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas das peças tratadas corrigidas para 12% de umidade, conforme tempo de tratamento e espécie

Espécie	Tempo			
	Tratamento (Min)	f_{c0} (MPa)	f_m (MPa)	E_{M0} (GPa)
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Testemunha	81,63 ± 4,28	156,75 ± 10,58	13,87 ± 1,14
	60	83,82 ± 2,53	149,93 ± 18,57	14,48 ± 1,26
	90	85,18 ± 6,65	142,95 ± 17,76	13,76 ± 1,14
	120	83,76 ± 2,91	149,10 ± 11,29	13,35 ± 0,76
<i>Corymbia torelliana</i>	Testemunha	68,58 ± 2,16	106,05 ± 16,22	9,78 ± 0,93
	60	69,05 ± 3,06	111,94 ± 17,15	9,97 ± 1,42
	90	63,83 ± 4,62	115,41 ± 18,62	9,98 ± 1,78
	120	58,87 ± 3,51	112,85 ± 15,83	9,70 ± 1,11

em que f_{c0} = resistência à compressão paralela, f_m = resistência e E_{M0} = Rigidez à flexão estática.

Nota-se que para a resistência à compressão paralela, não houve variação entre os tempos de tratamento para o *Eucalyptus cloeziana*, ao contrário do *C. torelliana*, que apresentou uma redução de 14,15% para as médias do tempo de tratamento de 120 minutos quando comparado às peças sem o tratamento preservativo. Quanto à resistência e rigidez à flexão, a espécie *E. cloeziana* se comportou de forma semelhante para a resistência a compressão, tendo a espécie *C. torelliana* apresentado um acréscimo de 6,41% na resistência a flexão para o tempo de 120 minutos quando comparado as peças sem o tratamento preservativo, e não apresentando variações para a rigidez à flexão entre os tempos de tratamento. Estando em acordo com o relatado por Burmester e Becker (1963,1964).

Os valores que deram origem a Tabela 2 foram analisados estatisticamente e as análises de variância para as propriedades mecânicas nas peças tratadas para cada situação analisada constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância das propriedades mecânicas

Fonte de Variação	Grau Liberdade	Quadrado Médio		
		f_{c0}	f_m	E_{M0}
Espécie	1	$6,85 \times 10^3$ **	$2,90 \times 10^4$ **	$1,91 \times 10^2$ **
Tempo	3	94,37 **	19,35 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Esp. x Tempo	3	$1,54 \times 10^2$ **	$4,56 \times 10^2$ ^{ns}	0,43 ^{ns}
Resíduo	72	15,67	$2,85 \times 10^2$	1,67
Total	79			

** significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo a 5% de probabilidade.

Os parâmetros tempo, espécie e as interações entre espécie e tempo foram significativos para resistência à compressão paralela às fibras. Para a resistência e rigidez à flexão estática, apenas o parâmetro espécie foi significativo (Tabela 3). Os parâmetros e as interações (desdobradas) foram analisados e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Comparações entre as médias de resistência à compressão (MPa) para os parâmetros espécie e tempo de tratamento

Espécie	Tempo Tratamento (min)			
	Testemunha	60	90	120
<i>E. cloeziana</i>	81,63 Aa	83,82 Aa	85,18 Aa	83,76 Aa
<i>C. torelliana</i>	68,58 Ab	69,05 Ab	63,83 Bb	58,87 Cb

Médias seguidas por uma mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada parâmetro, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Para o *E. cloeziana*, observou-se que os tempos de tratamento de 60, 90 e 120 min não diferiram das peças sem tratamento preservativo, não afetando a resistência à compressão. Isto ocorreu, provavelmente em função da espécie produzir madeira densa, que foi capaz de suportar os efeitos da pressão aplicada sem que houvesse perda de sua resistência.

