

WESCLEY VIANA EVANGELISTA

**PENETRAÇÃO E RETENÇÃO DE ARSENIATO DE COBRE
CROMATADO EM MADEIRA DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

E92p
2011

Evangelista, Wesley Viana, 1981-
Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em
madeira de eucalipto / Wesley Viana Evangelista. – Viçosa,
MG, 2011.
xix, 105f. : il. ; 29cm.

Inclui anexos e apêndices.

Orientador: José de Castro Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 90-98.

1. Eucalipto - Teor de arseniato de cobre cromatado.
 2. Madeira - Tratamento. 3. Madeira - Preservativos.
 4. Madeira - Densidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9812

WESCLEY VIANA EVANGELISTA

**PENETRAÇÃO E RETENÇÃO DE ARSENIATO DE COBRE
CROMATADO EM MADEIRA DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

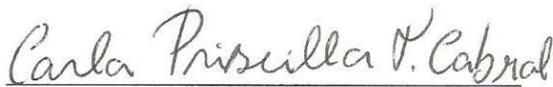
APROVADA: 28 de julho de 2011.



Prof.^a. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho
(Coorientadora)



Prof. Benedito Rocha Vital
(Coorientador)



Pesq. Carla Priscilla Távora Cabral



Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira



Prof. José de Castro Silva
(Orientador)

*Não há nada que seja maior evidência de
insanidade do que fazer a mesma coisa, dia
após dia, e esperar resultados diferentes.*

Albert Einstein

*A DEUS, ao meu amigo JESUS CRISTO e ao
DIVINO ESPÍRITO SANTO.*

*e também aos meus queridos pais,
Júlio e Aparecida,*

*eu dedico esse trabalho;
agradeço-lhes pela vida e oportunidade
e com ELÊS compartilho essa grande vitória.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, ao meu amigo JESUS CRISTO e ao DIVINO ESPÍRITO SANTO, pela vida e por tudo.

Aos meus pais, Júlio César Evangelista e Maria da Aparecida Viana Evangelista, pela vida, pelo amor incondicional, pela torcida pelo bom andamento deste trabalho, pelo incentivo nos momentos difíceis e, principalmente, pela paciência nos maus momentos do período acadêmico.

Ao povo brasileiro, pelo custeio dos meus estudos, desde a infância até o Doutorado.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), pela minha formação como Engenheiro Florestal, pelo título Mestre em Ciência Florestal, e pela oportunidade de treinamento, em nível de Doutorado, em Ciência Florestal.

Ao professor José de Castro Silva, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas oportunidades e pela orientação durante toda a minha Pós-Graduação na UFV.

Ao professor Ricardo Marius Della Lucia, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas ajudas, pelos bons exemplos de vida e, também, pela coordenação do projeto de pesquisa do Doutorado.

Ao professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pela participação neste trabalho.

À pesquisadora Carla Priscilla Távora Cabral, pelo carinho e pela amizade sempre sinceros e por todas as ajudas.

Aos professores Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho e Benedito Rocha Vital, pela orientação.

Ao professor Hélio Garcia Leite e ao Engenheiro Florestal Marco Antônio Monte, pela ajuda nas análises estatísticas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Aperam Bioenergia Ltda., pela doação e pelo transporte da madeira até Viçosa.

A toda a equipe da Montana Química S.A., em especial aos Srs. Dulcídio Ramires Macedo e Jackson Marcelo Vidal, por todo o suporte técnico de altíssima qualidade e pela possibilidade de desenvolver parte fundamental do Doutorado na Empresa. Agradeço também pela disponibilidade de envio de informações técnicas e pela prontidão no atendimento sempre com eficiência, rapidez e precisão. Agradecimentos especiais também às Sras. Sueli Tamie Miyazato, Bianca Hensel Meneguetti Lima e Ana Carolina dos Reis, pelas análises laboratoriais.

Aos graduandos do curso de Engenharia Florestal, Eduarda Timponi, Cássia Souza, Artur Lana, Aline Mazon e Álvaro Machado, pela amizade e valiosa ajuda.

A todos os funcionários do Setor de Marcenaria da UFV, em especial aos Srs. Paulo Pinto Teixeira Filho (Paulinho), Luiz Antônio Lopes da Silveira, Antônio Luiz Lopes (Toninho), Antônio Lenir de Castro e Eli Braz Moreira (Seu Fumo), pela amizade e ajuda nos trabalhos.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), Osvaldo Ladeira de Freitas, Fernando Antônio Stanciola, Joel Stanciola e Fabiano Anastácio Aparecido Moreira (Cigarrinho), pelas ajudas nas análises laboratoriais e pela preparação dos corpos-de-prova.

Aos funcionários do Laboratório de Paineis e Energia da Madeira (LPEM), em especial o Sr. José Cardoso da Silva (Sr. Maninho), pelo auxílio na preparação dos moirões de eucalipto e no tratamento preservativo da madeira.

Aos meus colegas de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em especial os do LPM e LPEM, pela amizade e pelo convívio harmonioso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

WESCLEY VIANA EVANGELISTA, filho de Júlio César Evangelista e Maria da Aparecida Viana Evangelista, nasceu em 15 de janeiro de 1981, em Viçosa, Minas Gerais.

Cursou o ensino fundamental e parte do ensino médio nas Escolas Estaduais “Coronel Antônio da Silva Bernardes” (CASB) e “Dr. Raimundo Alves Torres” (ESED RAT), em Viçosa, Minas Gerais.

Em dezembro de 1998, concluiu o ensino médio no Colégio Ângulo de Viçosa.

Em fevereiro de 2000, iniciou o Curso de Graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em dezembro de 2004.

De março de 2002 a fevereiro de 2003, foi bolsista de Iniciação Científica pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), pelo convênio PIBIC/FAPEMIG; e de agosto de 2003 a julho de 2004, pelo convênio PIBIC/CNPq.

Em fevereiro de 2005, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de Mestrado, na área de Tecnologia da Madeira, defendendo a dissertação em fevereiro de 2007.

Em agosto desse mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em nível de Doutorado, na área de Tecnologia da Madeira, concentração em Preservação de Madeiras, submetendo-se à defesa da tese em julho de 2011.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo geral	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Setor florestal brasileiro	4
2.2. O gênero <i>Eucalyptus</i> e as propriedades da madeira de algumas espécies ...	6
2.3. Tratamento preservativo da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.	8
2.3.1. Fatores que influenciam no tratamento	12
2.3.1.1. Fatores relacionados à madeira	12
2.3.1.1.1. Cerne e alburno	12

	Página
2.3.1.1.2. Estrutura anatômica	13
2.3.1.1.3. Teor de umidade	14
2.3.1.1.4. Permeabilidade.....	15
2.3.1.2. Fatores relacionados à solução preservativa	18
2.3.1.2.1. Concentração de princípio ativo	18
2.3.1.2.2. Presença de materiais particulados e extrativos.....	18
2.3.1.3. Fatores relacionados ao processo de tratamento.....	19
2.3.1.3.1. Tempo de tratamento	19
2.3.1.3.2. Pressão de impregnação.....	20
2.4. Efetividade de um produto preservativo.....	21
2.5. Arseniato de cobre cromatado (CCA)	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Caracterização tecnológica da madeira.....	29
3.1.1. Porcentagens e relação cerne-alburno.....	29
3.1.2. Massa específica básica e teor de umidade.....	29
3.1.3. Propriedades anatômicas da seção do alburno.....	29
3.1.3.1. Mensuração das dimensões das fibras e dos parâmetros relaciona- dos aos vasos e raios	29
3.1.3.2. Descrição anatômica qualitativa	31
3.2. Tratamento preservativo da madeira.....	31
3.2.1. Preparação dos moirões	31
3.2.2. Tratamento preservativo	32
3.2.3. Retenção de CCA tipo C na madeira	34
3.2.4. Penetração de CCA na madeira	36
3.3. Análise estatística dos dados.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1. Dimensões dos moirões e relação cerne-alburno da madeira.....	41
4.2. Massa específica básica e teor de umidade.....	44
4.3. Caracterização anatômica	47
4.3.1. Dimensões das fibras	47
4.3.2. Vasos.....	49
4.3.3. Raios	52
4.3.4. Descrição da estrutura anatômica	54
4.3.4.1. <i>Eucalyptus citriodora</i>	54

	Página
4.3.4.2. <i>Eucalyptus cloeziana</i>	55
4.3.4.3. Híbrido de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	55
4.3.4.4. Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i>	57
4.4. Correlação entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno	59
4.5. Considerações sobre a caracterização da madeira	60
4.6. Retenção de arseniato de cobre cromatado	61
4.6.1. Retenção por diferença de massa.....	61
4.6.2. Retenção por espectrometria de raios X	65
4.6.3. Comparação entre as metodologias de avaliação de retenção de CCA tipo C	70
4.7. Correlações entre a retenção de CCA e as propriedades da madeira do alburno	71
4.8. Penetração de arseniato de cobre cromatado	75
4.8.1. Avaliação qualitativa	75
4.8.2. Avaliação quantitativa	82
4.9. Correlações entre a penetração de CCA e as propriedades da madeira do alburno.....	84
5. CONCLUSÕES	87
6. RECOMENDAÇÕES	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICES	99
APÊNDICE A – RETENÇÕES MÍNIMAS DE CCA E CCB RECOMENDADAS, DE ACORDO COM A CLASSE DE USO.....	100
APÊNDICE B – IMAGENS DO PROGRAMA UTILIZADO NA MEDIÇÃO DA ÁREA OCUPADA POR VASOS.....	102
APÊNDICE C – RESULTADO DAS ANÁLISES DAS SOLUÇÕES PRESERVATIVAS DE OSMOSE K33C (CCA TIPO C) UTILIZADAS NO TRATAMENTO PRESERVATIVO DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus</i> spp.	103

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AWPA	<i>American Wood Protection Association.</i>
CCA	Arseniato de cobre cromatado.
CCB	Borato de cobre cromatado.
LPM	Laboratório de Propriedades da Madeira.

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Localização do município de Itamarandiba no Estado de Minas Gerais....	27
2 Etapas do tratamento preservativo utilizado. 1 = acionamento e estabilização da bomba de vácuo; 2 = vácuo inicial de 30 min; 3: inundação da autoclave com a solução preservativa; 4: fase de pressão; 5: esvaziamento da autoclave com a solução preservativa; 6: acionamento e estabilização da bomba de vácuo; e 7: vácuo final de 10 min.....	33
3 Imagens das seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) da madeira de <i>Eucalyptus citriodora</i> e das seções transversal (D), longitudinal tangencial (E) e longitudinal radial (F) de <i>Eucalyptus cloeziana</i> . A barra corresponde a 150 µm	56
4 Imagens das seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) da madeira do híbrido de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> e das seções transversal (D), longitudinal tangencial (E) e longitudinal radial (F) do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> . A barra corresponde a 150 µm	58
5 Madeira tratada de <i>Eucalyptus citriodora</i> (Figura 5AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 5BD). Seta amarela: detalhe da região sem reação com cromoazurol, próxima às bolsas de quino	76
6 Madeira tratada de <i>Eucalyptus cloeziana</i> (Figura 6AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 6BD). Seta amarela: detalhe da região com proximidade de nós, sem reação com cromoazurol-S.....	77

7	Madeira tratada de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> (Figura 7AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 7BD). Seta amarela = detalhe da penetração de CCA tipo C no cerne da madeira	78
8	Madeira tratada do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (Figura 8AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 8BD). Seta amarela: região sem reação do cromoazurol-S (proximidade a um nó)	79
9	Madeira tratada do híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> (Figura 9AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 9BD). Seta amarela = região sem reação do cromoazurol-S.....	80

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Massa específica básica e propriedades anatômicas da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.	9
2 Formulações de arseniato de cobre cromatado (CCA), de acordo com as especificações do Standard P5-06 da AWWA (2006)	23
3 Dados referentes aos plantios das espécies e híbridos de <i>Eucalyptus</i> sp.	28
4 Esquema fatorial utilizado para o tratamento preservativo dos moirões das espécies e híbridos de <i>Eucalyptus</i> sp.	32
5 Regras de decisão na comparação entre as duas metodologias de análise de retenção de CCA tipo C na madeira	39
6 Valores médios de 108 observações do diâmetro (cm) e volume dos moirões (m ³), bem como da espessura (cm) e porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira das espécies e híbridos estudados	41
7 Valores médios de 36 observações do diâmetro (cm) e volume dos moirões (m ³), bem como da espessura (cm) e porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira, por tora, das espécies e híbridos estudados	43
8 Valores médios de 108 observações da massa específica básica (g/cm ³) e do teor de umidade (%) da madeira das espécies e híbridos estudados.....	45

	Página
9	Valores médios de 36 observações da massa específica básica (g/cm^3) e do teor de umidade (%) da madeira, por tora, das espécies e híbridos estudados..... 46
10	Valores médios de 600 observações das dimensões de fibras da madeira das espécies e híbridos estudados 47
11	Valores médios de 200 observações das dimensões das fibras, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados 48
12	Valores médios de parâmetros relacionados aos vasos da madeira das espécies e híbridos estudados 50
13	Valores médios de parâmetros relacionados aos vasos, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados 51
14	Valores médios de parâmetros relacionados aos raios da madeira das espécies e híbridos estudados 52
15	Valores médios de parâmetros relacionados aos raios, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados..... 53
16	Coefficientes de correlação de Pearson entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados ($p < 0,05$) 59
17	Análise de variância da retenção de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliada por diferença de massa 62
18	Valores médios de 12 observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por diferença de massa 62
19	Valores médios de quatro observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratadas com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por diferença de massa 64
20	Análise de variância da retenção de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos de <i>Eucalyptus</i> spp., avaliada por espectrometria de raios X..... 65
21	Valores médios de 12 observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X..... 66

	Página
22	Valores médios de quatro observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X 68
23	Valores médios de 16 observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo e do tempo de pressão, avaliada por espectrometria de raios X 68
24	Valores médios da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X (RX) e por diferença de massa (DM) 70
25	Resultados da comparação entre as duas metodologias de análise da retenção de CCA na madeira das espécies e híbridos estudados..... 72
26	Coeficientes de correlação entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados ($p < 0,05$) . 74
27	Análise de variância da penetração na seção transversal de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados 83
28	Análise de variância da área tratada com CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados 83
29	Valores médios de 36 observações da penetração radial (cm) e da área tratada (%) com CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados..... 83
30	Coeficientes de correlação entre a penetração da seção radial e a área tratada com CCA e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados ($p < 0,05$)..... 85

RESUMO

EVANGELISTA, Wesley Viana, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto.** Orientador: José de Castro Silva. Coorientadores: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho e Benedito Rocha Vital.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C) nas madeiras de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e de um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*, com origem paternal desconhecida, visando à produção de moirões. As árvores tinham idade próxima de 5,5 anos e eram provenientes de plantios comerciais da empresa Aperam Bioenergia Ltda., localizada em Itamarandiba, Minas Gerais. De cada espécie e híbrido foram tomadas 36 árvores, utilizando-se a seção correspondente às três primeiras toras, cada uma delas com 3 m de comprimento a partir da base. De cada tora, foram avaliados a relação cerne-alburno, a massa específica básica e o teor de umidade, bem como a penetração e retenção de CCA. Para o estudo da penetração e retenção na madeira, foram aplicados 36 tratamentos, correspondendo a três princípios ativos da solução preservativa (1,5, 2,0 e 2,5%), três tempos de pressão em autoclave (60, 90 e 120 min) e quatro espécies/híbridos. O tratamento preservativo foi realizado com a aplicação de vácuo inicial a 560 mmHg, por 30 min, seguido de pressão em autoclave a 12,5 kgf/cm², para cada tempo de pressão proposto, finalizando-se com vácuo final de 560 mmHg, por 10 min. Para cada tratamento preservativo, foram

utilizados três moirões de cada espécie e híbrido, totalizando 12 moirões. Cada tratamento teve quatro repetições. Antes e depois de cada tratamento preservativo, cada moirão teve a sua massa determinada, sendo a retenção estimada pela diferença de massa obtida. De cada moirão tratado, retiraram-se amostras de madeira para avaliação da retenção, através de espectrometria de raios X. A penetração foi determinada com a aplicação de solução de cromoazurol-S, na superfície transversal da madeira. Da madeira não tratada, selecionaram-se quatro árvores e suas três primeiras toras, de cada espécie e híbrido, para avaliação das fibras, vasos e raios da madeira. Os resultados mostraram diferenças entre as espécies e híbridos nas propriedades da madeira. As madeiras de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana* apresentaram maior massa específica, menor teor de umidade e relação cerne-alburno quando comparadas aos híbridos. Independentemente da espécie ou híbrido, as menores e as maiores retenções foram sempre observadas nos tratamentos que utilizaram solução preservativa de 1,5 e 2,5% de princípio ativo, respectivamente. Em geral, todas as madeiras apresentaram penetração de CCA em todo o alburno, independentemente do tratamento. A metodologia por diferença de massa mostrou-se inadequada para a avaliação da retenção quando comparada com a espectrometria de raios X. Concluiu-se que a concentração de 2,0% de princípio ativo e o tempo de pressão de 60 min mostraram-se suficientes para garantir a retenção mínima de $6,5 \text{ kg/m}^3$ de madeira tratada, conforme estabelecida pela Norma NBR 9480, para uso em contato com o solo. Para uso sem contato com o solo, a concentração de 1,5% e o tempo de pressão de 60 min foram suficientes para o atendimento dos valores prescritos na referida norma.

ABSTRACT

EVANGELISTA, Wesley Viana, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2011. **Penetration and retention of chromated copper arsenate in eucalypt timber.** Adviser: José de Castro Silva. Co-Advisers: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho and Benedito Rocha Vital.

The objective of this work was to evaluate the penetration and the retention of chromated copper arsenate (CCA type C) in the woods of *Eucalyptus citriodora*, of *Eucalyptus cloeziana*, of *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* and of a natural hybrid of *Eucalyptus urophylla* of unknown paternal origin, all intended to produce fence posts. The trees had ages close to five and a half years and came from commercial plantings belonging to Aperam Bioenergia Ltda., a firm located in Itamarandiba, State of Minas Gerais. The ratio heartwood/sapwood, the specific gravity and the moisture content were determined for each log, as well as the penetration and the retention of CCA. Thirty-six treatments were adopted for the two last situations: three solution concentrations of the active ingredients (1.5, 2.0 and 2.5%), three lengths of time under pressure (60, 90 and 120 minutes) and the four species or hybrid of wood. The treatment itself consisted of applying a 560 mmHg initial vacuum for 30 minutes followed by a positive pressure of 12.5 kgf/cm² during each of the intended times. A final vacuum of also 560 mmHg was applied after this for 10 minutes. Each run consisted of using this treatment in a pressure vessel filled with 3 fence posts of each wood species or hybrid, totaling twelve. Each treatment was repeated four times. Every post was weighed before and after the treatment, the difference between the two weights

giving the retention. A sample of the treated wood was cut from each post to again evaluate the retention by X-ray spectrometry. The penetration was determined by applying chromoazurol S to a transversal section of the post. The three first untreated logs of four trees of each species and hybrid were selected for anatomical measurement of fibers, vessels and rays of the wood. The results showed the species and hybrid all have different wood properties. The woods of *Eucalyptus citriodora* and of *Eucalyptus cloeziana* are denser and have lower moisture content and heartwood/sapwood ratio. Independently of species or hybrid, the lowest or highest retentions were always found when 1.5 or 2.5% solutions were respectively used. In general, the sapwood of the wood was always completely impregnated, regardless of the treatment. Using weight difference to calculate retention was considered inadequate when compared to the X-ray methodology. The 2.0% active ingredient solution and the 60 minutes under pressure were considered sufficient to attain the minimum retention of 6.5 kg/m^3 prescribed by the NBR 9480 Standard for wood that is to be used in contact with the soil. Without such contact, a 1.5 % solution and 60 minutes are enough.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material renovável, produzida a partir de florestas naturais ou plantios florestais e utilizada para a obtenção de multiprodutos. Suas propriedades físico-mecânico-anatômicas a tornam material versátil e de grande valor na indústria de base florestal. Em relação a outros materiais, como concreto, plástico, aço e alumínio, a madeira apresenta uma série de vantagens, como beleza, alta resistência mecânica em relação ao peso, baixo consumo energético para o seu processamento, bom isolamento térmico, fácil trabalhabilidade, entre outros atributos. Apresenta também, em algumas espécies, desvantagens, como baixa durabilidade natural e maior tendência a rachaduras e empenamentos da madeira serrada.

Dependendo da utilização da madeira, faz-se necessária a avaliação de determinados índices de qualidade, visando ao seu melhor conhecimento e uso, como produto final ou como matéria-prima de novos produtos. Em situações mais agressivas, como aquelas em que a madeira está em contato com o solo ou umidade, a exemplo de moirões, postes, dormentes e componentes de construção, é necessário o uso de madeiras de alta durabilidade natural, tornando-a mais resistente ao ataque de agentes xilófagos e garantindo maior vida útil. Essas madeiras não estão mais disponíveis no mercado e, sim, gradualmente sendo substituídas por outras de rápido crescimento, complementadas com tratamento preservativo. Esse tratamento se torna imprescindível para garantir a vida útil das madeiras, bem como contribuir com a preservação das florestas nativas. Segundo Brasil (1965), o tratamento preservativo da madeira no Brasil é obrigatório em serviços de utilidade pública, realizados por empresas públicas e

privadas, destinados aos transportes ferroviário e rodoviário, serviços telefônicos e de fornecimento de eletricidade, conforme a Lei nº 4.797, de 20 de outubro de 1965.

Historicamente, a madeira tratada no Brasil se concentra na produção de dormentes, postes e moirões. Seu emprego começou entre 1880 e 1884, com o uso de dormentes tratados com creosoto para as ferrovias. Desde então, o tratamento preservativo da madeira não apresentou avanços tecnológicos significativos, em comparação com setores de carvão vegetal, celulose e painéis. Esses setores, por sua vez, apresentam uma indústria verticalizada, produzindo e consumindo sua própria madeira, oriunda de plantios de alta produtividade volumétrica e de curta rotação, além de possuírem programas específicos de melhoramento genético e biotecnologia florestal, aliados à alta tecnologia industrial de produção. As madeiras utilizadas no setor de preservação, quase sempre, são remanescentes de outras atividades e não foram plantadas ou desenvolvidas para esse fim.

Os programas industriais de tratamento da madeira não consideram a enorme variabilidade entre as diferentes espécies florestais e as variáveis envolvidas no processo, como concentração de princípio ativo e tempo de pressão em autoclave. As inúmeras interações entre matéria-prima e processos, até então, foram ignoradas, utilizando-se, tradicionalmente, procedimentos homogêneos, como se todas as madeiras fossem uniformes quanto às suas propriedades.

As normas que subsidiam o setor de preservação de madeiras no Brasil se baseiam em normas americanas, como *American Wood Protection Association (AWPA)* e *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA)*, que utilizam, por sua vez, as normas da *American Society for Testing and Materials (ASTM)*. Essas normas se basearam em resultados de madeiras de clima temperado, mais intensamente utilizadas nos países do Hemisfério Norte. A generalização ou extrapolação de quaisquer dados das madeiras de clima temperado para as condições tropicais poderia acarretar erros de natureza diversa. Essa situação poderia gerar questionamentos sobre a possibilidade de usar valores superestimados ou defasados para as madeiras preservadas e utilizadas no Brasil. Poderia, ainda, acarretar prejuízos financeiros ao se empregar quantidade de produto superior àquela necessária para preservar a madeira ou, mesmo, de se utilizar quantidade insuficiente ao necessário; esses prejuízos poderiam ser, subsidiariamente, de ordem ambiental, uma vez que os produtos são restritivos ao meio ambiente. Com isso, o setor de preservação de madeiras

precisa de maior e melhor normatização técnica, além de mais estudos sobre os níveis de retenção satisfatórios para as condições brasileiras.

Este trabalho se justifica pela oportunidade de avaliar as possíveis interações de alguns materiais genéticos no mercado nacional e algumas variáveis do processo de tratamento da madeira.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral o estudo da penetração e retenção de CCA tipo C na madeira de duas espécies propagadas por sementes – *Eucalyptus citriodora* Hook. [*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. Johnson] e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell – e dois híbridos clonais – *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com origem paternal desconhecida, de maneira a atender aos requisitos da norma NBR 9480, visando a um maior rendimento operacional nas usinas de tratamento de madeira.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar a relação cerne-alburno, a massa específica básica, o teor de umidade e as propriedades anatômicas da madeira das espécies e híbridos, bem como as correlações dessas propriedades com a penetração e retenção de CCA.
- Avaliar o efeito da concentração do princípio ativo da solução preservativa na penetração e retenção de CCA, utilizando três níveis de concentração: 1,5, 2,0 e 2,5%.
- Avaliar o efeito do tempo de pressão em autoclave na penetração e retenção de CCA, utilizando os tempos de 60, 90 e 120 min.
- Avaliar a retenção de CCA na madeira de *Eucalyptus* spp., por espectrometria de raios X e diferença de massa (antes e depois do tratamento preservativo).
- Avaliar a penetração de CCA na madeira de *Eucalyptus* spp.
- Determinar os níveis ótimos da concentração de princípio ativo e tempo de pressão na retenção de CCA na madeira, visando à produção de moirões para usos em contato com o solo e fora dele.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Setor florestal brasileiro

O setor florestal brasileiro apresenta grande importância para a economia do País, contribuindo com cerca de 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2010. O setor, em especial aquele baseado em plantios florestais de rápido crescimento, é caracterizado por sua alta produtividade e elevado grau de aproveitamento da madeira, pelo desenvolvimento e uso de técnicas minimizadoras de impactos ambientais, pela manutenção da biodiversidade, pelo desenvolvimento socioeconômico e pela responsabilidade social, principalmente nas comunidades locais. Esses fatores fazem da atividade florestal um negócio singular e de características únicas capaz de fornecer inúmeros bens e serviços à sociedade brasileira. A madeira é o produto mais importante do ponto de vista econômico, pois, a partir do seu processamento, as indústrias de base florestal produzem ampla gama de produtos que se destinam aos mais diferentes fins; além disso, destacam-se, em menor escala, os produtos não madeireiros, como látex, resinas, taninos, corantes, óleos aromáticos ou essenciais e cascas.