A madeira tratada da espécie *C. torelliana*, apresentou uma maior resistência à compressão para o tempo de tratamento com 60 min, não diferindo das peças sem o tratamento preservativo, porém para os tempos de 90 e 120 min ocorreu uma redução na resistência quando comparado com a testemunha, sendo o tempo de 120 minutos aquele que causou a maior redução da resistência. Isto ocorreu, uma vez que, o tempo de tratamento de 90 e 120 min à pressão aplicada, foi o suficiente para causar perda da resistência da madeira de *C. torelliana*.

A análise do efeito da resistência à compressão entre as espécies indicou que independente do tempo de tratamento preservativo, o *E. cloeziana* apresentou uma maior resistência à compressão paralela às fibras quando comparado ao *C. torelliana*.

Tabela 5 - Comparações entre as médias de resistência (MPa) e rigidez (GPa) à flexão estática as espécie estudadas

Espécie	f_m	E_{M0}
<i>E. cloeziana</i>	149,68 a	13,86 a
<i>C. torelliana</i>	111,56 b	9,86 b

Médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

A análise do efeito da resistência e rigidez à flexão estática entre as espécies indicou que o *E. cloeziana* possui uma maior resistência quando comparado ao *C. torelliana*. Ao contrário do ocorrido com a resistência à compressão paralela, a resistência e rigidez à flexão estática para as duas espécies estudadas não foram afetadas pelos tempos de tratamento, pois madeira é menos resistente a compressão que a tração, e na flexão estática ocorrem, simultaneamente, esforços de tração (baixo), compressão (cima) e cisalhamentos internos e a combinação destes esforços contribuíram para minimizar os efeitos da pressão causada pelo tratamento das amostras (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

4.2. Avaliação da penetração do CCB na madeira

Na Tabela 6 constam as médias e os desvios padrões das penetrações dos elementos boro e cobre (notas) para as espécies e situações estudadas.

Tabela 6 - Penetração de boro e cobre (nota) por espécie e tempo de tratamento

Espécie	Tempo Tratamento (Min)	Penetração	
		Boro	Cobre
<i>E. cloeziana</i>	60	0,20 ± 0,44	0,26 ± 0,52
	90	1,52 ± 1,67	1,46 ± 1,56
	120	1,00 ± 1,63	0,98 ± 1,59
<i>C. torelliana</i>	60	1,84 ± 1,77	1,52 ± 1,53
	90	2,16 ± 1,79	1,90 ± 1,60
	120	2,30 ± 1,67	2,14 ± 1,46

Nota-se que houve variação na penetração dos elementos químicos em função do tempo de tratamento e espécie estudada. Os valores que deram origem a Tabela 6 foram analisados estatisticamente e o resumo das análises de variância da penetração do boro e cobre nas peças tratadas para cada situação analisada consta na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo das análises de variância da penetração do elemento boro e cobre nas peças. Dados transformados em raiz (notas + 0,5)

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados médios	
		Boro	Cobre
Espécie	1	2,85 **	2,07 **
Tempo	2	0,47 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Esp. x Tempo	2	0,17 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Resíduo	54	0,33	0,28
Total	59		

** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

A média do parâmetro espécie foi significativa para penetração do elemento boro e cobre e foi analisada e comparada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparações entre penetrações (notas) do boro e cobre para as espécies analisadas

Espécie	Penetração Boro	Penetração Cobre
<i>E. cloeziana</i>	1,06 b	1,06 b
<i>C. torelliana</i>	1,49 a	1,43 a

Médias seguidas por uma mesma letra, para cada parâmetro, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

A espécie *C. Torelliana* apresentou maior penetração dos elementos boro e cobre quando comparada a espécie *E. Cloeziana*. Não houve influência do tempo de tratamento na penetração do CCB nas amostras. Isto ocorreu, provavelmente em função da quantidade de cerne nas amostras, que afetou, sobremaneira a penetração na madeira. Para se obter uma melhor penetração, seriam necessários tempos de tratamentos maiores que os empregados, o que, provavelmente, influenciariam negativamente a resistência à compressão paralela de espécies de menor resistência mecânica.

5 CONCLUSÕES

A resistência à compressão da madeira de *Corymbia torelliana* foi influenciada negativamente pelo tempo de tratamento com CCB.

O tempo de tratamento não causou efeito na resistência à compressão paralela da madeira de *Eucalyptus cloeziana*.

A resistência e a rigidez na flexão estática das espécies ensaiadas não sofreu redução com os tempos de tratamentos testados.

Os maiores valores de resistência e de rigidez foram obtidos para a espécie *Eucalyptus cloeziana* independente do tempo de tratamento empregado.

A madeira de *Corymbia torelliana* apresentou uma maior penetração de CCB quando comparada à de *Eucalyptus cloeziana*.

A penetração do CCB nas espécies *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia torelliana* não foi afetada pelo tempo de tratamento em função das porções de cerne nas peças.

O emprego de tempos maiores que os empregados na pesquisa poderiam aumentar a penetração do CCB, por outro lado, poderia causar redução na resistência a compressão da madeira de *C. Torelliana*.

Sugere-se o emprego de combinações de tempo, pressão e concentração de preservativos hidrossolúvel (CCA e CCB), a fim de detectar a variável de maior preponderância no tratamento de madeira para construção civil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERIAS - ALMG. **Cartilha o eucalipto**. 2004. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=servicos&diretorio=Publicacoes&arquivo=cartilha_eucalipto> . Acesso em: 15 maio 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 26**: ensaios físicos e mecânicos de madeiras. Rio de Janeiro, 1940, 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9480**: peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais: requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6232**: penetração e retenção de preservativos em postes de madeira. Rio de Janeiro, 1973. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B - Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BURMESTER, A.; BECKER, G. Investigations on the influence of wood preservatives on the strength of wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.21, n.10, p.393-409, 1963.

BURMESTER, A. Long term effects of wood preservatives of physical and mechanical properties of wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.28, n.12, p.478-485, 1970.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 14, p. 1-16.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga). **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 59-70 2001.

DÉON, G. **Manual de preservação das madeiras em clima tropical**. Nogent: ITTO/CTFT, 1989. 116p. (Série Técnica, 3).

FARIAS SOBRINHO, D. W.; PAES, J. B; FURTADO, D. A. Tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.), pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 225-236, 2005.

FREITAS, V.P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de *Pinus* após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento**. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São), Piracicaba, 2002.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: McGraw Hill, 1967. 433 p.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JUNIOR, W.A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968, v. 1., 592p.

KRETSCHMANN D. E. Mechanical properties of Wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 5, p. 1-44.

LEBOW, S. T. Wood Preservation. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Wisconsin: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 15, p. 1-44.

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986, v.1., p.279-342.

MILTON, F. T. **The preservation of wood: a self study manual for wood treaters**. St. Paul: Minnesota Extension Service, University of Minnesota, College of Natural Resources, 1995, 110p.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986, v.1., p.99-278.

PAES, J. B. **Viabilidade do tratamento preservativo de moirões de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), por meio de métodos simples, e comparações de sua tratabilidade com a do *Eucalyptus viminalis* Lab.** 1991. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.365-371, 2005.

PINHEIRO, R. V.; LAHR, F. A. R. Influência da preservação química em propriedades mecânicas de espécies de reflorestamento. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 8., 2002, Uberlândia - MG. **Anais ... Uberlândia, MG : Universidade Federal de Uberlândia, 2002. CD-ROM.**

RONAI, F. Effect of wood preservatives on the strength properties of wood. In: MEETING INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION, 22., 1989, East Berlin. **Proceedings ... East Berlin, 1989, p.1-3.**

SALES-CAMPOS, C.; VIANEZ, B.F.; MENDONÇA, M.S. 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.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 633 p.

TORRES, P. M. A. et al. Tratamento preservativo da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 275-282, 2011.

VALLE, M. L. A. **Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada.** 2009 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2009.