Segundo ABRAF (2011, p. 96-99), as florestas destacam-se por oferecer importantes contribuições à sociedade em geral, nos aspectos econômicos, sociais e ambientais, através da geração de bens e serviços. O aspecto econômico desses plantios está na sua participação no mercado globalizado de produtos florestais, geração de divisas e arrecadação de tributos. No aspecto social, as atividades da cadeia produtiva do setor promovem a geração de empregos e renda, em especial na área rural, fixando as

populações no campo e diminuindo o êxodo rural. Do ponto de vista ambiental, os plantios florestais têm destaque como um dos principais recursos no combate às causas das mudanças do clima, fixação do carbono atmosférico, recuperação de áreas degradadas, melhoria da fertilidade do solo, reciclagem de nutrientes e proteção de bacias hidrográficas e da biodiversidade, além de reduzirem a pressão sobre as florestas nativas.

As grandes empresas do setor florestal brasileiro têm também investido em programas de responsabilidade social e ambiental para seus funcionários e as comunidades locais, além do fomento florestal, gerando produtos florestais em ambientes socialmente justos, economicamente viáveis e ecologicamente corretos (SILVA, 2009, p. 109-114; ABRAF, 2011, p. 111-115). O fomento florestal era, até o ano de 2011, grande programa de promoção da atividade florestal no Brasil para pequenos produtores rurais, realizado pelas empresas florestais e, também, por órgãos públicos de alguns estados brasileiros. Segundo Silva (2009, p. 109), o fomento florestal permite a compatibilização da atividade florestal com outras atividades agropastoris, ambas se complementando na geração de renda, com amplos benefícios para os produtores rurais, empresários do setor e toda a sociedade, em níveis local e regional. O fomento florestal busca dotar as propriedades rurais de uma mínima infraestrutura florestal, visando à sustentação econômica e ao autoabastecimento de madeira e lenha.

No Brasil, os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* são os mais comumente plantados, destacando-se pelo rápido crescimento. Em 2010, o País possuía uma área total de 6.973.083 ha de plantios de diversas espécies florestais, sendo 4.754.334 ha formados por *Eucalyptus* spp., 1.756.359 ha por *Pinus* spp. e 462.390 ha por outras espécies comerciais, como acácias, seringueira, paricá, teca, pinheiro-do-paraná, cedro-australiano e populus. Os plantios de eucalipto e pinus totalizavam, juntos, 6.510.693 ha e se localizavam, principalmente, nas Regiões Sudeste e Sul do País, sendo cultivados, sobretudo, em terras das próprias empresas florestais, além de programas de fomento e arrendamento florestal (ABRAF, 2011, p. 22-46). Em 2009, segundo SFB (2010, p. 25), a área total dos plantios florestais no Brasil correspondia a apenas 0,8% da área total do País e 1,3% da área total coberta com florestas.

Em 2010, cerca de 55,8% das áreas de plantios de eucalipto no Brasil se localizavam na Região Sudeste, com destaque para os Estados de Minas Gerais (1.400.000 ha) e São Paulo (1.044.813 ha), com participação de 29,4 e 22,0%, respectivamente, do total do País (ABRAF, 2011, p. 27-35). Considerando apenas a

madeira oriunda de plantios florestais, em 2010 consumiram-se no Brasil cerca de 169 milhões de metros cúbicos de toras, sendo cerca de 113 milhões de metros cúbicos de eucalipto e 56 milhões de metros cúbicos de pinus. O setor de celulose e papel foi o principal consumidor, absorvendo cerca de 37,5%, a lenha industrial 25,2%, a indústria madeireira 19,3%, a siderurgia a carvão vegetal 9,1% e os painéis reconstituídos 7,8% (ABRAF, 2011, p. 90-91). O número de empregos formais gerados pelo setor florestal como um todo, em 2009, foi de 615.947, com destaque para a indústria moveleira (172.740) e a indústria de celulose e papel (163.182), que abriram o maior número de para empregos formais (SFB, 2010, p. 114).

Em 2010 existiam, no Brasil, 272 usinas de preservação de madeiras (UPMs) cadastradas no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Essas UPMs se localizavam principalmente nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Santa Catarina, devido à maior oferta de madeiras dos plantios florestais e da maior proximidade do mercado consumidor. A indústria nacional de preservação de madeiras tratava, nesse período, aproximadamente 1.300.000 m³ de madeira, sendo 60% destinados ao setor rural (moirões, estacas, instalações rurais), 13% para o setor elétrico (postes e cruzetas), 11% para o setor ferroviário (dormentes), 15% para a construção civil (peças roliças e serradas, telhas, estruturas) e 1% para outros usos, como pisos automotivos e exportação (TUFOLLO NETTO, 2010, p. 30-31).

2.2. O gênero *Eucalyptus* e as propriedades da madeira de algumas espécies

O gênero *Eucalyptus* L'Hérit (1788) [*Eudesmia* R. Br. (1814); *Symphyomyrtus* Schauer (1844)] pertence à divisão Angiospermae, classe Dicotyledonea, ordem Myrtales e família Myrtaceae, contendo cerca de 600 espécies botânicas, identificadas com base em diferenças morfológicas, sendo quase todas nativas da Austrália, com exceção do *Eucalyptus urophylla*, que ocorre na Indonésia, e do *Eucalyptus deglupta*, de ocorrência na Indonésia e Papua-Nova Guiné (BOLAND *et al.*, 2006, p. 200; FONSECA *et al.*, 2010, p. 13).

Até 2008, estimava-se que o gênero *Eucalyptus* já tivesse sido implantado em mais de 100 países (SILVA *et al.*, 2008, p. 8), com os maiores plantios encontrados, segundo Fonseca *et al.* (2010, p. 13), na Índia, Brasil, África do Sul, Portugal, Espanha, China, Uruguai e Chile, sendo as espécies mais plantadas, mundialmente, o *Eucalyptus*

grandis, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus tereticornis*. Segundo Silva *et al.* (2008, p. 8), as espécies mais plantadas no Brasil são o *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus dunnii* e o híbrido “urograndis” (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*).

No Brasil, além das espécies puras, os híbridos clonais de *Eucalyptus* spp. têm surgido como excelente oportunidade para a produção de madeira de qualidade para diversos fins, combinando características de interesse de duas ou mais espécies.

Segundo Assis e Mafia (2007, p. 95), há compatibilidade interespecífica no gênero *Eucalyptus*, permitindo inúmeras combinações e adequando-as aos mais diversos locais de plantio e finalidades de uso final da madeira. Com isso, a hibridação interespecífica tem-se constituído na forma mais rápida e eficiente para obtenção de ganhos genéticos no melhoramento de espécies de *Eucalyptus*. A adequação das características tecnológicas da madeira aos usos pretendidos, a tolerância a estresses bióticos e abióticos, bem como a manifestação da heterose, constituem os principais caminhos para se produzirem árvores superiores em crescimento, adaptação e qualidade da madeira. Segundo Borém (2007, p. 381), heterose é a manifestação de mais e melhores características de interesse na geração F₁ em relação à média dos genitores; em regra, ocorre maior heterose nos genitores mais divergentes geneticamente. Segundo Assis e Mafia (2007, p. 95), nesse contexto a clonagem constitui o processo ideal para maximizar os benefícios da hibridação na formação de plantios florestais altamente produtivos para diversas finalidades industriais. O aproveitamento comercial da heterose em híbridos de *Eucalyptus* spp., por intermédio da clonagem, é um dos grandes responsáveis pela rápida evolução da produtividade florestal, nos últimos anos, e é um dos exemplos mais bem-sucedidos do uso de híbridos no setor florestal brasileiro.

Em geral, a madeira das espécies de *Eucalyptus* possui diferenças na massa específica e nas propriedades anatômicas (MEZZOMO, 1996, p. 33; OLIVEIRA, 1997, p. 186-262; PEREIRA *et al.*, 2000, p. 23-30; CARVALHO; NAHUZ, 2001, p. 70; TRUGILHO *et al.*, 2001, p. 108; CRUZ *et al.*, 2003, p. 38; ALZATE, 2004, p. 27-121; ROCHA *et al.*, 2004, p. 49-53; SILVA *et al.*, 2004, p. 16-18; VEENIN *et al.*, 2005, p. 355; FERREIRA *et al.*, 2006, p. 163-166; QUILHÓ *et al.*, 2006, p. 245; BOTREL *et al.*, 2007, p. 16-17; DUARTE, 2007, p. 37-62; SILVA *et al.*, 2007, p. 1083-1089; TRUGILHO *et al.*, 2007, p. 55-62; BELINI *et al.*, 2008, p. 710-711; MOGLIA *et al.*, 2008, p. 241-245; TORRES, 2008, p. 43-44; ARANTES, 2009, p. 34-70; OLIVEIRA,

2009, p. 45-65; PÁDUA, 2009, p. 32-38; TRUGILHO, 2009, p. 1236-1237; BOTREL *et al.*, 2010, p. 242-243). Os valores médios dessas propriedades da madeira de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e seus híbridos, de acordo com a literatura, podem ser vistos na Tabela 1.

2.3. Tratamento preservativo da madeira de *Eucalyptus* spp.

Em geral, as madeiras provenientes dos plantios de rápido crescimento no Brasil, como *Eucalyptus* e *Pinus* spp., apresentam baixa durabilidade natural quando expostas a ambientes mais agressivos, como em contato com o solo e umidade. Algumas madeiras nativas apresentam alta durabilidade natural (PÊGAS, 2007, p. 9-13; TREVISAN *et al.*, 2008, p. 33-41). No entanto, tais madeiras estão protegidas de corte pela legislação vigente ou não oferecem segurança de abastecimento no mercado florestal. O seu uso sustentável demandaria rigorosos planos de manejo florestal. Em face da baixa disponibilidade, as madeiras provenientes dos plantios de rápido crescimento apresentam-se como ótima alternativa de uso, em larga escala. Tais madeiras, no entanto, deverão, obrigatoriamente, receber tratamento preservativo preventivo, de maneira a lhe garantir maior vida útil. O Brasil utiliza pouca quantidade de madeira tratada, embora apresente inúmeras potencialidades de crescimento de uso em vários setores, como rural, elétrico, ferroviário, construções e embalagens.

O tratamento preservativo de madeiras pode ser realizado de diversas formas, sendo os métodos sob pressão os mais eficientes, pois garantem maior eficiência e homogeneidade na impregnação e distribuição dos preservativos da madeira. No Brasil, o método Bethell é o mais utilizado. Segundo Hunt e Garratt (1962, p. 232-233), esse método foi desenvolvido e patenteado por John Bethell, em 1838, na Inglaterra, e consiste nas etapas de vácuo inicial, seguida da admissão do preservativo, sem a entrada de ar no cilindro da autoclave, indo para uma fase de pressão de impregnação do produto na madeira. Passado esse tempo, há o esvaziamento do preservativo no cilindro da autoclave e aplicação de um vácuo final (etapa essa não citada na patente inicial). O método Bethell utilizava, originalmente, preservativos oleosos; atualmente, os hidrossolúveis também são utilizados. Esse método é amplamente utilizado no Brasil para tratamento de madeiras.

Tabela 1 – Massa específica básica e propriedades anatômicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

Espécie/ Híbrido	Idade	Local do plantio	Propriedades da madeira											Referência	
			Massa específica básica (g/cm ³)	Fibras				Vasos			Raios				
				Compri- mento (mm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)	Diâmetro tangencial (µm)	Frequência (vasos x mm ⁻²)	Área (%)	Largura (µm)	Altura (mm)	Frequência (raios x mm ⁻¹)		
<i>Eucalyptus citriodora</i>	7	Alagoinha, Bahia	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mezzomo (1996, p. 33)	
	10,5	Uberaba, Minas Gerais	0,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pereira <i>et al.</i> (2000, p. 29)	
	16	Piracicaba, São Paulo	0,73	1,08	17,8	7,6	5,1	119,6	12	-	-	17,3	0,15	13	Oliveira (1997, p. 186-262)
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	4	Três Marias, Minas Gerais	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Trugilho (2009, p. 1236-1237)
	6,5	Brasilândia, Minas Gerais	0,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pereira <i>et al.</i> (2000, p. 30)
	7	Alagoinha, Bahia	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mezzomo (1996, p. 33)
	7	Alagoinhas, Bahia	0,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Trugilho (2009, p. 1236-1237)
	16	Piracicaba, São Paulo	0,72	1,05	18,0	8,1	4,9	82,6	34	-	-	9,5	0,12	11	Oliveira (1997, p. 186-262)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4	Rio Tinto, Paraíba	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Torres (2008, p. 43-44)
	4	Três Marias, Minas Gerais	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Trugilho (2009, p. 1236-1237)
	5	Sra Kaew, Tailândia	0,61-0,73	0,83-0,91	-	11,4-12,3	-	-	89-101	14-16	13,1-16,2	-	-	-	Veenin <i>et al.</i> (2005, p. 355)
	5	Santiago del Estero, Argentina	-	0,819-1,034	-	-	-	-	63,6-125,0	7,7-19,8	-	12,0-22,8	0,158-0,351	8,3-13,68	Moglia <i>et al.</i> (2008, p. 241-245)
	5,5	Vazante, Minas Gerais	0,467-0,501	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cruz <i>et al.</i> (2003, p.38)
	5,8	Vazante, Minas Gerais	0,50-0,62	0,80-1,02	14,42-15,25	9,42-11,01	2,11-2,63	-	-	-	-	-	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2007, p. 55-62)
	6	Municípios de Minas Gerais	0,60-0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pereira <i>et al.</i> (2000, p. 23-26)

Continua...

Tabela 1, Cont.

Espécie/ Híbrido	Idade	Local do plantio	Propriedades da madeira										Referência	
			Massa específica básica (g/cm ³)	Fibras				Vasos			Raios			
				Comprimento (mm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)	Diâmetro tangencial (µm)	Frequência (vasos x mm ⁻²)	Área (%)	Largura (µm)	Altura (mm)		Frequência (raios x mm ⁻¹)
<i>Eucalyptus camaldulensis x Eucalyptus grandis</i>	6,5	Taiobeiras, Minas Gerais	0,477-0,557	0,95-1,10	14,56-16,02	7,33-9,17	3,28-4,35	-	-	-	-	-	-	Botrel <i>et al.</i> (2007, p. 16-17; 2010, p. 242- 243)
<i>Eucalyptus grandis</i>	5,8	Municípios de Minas Gerais e Espírito Santo	-	0,972-1,129	18,46-18,68	9,97-11,30	3,58-4,37	99,21-129,56	10,87-14,14	-	8,06-8,32	0,227-0,259	10,28-12,70	Oliveira (2009, p. 45-65)
	6,9	Botucatu e de Lençóis Paulista, São Paulo	0,432	1,005	19,7	11,8	3,9	-	-	-	-	-	-	Belini <i>et al.</i> (2008, p. 710-711)
	7	Bom Despacho, Minas Gerais	0,50-0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2001, p. 108)
	7	Telêmaco Borba, Paraná	-	0,866-0,986	18,10-19,96	9,67-12,36	3,62-4,21	84,24-110,84	12,06-16,80	-	12,51-13,67	0,195-0,230	9,45-10,76	Rocha <i>et al.</i> (2004, p. 49-53)
	8	São Miguel Arcanjo, São Paulo	0,46	1,030	20,99	9,58	5,70	106	9-14	-	-	-	-	Alzate (2004, p. 27-121)
	10	Telêmaco Borba, Paraná	0,34	1,02	20,41	12,85	3,37	113,3	-	-	-	-	-	Silva <i>et al.</i> (2004, p. 16-18; 2007, p. 1083- 1089)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	5,8	Vazante, Minas Gerais	0,45-0,56	0,79-0,98	15,02-17,12	10,19-12,36	2,17-2,47	-	-	-	-	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2007, p. 55-62)

Continua...

Tabela 1 – Cont.

Espécie/ Híbrido	Idade	Local do plantio	Propriedades da madeira											Referência
			Massa específica básica (g/cm ³)	Fibras				Vasos			Raios			
				Compri- mento (mm)	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)	Diâmetro tangencial (µm)	Frequência (vasos x mm ⁻²)	Área (%)	Largura (µm)	Altura (mm)	Frequência (raios x mm ⁻¹)	
<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	5 e 6 anos	Municípios dos Estados da Bahia e São Paulo	0,458-0,478	1,12-1,19	17,72-18,78	10,38-10,44	3,65-4,21	-	-	-	-	-	-	Duarte (2007, p. 37-62)
	5,5	Vazante, Minas Gerais	0,48-0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cruz <i>et al.</i> (2003, p.38)
	5,8	Vazante, Minas Gerais	0,41-0,52	0,94-0,98	15,47-16,38	11,20-11,96	2,14-2,35	-	-	-	-	-	-	Trugilho <i>et al.</i> (2007, p. 55-62)
	6	Martinho Campos, Minas Gerais	0,52-0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pádua (2009, p. 32-38)
	6	Martinho Campos, Minas Gerais	-	0,99-1,07	14,55-15,41	7,28-7,70	3,51-3,87	-	-	-	-	-	-	Arantes (2009, p. 34-70)
	7	Mogi-Guaçu, São Paulo	0,50	1,08	17,14	8,76	4,19	-	-	-	-	-	-	Carvalho; Nahuz (2001, p. 70)
	8	São Miguel Arcanjo, São Paulo	0,49	1,030	19,69	9,68	5,01	103,63	8-13	-	-	-	-	Alzate (2004, p. 36-100)
	Entre 7 e 9 anos	Região Sul do Estado da Bahia	0,49	1,07	21,25	11,59	4,83	-	-	-	-	-	-	Ferreira <i>et al.</i> (2006, p. 163-166)
	6,8 (material seminal)	Região de Paraju, Espírito Santo	0,424	0,955	18,0	-	3,6	-	-	-	-	-	-	Quilhó <i>et al.</i> (2006, p. 245)
	5,6 (clones)		0,491	1,064	20,0	-	4,4	-	-	-	-	-	-	

A efetividade de um tratamento preservativo é avaliada pela penetração e retenção dos preservativos na madeira (ARSENAULT, 1973, p. 121-122; SIAU, 1984, p. 210-211; REVISTA DA MADEIRA, 2007, p. 106-107; MONTANA QUÍMICA, 2008). Segundo Siau (1984, p. 210-211) e Montana Química (2008), a retenção é a quantidade de preservativo introduzido e retido na madeira, sendo expressa em peso de componentes ativos do produto por unidade de volume de madeira tratada; no sistema métrico decimal, a retenção é expressa em kg/m^3 (quilogramas por metro cúbico); no sistema inglês, é expressa em lb./pé^3 (libras por pé cúbico), com equivalência de 1 kg/m^3 para 16 lb./pé^3 . A penetração é a profundidade que o preservativo alcança na madeira, sendo comumente avaliada por reações colorimétricas, permitindo a avaliação qualitativa da distribuição do preservativo na região tratável da madeira. A penetração também pode ser avaliada quantitativamente, sendo medida a partir da sua seção externa, podendo ser expressa em milímetros. De acordo com as normas técnicas vigentes da ABNT, relativas à preservação de madeiras, recomendam-se a penetração do produto em toda a seção do alburno e retenções variáveis, de acordo com o produto utilizado e o uso final da madeira tratada.

2.3.1. Fatores que influenciam no tratamento

Durante o tratamento preservativo das madeiras, a penetração e a retenção são influenciadas pelas características da madeira, solução preservativa e processo de tratamento (HUNT; GARRATT, 1962, p. 249-285; NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 299-329).

2.3.1.1. Fatores relacionados à madeira

As características da madeira que mais influenciam no tratamento são a porcentagem de cerne e alburno, estrutura anatômica, teor de umidade e permeabilidade.

2.3.1.1.1. Cerne e alburno

A madeira é formada por dois tipos de tecidos lenhosos: alburno e cerne. Segundo a Norma NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 1-2), o alburno corresponde à parte externa do tronco de uma árvore, apresentando coloração mais clara que o cerne, além de substâncias de reserva, como o amido, e é mais permeável à passagem de fluidos. Hillis (1984, p. 260-261)

e Tamblyn (1984, p. 383) relataram que a presença de amido, no alburno da madeira de muitas espécies de *Eucalyptus*, torna-a suscetível ao ataque de insetos xilófagos, que pode ocorrer durante ou após a secagem. O cerne está localizado na parte mais interna do lenho, formado por células mortas e sem substâncias de reserva, sendo, normalmente, mais escuro e com baixa permeabilidade (ABNT, 2009, p. 1-2). Costa *et al.* (2003, p. 137) complementaram que o cerne pode conter óleos, resinas, gomas e compostos fenólicos, substâncias essas que são frequentemente responsáveis pela coloração mais escura e por sua maior durabilidade natural. Segundo Hunt e Garratt (1962, p. 264), Nicholas e Siau (1973, p. 305), o alburno, como regra, pode ser impregnado com produtos preservativos, com relativa facilidade, enquanto o cerne é resistente à penetração desses preservativos. As substâncias naturalmente presentes no cerne podem endurecer ou se solidificar nas células lenhosas, obstruindo a passagem de fluidos.

Segundo Tamblyn (1984, p. 343-344), Botelho *et al.* (2000, p. 119-120) e Venkatasamy (2005, p. 3; 2007, p. 4-8), a madeira de *Eucalyptus* spp. apresenta alburno com baixa resistência natural ao ataque de fungos e insetos e permeável à impregnação com produtos preservativos; o cerne, por sua vez, apresenta maior resistência, mas é de difícil impregnação. Venkatasamy (2005, p. 3; 2007, p. 4-8), estudando a madeira de *Eucalyptus saligna* proveniente do Quênia, observou maior retenção de preservativo hidrossolúvel no alburno, em relação à madeira do cerne. Botelho *et al.* (2000, p. 120), avaliando o tratamento preservativo da madeira de seis espécies de *Eucalyptus*, com idades de 18 e 22 anos, provenientes do Distrito Federal, verificaram baixa retenção de produtos hidrossolúveis, devido à elevada quantidade de cerne.

A porcentagem de alburno e cerne da madeira também sofre influência da idade da árvore; em geral, a madeira de árvores mais jovens apresenta maior porcentagem de alburno. Venkatasamy (2002a, p. 4-13), avaliando o efeito da idade da árvore na fixação e lixiviação de produtos hidrossolúveis na madeira de *Eucalyptus saligna*, proveniente do Quênia, observou que há maior fixação e lixiviação do produto da madeira em idades mais jovens, como 4, 8 e 12 anos, em relação a idades mais velhas, como 20 e 24 anos.

2.3.1.1.2. Estrutura anatômica

A estrutura anatômica influencia a penetração e retenção dos preservativos. Segundo Siau (1984, p. 57), os vasos podem corresponder entre 20% e 60% do volume total da madeira das Angiospermas e são a principal via da penetração dos preservativos

na madeira, pois formam o caminho longitudinal de fluxo de menor resistência à passagem de fluidos. Como os elementos de vasos são células de extremidades abertas ou parcialmente abertas, a penetração dos fluidos na direção longitudinal se torna mais rápida e extensa do que aquela no sentido transversal, entre vasos e raios e vasos e fibras, que ocorrem através dos pares de pontoações. Siau (1984, p. 61-63), fazendo referência a outros autores, descreveu que somente os vasos estariam sendo responsáveis pela penetração inicial e distribuição dos preservativos na madeira.

As fibras podem constituir entre 20% e 50% do volume da madeira e permitem a penetração dos produtos através dos pares de pontoações dos vasos e das células de parênquima adjacentes (HUNT; GARRATT, 1962, p. 261; SIAU, 1984, p. 57-58). Em geral, as fibras não são importantes na penetração dos preservativos, embora sua relativa permeabilidade influencie na subsequente distribuição de fluidos oriundos dos vasos e outros possíveis pontos de concentração (HUNT; GARRATT, 1962, p. 261). O parênquima axial pode chegar até 50% nas madeiras tropicais, podendo ser mais permeável que as fibras (SIAU, 1984, p. 58). Em geral, o parênquima axial não contribui com a penetração inicial dos produtos na madeira; entretanto, o parênquima paratraqueal pode contribuir com a sua distribuição (HUNT; GARRATT, 1962, p. 263-264). Com relação aos raios, Hunt e Garratt (1962, p. 262-263) e Siau (1984, p. 58) destacaram que essas células também não contribuem para a distribuição de preservativos na madeira. Sales-Campos *et al.* (2003, p. 849-852), avaliando a distribuição de preservativo hidrossolúvel na madeira de pau-rainha (*Brosimum rubescens*), verificaram que os raios e o parênquima axial não contribuíram, de maneira efetiva, para a dispersão do produto, devido à presença de extrativos em seu interior.

A passagem de fluidos na madeira pode ser reduzida consideravelmente pela ocorrência de tilos no seu interior e também pela obstrução da abertura das pontoações por extrativos, diminuindo a penetração e retenção de produtos na madeira. Tal situação foi observada também por Sales-Campos *et al.* (2003, p. 849-852) ao verificarem a má distribuição de preservativo hidrossolúvel na madeira de cerne e alborno de pau-rainha (*Brosimum rubescens*).

2.3.1.1.3. Teor de umidade

O teor de umidade da madeira afeta sua tratabilidade e, conseqüentemente, a penetração e retenção de preservativos. Segundo Nicholas e Siau (1973, p. 314), o

aumento do teor de umidade a um ponto acima da umidade de saturação das fibras diminui a fração de espaços vazios da madeira, dificultando a retenção de preservativos. Abaixo da umidade de saturação de fibras, o aumento do teor de umidade geralmente diminui a permeabilidade da madeira a gases e à penetração de água. Tal fato se deve à redução do tamanho dos poros, em decorrência do inchamento da membrana das pontoações. A redução no tamanho dos poros atinge seu valor máximo no ponto de umidade de saturação das fibras em razão, provavelmente, da condensação de umidade nos pequenos capilares das membranas das pontoações, bloqueando a passagem de gases pela madeira.

Usta (2004, p. 6), avaliando o efeito da umidade na retenção de preservativo hidrossolúvel na madeira de *Abies nordmanniana*, verificou que valores abaixo da umidade de saturação das fibras proporcionaram maior absorção do produto, sendo a maior absorção obtida no teor de umidade de 22%. Esse autor também não observou absorção significativa de preservativo hidrossolúvel quando a umidade da madeira era de 10 ou 20%. Para o tratamento da madeira de *Eucalyptus* spp., a primeira versão da Norma NBR 9480 (ABNT, 1986, p. 8) preconizava um teor de umidade da madeira igual ou inferior a 35% para a impregnação com preservativos hidrossolúveis. Montana Química (2008) recomendou o uso da madeira de *Eucalyptus* spp. com umidade inferior a 30% para tratamento em autoclave, sob vácuo-pressão.

2.3.1.1.4. Permeabilidade

A permeabilidade é uma das propriedades mais importantes da madeira quando se estuda a preservação de madeiras, permitindo melhor compreensão dos mecanismos de penetração dos preservativos. Ela pode ser definida como a facilidade em que os fluidos são transportados através de um material poroso, sob a influência de um gradiente de pressão (NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 307; SIAU, 1984, p. 73). A permeabilidade de fluidos na madeira pode ser expressa, numericamente, pela Lei de Darcy (SIAU, 1984, p. 73-74), através da seguinte equação:

$$k = \frac{\text{fluxo}}{\text{gradiente}} = \frac{QL}{A\Delta P}$$

em que

k = permeabilidade de fluidos ($\text{cm}^3/\text{cm} \times \text{atm} \times \text{s}$);

Q = fluxo volumétrico (cm^3/s);

L = comprimento da madeira na direção do fluxo (cm);

A = seção transversal da madeira perpendicular à direção do fluxo (cm^2); e

ΔP = diferencial de pressão (atm).

A permeabilidade também pode ser expressa através da permeabilidade específica, sendo o produto de permeabilidade e viscosidade do fluido (SIAU, 1984, p. 78), conforme pode ser visto na equação a seguir:

$$K = k \times \eta$$

em que

K = permeabilidade específica (cm^3/cm);

k = permeabilidade ($\text{cm}^3/\text{cm} \times \text{atm} \times \text{s}$); e

η = viscosidade do fluido ($\text{dyne} \times \text{s}/\text{cm}^2$).

Quando a madeira apresenta vasos desobstruídos, estes se comportam como capilares abertos ao longo do seu comprimento. O maior diâmetro dos vasos, quando comparado com o das pontoações, faz que o escoamento através das fibras e do parênquima axial seja insignificante. Desse modo, esses caminhos podem ser negligenciados (SIAU, 1984, p. 57-58).

A permeabilidade é influenciada pela porosidade, pela estrutura anatômica e pela umidade da madeira (NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 307-314), e todos esses parâmetros estão interligados. Segundo Siau (1984, p. 73), há relação entre porosidade e permeabilidade. A porosidade corresponde à fração volumétrica dos espaços vazios de um sólido. Todo material precisa ser poroso para ser permeável, mas nem todo material poroso é permeável. A permeabilidade somente existe se os poros da madeira estão interconectados (SIAU, 1984, p. 73), como ocorre, por exemplo, com os elementos de vasos presentes na madeira das Angiospermas; esses estão interconectados através das placas de perfuração, formando os vasos. Segundo Siau (1984, p. 29-30), a porosidade é equivalente à quantidade máxima de produto preservativo que pode ser comportada pela madeira; entretanto, a porosidade não é fator limitante no tratamento da madeira, a não ser que o teor de umidade esteja elevado.

Com relação à estrutura anatômica, a madeira tem a melhor penetração na direção longitudinal em relação à direção transversal, quando impregnada com

preservativos (HUNT; GARRATT, 1962, p. 269-271; NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 308; SIAU, 1984, p. 103-104; VENKATASAMY, 2007, p. 4-12). Venkatasamy (2007, p. 4-12), avaliando o efeito da grã na retenção e penetração de produto hidrossolúvel na madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii*, verificou maior retenção e penetração no sentido longitudinal e valores próximos entre si, nos sentidos tangencial e radial, nas duas espécies. Segundo Nicholas e Siau (1973, p. 308-309), a permeabilidade longitudinal da madeira pode ser superior a 1.000 vezes àquela observada no sentido transversal; entretanto, nas aplicações práticas essa superioridade é de aproximadamente 100 vezes, quando essa relação é estabelecida para a penetração de preservativos. Essa discrepância entre as permeabilidades citadas na teoria e na prática pode ser explicada pelas seguintes razões:

- A permeabilidade, obtida com base na Lei de Darcy, é usualmente feita sob condições de fluxo constante; em termos práticos, o fluxo é variável, no tratamento preservativo. Existem diferenças consideráveis nos resultados quando os fluxos são diferentes.

- A mensuração da permeabilidade na madeira é usualmente feita com gases ou líquidos puros, sem impurezas. As soluções preservativas usadas podem conter impurezas ocasionadas por materiais particulados, gases dissolvidos e, ou, produto de reações químicas dos próprios preservativos com os componentes da parede celular ou extrativos.

Silva *et al.* (2010, p. 281-286) avaliaram a permeabilidade longitudinal da madeira de alburno e cerne de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*, através da passagem de ar atmosférico, água destilada e um produto à base de óleo de nim. Observaram que o alburno das madeiras de ambas as espécies de *Eucalyptus* é altamente permeável à passagem de fluidos, na direção longitudinal, com destaque para a madeira de *Eucalyptus grandis*, que apresentou também alguma permeabilidade para a madeira do cerne. Para o cerne da madeira de *Eucalyptus citriodora*, no entanto, não se observou nenhuma permeabilidade dos líquidos e gases. As madeiras das espécies em questão não exibiram nenhuma permeabilidade à passagem radial de produtos, devido à obstrução das células dos raios.

2.3.1.2. Fatores relacionados à solução preservativa

Especificamente nos produtos hidrossolúveis, as características da solução preservativa que mais influenciam no tratamento são a concentração do princípio ativo e a presença de materiais particulados e extrativos.

2.3.1.2.1. Concentração de princípio ativo

Em geral, o aumento da concentração do princípio ativo aumenta os níveis de retenção dos preservativos na madeira. Paes *et al.* (2005, p. 79-85) avaliaram três concentrações de princípio ativo (2,0, 3,5 e 5,0%) na retenção de CCB e na penetração de cobre e boro, pelo método de substituição de seiva, em moirões de *Eucalyptus viminalis* e de bracatinga (*Mimosa scabrella*) com cerca de 5 anos de idade e procedentes do município de Rio Branco do Sul, Paraná. Eles observaram que o aumento na concentração do princípio ativo foi diretamente proporcional aos níveis da retenção de CCB e da penetração dos elementos cobre e boro nas madeiras estudadas.

Farias Sobrinho *et al.* (2005, p. 230-235) avaliaram três concentrações de princípio ativo (1, 2 e 3%) da solução preservativa na retenção e penetração de CCB, pelo método de substituição de seiva na madeira de algaroba (*Prosopis juliflora*), com cerca de 3 a 5 anos de idade e proveniente do município de São José de Espinharas, Paraíba. Verificaram aumento nos níveis de retenção de CCB e da penetração de cobre e boro quando se aumentou de 1 para 2% a concentração do princípio ativo; entretanto, não observaram aumento da retenção e penetração de CCB quando se aumentou a concentração de princípio ativo da solução de 2% para 3%. Essa situação foi justificada por esses autores como dificuldade de difusão da solução mais concentrada nos moirões.

2.3.1.2.2. Presença de materiais particulados e extrativos

Segundo Nicholas¹ (1972), citado por NICHOLAS; SIAU (1973, p. 318-322), o tratamento preservativo da madeira pode ser afetado por materiais particulados presentes na solução preservativa oriundos dos produtos químicos utilizados, seus

¹ NICHOLAS, D. D. Characteristics of preservative solutions which influence their penetration into wood. *Forest Products Journal*, v. 22, n. 5, p. 31-36, 1972.

produtos de reação, além dos extrativos da madeira. Devido à estrutura porosa, a madeira age como espécie de filtro, e a presença de materiais particulados na solução preservativa pode obstruir a passagem de fluidos através da vedação das microaberturas da madeira. Com a reutilização intensiva das soluções preservativas poderá ocorrer aumento da concentração de materiais particulados, diminuindo a penetração de preservativos na madeira (NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 318-319). A reutilização da solução poderá, ainda, provocar o desbalanceamento e precipitação dos elementos químicos.

Extrativos em soluções aquosas agem de maneira semelhante à dos materiais particulados, reduzindo a penetração de produtos na madeira, notadamente nas soluções alcalinas. Também podem causar desbalanceamento químico entre os elementos das soluções preservativas hidrossolúveis, principalmente quando essas soluções já foram utilizadas inúmeras vezes (NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 321-322).

2.3.1.3. Fatores relacionados ao processo de tratamento

As características do processo que mais influenciam no tratamento são o tempo de tratamento e a pressão de impregnação.

2.3.1.3.1. Tempo de tratamento

O tempo de tratamento da madeira influencia no tratamento preservativo; em geral, o aumento no tempo de tratamento acarreta incremento na retenção e penetração de produtos (HUNT; GARRATT, 1962, p. 281-285). Hunt e Garratt (1962, p. 282) observaram aumento da retenção e penetração de cloreto de zinco na madeira de Douglas-fir (*Pseudotsuga* sp.), quando se aumentou o tempo de pressão na autoclave. Esses autores também relataram que períodos prolongados de tratamento são mais recomendados para madeiras de difícil impregnação. O aumento da retenção de CCB e da penetração de cobre e boro também foi observado por Paes *et al.* (2005, p. 79-85), na madeira de *Eucalyptus viminalis* e de bracatinga (*Mimosa scabrella*), pelo método de substituição de seiva, quando houve aumento no número de dias do tratamento. Slahor *et al.* (1999, p. 25-36), avaliando três tempos de pressão (60, 90 e 120 min) sobre a retenção e penetração de CCA na madeira de alburno de beech (*Fagus grandifolia*), yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera*) e red maple (*Acer rubrum*), verificaram

aumento da penetração do produto na madeira de beech e red maple, bem como da retenção na madeira de yellow-poplar, quando se aumentou o tempo de pressão. Farias Sobrinho *et al.* (2005, p. 230-234), avaliando o tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora*) pelo método de substituição de seiva, não observaram incremento da retenção e penetração de CCB com a elevação do tempo de tratamento.

2.3.1.3.2. Pressão de impregnação

Segundo Hunt e Garratt (1962, p. 282), a pressão de impregnação afeta o tratamento preservativo da madeira; em geral, o aumento da pressão de impregnação provoca incremento na penetração e retenção de produtos na madeira. Esses autores relataram aumento da retenção e penetração de cloreto de zinco na madeira de Douglas-fir (*Pseudotsuga* sp.) com a elevação da pressão de impregnação.

Até a primeira década de 2000, o tratamento comercial da madeira de *Eucalyptus* spp., sob vácuo-pressão, no Brasil era feito, usualmente, com uma pressão de impregnação entre 12 e 14 kgf/cm² pelas empresas do setor. Essas pressões são muito menores do que aquelas já utilizadas na Austrália, desde a década de 1960, da ordem de 70 kgf/cm², conforme relatado por Tamblyn (1984, p. 346), que visavam, inicialmente, o tratamento de cruzetas com preservativos oleosos. Tamblyn (1984, p. 346-347) relatou, também, aumento na retenção de preservativos da madeira de *Eucalyptus sieberi* e *Eucalyptus cypellocarpa*, quando se aumentou a pressão de impregnação de 14 para 70 kgf/cm². Lebow *et al.* (2010, p. 449-451), avaliando três pressões de impregnação (12,3; 14,0; e 15,8 kgf/cm²) sobre a impregnação de um preservativo, à base de etanolamina e cobre na madeira de *Pinus resinosa*, verificaram que o aumento da pressão causou pequeno incremento da penetração de alburno e da retenção do preservativo, bem como pequena diminuição da resistência mecânica à flexão estática da madeira.

Segundo Nicholas e Siau (1973, p. 310-312), a pressão de impregnação requerida para superar a pressão da capilaridade, para forçar a interface ar-líquido, através das pequenas aberturas das pontoações, pode ser calculada pela equação de Jurin:

$$P = \frac{2\gamma}{R} \cos \theta$$

em que

P = pressão diferencial, em dyne/cm²;

γ = tensão superficial na interface ar-líquido, em dyne/cm²;

R = raio da abertura da pontoação, em cm; e

θ = ângulo de contato.

Siau² (1971), citado por NICHOLAS; SIAU (1973, p. 324), usou a equação de Jurin para calcular a pressão requerida para superar a interface líquido-ar a partir de diversos tamanhos da abertura das pontoações. Esse autor mostrou que, nos traqueoides, tais pontoações devem ter um raio mínimo de 0,10 μm para permitir o enchimento do lume com água, numa pressão de cerca de 14 kgf/cm².

2.4. Efetividade de um produto preservativo

No mercado existem diversos produtos preservativos, de caráter preventivo ou curativo, para o tratamento da madeira. Em todo o mundo, várias pesquisas são realizadas visando ao desenvolvimento de novos produtos preservativos, menos nocivos à saúde e ao meio ambiente. Hartford (1973, p. 2), Wilkinson³ (1979), citado por LEPAGE (1986, p. 279-280) e Leightley (2003, p. 391-392), reiteraram que as características ideais para um produto preservativo é ser eficiente na prevenção ou controle do maior número possível de organismos xilófagos; não ser tóxico ao homem, organismos não xilófagos e ao meio ambiente; apresentar penetração profunda e uniforme na madeira; não alterar as propriedades da madeira, como a combustibilidade; não ser corrosivo quando em contato com outros materiais, como metais e plásticos; ser resistente à lixiviação e volatilização; apresentar custo acessível; e estar disponível no mercado. Além disso, poder ser utilizado em formulações preservativas, ou seja, com mais de um produto preservativo; ser de manipulação fácil e segura, além de ser aceito e normatizado pelas agências reguladoras competentes; permitir acabamentos superficiais após o tratamento preservativo da madeira; permitir o descarte seguro ou a reciclagem da madeira tratada no final da sua vida útil. Segundo Wilkinson³ (1979), citado por LEPAGE, 1986, p. 279-280) e Leightley (2003, p. 391-392), dificilmente um preservativo pode apresentar todas essas características, mas a escolha de um produto

² SIAU, J. F. *Flow in wood*. Syracuse: Syracuse Univ. Press, 1971. 131 p.

³ WILKINSON, J. G. *Industrial timber preservation*. London: Associated Business Press, 1979. 532 p.

deve envolver a maioria desses requisitos, levando-se em consideração também o local de uso final da madeira tratada. Segundo Leightley (2003, p. 392) e Montana Química (2008), o arseniato de cobre cromatado (CCA) é um produto preservativo, de efeito fungicida e inseticida, que contempla a maioria desses requisitos, sendo considerado um dos produtos mais eficientes para o tratamento preservativo da madeira.

A efetividade de um preservativo, entretanto, não se deve somente às características químicas, mas, também, ao método de aplicação e aos níveis pretendidos de penetração e retenção. Segundo Arsenault (1973, p. 125), alguns fatores devem ser considerados ao se especificar a retenção mínima de um produto na madeira, como as características físicas do produto, sua distribuição na madeira, local de uso final da madeira tratada, grau de lixiviação e vida útil esperada. Os níveis satisfatórios de retenção de CCA e CCB, de acordo os Standards da AWP, publicados no ano de 2010, e as diversas normas da ABNT para cada classe de uso, podem ser vistos na Tabela 1A (Apêndice A).

No Brasil, as especificações sobre uso da madeira tratada, na forma roliça ou de moirões, são especificadas pela Norma NBR 9480 da ABNT (2009, p. 1-12). A sua versão, publicada em 1986 e intitulada “Mourões de madeira preservada para cercas” (ABNT, 1986, p. 1-18), estabelecia o uso de métodos de tratamento, com ou sem pressão, para os moirões em contato com o solo; estabelecia uma retenção mínima de 6,5 kg de ingredientes ativos por metro cúbico de madeira tratada para os preservativos hidrossolúveis (CCA e CCB), 100 kg de creosoto por metro cúbico de madeira tratada ou 5 kg de pentaclorofenol por metro cúbico de madeira tratada. Para todos esses preservativos era estabelecida uma penetração total de todo o alburno (ABNT, 1986, p. 7). Na nova versão da norma NBR 9480, publicada em 2009 e intitulada “Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais – requisitos”, não se utilizou mais a terminologia “mourão”, substituindo-a por “peça roliça”, definindo-a como “peça de madeira, de eixo aproximadamente retilíneo, com seção transversal circular, com diâmetro variável e comprimento máximo de até 6,50 m”; estabeleceram-se os mesmos índices de retenção e penetração para o tratamento preservativo da madeira com CCA, CCB e creosoto, para uso em contato com o solo, exceto para o pentaclorofenol, que não foi mais recomendado nessa Norma. Essa nova versão da NBR 9480 também trouxe inovação ao estabelecer um novo índice mínimo de retenção para peças roliças suspensas, sem contato com o solo, igual a 4,0 kg/m³ de madeira tratada para CCA e CCB e 100 kg/m³ de madeira tratada para creosoto. Foi também

recomendado o CA-B, um novo preservativo hidrossolúvel à base de cobre e azole, estabelecendo os índices de retenção de 1,7 e 3,3 kg/m³ de madeira tratável para uso em peças suspensas e em contato com o solo, respectivamente. Para todos os preservativos listados foi estabelecida uma penetração de 100% do alburno (ABNT, 2009, p. 10).

2.5. Arseniato de cobre cromatado (CCA)

O arseniato de cobre cromatado, conhecido mundialmente como CCA, é um dos preservativos mais eficientes para o tratamento preservativo da madeira, protegendo-a de insetos, fungos apodrecedores e brocas marinhas, além de permitir o seu uso em situações mais agressivas, como em contato com o solo e a umidade. O CCA é um preservativo hidrossolúvel constituído de cobre, cromo e arsênio. O cobre tem ação fungicida, o arsênio tem ação inseticida e o cromo age como fixador desses elementos na madeira. Segundo Hartford (1973, p. 34-36) e Lebow (2010, p. 15-5), o CCA foi listado nos Standards da AWPA com três formulações distintas, tipos A, B e C, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Formulações de arseniato de cobre cromatado (CCA), de acordo com as especificações do Standard P5-06 da AWPA (2006)

Tipos	Ingredientes Ativos (base óxido)		
	CrO ₃	Cuo	As ₂ O ₅
A	65,5	18,1	16,4
B	35,3	19,6	45,1
C	47,5	18,5	34,0

Fonte: Standard P5-06 da AWPA, 2006, p. 111-116.

O CCA, tipo A, foi proposto à AWPA em 1949 e aceito em 1953, cuja formulação apresenta alta concentração de cromo; o tipo B foi apresentado e aceito pela AWPA em 1963 e 1964, respectivamente, mostrando possuir maior concentração de arsênio; o tipo C foi proposto à AWPA em 1968 e teve a publicação do seu primeiro Standard em 1969, apresentando porcentagens intermediárias de ingredientes ativos entre os tipos A e B (HARTFORD, 1973, p. 34-36). O tipo C foi considerado o mais eficiente no controle de xilófagos e também a maior resistência à lixiviação em relação aos outros dois tipos citados (HARTFORD, 1973, p. 36; LEBOW, 2010 p. 15-5). Com isso, a partir do ano de 2007 o Standard P5-07 da AWPA somente fez referência ao CCA tipo C, não sendo mais recomendados os outros dois tipos.

Segundo Montana (2008), o CCA não altera a condutibilidade elétrica da madeira, não contribui para a corrosividade dos metais, confere coloração esverdeada para a madeira e permite acabamentos superficiais, além de revestimentos com adesivos e resinas usadas em compensados e outros painéis. Segundo CSIRO (2008) e Montana (2008), a madeira tratada com CCA apresenta restrições de uso em algumas situações, como forração de criadouros de animais ou em situações que a madeira possa contaminar ou tornar-se componente da alimentação humana ou animal, como recipientes ou silos de armazenamento, colmeias, tábuas de bater carne e pilões para tempero.

Segundo Lebow (2010, p. 15-4; p. 15-6), o CCA foi o produto mais utilizado no mercado de madeira tratada nos Estados Unidos desde o final da década de 1970 até o ano de 2003; a partir de 2004, seu uso se restringiu a fins industriais ou não residenciais. Esse autor mencionou os principais usos da madeira tratada com CCA nos Estados Unidos após essas restrições, que são peças de madeira em contato com água salgada; peças roliças em contato com o solo, água doce ou salgada; postes de telefonia e eletrificação; compensados; componentes de construções de estradas e pontes; cercas; peças roliças, como membros estruturais em cultivos agrícolas; fundações e estruturas de construção civil; cruzetas em postes; peças estruturais de madeira laminada colada; chapas de composição em componentes estruturais. Segundo CSIRO (2008), outros países também apresentam restrições totais ou parciais ao uso de CCA, destacando-se Japão, Indonésia, Suécia, Alemanha e Austrália. As restrições devem-se, principalmente, à presença de arsênio e à preocupação com seus possíveis efeitos nocivos à saúde humana. No Brasil, nenhuma restrição havia sido adotada quanto ao uso de CCA até o ano de 2011. Segundo Tufolo Netto (2010, p. 31), em 2010 o CCA dominou cerca de 90% do mercado de preservativos hidrossolúveis de madeira no Brasil, enquanto os outros 10% eram referentes ao CCB.

A eficiência do CCA está relacionada principalmente à sua fixação na madeira. Kazi e Cooper (2000, p. 354-355), citando outros autores, relataram que durante a fixação do CCA na madeira o cobre, cromo e arsênio reagem entre si e com os componentes da madeira, em diferentes estágios. O cobre e o arsênio tendem a se fixar mais rapidamente na madeira, e o cromo tem fixação mais lenta. Durante todo o processo, ocorre uma série de reações paralelas e sequenciais. Kazi e Cooper (2000, p. 354-355) e Kazi *et al.* (2000, p. 442-443) classificam as reações de fixação do CCA em iniciais e principais. As reações iniciais são muito rápidas, sendo finalizadas quando

a madeira ainda se encontra no cilindro da autoclave. Esse estágio de reação é caracterizado pelo rápido aumento de pH, juntamente com a fixação do cobre na madeira. Há também uma adsorção temporária do cromo (VI) na madeira, bem como sua redução por açúcares e extrativos de baixo peso molecular. Avaliando as reações de fixação de CCA, tipo C, na madeira de *Pinus resinosa*, os referidos autores observaram que, nessa etapa inicial, há uma fixação de cerca de 47% do produto na madeira, e na etapa principal de fixação de CCA na madeira ocorre um novo aumento do pH e redução no cromo (VI) em (III). Esses mesmos autores ainda relataram que alguns pesquisadores reconhecem a existência de reações de terceira ordem, em que os componentes do CCA, precipitados ou adsorvidos, reagem e se fixam na madeira, através de reações mais lentas.

As reações de redução do cromo (VI) para o cromo (III) são responsáveis pela baixa lixiviação do CCA e, conseqüentemente, pela maior vida útil da madeira tratada contra a biodeterioração por fungos e insetos xilófagos (COOPER *et al.*, 2004, p. 56). Depois de fixado na madeira, o CCA tende a apresentar alta resistência à lixiviação, garantindo maior eficiência, durabilidade e vida útil à madeira tratada. Estudos sobre a eficiência da sua fixação na madeira, bem como sua baixa lixiviação, foram verificados por Cooper *et al.* (2001, p. 58-62), Freitas (2002, p. 33-50) e Cooper *et al.* (2004, p. 56-58); entretanto, existem na literatura registros sobre alta lixiviação do CCA, conforme Lebow e Foster (2005, p. 62-71) e Venkatasamy (2005).

A velocidade de fixação do CCA na madeira pode ser influenciada pela massa específica, diferentes espécies, cerne e alborno, lenho inicial e tardio, teor de extrativos, temperatura, concentração da solução preservativa, retenção do produto, entre outros (KAZI *et al.*, 2000, p. 442-449; STEVANOVIC-JANEZIC *et al.* 2000, p. 577-584; COOPER, 2001, p. 90-93; GUO *et al.* 2002, p. 77-80; RADIVOJEVIC; COOPER, 2007, p. 591-602; RADIVOJEVIC; COOPER, 2010, p. 269-282). Estudos com madeiras nativas do Hemisfério Norte, tratadas com CCA, mostraram que, em geral, madeiras mais densas (STEVANOVIC-JANEZIC *et al.* 2000, p.577-584) ou tratadas com soluções menos concentradas (KAZI *et al.*, 2000, p. 442-449) tenderam a apresentar maior velocidade de fixação do CCA. Guo *et al.* (2002, p. 77-80), avaliando a madeira de douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), southern pine (*Pinus spp.*) and eastern larch (*Larix laricina*), verificaram que a fixação de CCA ocorreu mais rapidamente no lenho tardio e no cerne. Guo *et al.* (2002) e Radivojevic e Cooper

(2007, p. 591-602; 2010, p. 269-282) constataram diferentes velocidades de fixação de CCA na madeira de diferentes espécies.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As madeiras avaliadas neste trabalho foram oriundas de plantios comerciais de espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. provenientes da empresa Aperam Bioenergia Ltda., localizada no município de Itamarandiba, região Nordeste do Estado de Minas Gerais. A região apresenta precipitação média anual de 1.156,75 mm, temperatura média anual de 20,76 °C, umidade relativa do ar média anual de 68,43%. Sua localização pode ser vista na Figura 1.

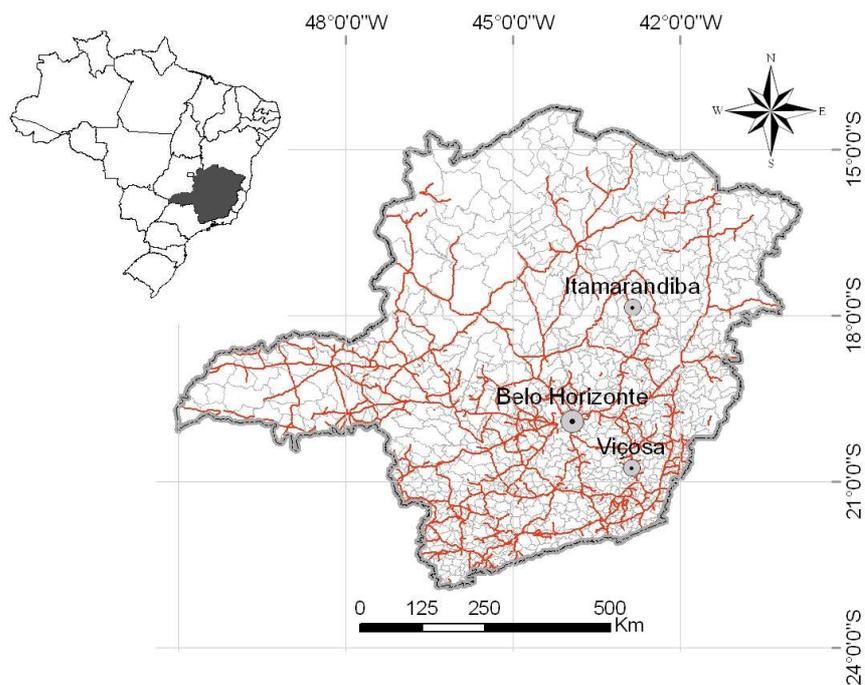


Figura 1 – Localização do município de Itamarandiba no Estado de Minas Gerais.

Avaliaram-se quatro espécies/híbridos de *Eucalyptus* spp., sendo duas espécies propagadas por sementes – *Eucalyptus citriodora* Hook. [*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. Johnson] e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell – e dois híbridos clonais – *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e um híbrido natural de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com origem paternal desconhecida. Os dados referentes ao plantio das árvores podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados referentes aos plantios das espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp.¹

Espécie/Híbrido	Idade (meses)	Altitude (m)	Latitude UTM	Longitude UTM	Espaçamento do Plantio (m)	IMA ² (m ³ /ha)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	68	928	8041944	734805	3,00 x 2,00	-
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	68	919	8041779	734321	3,00 x 2,80	17,7
Híbrido <i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	70	983	8025531	720170	3,00 x 2,80	34,2
Híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i>	67	983	8024516	719978	3,00 x 2,80	40,44

¹ Dados fornecidos pela Aperam Bioenergia Ltda.

² Incremento médio anual. Não havia registro do IMA para o plantio de *Eucalyptus citriodora*.

De cada espécie e híbrido de eucalipto foram selecionadas, aleatoriamente, 36 árvores, através de amostragem casual simples, com exceção das árvores situadas nas bordaduras dos plantios. Após a seleção, as árvores foram colhidas e descascadas, utilizando-se a seção correspondente às três primeiras toras, a partir da base; tal seção foi seccionada em três toras, cada uma delas com 3 m de comprimento. No total, utilizaram-se 432 toras, correspondentes a quatro espécies/híbridos, 36 árvores por espécie/híbrido e três toras por árvore. Posteriormente, as toras foram identificadas individualmente e transportadas para o Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Minas Gerais. Com o auxílio de uma motosserra, retirou-se um disco de madeira, com 3 cm de espessura a 30 cm da base de cada tora, que foram utilizados para a caracterização tecnológica da madeira: relação cerne-alburno, massa específica básica, teor de umidade e propriedades anatômicas.

3.1. Caracterização tecnológica da madeira

3.1.1. Porcentagens e relação cerne-alburno

Para a avaliação da relação cerne-alburno, em cada disco mediram-se o diâmetro e a espessura do alburno, com o auxílio de uma régua de alumínio com precisão de 0,1 cm. A partir dessas dimensões, estimaram-se a espessura de alburno, a porcentagem de alburno e de cerne e a relação cerne-alburno.

3.1.2. Massa específica básica e teor de umidade

Para determinação da massa específica básica da madeira, retiraram-se duas cunhas, diametralmente opostas, de cada disco, cada uma com área correspondente a 1/6 do disco, num total de 864 cunhas. A massa específica básica de cada disco foi estimada pela média aritmética dos resultados. Para determinação da massa específica básica da região exclusiva do alburno, retirou-se uma amostra com dimensões de 2,0 x 1,0 x 3,0, correspondendo aos sentidos tangencial, radial e axial, respectivamente. Os procedimentos foram realizados de acordo com a Norma NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 48-49) e Vital (1984, p. 16-18).

3.1.3. Propriedades anatômicas da seção do alburno

3.1.3.1. Mensuração das dimensões das fibras e dos parâmetros relacionados aos vasos e raios

Para caracterização das propriedades anatômicas da madeira do alburno, avaliaram-se as dimensões das fibras (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede), os parâmetros relacionados aos vasos (diâmetro do lume, frequência e área ocupada por vasos) e aqueles referentes aos raios (largura, altura e frequência). Para isso, selecionaram-se quatro árvores de cada espécie/híbrido, com as três primeiras toras de cada árvore. De cada tora, retirou-se um disco, com 3 cm de espessura a 30 cm da base. As amostras foram retiradas exclusivamente da seção do alburno, com dimensões de 1,5 x 2,0 x 3,0 cm, correspondente aos sentidos tangencial, radial e axial, respectivamente. Ao todo foram retiradas 48 amostras de madeira para caracterização anatômica, correspondendo a quatro espécies/híbridos de *Eucalyptus* spp., quatro árvores por espécie/híbrido e três toras por árvore.

Para medição das dimensões das fibras, retirou-se uma fina camada de madeira ao longo do sentido radial de cada amostra, com cerca de 2 cm de comprimento e 3 mm de espessura, que foi posteriormente transformada em palitos. O processo de maceração foi realizado segundo o método preconizado por Dadswell (1972). Em seguida, montaram-se lâminas temporárias, que foram levadas a um microscópio acoplado a um computador, onde se realizaram as medições das dimensões das fibras. As medições foram realizadas através do software Axio-Vision, em que foram medidos, individualmente, o comprimento, largura e diâmetro do lume de 30 fibras individuais por amostra. A espessura da parede foi estimada pela metade da diferença entre a largura e o diâmetro do lume das fibras.

As lâminas permanentes, contendo os três planos anatômicos de observação, foram realizadas segundo a metodologia utilizada por Evangelista (2007, p. 35-36). Para avaliação dos parâmetros relacionados aos vasos, realizou-se a captura de cinco imagens digitais diferentes do plano transversal de cada lâmina permanente. Em cada imagem, mediu-se o diâmetro do lume de 10 vasos, totalizando 50 vasos para cada lâmina; em seguida, contou-se a frequência dos vasos por milímetro quadrado, através do software Axio-vision, totalizando cinco observações por lâmina. Também foi estimada a área ocupada pelos vasos, através do software MatLab, que preenchia o lume dos vasos de cinco imagens digitais diferentes por lâmina, obtendo-se a estimativa da área ocupada por vasos, em porcentagem. As etapas de preenchimento do lume dos vasos pelo programa podem ser vistas na Figura 1B (Apêndice B).

Para medição dos raios, obtiveram-se cinco imagens do plano longitudinal tangencial, de cada lâmina permanente, através do software Axio-vision. Em cada imagem, foram medidos diâmetro e altura de dez raios diferentes, totalizando 50 medições por lâmina permanente. Para medição da frequência dos raios, traçou-se uma linha perpendicular ao sentido das fibras, com 1 mm de comprimento, em cada imagem digital, e contou-se o número de raios que se apresentavam dentro da linha tracejada. Para cada imagem digital, contou-se a frequência dos raios em duas regiões diferentes, totalizando dez medições por lâmina permanente.

A medição das dimensões das fibras e dos parâmetros relacionados aos vasos e raios foi realizada, de acordo com as recomendações da Iawa Committee (1989, p. 219-332), com algumas adaptações.

3.1.3.2. Descrição anatômica qualitativa

A descrição anatômica qualitativa foi realizada em nível microscópico. Descreveu-se a organização dos vasos, parênquima axial, raios, fibras e anéis de crescimento, de acordo com as recomendações da Iawa Committee (1989, p. 219-332).

Amostras representativas da madeira sólida e lâminas histológicas permanentes da madeira de cada espécie e híbrido de *Eucalyptus* sp. foram depositadas na Xiloteca Dr. Calvino Mainieri, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. A madeira foi depositada na forma de disco, contendo alburno, cerne e medula, além das lâminas permanentes. Cada lâmina continha dois cortes anatômicos de cada plano de observação, sendo um deles corado com safranina e o outro sem coloração. As madeiras das espécies *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana*, bem como dos híbridos *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla*, foram depositadas com os registros BCTw 879.0, BCTw 880.0, BCTw 881.0 e BCTw 882.0, respectivamente.

3.2. Tratamento preservativo da madeira

3.2.1. Preparação dos moirões

Para o tratamento preservativo, utilizou-se a porção correspondente a 2,20 m, a partir do ápice, da tora original de 3 m de comprimento. Os moirões foram empilhados em um pátio, pertencente ao LPM, para secagem da madeira ao ar livre até atingirem teor de umidade da região tratável inferior a 35%, conforme recomendações da primeira versão da Norma NBR 9480 (ABNT, 1986, p. 6).

Durante a secagem dos moirões, registrou-se um ataque de insetos e fungos xilófagos, exclusivamente na madeira de *Eucalyptus citriodora*, o que necessitou de tratamento curativo, através de fumigação. Para essa finalidade, todas as pilhas foram cobertas com uma lona por um período de 14 dias, sendo introduzidas no seu interior pastilhas à base de fosfeto de alumínio. Justificou-se o tratamento curativo da madeira de todas as espécies e híbridos e não apenas dos moirões de *Eucalyptus citriodora*, para que não fosse introduzida nenhuma nova fonte de variação entre as madeiras estudadas. O tratamento curativo foi satisfatório, causando a morte dos organismos xilófagos, devido ao efeito letal do produto químico, à alta temperatura e à falta de oxigenação interna nas pilhas.

3.2.2. Tratamento preservativo

Após a secagem dos moirões, realizou-se o tratamento preservativo da madeira em uma autoclave industrial, com 3 m de comprimento e 0,80 m de diâmetro, com capacidade para tratamento preservativo de 0,75 m³ de madeira. Para o tratamento preservativo, utilizou-se o arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C). O produto foi fornecido pela Montana Química S.A., sob a marca comercial Osmose K33C, com 60 ± 1% de ingredientes ativos, base óxido. A proporção dos ingredientes ativos do produto utilizado foi de 47,5% de CrO₃, 18,5% de CuO e 34% de As₂O₅, conforme recomendação dos “Standards” P5-09 e P23-08 da AWWA (2010).

Para o estudo da penetração e retenção de CCA na madeira, foram realizados 36 tratamentos, correspondendo ao uso de quatro espécies/híbridos, três concentrações de princípio ativo de CCA (1,5; 2,0; e 2,5%) e três tempos de pressão em autoclave (60, 90 e 120 min). O esquema fatorial utilizado pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Esquema fatorial utilizado para o tratamento preservativo dos moirões das espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp.

Tempo de pressão (minutos)	Concentração do Princípio Ativo (%)		
	1,5	2,0	2,5
60	R ₁ *	R ₁	R ₁
	R ₂	R ₂	R ₂
	R ₃	R ₃	R ₃
	R ₄	R ₄	R ₄
90	R ₁	R ₁	R ₁
	R ₂	R ₂	R ₂
	R ₃	R ₃	R ₃
	R ₄	R ₄	R ₄
120	R ₁	R ₁	R ₁
	R ₂	R ₂	R ₂
	R ₃	R ₃	R ₃
	R ₄	R ₄	R ₄

* R = repetição.

O tratamento preservativo foi realizado através do processo de célula cheia (Bethell). As etapas do processo envolveram carregamento dos moirões no cilindro da autoclave, aplicação de vácuo inicial a 560 mmHg por 30 min, enchimento com a solução preservativa, aplicação de pressão de 12,5 kgf/cm², esvaziamento, vácuo final a 560 mmHg por 10 min e descarregamento dos moirões. Esquema representativo do processo utilizado, considerando o tempo de pressão em autoclave de 90 min, pode ser visto na Figura 2.

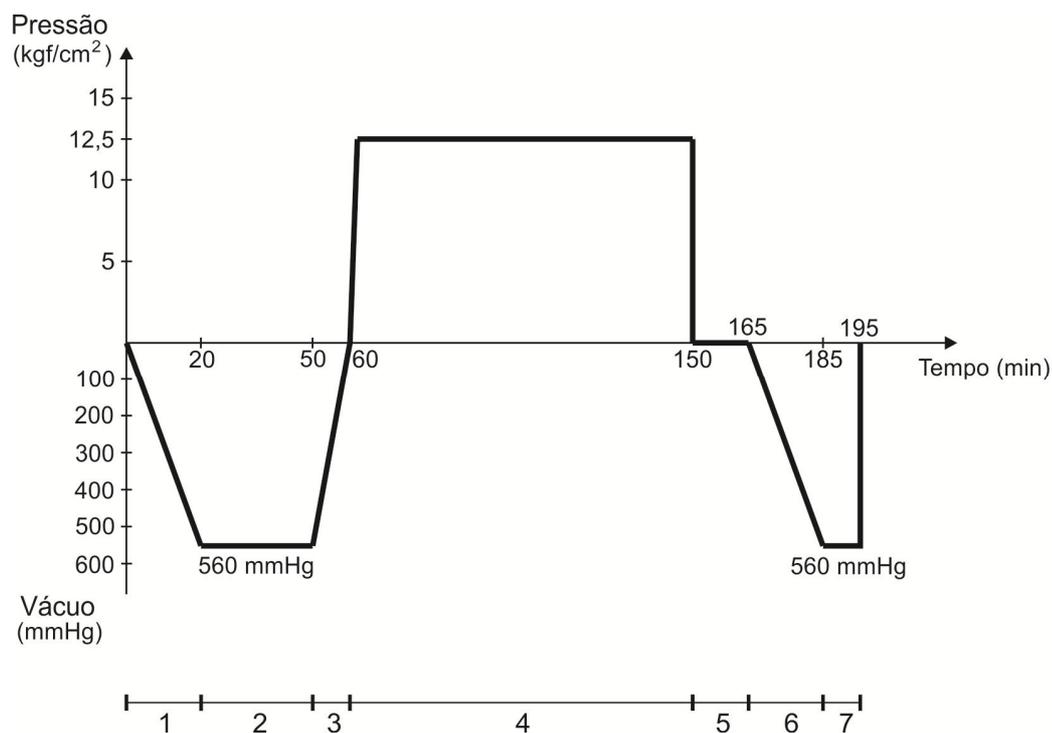


Figura 2 – Etapas do tratamento preservativo utilizado. 1 = acionamento e estabilização da bomba de vácuo; 2 = vácuo inicial de 30 min; 3 = inundação da autoclave com a solução preservativa; 4 = fase de pressão; 5 = esvaziamento da autoclave com a solução preservativa; 6 = acionamento e estabilização da bomba de vácuo; e 7 = vácuo final de 10 min.

Em cada tratamento preservativo foram colocados três moirões de cada espécie/híbrido, correspondendo às três posições longitudinais, ou seja, base (primeira tora), região intermediária (segunda tora) e terceira tora. No total foram utilizados 12 moirões, correspondentes a quatro espécies/híbridos e três posições na árvore. Os moirões utilizados em cada tratamento, de cada espécie/híbrido, bem como suas respectivas posições longitudinais, foram sempre oriundos de árvores diferentes. Em cada tratamento preservativo, considerou-se apenas o valor médio obtido da retenção e penetração das três toras, de cada espécie e híbrido, desconsiderando o efeito da posição longitudinal. Os resultados de testes preliminares evidenciaram que não havia diferenças na penetração e retenção entre as toras de cada árvore, ao longo da direção longitudinal. Com base nessa premissa, os três moirões de cada espécie/híbrido, correspondentes às três posições longitudinais, foram considerados como réplicas. Com isso, foram consideradas 144 observações, provenientes de 36 tratamentos e quatro repetições por tratamento.

Após cada tratamento preservativo, os moirões foram armazenados em local protegido de umidade e sem contato direto com o solo, permitindo as reações de fixação primária do produto na madeira.

3.2.3. Retenção de CCA tipo C na madeira

Para determinação da retenção, foram utilizadas duas metodologias: a) através da diferença de massa; e b) por análise química, determinada por espectrometria de raios X.

Para determinação da retenção de CCA por diferença de massa, determinou-se a massa de cada moirão, no início e no final do tratamento, através de uma balança de precisão com capacidade para até 50 kg e com precisão de 0,01 kg. Em cada moirão foram também determinados o diâmetro e volume de madeira.

A retenção por diferença de massa foi estimada através da seguinte equação:

$$ret_{CCA} = \frac{(p_i - p_f)}{v_{rt}} \times \frac{C_{CCA}}{100}$$

em que

ret_{CCA} = retenção de CCA, em kg, por m³ de madeira tratada;

p_i = peso inicial da tora, em kg;

p_f = peso final da tora, após o tratamento preservativo, em kg;

C_{CCA} = concentração de princípio ativo da solução preservativa de CCA, em %; e

v_{rt} = volume de madeira tratável, em m³.

Considerou-se o volume de madeira tratável como o volume de alburno na madeira. A concentração de princípio ativo da solução de CCA foi determinada através do somatório das concentrações de princípio ativo dos elementos cobre, cromo e arsênio, em base óxida. A avaliação das concentrações do princípio ativo das soluções foi determinada pela empresa Montana Química S.A, sediada na cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, cujos resultados podem ser vistos nos Relatórios C1 a C3 do Apêndice C. Todas as soluções de CCA apresentaram balanceamento químico dos elementos e pH, de acordo com os limites estabelecidos pelo Standard P23-08 da AWPA (2010, p. 131-132).

Para avaliação da retenção de CCA por espectrometria de raios X, retirou-se uma amostra de madeira, de cada uma das peças tratadas, com 60 cm de comprimento a

partir da base. Dessa seção, retiraram-se cinco baguetas de formato cilíndrico na direção perpendicular às fibras, na altura de 50 cm da sua base. As baguetas foram retiradas com o auxílio de uma broca extratora, acoplada a uma furadeira de bancada, sob rotação de 3.000 RPM. A broca extratora especial continha uma câmara de extração interna, com cerca de 53 mm de comprimento e diâmetro interno de aproximadamente 13 mm, de fabricação e distribuição exclusivas da Montana Química S.A. As baguetas retiradas continham madeira de alburno (madeira tratada) e madeira de cerne (madeira não tratada), que foram devidamente identificadas e separadas com o auxílio de uma faca. Determinou-se, em seguida, a massa específica aparente, a 0% de umidade, apenas da região tratada. Para tanto, as baguetas foram lixadas nas extremidades, com o auxílio de uma lixadeira de disco, com lixa grã 40, de maneira a corrigir as imperfeições e apresentar um formato próximo a um cilindro circular reto. Após o lixamento, as baguetas foram colocadas numa estufa de ventilação forçada e controle automático da temperatura, a 103 ± 2 °C, até atingir massa constante. Registrou-se a massa seca das baguetas, a 0% de umidade, numa balança eletrônica com precisão de 0,01 g. O volume de massa seca, a 0% de umidade, foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. A massa específica aparente das baguetas de madeira tratada, a 0% de umidade, foi determinada pela relação entre a massa e o volume de massa absolutamente seca.

Após a determinação da massa específica aparente a 0% de umidade, as baguetas foram colocadas em um moinho de facas tipo Willey, e a serragem foi peneirada em uma peneira tipo Mesh 35, recolhendo-se toda a serragem que passava por essa peneira. Em seguida, a serragem foi seca em estufa a 103 ± 2 °C, por cerca de 2 h. Posteriormente, a serragem foi colocada numa cubeta, tampada com plástico parafilme especial, e levada a um espectrômetro de fluorescência de raios X marca Shimadzu EDX-720, onde foram realizadas as leituras, em porcentagem, da retenção dos elementos cobre, cromo e arsênio na madeira. O espectrômetro de raios X realizou três vezes a determinação dos elementos cobre, cromo e arsênio em cada amostra individual, resultando em um valor médio das medições de cada elemento. A retenção de CCA foi determinada pelo somatório das retenções desses três elementos. As análises de retenção por espectrometria de raios X foram realizadas na empresa Montana Química S.A., de acordo com Standard A9-08 da AWWA (2010, p. 234-237).

3.2.4. Penetração de CCA na madeira

A seção remanescente, de onde se retiraram as baguetas para as análises de retenção do CCA, foi utilizada para avaliação da penetração do produto preservativo. Tal avaliação, denominada qualitativa, foi feita por meio de reações colorimétricas, através da detecção de cobre na madeira tratada, com o uso de uma solução de cromoazurol-S. Para preparação dessa solução, dissolveu-se 0,5 g de cromoazurol-S concentrado e 5,0 g de acetato de sódio em 80 mL de água destilada, em um béquer, diluindo, posteriormente, para 300 mL, de acordo com o Standard A3-08 da AWWA (2010, p. 199-204). Em seguida, a solução foi aplicada diretamente sobre a superfície transversal da madeira, com o auxílio de um pincel. A madeira tratada apresentava coloração azul-escura, enquanto a madeira não tratada, coloração avermelhada. Após a secagem da solução na seção transversal, fez-se a avaliação da penetração de CCA, conforme as recomendações da Norma NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10) e de uma metodologia alternativa descrita pela Montana Química (2008).

A NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10) preconiza o tratamento de 100% do alburno, considerando tão somente a presença ou ausência de produtos. Montana Química (2008) enfatizou a distribuição do produto preservativo na madeira, classificando-a em profunda, parcial, regular e irregular, conforme descrição a seguir:

- Profunda e regular: indica a penetração total ou profunda e uniforme em toda a extensão do alburno.

- Profunda e irregular: indica a penetração total ou profunda, mas desuniforme em toda a extensão do alburno. Nesse caso, há regiões do alburno sem penetração do preservativo.

- Parcial e regular: indica a penetração uniforme, mas não total pela extensão do alburno.

- Parcial e irregular: indica a penetração desuniforme e não total pela extensão do alburno.

Neste trabalho, avaliou-se, também, quantitativamente, a penetração do produto na madeira, através da penetração na sua seção transversal e da área tratada com CCA. Essas avaliações foram realizadas na superfície transversal da parte superior das seções com 60 cm de comprimento, onde se avaliou, qualitativamente, a penetração do produto preservativo.

Para tanto, mediu-se a penetração do produto, indicada pela reação do cromozol-S, na seção transversal. As medições foram realizadas com o auxílio de uma régua de alumínio com precisão de 0,01 cm, em toda a região tratada no sentido casca-medula. Essas medições foram realizadas em quatro pontos diferentes da seção transversal de cada amostra. A partir dessas medições, estimaram-se a penetração média do produto na seção transversal e a área tratada na madeira.

3.3. Análise estatística dos dados

Para análise dos dados, procedeu-se a diferentes análises estatísticas. Para determinação das diferenças das propriedades anatômicas, massa específica básica, teor de umidade e relação cerne-alburno, entre as espécies e híbridos, utilizou-se o teste t de Student para amostras independentes, com 5% de significância, considerando o efeito da espécie/híbrido e da interação espécie/híbrido x posição longitudinal (primeira, segunda e terceira toras).

Para determinação das diferenças de retenção, penetração na seção transversal e área tratada com CCA, entre os tratamentos, procedeu-se à análise de variância, com 5% de significância, considerando os efeitos da espécie/híbrido, concentração de princípio ativo, tempo de pressão e interação entre esses fatores. Na análise de variância foram consideradas 144 observações, correspondendo a 36 tratamentos e quatro repetições por tratamento. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = m + t_i + e_{ij}$$

em que

Y_{ij} = valor estimado para a variável resposta, obtido para o i -ésimo tratamento em sua j -ésima repetição;

m = média de todos os valores possíveis da variável resposta;

t = efeito do tratamento i no valor observado Y_{ij} ; e

e_{ij} = erro experimental associado ao valor observado Y_{ij} .

Quando a ANOVA mostrava diferença significativa entre os tratamentos, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância, para determinação das diferenças dentro de um fator (espécie/híbrido, concentração de princípio ativo e tempo de pressão) ou interação entre eles.

Para comparação entre os valores de retenção de CCA, obtidos por espectrometria de raios X e diferença de massa, utilizou-se o procedimento descrito por Leite e Oliveira (2002, p. 1105-1118), através da combinação do teste F, modificado por Graybill (1976)⁴, teste t para o erro médio e análise do coeficiente de correlação linear. Com base nessas estatísticas, esses autores propuseram uma regra de decisão para o teste de hipótese de identidade entre dois grupos de dados quantitativos.

Considerando Y_1 e Y_j como dois vetores de dados quantitativos, em que j indica as estimativas obtidas pelo método alternativo (retenção por diferença de massa) e 1, os valores reais, obtidos pela metodologia-padrão (retenção por espectrometria de raios X), normalmente distribuídos com média 0 e variância s^2 , representados por:

$$Y_1 = \begin{bmatrix} 1 & Y_{11} \\ 1 & Y_{12} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Y_{1n} \end{bmatrix} \text{ e } Y_j = \begin{bmatrix} Y_{j1} \\ Y_{j2} \\ \vdots \\ Y_{jn} \end{bmatrix}$$

a relação entre Y_1 e Y_j pode ser, matricialmente, expressa por $Y_j = Y_1\beta + \varepsilon$, em que

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} \text{ e } \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Sob a hipótese de normalidade, o teste F é calculado pela fórmula a seguir:

$$F(H_0) = \frac{(\beta - \theta)'(Y_1'Y_1)(\beta - \theta)}{2QMR} \sim F_\alpha(2, n - 2 \text{ g.l.})$$

em que

$$\beta = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \end{bmatrix}; \theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ e } Y_1'Y_1 = \begin{bmatrix} n & \Sigma Y_1 \\ \Sigma Y_1 & \Sigma Y_1^2 \end{bmatrix}$$

QMR = quadrado médio dos resíduos da regressão $Y_j = \beta_0 + \beta_1 Y_1$; e

n = número de observações.

Considerando $n - 2$ graus de liberdade (g. l.) e um nível de significância de 5%, o teste F é utilizado para testar a hipótese $H_0 : \beta' = [0 \ 1]$. Se $F(H_0) \geq F_{5\%}(2, n - 2 \text{ g. l.})$, a hipótese será rejeitada; no entanto, se $F(H_0) \leq F_{5\%}(2, n - 2 \text{ g.l.})$, a hipótese será aceita, admitindo-se que $Y_1 = Y_j$ em nível α de significância.

⁴ GRAYBILL, F. A. *Theory and application of linear model*. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

O erro médio (\bar{e}) é calculado pela expressão $\bar{e} = \Sigma[(Y_{ji} - Y_{li}) / Y_{li}] / n$. Considerando que os erros $e_i = (Y_{ji} - Y_{li}) / Y_{li}$ apresentam distribuição normal, a hipótese $H_0: \bar{e} = 0$ versus $H_a: \bar{e} \neq 0$ é testada através da estatística t, expressa pela fórmula a seguir:

$$t_{\bar{e}} = \frac{\bar{e} - 0}{S_{\bar{e}}}$$

em que

$$S_{\bar{e}} = \frac{S_e}{\sqrt{n}}$$
 com n - 1 graus de liberdade.

Se $t_{\bar{e}} \geq t_{5\%}(n - 1)$, a hipótese H_0 será rejeitada; entretanto, se $t_{\bar{e}} \leq t_{5\%}(n - 1)$, a hipótese H_0 será aceita.

A análise do coeficiente de correlação linear ($r_{y_j y_l}$) entre as duas metodologias é realizado a partir da sua comparação com $(1 - |\bar{e}|)$. De acordo com Leite e Oliveira (2002, p. 1105-1118), a tomada de decisão sobre a equivalência de uma metodologia-padrão (Y_1) e alternativa (Y_j), pode ser realizada a partir da Tabela 5.

Tabela 5 – Regras de decisão na comparação entre as duas metodologias de análise de retenção de CCA tipo C na madeira

Situação	F(H ₀)	$t_{\bar{e}}$	$r_{y_j y_l}$	Decisão
1	ns ¹	ns	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 = Y_j$
2	ns	ns	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
3	ns	*	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
4	ns	*	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
5	*	ns	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
6	*	ns	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
7	*	*	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$
8	*	*	$r_{y_j y_l} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_1 \neq Y_j$

¹ ns: não significativo; e * significativo.

Para a aplicação do procedimento proposto por Leite e Oliveira (2002, p. 1105-1118), compararam-se os 36 tratamentos utilizados neste trabalho, entre as duas metodologias utilizadas.

Para avaliação das correlações entre as propriedades da madeira e a retenção e penetração de CCA na madeira, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de significância.

Todas as análises foram realizadas em planilhas do Excel e no *software* Statistica 7.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dimensões dos moirões e relação cerne-alburno da madeira

Os valores médios do diâmetro e volume dos moirões, bem como da espessura, porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira das espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp., estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios de 108 observações do diâmetro (cm) e volume dos moirões (m³), bem como da espessura (cm) e porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira das espécies e híbridos estudados

Parâmetro Avaliado	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Diâmetro (cm)	8,3 c ^{1/} (1,6) (19,69) ^{2/}	10,2 b (1,5) (15,14)	13,1 a (1,4) (10,44)	13,1 a (1,1) (8,59)
Volume (m ³)	0,0122 c (0,0046) (37,38)	0,0183 b (0,0055) (30,14)	0,0297 a (0,0061) (20,51)	0,0300 a (0,0052) (17,18)
Espessura do alburno (cm)	3,1 a (0,7) (21,39)	2,2 b (0,4) (17,54)	1,8 d (0,2) (9,04)	2,0 c (0,1) (6,74)
Alburno (%)	86,50 a (12,97) (15,00)	65,66 b (10,69) (16,28)	44,90 d (4,56) (10,15)	50,29 c (3,75) (7,45)
Cerne (%)	13,50 d (12,97) (96,07)	34,34 c (10,69) (31,12)	55,10 a (4,56) (8,27)	49,71 b (3,75) (7,54)
Relação cerne-alburno	0,18 d (0,19) (105,52)	0,56 c (0,26) (46,57)	1,25 a (0,22) (17,83)	1,00 b (0,15) (15,17)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Entre as espécies e híbridos estudados, o *Eucalyptus citriodora* apresentou a maior espessura e porcentagem de alburno e a menor porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira e o menor diâmetro e volume dos moirões. A madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, por sua vez, apresentou a menor espessura e porcentagem de alburno, maior porcentagem de cerne e relação cerne-alburno. Os dois híbridos apresentaram o mesmo diâmetro médio dos moirões, enquanto o híbrido de *Eucalyptus urophylla*, o maior volume de madeira, apesar de o valor médio observado nesse híbrido ser muito próximo ao verificado no híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*.

Em geral, as maiores espessuras e porcentagem de alburno e as menores porcentagens de cerne e relação cerne-alburno foram observadas na madeira das espécies, ou seja, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana*. Em todos os parâmetros avaliados houve diferença significativa entre todas as espécies e híbridos, exceto no diâmetro e volume de madeira dos moirões, em que não houve diferença significativa entre os dois híbridos.

Analisando o desvio-padrão e coeficiente de variação, observou-se maior variação nas madeiras das espécies de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana*, principalmente para a porcentagem de cerne e relação cerne-alburno. Tamanha variabilidade se deveu, provavelmente, ao meio de propagação por sementes; em regra, as árvores assim propagadas apresentam grande heterogeneidade nos seus indivíduos e nas propriedades das madeiras, em comparação com as árvores oriundas de clones.

Os valores médios do diâmetro e volume dos moirões, bem como da espessura e porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira, por tora, podem ser vistos na Tabela 7.

Em todas as espécies e híbridos, verificou-se aumento da porcentagem de alburno e diminuição do diâmetro e volume dos moirões, bem como da porcentagem de cerne e relação cerne-alburno, na direção longitudinal. Os dois híbridos apresentaram valores similares de diâmetro e volume dos moirões e também valores médios mais altos em relação aos observados nas duas espécies. A madeira de *Eucalyptus citriodora* apresentou alta porcentagem de alburno, chegando próximo de 100% na terceira tora. A madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresentou a maior porcentagem de cerne e relação cerne-alburno, notadamente na primeira tora. Com relação à variação da espessura do alburno, observou-se, na direção longitudinal, aumento no sentido base-topo, na madeira de *Eucalyptus citriodora*; nas demais

Tabela 7 – Valores médios de 36 observações do diâmetro (cm) e volume dos moirões (m³), bem como da espessura (cm) e porcentagem de alburno, porcentagem de cerne e relação cerne-alburno da madeira, por tora, das espécies e híbridos estudados

Parâmetro Avaliado	Tora	Espécies		Híbridos	
		<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Diâmetro (cm)	Primeira	9,9 cA ^{1/} (1,0) (9,81) ^{2/}	11,9 bA (0,8) (6,65)	14,5 aA (0,8) (5,34)	14,3 aA (0,6) (4,39)
	Segunda	8,3 cB (0,9) (10,53)	10,2 bB (0,7) (6,94)	13,1 aB (0,7) (5,37)	13,2 aB (0,7) (5,00)
	Terceira	6,6 dC (0,8) (12,39)	8,5 cC (0,6) (7,60)	11,7 bC (0,7) (5,64)	11,9 aC (0,5) (4,25)
Volume (m ³)	Primeira	0,0170 cA (0,0033) (19,18)	0,0244 bA (0,0033) (13,40)	0,0361 aA (0,0037) (10,37)	0,0352 aA (0,0031) (8,74)
	Segunda	0,0119 cB (0,0024) (20,55)	0,0179 bB (0,0025) (14,05)	0,0296 aB (0,0032) (10,81)	0,0302 aB (0,0031) (10,17)
	Terceira	0,0077 dC (0,0019) (24,73)	0,0125 cC (0,0019) (15,13)	0,0234 bC (0,0027) (11,37)	0,0246 aC (0,0021) (8,59)
Espessura do alburno (cm)	Primeira	2,7 aB (0,5) (16,83)	2,2 bA (0,4) (16,09)	1,8 dA (0,2) (9,20)	2,0 cA (0,2) (7,85)
	Segunda	3,1 aA (0,8) (25,66)	2,3 bA (0,3) (15,28)	1,7 dB (0,1) (7,78)	2,0 cA (0,1) (5,68)
	Terceira	3,3 aA (0,5) (15,27)	2,2 bA (0,5) (21,21)	1,8 dA (0,1) (8,34)	2,0 cA (0,1) (6,67)
Alburno (%)	Primeira	73,46 aC (7,99) (10,88)	57,46 bC (7,39) (12,86)	41,00 dC (3,13) (7,63)	46,49 cC (2,41) (5,19)
	Segunda	88,29 aB (10,90) (12,35)	66,86 bB (8,27) (12,37)	43,78 dB (1,91) (4,36)	50,61 cB (2,07) (4,09)
	Terceira	97,73 aA (4,90) (5,01)	72,64 bA (10,27) (14,14)	49,93 dA (2,67) (5,35)	53,78 cA (2,31) (4,30)
Cerne (%)	Primeira	26,54 dA (7,99) (30,12)	42,54 cA (7,39) (17,37)	59,00 aA (3,13) (5,30)	53,51 bA (2,41) (4,51)
	Segunda	11,71 dB (10,90) (93,07)	33,14 cB (8,27) (24,95)	56,22 aB (1,91) (3,40)	49,39 bB (2,07) (4,20)
	Terceira	2,27 dC (4,90) (216,07)	27,36 cC (10,27) (37,55)	50,07 aC (2,67) (5,34)	46,22 bC (2,31) (5,00)
Relação cerne-alburno	Primeira	0,38 dA (0,16) (42,01)	0,77 cA (0,25) (32,08)	1,45 aA (0,16) (11,07)	1,16 bA (0,11) (9,36)
	Segunda	0,15 dB (0,15) (99,03)	0,52 cB (0,20) (38,32)	1,29 aB (0,10) (7,93)	0,98 bB (0,08) (8,21)
	Terceira	0,03 dC (0,06) (221,37)	0,40 cC (0,19) (48,29)	1,01 aC (0,11) (11,08)	0,86 bC (0,08) (9,82)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

madeiras, os valores foram próximos entre si, destacando-se a madeira de *Eucalyptus urophylla*, que apresentou valores médios iguais nas três toras.

Todas as espécies e híbridos apresentaram diferenças significativas entre si para os parâmetros avaliados, com exceção do diâmetro e volume dos moirões, em que os dois híbridos não apresentaram diferença significativa na primeira e segunda toras. Diferenças significativas também foram observadas entre as três toras, ao longo da direção longitudinal, em todas as espécies e híbridos, para os seis parâmetros estudados, com exceção da espessura do albarno nas madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla*. Na madeira de *Eucalyptus citriodora*, observou-se diferença significativa entre a primeira e as demais toras, não sendo observada diferença entre a segunda e terceira toras. Na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, não se observou diferença da primeira e terceira toras, mas ambas diferiram significativamente da segunda tora.

As dimensões e porcentagens de albarno e cerne, a relação cerne-albarno na madeira, bem como a tendência de variação observada na direção longitudinal, estão de acordo com aquelas observadas por Oliveira (1997, p. 173-175) em *Eucalyptus* spp. e por Alzate (2004, p. 40-42) em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

4.2. Massa específica básica e teor de umidade

Os valores médios da massa específica básica e do teor de umidade da madeira podem ser vistos na Tabela 8.

A madeira de *Eucalyptus urophylla* apresentou os menores valores médios da massa específica básica e os maiores valores do teor de umidade, enquanto a madeira de *Eucalyptus citriodora* apresentou os maiores valores de massa específica básica e os menores valores do teor de umidade. Em todas as espécies e híbridos estudados, a massa específica básica do albarno foi maior do que a massa específica básica da madeira. Em geral, os maiores valores de massa específica básica e os menores teores de umidade foram sempre observados na madeira das espécies propagadas por sementes. Observou-se, também, baixa variação da massa específica, avaliada pelo desvio-padrão e coeficiente de variação, na madeira das espécies e híbridos estudados.

Os valores médios da massa específica básica e do teor de umidade da madeira, ao longo da direção longitudinal, podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 8 – Valores médios de 108 observações da massa específica básica (g/cm^3) e do teor de umidade (%) da madeira das espécies e híbridos estudados

Parâmetro Avaliado	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Massa específica básica média (g/cm^3)	0,68 a ^{1/} (0,04) (5,48) ^{2/}	0,60 b (0,03) (4,59)	0,54 c (0,02) (3,88)	0,50 d (0,02) (3,51)
Teor de umidade médio (%)	80,51 d (8,05) (10,00)	99,61 c (7,53) (7,56)	105,22 b (8,62) (8,19)	127,53 a (8,43) (6,61)
Massa específica básica do alburno (g/cm^3)	0,70 a (0,04) (5,83)	0,62 b (0,03) (5,37)	0,56 c (0,04) (6,45)	0,53 d (0,03) (4,74)
Teor de umidade do alburno (%)	74,60 d (8,48) (11,37)	92,80 c (8,45) (9,11)	107,82 b (11,11) (10,31)	118,68 a (8,52) (7,18)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Considerando a variação da massa específica básica média e do alburno, ao longo da direção longitudinal, as madeiras das espécies e híbridos apresentaram valores próximos dentro de cada espécie/híbrido estudado. Observou-se, na madeira de *Eucalyptus citriodora*, diminuição da massa específica básica ao longo da direção longitudinal, enquanto na madeira de *Eucalyptus cloeziana* os valores médios foram iguais nas três toras. Na madeira dos dois híbridos, observou-se diminuição da massa específica básica da primeira para a segunda tora, seguida de aumento até a terceira tora. A massa específica básica do alburno foi sempre maior que a massa específica básica média da madeira em todas as toras e em todas as espécies/híbridos.

Com relação ao teor de umidade da madeira, os maiores teores médios de umidade foram sempre observados na segunda tora dos híbridos e de *Eucalyptus cloeziana*. Na madeira de *Eucalyptus citriodora*, o maior teor de umidade foi observado na terceira tora. Os menores valores do teor de umidade médio na madeira foram observados na primeira tora, independentemente da espécie/híbrido. Considerando o teor de umidade do alburno, houve aumento da primeira até a terceira tora nas madeiras das espécies; nos híbridos, houve aumento da primeira até a segunda tora, diminuindo da segunda até a terceira tora. Na madeira das duas espécies e do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, o teor de umidade médio da madeira foi sempre maior que o teor de umidade

Tabela 9 – Valores médios de 36 observações da massa específica básica (g/cm³) e do teor de umidade (%) da madeira, por tora, das espécies e híbridos estudados

Parâmetro Avaliado	Tora	Espécies		Híbridos	
		<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Massa específica básica média (g/cm ³)	Primeira	0,70 aA ^{1/} (0,03) (4,51) ^{2/}	0,60 bA (0,03) (4,38)	0,56 cA (0,02) (2,96)	0,52 dA (0,01) (2,85)
	Segunda	0,67 aB (0,03) (4,90)	0,60 bA (0,03) (4,69)	0,52 cC (0,01) (2,42)	0,49 dC (0,01) (1,84)
	Terceira	0,66 aB (0,04) (5,61)	0,60 bA (0,03) (4,80)	0,55 cB (0,01) (2,33)	0,50 dB (0,01) (2,62)
Teor de umidade médio (%)	Primeira	75,99 cB (6,31) (8,35)	99,44 bA (7,28) (7,32)	99,62 bC (6,39) (6,42)	119,03 aC (6,77) (5,69)
	Segunda	82,44 dA (7,22) (8,76)	99,71 cA (7,72) (7,74)	110,95 bA (8,59) (7,75)	133,44 aA (4,55) (3,41)
	Terceira	83,49 dA (8,26) (9,90)	99,69 cA (7,79) (7,81)	105,10 bB (6,81) (6,47)	130,11 aB (5,79) (4,45)
Massa específica básica do alburno (g/cm ³)	Primeira	0,72 aA (0,03) (4,87)	0,62 bA (0,03) (5,22)	0,59 cA (0,04) (6,01)	0,54 dA (0,03) (5,19)
	Segunda	0,70 aAB (0,04) (6,02)	0,62 bA (0,03) (5,59)	0,54 cC (0,03) (4,98)	0,52 dB (0,02) (3,37)
	Terceira	0,69 aB (0,04) (5,78)	0,62 bA (0,03) (5,43)	0,56 cB (0,03) (4,91)	0,53 dB (0,02) (4,00)
Teor de umidade do alburno (%)	Primeira	71,52 dB (7,01) (9,80)	92,40 cA (8,09) (8,76)	99,65 bC (10,45) (10,48)	113,67 aC (9,47) (8,33)
	Segunda	74,24 dAB (8,74) (11,77)	92,49 cA (8,87) (9,59)	114,50 bA (9,12) (7,96)	122,82 aA (6,17) (5,02)
	Terceira	78,03 dA (8,50) (10,89)	93,50 cA (8,58) (9,17)	109,31 bB (8,27) (7,57)	119,56 aB (7,07) (5,91)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

do alburno. Na primeira tora de todas as espécies e híbridos estudados, verificou-se uma relação inversamente proporcional entre massa específica e teor de umidade.

Observou-se diferença significativa da massa específica básica e do teor de umidade entre as espécies e híbridos; ao longo da direção longitudinal, tal diferença somente não foi observada na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, ao longo da direção longitudinal.

Os valores de massa específica básica observados neste trabalho estão em conformidade com aqueles descritos por Mezzomo (1996, p. 33), Pereira *et al.* (2000, p. 30), Carvalho e Nahuz (2001, p. 70), Trugilho *et al.* (2001, p. 108), Cruz *et al.* (2003,

p. 38), Ferreira *et al.* (2006, p. 163-166), Botrel *et al.* (2007, p. 16-17), Arantes (2009, p. 34-70) e Trugilho (2009, p. 1233-1237). Para o teor de umidade, os valores médios observados neste trabalho foram superiores aos descritos por Oliveira (1997, p. 178-179), que pode ser explicado, possivelmente, pela diferença de idade entre as madeiras estudadas neste trabalho. A tendência de variação na direção longitudinal da massa específica básica foi similar à observada por Pereira *et al.* (2000, p. 23-26; p. 30) e Cruz *et al.* (2003, p. 38).

4.3. Caracterização anatômica

4.3.1. Dimensões das fibras

Os valores médios das dimensões das fibras da madeira estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios de 600 observações das dimensões de fibras da madeira das espécies e híbridos estudados

Fibras	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Comprimento (mm)	1,04 d ^{1/} (0,04) (4,04) ^{2/}	1,11 c (0,04) (3,36)	1,15 b (0,02) (2,04)	1,17 a (0,03) (2,67)
Largura (µm)	17,96 d (1,24) (6,93)	22,31 a (1,53) (6,83)	18,96 c (0,57) (2,98)	21,20 b (0,48) (2,26)
Diâmetro do lume (µm)	4,74 c (0,99) (20,82)	7,79 ab (1,74) (22,30)	7,18 b (0,68) (9,49)	8,36 a (0,46) (5,55)
Espessura da parede (µm)	6,61 b (0,53) (7,94)	7,26 a (0,46) (6,39)	5,89 c (0,20) (3,44)	6,42 b (0,24) (3,72)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

A madeira de *Eucalyptus citriodora* apresentou o menor comprimento, largura e diâmetro do lume, enquanto a madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresentou a menor espessura da parede. A madeira de *Eucalyptus cloeziana* apresentou a maior largura e espessura da parede, enquanto a madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla* mostrou o maior comprimento e diâmetro do lume das

fibras. As madeiras das espécies e híbridos apresentaram diferenças significativas entre si para o comprimento e largura das fibras. No diâmetro do lume, não se observou diferença significativa entre a madeira de *Eucalyptus cloeziana* e os híbridos; no entanto, houve diferença significativa entre os dois híbridos e entre a madeira de *Eucalyptus citriodora* e as demais madeiras. Na espessura de parede das fibras, não se observou diferença significativa entre as madeiras de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*.

Os valores médios das dimensões das fibras, por tora, podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios de 200 observações das dimensões das fibras, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados

Fibras	Tora	Espécies		Híbridos	
		<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Comprimento (mm)	Primeira	1,02 bA ^{1/} (0,04) (3,48) ^{2/}	1,10 aA (0,05) (4,49)	1,15 aA (0,03) (2,64)	1,14 aB (0,02) (2,02)
	Segunda	1,06 cA (0,05) (5,16)	1,12 bcA (0,04) (3,73)	1,15 abA (0,02) (1,89)	1,19 aA (0,03) (2,73)
	Terceira	1,03 cA (0,03) (3,32)	1,12 bA (0,03) (2,38)	1,14 bA (0,02) (2,13)	1,18 aA (0,02) (1,38)
Largura (µm)	Primeira	17,95 bA (0,63) (3,51)	22,37 aA (2,10) (9,39)	18,87 bA (0,88) (4,68)	20,92 aA (0,60) (2,88)
	Segunda	18,18 cA (1,45) (7,97)	23,09 aA (1,10) (4,77)	19,09 cA (0,48) (2,52)	21,39 bA (0,52) (2,45)
	Terceira	17,77 bA (1,75) (9,86)	21,48 aA (1,07) (5,00)	18,92 bA (0,36) (1,89)	21,30 aA (0,19) (0,88)
Diâmetro do lume (µm)	Primeira	4,58 cA (1,15) (25,05)	7,46 abA (1,60) (21,50)	6,71 bA (0,90) (13,43)	7,88 aB (0,31) (3,91)
	Segunda	4,75 cA (0,81) (17,00)	8,56 abA (2,02) (23,66)	7,67 bA (0,51) (6,67)	8,64 aA (0,20) (2,36)
	Terceira	4,89 cA (1,24) (25,38)	7,37 abA (1,80) (24,43)	7,17 bA (0,13) (1,84)	8,56 aA (0,44) (5,13)
Espessura da parede (µm)	Primeira	6,68 abA (0,57) (8,52)	7,46 aA (0,33) (4,47)	6,08 cA (0,18) (3,00)	6,52 bA (0,29) (4,44)
	Segunda	6,72 abA (0,55) (8,24)	7,27 aA (0,62) (8,59)	5,71 cB (0,09) (1,66)	6,38 bA (0,20) (3,12)
	Terceira	6,44 abA (0,57) (8,79)	7,06 aA (0,42) (6,01)	5,88 cAB (0,13) (2,15)	6,37 bA (0,26) (4,09)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Os valores médios das dimensões das fibras foram próximos entre si na direção longitudinal, não havendo diferença significativa entre as toras, dentro de cada espécie ou híbrido, exceto na madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, onde a primeira tora diferiu das demais em relação ao comprimento e diâmetro do lume; no híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, observou-se também diferença da espessura da parede entre a primeira e a segunda tora. Em geral, foram observadas diferenças significativas entre as espécies e híbridos, considerando-se a mesma posição da tora. Observaram-se baixos valores de desvio-padrão e coeficiente de variação das dimensões das fibras, indicando baixa variabilidade dessas propriedades em cada híbrido, exceto do diâmetro do lume da madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, em que houve maior variação.

Os resultados deste trabalho para as dimensões das fibras, exceto para a espessura da parede, estão em conformidade com aqueles observados por Carvalho e Nahuz (2001, p. 70), Alzate (2004, p. 27-121), Rocha *et al.* (2004, p. 49-53), Ferreira *et al.* (2006, p. 163-166), Belini *et al.* (2008, p. 710-711), Moglia *et al.* (2008, p. 239-246), Arantes (2009, p. 34-70), Oliveira (2009, p. 45-65) e Botrel *et al.* (2010, p. 242-243). Em geral, os valores da espessura da parede observados neste trabalho foram superiores aos verificados na literatura, provavelmente às características peculiares do material analisado.

4.3.2. Vasos

Os valores médios dos parâmetros relacionados aos vasos da madeira estão apresentados na Tabela 12.

Verificou-se que o menor e o maior diâmetro dos vasos foram observados na madeira de *Eucalyptus citriodora* e do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, respectivamente. Verificou-se, também, que existem diferenças significativas entre espécies e híbridos. Em relação à frequência dos vasos, verificou-se que o menor e o maior valor médio foram observados na madeira do *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*, respectivamente. Estatisticamente, somente não foram observadas diferenças significativas entre as duas espécies. Em relação à área ocupada por vasos, verificou-se que o menor e maior valor médio foram verificados na madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus cloeziana*, respectivamente. Estatisticamente, verificou-se que a madeira de *Eucalyptus citriodora* diferiu das

Tabela 12 – Valores médios de parâmetros relacionados aos vasos da madeira das espécies e híbridos estudados

Vasos	N*	Espécies		Híbridos	
		<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Diâmetro do lume (μm)	600	105,11 b ^{1/} (7,34) (6,99) ^{2/}	109,89 b (10,25) (9,33)	124,96 a (6,50) (5,20)	123,81 a (6,46) (5,22)
Frequência (vasos x mm^{-2})	60	14,8 a (2,9) (19,29)	15,7 a (2,6) (16,78)	11,3 b (1,1) (9,98)	10,1 c (0,7) (7,07)
Área (%)	60	13,77 b (2,58) (18,77)	18,27 a (3,09) (16,90)	17,76 a (1,31) (7,37)	16,80 a (2,66) (15,86)

* Número de observações.

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

demais espécie/híbridos analisados. Em relação aos vasos, as espécies apresentaram maior variabilidade que os híbridos, o que pode ser verificado pelo coeficiente de variação.

Os valores médios dos parâmetros relacionados aos vasos, por tora, podem ser vistos na Tabela 13.

Em relação ao diâmetro do lume dos vasos, verificou-se que os valores médios de cada espécie e híbrido foram próximos entre as três toras; estatisticamente, verificou-se que não havia diferenças significativas entre as toras, dentro de cada espécie e híbrido. Exceção foi verificada na madeira de *Eucalyptus urophylla*, onde houve diferença significativa entre a primeira e a segunda tora; entre as espécies e híbridos, observaram-se diferenças entre as toras. Em geral, houve baixa variabilidade entre as toras, confirmada pelo coeficiente de variação.

Para a frequência de vasos, verificou-se que não havia diferenças significativas entre as toras dentro de cada espécie/híbrido. Não se constataram diferenças entre as espécies, bem como entre a primeira e a segunda tora dos híbridos e, ainda, entre as espécies e híbridos, na segunda tora. Essas diferenças, no entanto, foram observadas entre a madeira de *Eucalyptus urophylla* e a das demais espécie/híbridos, bem como entre a madeira de *Eucalyptus cloeziana* e a do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, na terceira tora.

Tabela 13 – Valores médios de parâmetros relacionados aos vasos, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados

Vasos	N*	Tora	Espécies		Híbridos	
			<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Diâmetro do lume (µm)	200	Primeira	99,84 bA ^{1/} (5,29) (5,30) ^{2/}	104,96 bA (7,11) (6,77)	123,49 aA (3,96) (3,21)	118,68 aB (4,14) (3,49)
		Segunda	107,29 bA (6,96) (6,49)	113,73 bA (15,46) (13,59)	127,47 aA (8,05) (6,32)	129,26 aA (5,42) (4,20)
		Terceira	108,20 bA (8,07) (7,46)	110,97 bA (6,48) (5,84)	123,92 aA (7,85) (6,33)	123,48 aAB (5,61) (4,54)
Frequência (vasos x mm ⁻²)	20	Primeira	15,4 aA (2,5) (16,07)	17,0 aA (0,2) (1,09)	11,2 bA (0,7) (5,94)	10,1 bA (0,8) (7,82)
		Segunda	15,1 aA (3,8) (25,26)	13,5 aA (3,2) (23,68)	10,7 aA (1,3) (11,79)	10,0 aA (0,4) (4,38)
		Terceira	14,0 abA (2,8) (20,07)	16,7 aA (2,2) (13,38)	12,1 bA (1,2) (9,57)	10,2 cA (1,0) (9,97)
Área (%)	20	Primeira	11,89 cB (2,36) (19,83)	18,91 aA (3,45) (18,23)	18,27 aA (0,81) (4,41)	15,23 bB (0,76) (4,98)
		Segunda	16,09 aA (1,74) (10,82)	17,72 aA (4,46) (25,19)	16,94 aB (0,72) (4,27)	18,93 aA (2,36) (12,47)
		Terceira	13,33 bAB (1,94) (14,57)	18,17 aA (1,47) (8,11)	18,06 aAB (1,93) (10,71)	16,23 abAB (3,18) (19,60)

* Número de observações.

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Analisando a área ocupada por vasos, notaram-se diferenças significativas em relação às espécies e híbridos, bem como ao longo da posição longitudinal. O diâmetro e frequência influenciaram na área ocupada pelos vasos, numa relação nem sempre previsível. Sousa Júnior (2004, p. 51-52), avaliando a área ocupada pelos vasos, no sentido medula-casca, da madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* com idades diferentes e procedentes de Minas Gerais, não observou tendência de variação na direção radial. Esse autor, entretanto, verificou no alburno da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, proveniente de Turmalina, valores mais altos da área ocupada por vasos, bem como maior diâmetro e menor frequência de vasos. Moglia *et al.* (2008, p. 242) constataram valores semelhantes da área ocupada por vasos na região próxima da medula e do alburno na madeira de *Eucalyptus camaldulensis*.

Os valores médios observados dos parâmetros relacionados aos vasos estão em conformidade com aqueles verificados por Alzate (2004, p. 50-57), Rocha *et al.* (2004, p. 49-53), Moglia *et al.* (2008, p. 239-246) e Oliveira (2009, p. 45-65).

4.3.3. Raios

Os valores médios dos parâmetros relacionados aos raios da madeira podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios de parâmetros relacionados aos raios da madeira das espécies e híbridos estudados

Raios	N*	Espécies		Híbridos	
		<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Largura (µm)	600	17,46 a ^{1/} (1,53) (8,78) ^{2/}	12,94 b (1,07) (8,23)	13,08 b (0,86) (6,54)	16,80 a (2,17) (12,92)
Altura (mm)	600	0,209 c (0,010) (4,70)	0,204 c (0,015) (7,19)	0,240 b (0,018) (7,32)	0,279 a (0,015) (5,40)
Frequência (mm)	120	10 b (1) (12,14)	10 b (1) (8,95)	11 ab (1) (11,71)	11 a (1) (12,87)

* Número de observações.

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Em relação à largura dos raios, verificou-se que o menor e maior valor médio foram observados na madeira de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus citriodora*, respectivamente. Estatisticamente, notou-se que existem diferenças significativas entre as espécies e entre os híbridos. Considerando a altura dos raios, verificou-se que as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* apresentaram o menor e maior valor médio, respectivamente. Verificaram-se também diferenças significativas entre as madeiras dos híbridos e entre os híbridos e as espécies. Tais diferenças, no entanto, não foram observadas entre as duas espécies. Quanto à frequência dos raios, os valores médios mostraram-se muito próximos e, estatisticamente, não se observaram diferenças entre as espécies e o híbrido *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, bem como entre os dois híbridos. Observou-se, em geral, maior variabilidade da frequência, confirmada pelo coeficiente de variação.

Os valores médios dos parâmetros relacionados aos raios da madeira, por tora, podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores médios de parâmetros relacionados aos raios, por tora, da madeira das espécies e híbridos estudados

Raios	N*	Tora	Espécie		Híbrido	
			<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Largura (µm)	200	Primeira	18,20 aA ^{1/} (1,85) (10,17) ^{2/}	13,78 bA (0,97) (7,06)	13,15 bA (1,29) (9,81)	16,93 aA (0,88) (5,18)
		Segunda	17,19 aA (1,73) (10,05)	12,84 bAB (1,04) (8,07)	13,27 bA (0,85) (6,41)	17,01 abA (3,73) (21,93)
		Terceira	16,98 aA (1,03) (6,06)	12,22 bB (0,71) (5,81)	12,83 bA (0,40) (3,11)	16,47 aA (1,54) (9,35)
Altura (mm)	200	Primeira	0,214 cA (0,005) (2,29)	0,207 cA (0,012) (5,97)	0,231 bA (0,010) (4,17)	0,274 aA (0,018) (6,45)
		Segunda	0,203 cA (0,014) (6,80)	0,199 cA (0,012) (6,27)	0,239 bA (0,019) (7,92)	0,278 aA (0,019) (7,00)
		Terceira	0,209 cA (0,007) (3,55)	0,206 cA (0,021) (10,06)	0,248 bA (0,022) (8,75)	0,285 aA (0,008) (2,66)
Frequência (raios x mm ⁻¹)	40	Primeira	10 bA (1) (11,86)	11 abA (1) (9,28)	12 abA (1) (11,04)	12 aA (1) (6,41)
		Segunda	9 abA (1) (13,09)	9 bB (1) (6,93)	11 aA (1) (9,51)	10 abB (1) (9,42)
		Terceira	10 aA (1) (12,94)	10 aA (0) (1,98)	10 aA (1) (8,65)	11 aAB (2) (15,04)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, para um mesmo parâmetro, não diferem entre si, pelo teste t, para amostras independentes, a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Em relação à largura dos raios, na direção longitudinal verificou-se a existência de diferenças significativas na madeira de *Eucalyptus cloeziana* entre a primeira e a terceira tora. Entre as espécies e híbridos, tais diferenças foram sempre observadas entre as espécies e os híbridos. Para a altura dos raios, não se observaram diferenças significativas entre as toras, ao longo do sentido longitudinal, em todas as espécies e híbridos analisados. Essas diferenças, no entanto, foram observadas entre os híbridos, bem como entre os híbridos e as duas espécies, nas três toras. Em relação à frequência dos raios, verificou-se que os valores médios entre as espécies e híbridos, nas três toras, foram muito próximos. Em geral, as espécies apresentaram os menores valores de

frequência dos raios. Verificou-se, ainda, que a segunda tora exibiu os menores valores em todas as espécies/híbrido, à exceção do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, em que o menor valor foi observado na terceira tora.

Os valores observados neste trabalho estão em conformidade com aqueles verificados por Rocha *et al.* (2004, p. 49-53), Moglia *et al.* (2008, p. 239-246) e Oliveira (2009, p. 45-65).

4.3.4. Descrição da estrutura anatômica

4.3.4.1. *Eucalyptus citriodora*

As imagens dos três planos anatômicos da madeira de *Eucalyptus citriodora* podem ser visualizadas na Figura 3A-C. As principais características anatômicas da madeira de alburno de *Eucalyptus citriodora* são:

- Anéis de crescimento indistintos.
- Vasos com porosidade difusa, arranjo difuso e com ocorrência de vasos solitários e múltiplos de 2, 3, 4 e, raramente, múltiplos de 5 ou mais. Os vasos solitários apresentam formato circular a oval, enquanto os vasos múltiplos, formato oval. Os elementos de vasos exibem placas de perfuração simples e apêndices em suas extremidades. O lume celular não mostra obstruções. As pontoações intervasculares têm arranjo alternado e formato poligonal. As pontoações raiovasculares contêm bordas muito reduzidas, à semelhança de pontoações simples, tendo formatos dos tipos circulares e ovais e tendendo a helicoidal.
- Fibras com pontoações muito pequenas, com baixa frequência, quase imperceptíveis sob aumento de 400 vezes e visíveis apenas nas paredes radiais.
- Traqueoides vasicêntricos próximos aos vasos.
- Parênquima axial com ocorrência de apotraqueal difuso e paratraqueal dos tipos vasicêntrico, confluyente e aliforme losangular. O parênquima axial apresenta-se disposto de forma seriada, entre cinco e oito células de comprimento.
- Raios predominantemente unisseriados, mas com ocorrência de bisseriados. Os raios são também não estratificados e formados exclusivamente de células de formato procumbentes.
- Inclusões minerais ausentes nas células lenhosas.

4.3.4.2. *Eucalyptus cloeziana*

As imagens dos três planos anatômicos da madeira de *Eucalyptus cloeziana* podem ser visualizadas na Figura 3D-F. A madeira de alburno de *Eucalyptus cloeziana* apresenta:

- Anéis de crescimento distintos, marcados pela transição abrupta ou gradual do lenho tardio para o lenho inicial, com as fibras do lenho tardio apresentando maior espessura da parede e menor diâmetro radial do lume em relação ao lenho inicial. Os vasos também exibem menor diâmetro tangencial no final do lenho tardio.

- Vasos com porosidade difusa, embora ocorra pequena faixa tangencial de vasos de menor diâmetro no final do lenho tardio. O arranjo é difuso, tendendo a diagonal. Os vasos são predominantemente solitários e com ocorrência de múltiplos de 2, 3 e 4, apresentando formato circular a oval. Os elementos de vasos exibem placas de perfuração simples e apêndices em suas extremidades. As pontoações intervasculares apresentam disposição alterna e formato poligonal. As pontoações raio-vasos apresentam bordas reduzidas, aparentando ser pontoações simples, com formato circular a oval. Há rara ocorrência de obstruções no lume dos vasos que, quando presentes, se concentram, superficialmente, na parede celular.

- Fibras com pontoações aparentemente simples, com bordas muito reduzidas. As pontoações são perceptíveis sob aumento de 400 vezes e ocorrem nas paredes tangenciais e radiais.

- Traqueoides vasicêntricos próximos aos vasos.

- Parênquima axial, com ocorrência de parênquima paratraqueal dos tipos vasicêntrico, confluyente, unilateral e escasso. O parênquima axial apresenta-se disposto de forma seriada, contendo de três a quatro células de comprimento.

- Raios unisseriados, raramente bisseriados, não estratificados e formados exclusivamente por células de formato procumbente.

- Inclusões minerais ausentes nas células lenhosas.

4.3.4.3. Híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*

As imagens dos três planos anatômicos da madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* podem ser visualizadas na Figura 4A-C. A madeira do alburno do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresenta:

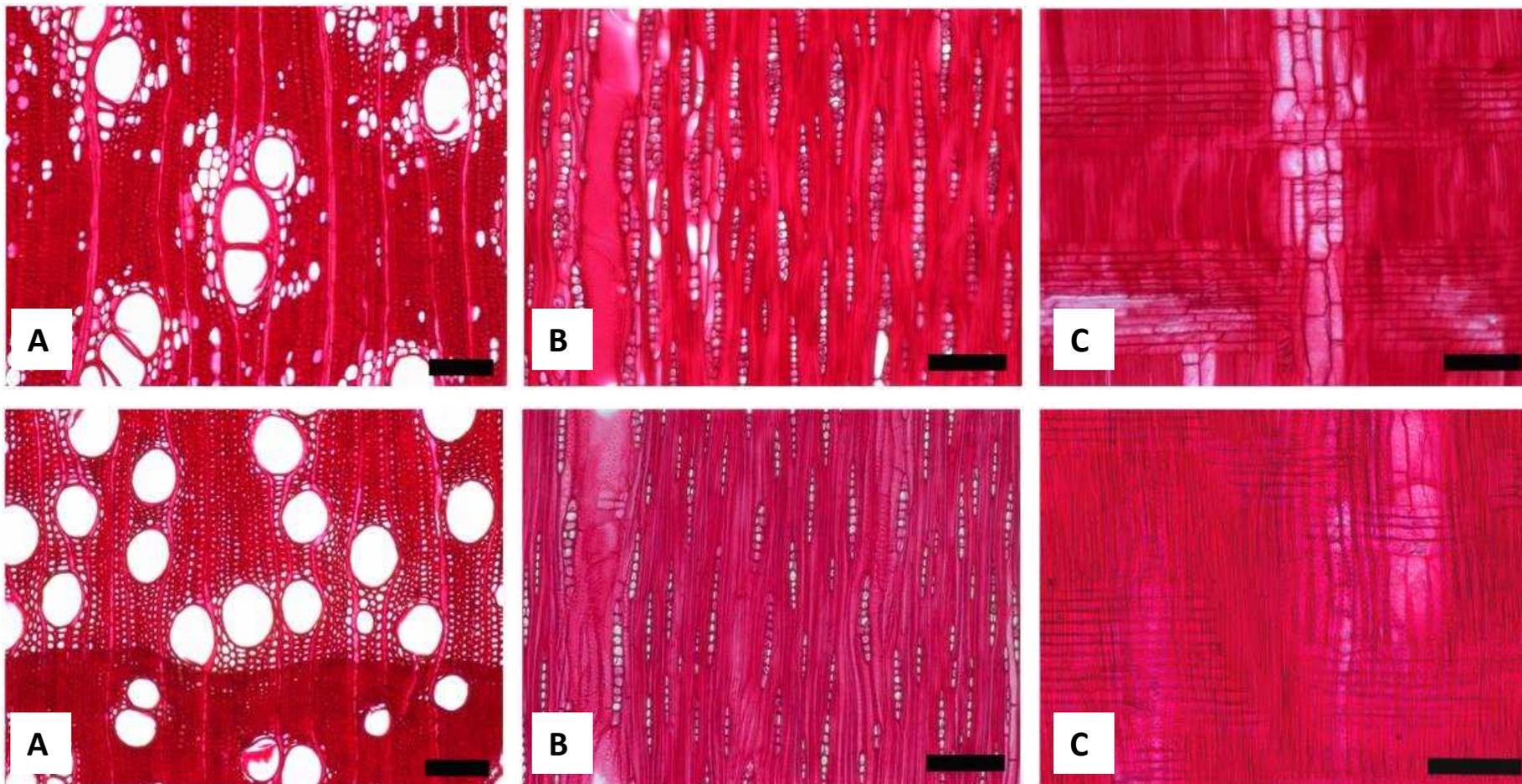


Figura 3 – Imagens das seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) da madeira de *Eucalyptus citriodora* e das seções transversal (D), longitudinal tangencial (E) e longitudinal radial (F) de *Eucalyptus cloeziana*. A barra corresponde a 150 μ m.

- Aneis de crescimento distintos, marcados pela transição abrupta ou gradual do lenho tardio para o lenho inicial, com as fibras do lenho tardio apresentando maior espessura da parede e menor diâmetro radial do lume em relação ao lenho inicial.

- Vasos com porosidade difusa, entretanto, quando ocorre a transição abrupta do lenho tardio para o lenho inicial, há uma concentração de vasos de menor diâmetro no final do lenho tardio. Os vasos têm arranjo diagonal e são predominantemente solitários, com rara ocorrência de múltiplos de 2. O formato é de circular a oval. Os elementos de vasos apresentam placas de perfuração simples e apêndices nas extremidades. As pontoações intervasculares têm disposição alterna e formato poligonal. As pontoações raio-vasos apresentam bordas reduzidas, aparentando ser pontoações simples, com formato circular a oval. Há rara ocorrência de obstruções no lume dos vasos que, quando presentes, se concentram, superficialmente, na parede celular.

- Fibras com pontoações pequenas, aparentemente areoladas, perceptíveis sob aumento de 400 vezes e ocorrem nas paredes tangenciais e radiais.

- Traqueoides vasicêntricos próximos aos vasos.

- Parênquima axial paratraqueal dos tipos vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular e unilateral. O parênquima axial apresenta-se disposto de forma seriada, com quatro a seis células de comprimento.

- Raios exclusivamente unisseriados, não estratificados e formados exclusivamente de células de formato procumbente.

- Inclusões minerais ausentes nas células lenhosas.

4.3.4.4. Híbrido de *Eucalyptus urophylla*

As imagens dos três planos anatômicos da madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla* podem ser visualizadas na Figura 4D-F. A madeira do alburno de *Eucalyptus urophylla* apresenta:

- Aneis de crescimento distintos, marcados pela transição abrupta do lenho tardio para o lenho inicial, com as fibras do lenho tardio apresentando maior espessura da parede e menor diâmetro radial do lume em relação ao lenho inicial. Em geral, os vasos do final do lenho tardio exibem também menor diâmetro radial.

- Vasos com porosidade difusa e arranjo difuso tendendo a diagonal; são predominantemente solitários, entretanto com ocorrência de múltiplos de 2. Apresentam formato circular a oval. Os elementos de vasos exibem placas de perfuração simples e

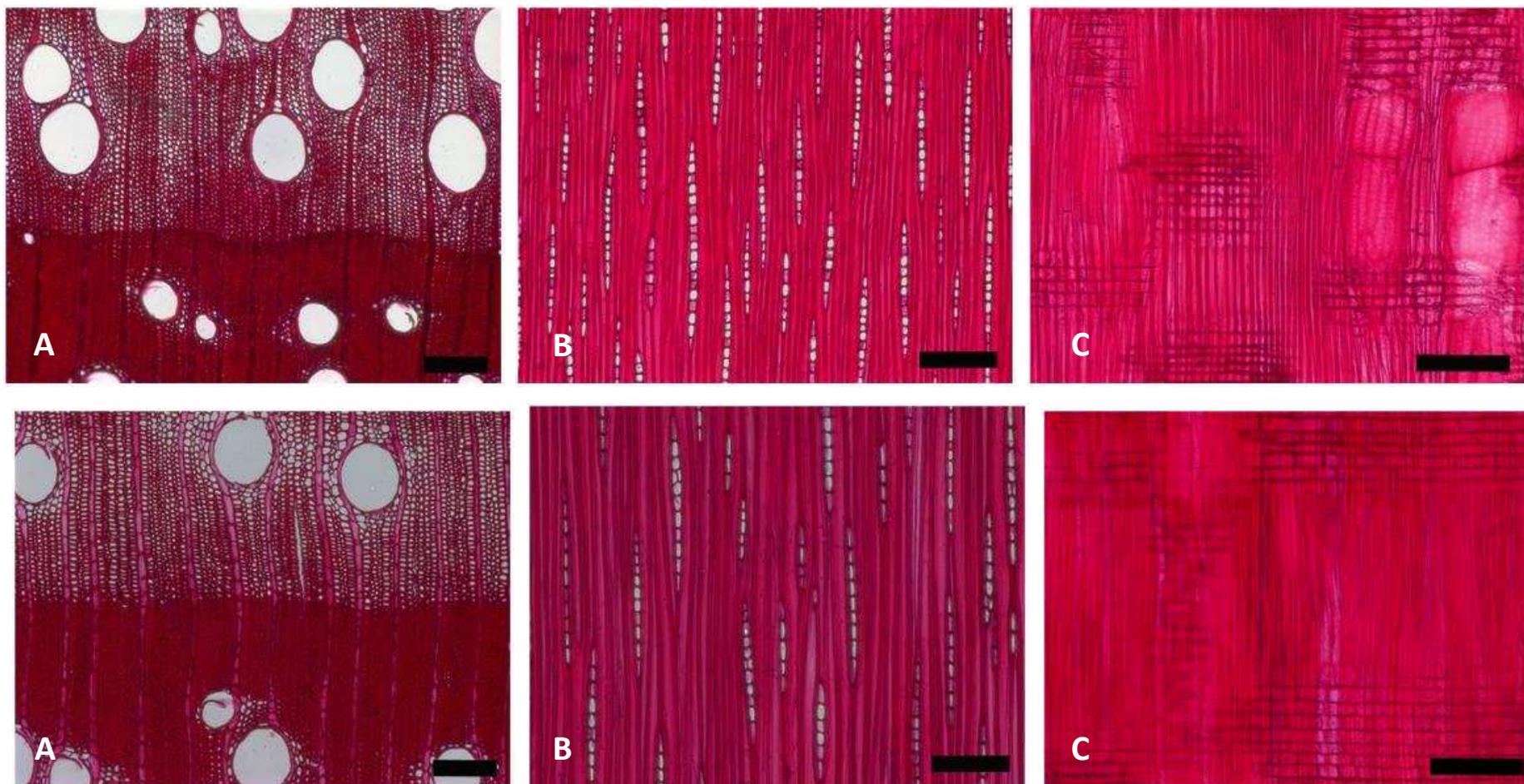


Figura 4 – Imagens das seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) da madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e das seções transversal (D), longitudinal tangencial (E) e longitudinal radial (F) do híbrido de *Eucalyptus urophylla*. A barra corresponde a 150 μ m.

apêndices nas extremidades. As pontoações intervasculares têm disposição alterna e formato poligonal e as raio-vasos, bordas reduzidas, aparentando ser pontoações simples, com formato circular a oval. Há rara ocorrência de obstruções no lume dos vasos que, quando presentes, se concentram, superficialmente, na parede celular.

- Fibras com pontoações areoladas, com bordas reduzidas, perceptíveis sob aumento de 400 vezes; ocorrem nas paredes tangenciais e radiais.

- Traqueoides vasicêntricos próximos aos vasos.

- Parênquima axial com ocorrência de parênquima paratraqueal dos tipos vasicêntrico, confluyente, unilateral e escasso. O parênquima axial apresenta-se disposto de forma seriada, contendo de três a cinco células de comprimento.

- Raios unisseriados e bisseriados, não estratificados e formados exclusivamente de células de formato procumbente.

- Inclusões minerais ausentes nas células lenhosas.

4.4. Correlações entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno

Neste trabalho, verificaram-se correlações entre as propriedades do alburno e a massa específica básica, cujos coeficientes podem ser vistos na Tabela 16.

Tabela 16 – Coeficientes de correlação de Pearson entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados (p < 0,05)

Espécie/Híbrido	Massa Específica Básica do Alburno											
	CF*	LF	DLF	EPF	DLV	FV	AV	LR	AR	FR	PALB	TUA
<i>Eucalyptus citriodora</i>	ns ^{1/}	ns	-0,74	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,99
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,68	ns	ns	0,70	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,99
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	ns	ns	ns	0,63	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,98
<i>Eucalyptus urophylla</i>	-0,66	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,99

* CF = comprimento de fibras; LF = largura de fibras; DLF = diâmetro do lume de fibras; EPF = espessura da parede de fibras; DLV = diâmetro do lume de vasos; FV = frequência de vasos; AV = área ocupada por vasos; LR = largura de raios; AR = altura de raios; FR = frequência de raios; PALB = porcentagem de alburno; e TUA = teor de umidade do alburno.

^{1/} Não significativo.

Em geral, observaram-se poucas correlações significativas da massa específica básica com as propriedades anatômicas e a porcentagem de alburno da madeira. Somente as dimensões das fibras e o teor de umidade apresentaram correlações significativas com a massa específica básica do alburno. A madeira de *Eucalyptus citriodora* mostrou correlação negativa com o diâmetro do lume das fibras, enquanto a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, correlações positivas com o comprimento e espessura da parede. A madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* também apresentou correlação positiva com a espessura da parede, enquanto a madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, correlação negativa com o comprimento das fibras. Correlações significativas e negativas foram observadas entre a massa específica básica do alburno e o teor de umidade da madeira saturada, mostrando também forte associação entre essas duas propriedades; quanto maior a massa específica básica, menor o teor de umidade.

As propriedades anatômicas não apresentaram forte associação com a massa específica básica. Na literatura, existem trabalhos mostrando correlações significativas das propriedades anatômicas com a massa específica básica, conforme relatado por Trugilho *et al.* (1996, p. 7) e Oliveira (1997, p. 314-320).

4.5. Considerações sobre a caracterização da madeira

As madeiras das espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp. apresentaram diferenças significativas entre si na maioria das propriedades avaliadas. Nos parâmetros relacionados ao alburno e cerne houve diferença significativa entre todas as espécies/híbridos e também ao longo da direção longitudinal, entre as três toras. O *Eucalyptus citriodora* apresentou a maior espessura de alburno e moirões, com menor diâmetro e volume de madeira. Os híbridos mostraram as menores espessuras de alburno, bem como valores próximos do diâmetro e volume de madeira dos moirões. As espécies e os híbridos também mostraram diferenças significativas entre si quanto à massa específica básica e o teor de umidade; em geral, essas diferenças também foram observadas no sentido longitudinal, exceto na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, em que nas três toras não houve diferença significativa da massa específica básica e do teor de umidade. Verificou-se que a massa específica básica do alburno foi sempre maior que a massa específica básica média da madeira, e a massa específica básica e o teor de umidade se apresentaram inversamente correlacionados. Em geral, as propriedades anatômicas mostraram diferenças significativas entre as espécies e

híbridos e, também, ao longo da direção longitudinal. Nessa mesma direção, as madeiras das espécies não exibiram diferenças significativas nas dimensões das fibras e em alguns parâmetros dos vasos e raios. Entretanto, as madeiras dos híbridos não apresentaram diferenças quanto algumas dimensões das fibras e raios e na frequência de vasos. Com isso, verificou-se que as madeiras estudadas mostraram diferenças entre suas propriedades tecnológicas mais notadamente, assim como relação cerne-alburno, massa específica e teor de umidade. Essas diferenças provavelmente se deveram aos materiais genéticos utilizados.

4.6. Retenção de arseniato de cobre cromatado

Na análise de retenção de CCA na madeira das espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp. foi desconsiderado o efeito da posição longitudinal, em função dos resultados de testes preliminares que não detectaram variações na retenção e penetração de CCA entre as toras analisadas. Para tanto, levou-se em conta apenas o valor médio por árvore de cada espécie/híbrido dentro de cada tratamento. Foram obtidas 144 observações, correspondendo a quatro espécies/híbridos, três concentrações de princípio ativo e três tempos de pressão (num total de 36 tratamentos) e quatro repetições por tratamento.

4.6.1. Retenção por diferença de massa

A avaliação da retenção de CCA por diferença de massa, antes e depois do tratamento preservativo, é uma metodologia alternativa, uma vez que não é preconizada pelos Standards da AWPA e normas da ABNT. Essa metodologia apresenta a vantagem de fácil realização, necessitando-se apenas de uma balança e da estimativa da porcentagem de alburno, bem como da massa do moirão, antes e depois do tratamento preservativo. Para maior precisão do método, é imprescindível o conhecimento prévio da concentração da solução e do seu balanceamento químico, em relação aos elementos cobre, cromo e arsênio. A grande limitação desse método é a impossibilidade de se quantificar a retenção dos elementos individuais na madeira após o tratamento, bem como verificar o seu balanceamento na madeira tratada. A metodologia de avaliação da retenção de CCA na madeira, por diferença de massa, já foi utilizada por Dhamodaran e Gnanaharan (2001, p. 294-298), Usta (2004, p. 1-7) e Venkatasamy (2002a, p. 1-14; 2005, p. 1-13; 2007, p. 1-14).

A análise de variância da retenção de CCA, por diferença de massa, pode ser vista na Tabela 17.

Tabela 17 – Análise de variância da retenção de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp., avaliada por diferença de massa

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Espécie/Híbrido (EH)	3	85,229	28,410	39,53*	0,000000
Princípio ativo (PA)	2	595,480	297,740	414,31*	0,000000
Tempo de pressão (TP)	2	0,835	0,418	0,58	0,561001
Interações					
EH x PA	6	9,896	1,649	2,30*	0,040010
EH x TP	6	4,189	0,698	0,97	0,448148
PA x TP	4	2,468	0,617	0,86	0,491467
EH x PA x TP	12	4,156	0,346	0,48	0,921522
Resíduo	108	77,612	0,719		
Total	143	779,865			

* Significativo a 5% de significância.

Apenas os efeitos da espécie/híbrido, princípio ativo e interação espécie/híbrido x princípio ativo foram significativos. Os valores médios da retenção de CCA na madeira das espécies e dos híbridos, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, podem ser visualizados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores médios de 12 observações da retenção (kg/m³ de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por diferença de massa

Princípio Ativo (%)	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
1,5	4,49 bC ^{1/} (0,85) (19,02) ^{2/}	4,90 abC (0,38) (7,84)	5,57 aC (0,38) (6,86)	5,68 aC (0,32) (5,62)
2,0	6,66 cB (0,88) (13,27)	7,56 bB (0,82) (10,86)	8,50 aB (0,55) (6,51)	8,39 abB (0,66) (7,82)
2,5	8,71 bA (1,94) (22,23)	9,44 bA (0,77) (8,11)	11,08 aA (0,53) (4,77)	11,32 aA (0,43) (3,81)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

As menores e maiores retenções de CCA foram observadas quando as madeiras de todas as espécies e híbridos foram tratadas com 1,5 e 2,5% de princípio ativo da

solução preservativa, respectivamente. As menores retenções, independentemente das concentrações, foram observadas nas madeiras das duas espécies, e a madeira de *Eucalyptus citriodora* apresentou menor retenção que a madeira de *Eucalyptus cloeziana*. Constataram-se diferenças significativas entre a madeira de *Eucalyptus citriodora* com os dois híbridos, para o princípio ativo de 1,5%. Tais diferenças também foram observadas entre a madeira de *Eucalyptus citriodora* e as demais espécie/híbridos, bem como entre as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, para o princípio ativo de 2,0%. Quando se analisou a retenção com o princípio ativo de 2,5%, não se verificaram diferenças significativas entre as duas espécies e entre os dois híbridos, embora tais diferenças fossem observadas entre as espécies e os híbridos analisados. Houve também diferença significativa entre as três concentrações de princípio ativo, em cada espécie/híbrido analisado.

Considerando as retenções mínimas de CCA, estabelecidas pela NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10), que é igual a 4,0 kg/m³ de madeira tratada, para usos sem contato com o solo, verificou-se que a concentração de 1,5% de princípio ativo foi suficiente para atender à Norma. Para a retenção de 6,5 kg/m³ de madeira tratada, recomendada para a madeira em contato com o solo, a concentração de 1,5% de princípio ativo mostrou-se insuficiente no tratamento da madeira. Ao se utilizar a concentração de 2,0%, verificou-se que todas as espécies e híbridos apresentaram retenção mínima superior à recomendada pela Norma. A concentração de 2,5% mostrou-se desnecessária para o tratamento preservativo de todas as espécies e híbridos; para a madeira destes, os valores de retenção se adequavam até mesmo ao tratamento de postes, atendendo à recomendação da Norma NBR 8456 (ABNT, 1984, p. 30).

Os valores médios da retenção de CCA na madeira das espécies e híbridos utilizados neste trabalho, tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, podem ser visualizados na Tabela 19.

Conforme se observou na Tabela 18, as menores retenções, independentemente das concentrações, foram observadas nas madeiras das duas espécies. Através da Tabela 19, verificou-se, também, que tal situação se confirmou nos três tempos de pressão analisados. Considerando os três tempos analisados (60, 90 e 120 min), na concentração de 1,5% de princípio ativo, nenhuma madeira apresentou a retenção mínima (6,5 kg/m³), estabelecida pela Norma NBR 9480 para a madeira em contato com o solo. A mesma norma menciona uma retenção mínima (4,0 kg/m³) para a madeira, sem

Tabela 19 – Valores médios de quatro observações da retenção (kg/m^3 de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratadas com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por diferença de massa

Concentração de princípio ativo (%)	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Tempo = 60 min				
1,5	4,81 (1,42) (29,54) ^{1/}	4,71 (0,26) (5,49)	5,80 (0,38) (6,55)	5,78 (0,11) (1,96)
2,0	6,84 (0,52) (7,56)	7,52 (0,38) (5,05)	7,96 (0,63) (7,87)	7,82 (0,68) (8,74)
2,5	8,84 (1,92) (21,69)	9,31 (0,99) (10,58)	10,80 (0,36) (3,37)	10,98 (0,41) (3,74)
Tempo = 90 min				
1,5	4,48 (0,44) (9,93)	4,97 (0,56) (11,35)	5,53 (0,36) (6,56)	5,58 (0,25) (4,45)
2,0	6,50 (1,32) (20,33)	7,29 (1,39) (19,09)	8,69 (0,28) (3,22)	8,39 (0,42) (4,99)
2,5	8,39 (1,24) (14,82)	9,09 (0,27) (2,96)	11,62 (0,43) (3,68)	11,70 (0,28) (2,41)
Tempo = 120 min				
1,5	4,16 (0,41) (9,83)	5,03 (0,28) (5,65)	5,37 (0,37) (6,86)	5,67 (0,52) (9,21)
2,0	6,62 (0,88) (13,22)	7,87 (0,41) (5,16)	8,83 (0,27) (3,00)	8,95 (0,28) (3,17)
2,5	8,90 (2,88) (32,40)	9,92 (0,78) (7,84)	10,81 (0,35) (3,20)	11,26 (0,30) (2,63)

^{1/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

contato com o solo, e, nesse caso, todas as espécies e híbridos apresentaram-se em conformidade com a referida Norma. Analisando as concentrações de 2,0% e 2,5% de princípio ativo, verificou-se que, independentemente dos tempos de pressão utilizados, a madeira de todas as espécies e híbridos apresentaram retenção igual ou superior ao estabelecido pela Norma NBR 9480, para uso em contato com o solo. Considerando-se a economia de tempo e recursos envolvidos no processo de tratamento preservativo da madeira, é possível concluir que a concentração de princípio ativo de 2,0% e o tempo de 60 min são suficientes para garantir retenção mínima estabelecida pela Norma NBR 9480, para usos em contato com o solo. Para usos sem contato com o solo, a concentração de princípio ativo de 1,5% e o tempo de 60 min são suficientes para garantir retenção mínima de $4,0 \text{ kg/m}^3$.

4.6.2. Retenção por espectrometria de raios X

A retenção de CCA, avaliada por espectrometria de raios X, é estabelecida pelo Standard A9-08 da AWWA (2010, p. 234-237), possibilitando a determinação das retenções individuais dos elementos cobre, cromo e arsênio; o somatório desses elementos corresponde à retenção de CCA. Estudos da retenção de CCA, por espectrometria de raios X, foram também desenvolvidos por Slahor *et al.* (1999, p. 19-36), Stevanovic-Janezic *et al.* (2000, p. 577-584) e Valle (2009, p. 54-57).

A análise de variância da retenção de CCA, por espectrometria de raios X, pode ser visualizada na Tabela 20.

Tabela 20 – Análise de variância da retenção de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp., avaliada por espectrometria de raios X

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Espécie/Híbrido (EH)	3	24,515	8,172	43,49*	0,000000
Princípio ativo (PA)	2	417,015	208,507	1109,61*	0,000000
Tempo de pressão (TP)	2	1,260	0,630	3,35*	0,038678
Interações					
EH x PA	6	2,895	0,483	2,57*	0,023020
EH x TP	6	0,669	0,112	0,59	0,734954
PA x TP	4	3,649	0,912	4,86*	0,001222
EH x PA x TP	12	2,332	0,194	1,03	0,423416
Resíduo	108	20,294	0,188		
Total	143	472,630			

* Significativo a 5% de significância.

Foram significativos os efeitos dos fatores espécie/híbrido, princípio ativo e tempo de pressão e das interações espécie/híbrido x princípio ativo e princípio ativo x tempo de pressão. Os valores médios da retenção de CCA para a interação espécie/híbrido x princípio ativo, avaliada por espectrometria de raios X, podem ser visualizados na Tabela 21.

As menores retenções de CCA, independentemente da espécie/híbrido, foram observadas nas madeiras tratadas com solução de 1,5% de princípio ativo, enquanto as maiores retenções foram sempre observadas nas madeiras tratadas com solução de 2,5% de princípio ativo. No princípio ativo de 1,5%, a menor retenção média foi observada na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e a maior, na madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*. No princípio ativo de 2,0%, a menor e a

Tabela 21 – Valores médios de 12 observações da retenção (kg/m³ de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X

Princípio Ativo (%)	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
1,5	4,60 abC ^{1/} (0,39) (8,39) ^{2/}	4,94 aC (0,33) (6,59)	4,43 bC (0,24) (5,36)	5,05 aC (0,31) (6,19)
2,0	6,48 bB (0,45) (6,91)	7,46 aB (0,52) (7,01)	6,55 bB (0,23) (3,56)	7,55 aB (0,39) (5,12)
2,5	8,66 bA (0,65) (7,47)	9,41 aA (0,64) (6,81)	8,21 bA (0,53) (6,42)	9,40 aA (0,61) (6,48)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

maior retenção média foram observadas nas madeiras de *Eucalyptus citriodora* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, respectivamente. No princípio ativo de 2,5%, a menor retenção média foi observada na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e a maior, na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, embora a madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla* tenha apresentado retenção similar.

Observaram-se diferenças significativas da retenção entre a madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* com a madeira de *Eucalyptus cloeziana* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, para o princípio ativo de 1,5%. Nessa concentração, não foram observadas diferenças significativas entre a madeira de *Eucalyptus cloeziana* e o híbrido de *Eucalyptus urophylla* e também entre *Eucalyptus citriodora* e as demais madeiras. Quando se analisou a retenção obtida com o princípio ativo de 2,0 e 2,5%, não se observaram diferenças significativas entre as madeiras de *Eucalyptus citriodora* e do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e também entre as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla*. Houve também diferença significativa entre as três concentrações de princípio ativo, em cada espécie/híbrido analisados.

Considerando as retenções mínimas de CCA, estabelecidas pela NBR 9480, que preconiza a retenção mínima de 4,0 kg/m³ de madeira tratada, para usos sem contato do solo, verificou-se que a concentração de 1,5% de princípio ativo foi suficiente para atender à Norma. Para usos em contato com o solo, em que a madeira tratada deverá

apresentar 6,5 kg/m³ de madeira tratada, a concentração de 1,5% de princípio ativo mostrou-se insuficiente para o tratamento preservativo de todas as espécies e híbridos. Ao se utilizar a concentração de 2,0%, verificou-se que as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla* apresentaram retenção mínima superior à recomendada pela Norma, tanto em situações de uso da madeira em contato com o solo ou quanto fora dele. As madeiras de *Eucalyptus citriodora* e do híbrido *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresentaram retenções médias muito próximas às estabelecidas pela NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10). A concentração de 2,5% mostrou-se desnecessária para o tratamento preservativo da madeira, considerando os valores mínimos estabelecidos pela Norma.

Os valores médios da retenção de CCA na madeira das espécies e híbridos tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min, em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, podem ser visualizados na Tabela 22.

Na concentração de 1,5% de princípio ativo, independentemente do tempo de pressão, nenhuma madeira apresentou a retenção mínima (6,5 kg/m³), estabelecida pela Norma NBR 9480 para usos em contato com o solo; a madeira tratada, no entanto, apresentou a retenção mínima (4,0 kg/m³), estabelecida para usos sem contato com o solo. Analisando a concentração de 2,0% de princípio ativo, verificou-se que todas as espécies e híbridos apresentaram retenção igual ou superior ao estabelecido pela Norma NBR 9480, exceto na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, no tempo de 60 min, e na madeira de *Eucalyptus citriodora*, nos tempos de 90 e 120 min. Na concentração de 2,5% de princípio ativo, todas as espécies e híbridos mostraram retenções superiores à estabelecida pela Norma NBR 9480, independentemente do tempo de pressão. Nesse caso, as madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, quando tratadas com tempo de pressão de 120 min, apresentaram retenções médias que se adequavam, até mesmo, ao tratamento de postes, atendendo à recomendação da Norma NBR 8456 (ABNT, 1984, p. 30), que estabelece uma retenção de 9,6 kg/m³ de madeira tratada.

Os valores médios da retenção de CCA, para a interação princípio ativo x tempo de pressão, podem ser visualizados na Tabela 23.

Os valores observados na Tabela 23 também sintetizam os resultados sumarizados nas Tabelas 21 e 22, evidenciando também um pequeno incremento da retenção com o aumento do tempo de pressão. Exceção foi observada na concentração de 1,5% de princípio ativo, em que houve diminuição na retenção entre os tempos de 90

Tabela 22 – Valores médios de quatro observações da retenção (kg/m³ de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X

Concentração de Princípio Ativo (%)	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Tempo = 60 min				
1,5	4,59 (0,38) (8,17) ¹	4,97 (0,38) (7,67)	4,47 (0,24) (5,36)	5,24 (0,19) (3,60)
2,0	6,90 (0,34) (4,95)	7,20 (0,84) (11,63)	6,35 (0,23) (3,56)	7,25 (0,55) (7,57)
2,5	8,18 (0,35) (4,28)	9,14 (0,27) (2,97)	7,89 (0,20) (2,54)	8,98 (0,38) (4,26)
Tempo = 90 min				
1,5	4,75 (0,57) (11,91)	5,06 (0,35) (6,98)	4,55 (0,23) (5,12)	5,04 (0,38) (7,48)
2,0	6,28 (0,46) (7,30)	7,58 (0,15) (1,99)	6,66 (0,17) (2,50)	7,61 (0,19) (2,48)
2,5	8,94 (0,83) (9,27)	9,38 (0,35) (3,69)	8,17 (0,35) (4,33)	9,29 (0,49) (5,23)
Tempo = 120 min				
1,5	4,45 (0,15) (3,35)	4,78 (0,26) (5,51)	4,28 (0,21) (4,80)	4,88 (0,31) (6,26)
2,0	6,26 (0,22) (3,54)	7,60 (0,38) (4,95)	6,64 (0,20) (3,07)	7,79 (0,11) (1,39)
2,5	8,86 (0,51) (5,70)	9,70 (1,05) (10,84)	8,56 (0,74) (8,64)	9,93 (0,59) (5,98)

^{1/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Tabela 23 – Valores médios de 16 observações da retenção (kg/m³ de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, em função da concentração de princípio ativo e do tempo de pressão, avaliada por espectrometria de raios X

Princípio Ativo (%)	Tempo de Pressão (minutos)		
	60	90	120
1,5	4,82 aC ^{1/} (0,42) (8,66) ^{2/}	4,85 aC (0,42) (8,65)	4,60 aC (0,33) (7,17)
2,0	6,92 aB (0,61) (8,78)	7,03 aB (0,65) (9,20)	7,07 aB (0,70) (9,85)
2,5	8,55 bA (0,61) (7,18)	8,94 aA (0,69) (7,69)	9,26 aA (0,89) (9,65)

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, e da mesma letra maiúscula, dentro de uma coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

e 120 min. Na concentração de 2,5% de princípio ativo, observou-se aumento mais expressivo da retenção de CCA com a extensão do tempo de pressão; nessa concentração, observou-se diferença significativa entre o tempo de 60 min e os tempos de 90 e 120 min. Nas demais concentrações, não houve diferença significativa entre os três tempos de pressão.

De acordo com os resultados apresentados no item 4.6.1., referente à retenção obtida por diferença de massa e conforme o observado nas Tabelas 21, 22 e 23, é possível concluir que a concentração de princípio ativo de 2,0% e o tempo de 60 min foram suficientes para garantir retenção mínima estabelecida pela Norma NBR 9480, para uso das peças roliças em contato com o solo. Fatores importantes devem ser considerados, como menor consumo de energia e tempo durante o processo de tratamento da madeira. Exceção foi observada na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, que apresentou retenção média de 6,35 kg/m³ de madeira tratada (Tabela 22), em que seria necessário o uso de uma solução mais concentrada. Para uso da madeira sem contato com o solo, a concentração de 1,5% de princípio ativo, independentemente da espécie/híbrido, foi suficiente para o tratamento preservativo da madeira; nesse caso, o tempo de pressão de 60 min é satisfatório para a obtenção de uma retenção mínima de 4,0 kg/m³ de madeira tratada, atendendo aos requisitos da Norma.

Dhamodaran e Gnanaharan (2001, p. 294-298), avaliando programas de tratamento preservativo com CCA, sob vácuo-pressão, na madeira de rubber wood, observaram que os menores tempos de pressão podem ser utilizados para obtenção de retenção e penetração satisfatórias de CCA. Esses autores observaram também que um programa, baseado em 15 min de vácuo inicial, 30 min de pressão em autoclave e 5 min de vácuo final, foi suficiente para garantir retenção satisfatória de CCA na madeira para usos sem contato com o solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Dhamodaran e Gnanaharan (2007, p. 2240-2242) no tratamento preservativo da madeira de *Eucalyptus grandis*, com um preservativo à base de boro.

No tratamento preservativo da madeira, com a concentração de 2,0% de ingredientes ativos, a retenção obtida neste trabalho para a madeira de *Eucalyptus* spp., por espectrometria de raios X, foi menor que a observada por Slahor *et al.* (1999, p. 19-36), Stevanovic-Janezic *et al.* (2000, p. 577-584), Sales-Campos *et al.* (2003, p. 848-850) e Valle (2009, p. 54-57). Essa diferença se deve, provavelmente, à diferença de material genético, que pode ter influenciado nos níveis de retenção de CCA.

4.6.3. Comparação entre as metodologias de avaliação de retenção de CCA tipo C

Os resultados da retenção de CCA, obtidos pela metodologia-padrão (espectrometria de raios X), proposta pelo Standard A9-08 da AWWA (2010, p. 234-237) e pela metodologia alternativa (diferença de massa), considerando a interação espécie/híbrido x princípio ativo x tempo de pressão, podem ser visualizados na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores médios da retenção (kg/m³ de ingredientes ativos) de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados, tratada com tempos de pressão de 60, 90 e 120 min e em função da concentração de princípio ativo da solução preservativa, avaliada por espectrometria de raios X (RX) e por diferença de massa (DM)

Concentração de Princípio Ativo (%)	Espécies				Híbridos			
	<i>Eucalyptus citriodora</i>		<i>Eucalyptus cloeziana</i>		<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>	
	RX	DM	RX	DM	RX	DM	RX	DM
Tempo = 60 min								
1,5	4,59	4,81	4,97	4,71	4,47	5,80	5,24	5,78
2,0	6,90	6,84	7,20	7,52	6,35	7,96	7,25	7,82
2,5	8,18	8,84	9,14	9,31	7,89	10,80	8,98	10,98
Tempo = 90 min								
1,5	4,75	4,48	5,06	4,97	4,55	5,53	5,04	5,58
2,0	6,28	6,50	7,58	7,29	6,66	8,69	7,61	8,39
2,5	8,94	8,39	9,38	9,09	8,17	11,62	9,29	11,70
Tempo = 120 min								
1,5	4,45	4,16	4,78	5,03	4,28	5,37	4,88	5,67
2,0	6,26	6,62	7,60	7,87	6,64	8,83	7,79	8,95
2,5	8,86	8,90	9,70	9,92	8,56	10,81	9,93	11,26

Comparando os valores obtidos pela metodologia-padrão e alternativa, observaram-se, em geral, valores próximos de retenção para a madeira das duas espécies. Na madeira dos dois híbridos, no entanto, os valores obtidos por diferença de massa foram maiores que aqueles observados por espectrometria de raios X. Na comparação entre as duas metodologias de análise de retenção, utilizou-se o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002, p. 1105–1118), cujos resultados estão apresentados na Tabela 25. Todos os tratamentos apresentaram diferença estatística significativa da determinação da retenção de CCA por diferença de massa, em relação à espectrometria de raios X. Isso indica que a metodologia por diferença de massa ainda não é indicada para a avaliação da retenção de CCA na madeira.

Neste trabalho, a metodologia por diferença de massa foi realizada diretamente nos moirões de *Eucalyptus* spp., contendo as dimensões preconizadas para uso final em contato com o solo, conforme a NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 4). Na literatura, os trabalhos que utilizaram a metodologia, por diferença de massa, avaliaram a retenção de CCA em peças de madeira serrada contendo exclusivamente madeira de alburno e em pequenas dimensões, caracterizadas como corpos-de-prova. Recomenda-se o teste dessa metodologia em peças de menores dimensões, contendo somente madeira tratável, para a melhor avaliação desse método, bem como da sua aplicação prática. Mesmo que a metodologia de análise da retenção por diferença de massa não apresente diferença significativa em relação àquela obtida por espectrometria de raios X, a análise da madeira tratada em um espectrômetro também é sempre recomendada. Isso é justificado pela possibilidade do conhecimento dos níveis de retenções individuais de cobre, cromo e arsênio, bem como do seu balanceamento químico na madeira. A análise da retenção por diferença de massa poderia ser utilizada em situações específicas, como nas indústrias de preservação de madeira, de maneira a se conhecer, rapidamente, o nível de retenção de produtos na madeira, sem a necessidade de gastos com análises químicas para a verificação da retenção.

4.7. Correlações entre a retenção de CCA e as propriedades da madeira do alburno

No estudo das correlações, considerou-se apenas a retenção de CCA obtida por espectrometria de raios X, devido ao fato de a metodologia por diferença de massa ter apresentado resultados diferentes daqueles obtidos pela metodologia-padrão, de acordo com o procedimento proposto por Leite e Oliveira (2002). Os coeficientes de correlação obtidos entre a retenção de CCA e as propriedades da madeira do alburno podem ser vistas na Tabela 26.

A retenção de CCA apresentou correlação significativa apenas com o comprimento de fibras na madeira de *Eucalyptus citriodora*, sendo essa correlação negativa e não muito forte, do ponto de vista tecnológico. Conforme pode ser visto na Tabela 26, as propriedades da madeira de alburno não contribuíram para explicar a sua relação com a retenção de CCA. Em geral, não existem na literatura trabalhos mostrando correlações significativas e lógicas da retenção de CCA com as propriedades da madeira. Valle (2009, p. 57-58), avaliando as correlações de retenção de CCA com

Tabela 25 – Resultados da comparação entre as duas metodologias de análise da retenção de CCA na madeira das espécies e híbridos estudados

Espécie/ Híbrido	Tratamentos		Estatísticas									
	Concentração de Princípio Ativo (%)	Tempo de Pressão (minutos)	n ^{1/}	β_0	β_1	$r_{Y_j Y_1}$	r ²	\bar{e}	F(H ₀)	t \bar{e}	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	Conclusão
<i>Eucalyptus citriodora</i>	1,5	60	12	4,332 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,002	0,061	0,786 ^{ns}	0,668 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	4,709*	-0,048 ^{ns}	-0,059 ^{ns}	0,003	-0,041	9,506*	0,785 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	0,140 ^{ns}	0,904 ^{ns}	0,556 ^{ns}	0,310	-0,064	1,589 ^{ns}	1,902 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
	2,0	60	12	-0,900 ^{ns}	1,122*	0,776*	0,602	-0,010	0,129 ^{ns}	0,340 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	-3,188 ^{ns}	1,545*	0,723*	0,523	0,032	1,012 ^{ns}	0,747 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	-5,746 ^{ns}	1,977*	0,745*	0,556	0,054	2,605 ^{ns}	1,270 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
	2,5	60	12	0,969 ^{ns}	0,963 ^{ns}	0,468 ^{ns}	0,219	0,083	0,718 ^{ns}	1,366 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	7,162 ^{ns}	0,138 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,012	-0,052	3,201 ^{ns}	1,051 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	-2,346 ^{ns}	1,270 ^{ns}	0,453 ^{ns}	0,205	0,001	0,060 ^{ns}	0,017 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	1,5	60	12	2,418 ^{ns}	0,462 ^{ns}	0,330 ^{ns}	0,109	-0,046	1,544 ^{ns}	1,043 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	-0,499 ^{ns}	1,080 ^{ns}	0,539 ^{ns}	0,291	-0,020	0,079 ^{ns}	0,438 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	2,136 ^{ns}	0,604 ^{ns}	0,408 ^{ns}	0,166	0,053	1,750 ^{ns}	1,662 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
	2,0	60	12	7,774*	-0,036 ^{ns}	-0,030 ^{ns}	0,001	0,060	4,291*	0,999 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	6,660 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,001	-0,036	0,554 ^{ns}	0,687 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	3,253 ^{ns}	0,608 ^{ns}	0,342 ^{ns}	0,117	0,039	0,663 ^{ns}	0,933 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
	2,5	60	12	-15,388*	2,701*	0,845*	0,714	0,012	5,102*	0,266 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		90	12	6,059 ^{ns}	0,323 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,045	-0,027	1,326 ^{ns}	0,608 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j
		120	12	8,389 ^{ns}	0,158 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,013	0,036	1,882 ^{ns}	0,587 ^{ns}	não	Y ₁ ≠ Y _j

Continua...

Tabela 25, Cont.

Tratamentos			Estatísticas									
Espécie/ Híbrido	Concentração de Princípio Ativo (%)	Tempo de Pressão (minutos)	n ^{1/}	β_0	β_1	$r_{Y_1Y_2}$	r^2	\bar{e}	F(H ₀)	t \bar{e}	$r_{Y_1Y_2} \geq (1 - \bar{e})$	Conclusã o
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	1,5	60	12	7,069*	-0,284 ^{ns}	-0,181 ^{ns}	0,033	0,303	56,181*	7,675*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	1,394 ^{ns}	0,909 ^{ns}	0,478 ^{ns}	0,228	0,216	30,012*	8,120*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	6,027*	-0,153 ^{ns}	-0,086 ^{ns}	0,007	0,263	27,882*	6,107*	não	$Y_1 \neq Y_j$
	2,0	60	12	11,323*	-0,529 ^{ns}	-0,225 ^{ns}	0,051	0,261	18,152*	4,560*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	3,937 ^{ns}	0,714 ^{ns}	0,536 ^{ns}	0,287	0,307	142,232*	15,970*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	10,364*	-0,231 ^{ns}	-0,154 ^{ns}	0,024	0,334	95,992*	9,873*	não	$Y_1 \neq Y_j$
	2,5	60	12	7,243*	0,451 ^{ns}	0,395 ^{ns}	0,156	0,372	224,392*	16,018*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	8,793*	0,345 ^{ns}	0,361 ^{ns}	0,130	0,428	193,885*	12,972*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	11,867*	-0,123 ^{ns}	-0,156 ^{ns}	0,024	0,276	71,649*	5,767*	não	$Y_1 \neq Y_j$
Híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i>	1,5	60	12	6,584*	-0,154 ^{ns}	-0,099 ^{ns}	0,010	0,111	6,426*	2,333*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	5,947*	-0,072 ^{ns}	-0,064 ^{ns}	0,004	0,117	8,721*	2,452*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	4,021*	0,338 ^{ns}	0,378 ^{ns}	0,143	0,177	16,148*	3,846*	não	$Y_1 \neq Y_j$
	2,0	60	12	8,457*	-0,088 ^{ns}	-0,065 ^{ns}	0,004	0,087	5,482*	1,927 ^{ns}	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	8,143*	0,033 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,000	0,108	7,732*	2,887*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	7,594*	0,174 ^{ns}	0,151 ^{ns}	0,023	0,153	24,341*	5,137*	não	$Y_1 \neq Y_j$
	2,5	60	12	7,947*	0,338 ^{ns}	0,301 ^{ns}	0,091	0,232	23,853*	5,327*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		90	12	8,151 ^{ns}	0,382 ^{ns}	0,291 ^{ns}	0,085	0,265	34,933*	7,174*	não	$Y_1 \neq Y_j$
		120	12	10,161*	0,111 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,008	0,140	14,128*	3,745*	não	$Y_1 \neq Y_j$

^{1/} n = número de observações; β_0 e β_1 = coeficientes da regressão $Y_j = \beta_0 + \beta_1 Y_i$; $r_{Y_1Y_2}$ = coeficiente de correlação; r^2 = coeficiente de determinação; \bar{e} = erro médio; $F(H_0)$ = teste F, modificado por Graybill (1976); t \bar{e} = teste t para o erro médio; e Y_i e Y_j = vetor de dados da retenção obtida por espectrometria de raios X e por diferença de massa, respectivamente.

* e ^{ns}: significativo e não significativo, respectivamente, a 5% de significância.

Tabela 26 – Coeficientes de correlação entre a massa específica básica e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados ($p < 0,05$)

Espécie/Híbrido	Retenção de CCA											
	versus											
	PALB	MEB	CF*	LF	DLF	EPF	DLV	FV	AV	LR	AR	FR
<i>Eucalyptus citriodora</i>	ns ^{1/}	ns	-0,60	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus urophylla</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* PALB = porcentagem de alburno; MEB = massa específica básica do alburno; CF = comprimento de fibras; LF = largura de fibras; DLF = diâmetro do lume de fibras; EPF = espessura de parede de fibras; DLV = diâmetro do lume de vasos; FV = frequência de vasos; AV = área de vasos; LR = largura de raios; AR = altura de raios; e FR = frequência de raios.

^{1/} Não significativo.

as propriedades da madeira de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, verificou apenas correlações significativas com o comprimento e largura das fibras e com a frequência dos vasos. Segundo essa autora, as correlações observadas não foram suficientes para explicar os resultados de retenção na madeira.

Verificou-se, também, a correlação das propriedades tecnológicas da madeira de alburno com a retenção de CCA, obtida por diferença de massa, e somente houve correlação significativa com a largura de raios na madeira de *Eucalyptus cloeziana*. O coeficiente de correlação de Pearson foi de -0,59, sendo uma correlação fraca do ponto de vista tecnológico. Com isso, mesmo que essa metodologia apresente resultados iguais estatisticamente aos obtidos pela espectrometria de raios X, as propriedades da madeira do alburno não explicariam a retenção de CCA na madeira.

As informações contidas na literatura evidenciam que as propriedades da madeira que influenciam na retenção e penetração de preservativos são a porcentagem de alburno, estrutura anatômica, teor de umidade e permeabilidade. Conforme relatado na literatura, na madeira de *Eucalyptus* spp. somente o alburno é permeável à passagem de fluidos (TAMBLYN, 1984, p. 383-384), sendo o tratamento da madeira, sob vácuo-pressão, possível somente a um teor de umidade abaixo de 30-35% (ABNT, 1986, p. 8; MONTANA QUÍMICA, 2008). A estrutura anatômica e o teor de umidade influenciam na permeabilidade que, por sua vez, afeta a penetração de produtos preservativos na

madeira (NICHOLAS; SIAU, 1973, p. 307-314). Apesar do conhecimento dessas informações, em nível quantitativo, essas propriedades não apresentam correlações claras e significativas com a retenção de CCA na madeira de eucalipto. Com relação à massa específica, em geral não existe relação nítida entre a massa específica e a retenção de produtos na madeira das angiospermas (HUNT; GARRATT, 1962).

4.8. Penetração de arseniato de cobre cromatado

4.8.1. Avaliação qualitativa

Em geral, o tratamento preservativo, independentemente da concentração de princípio ativo e tempo de pressão, proporcionou penetração de toda a seção do alburno, na madeira das espécies e híbridos estudados. A madeira tratada com CCA tipo C adquiriu coloração esverdeada e apresentou, na grande maioria dos casos, distribuição uniforme em toda a extensão do alburno, atendendo às especificações da NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10). De acordo a classificação proposta por Montana Química (2008), a penetração de CCA na madeira das espécies e híbridos foi do tipo profunda e regular, o que indica a penetração total e uniforme em toda a extensão do alburno. Imagens da penetração de CCA nas madeiras das espécies e híbridos de *Eucalyptus* spp. podem ser visualizadas nas Figuras 5 a 9.

É importante destacar que a madeira de todas as espécies e híbridos não apresentou penetração de CCA em regiões próximas a defeitos, como bolsas de quino e nós (Figuras 5D e 8D, respectivamente). Segundo Alfenas *et al.* (2004, p. 323), as bolsas de quino são o resultado do processo de gomose que, por sua vez, se caracteriza pela exsudação e escorrimento de goma ou quino, de coloração marrom-escuro, a partir de pontos localizados no tronco das árvores. A goma que se aloja em pontos do lenho, denominada bolsas de quino, extravasa para a superfície externa do tronco, por meio de lesões incitadas por agentes externos. Os referidos autores relataram também que o *Eucalyptus citriodora* é uma espécie muito suscetível à gomose. Segundo Tsoumis (1997, p. 101), as bolsas de quino estão associadas a células de parênquima irregular, contendo em suas cavidades substâncias de coloração escura. Com isso, provavelmente a obstrução dessas células pelo quino faça que as regiões próximas a esses defeitos diminuam a permeabilidade da madeira à passagem de fluidos, afetando a penetração de preservativos, conforme pode ser observado na Figura 5D.

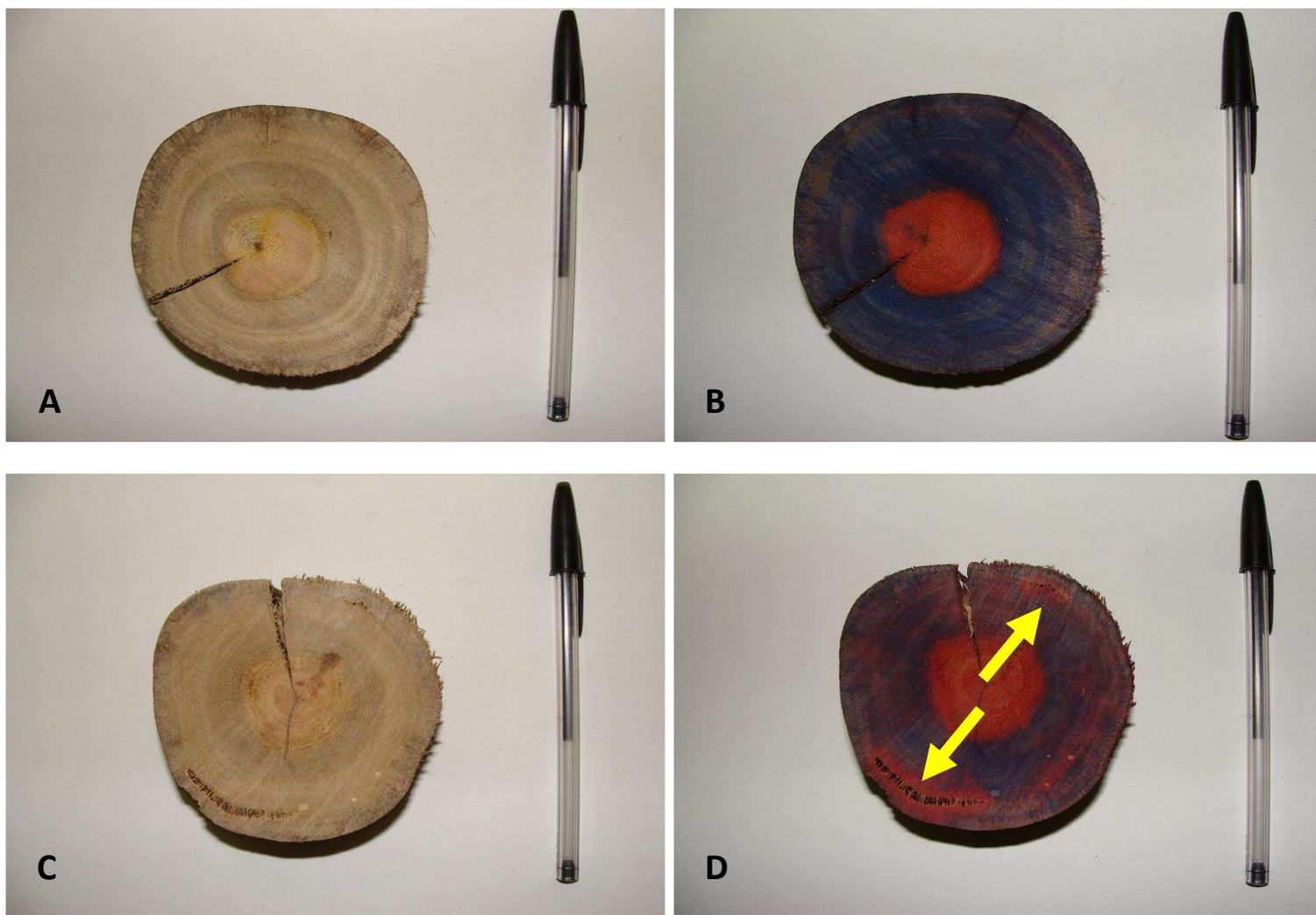


Figura 5 – Madeira tratada de *Eucalyptus citriodora* (Figura 5AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 5BD). Seta amarela: detalhe da região sem reação com cromoazurol, próxima às bolsas de quino.

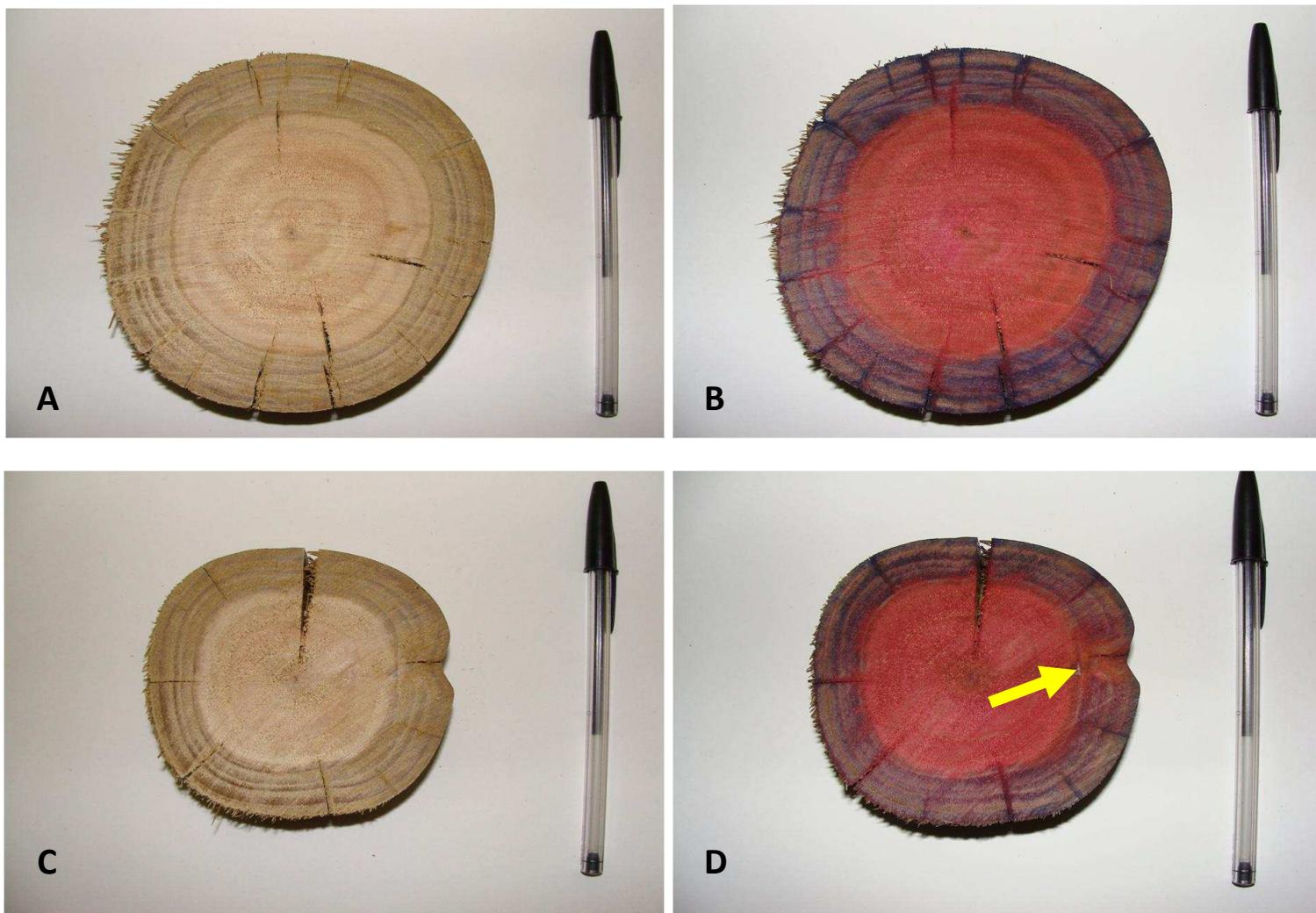


Figura 6 – Madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 6AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 6BD). Seta amarela: detalhe da região com proximidade de nós, sem reação com cromoazurol-S.

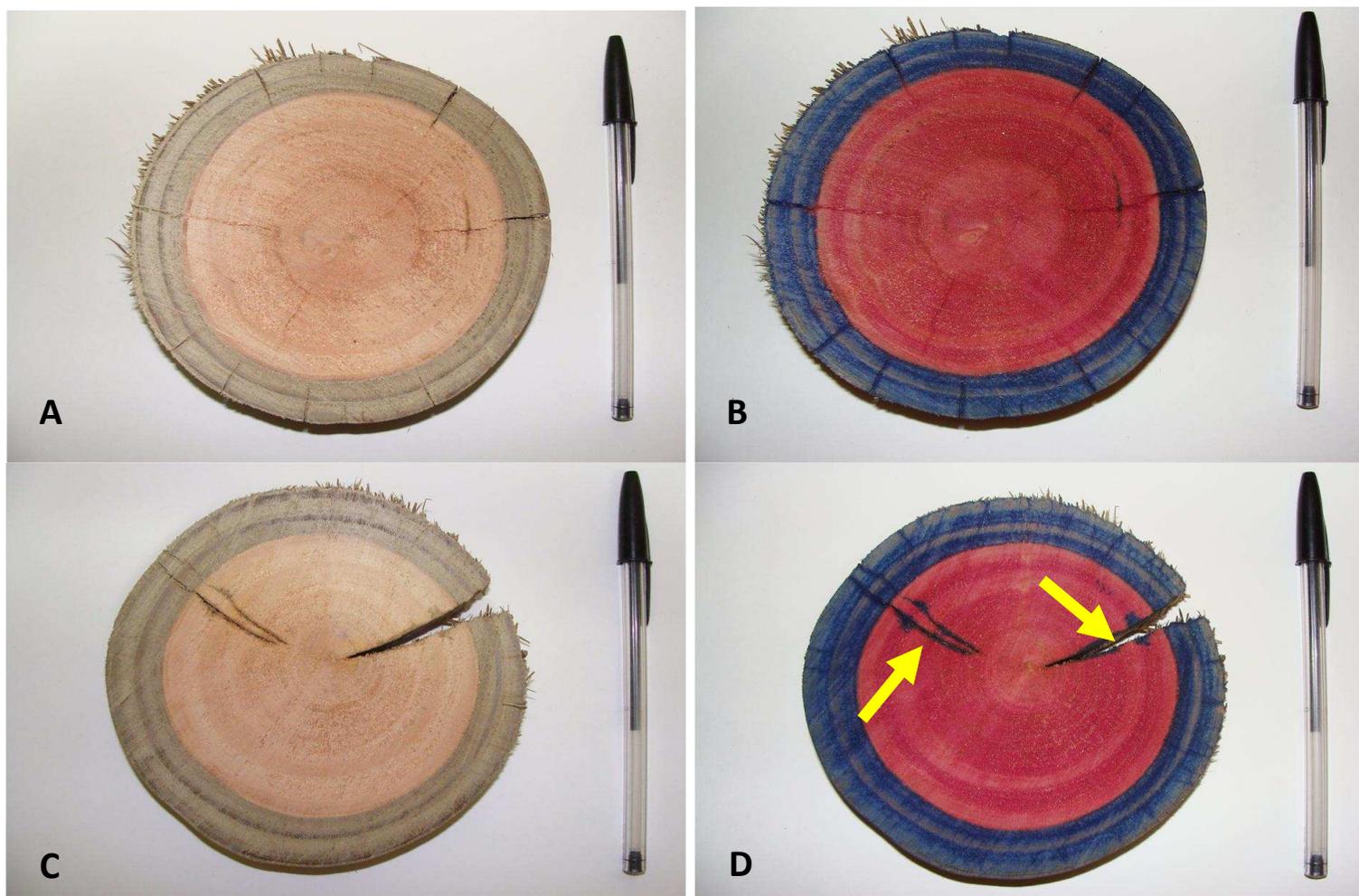


Figura 7 – Madeira tratada de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* (Figura 7AC) e testes de penetração com reação do cromozurol-S (Figura 7BD). Seta amarela = detalhe da penetração de CCA tipo C no cerne da madeira.

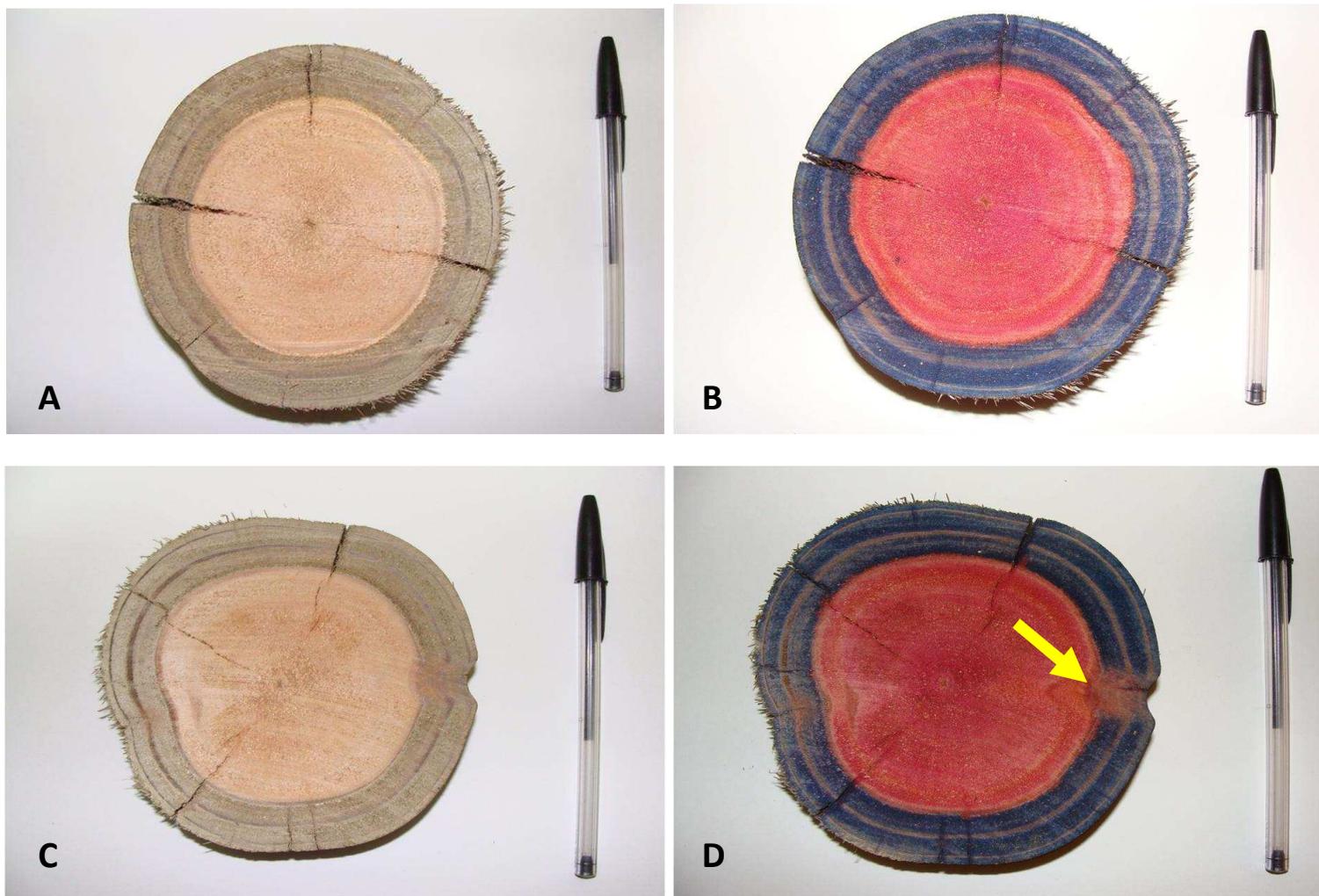


Figura 8 – Madeira tratada do híbrido de *Eucalyptus urophylla* (Figura 8AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 8BD). Seta amarela: região sem reação do cromoazurol-S (proximidade a um nó).

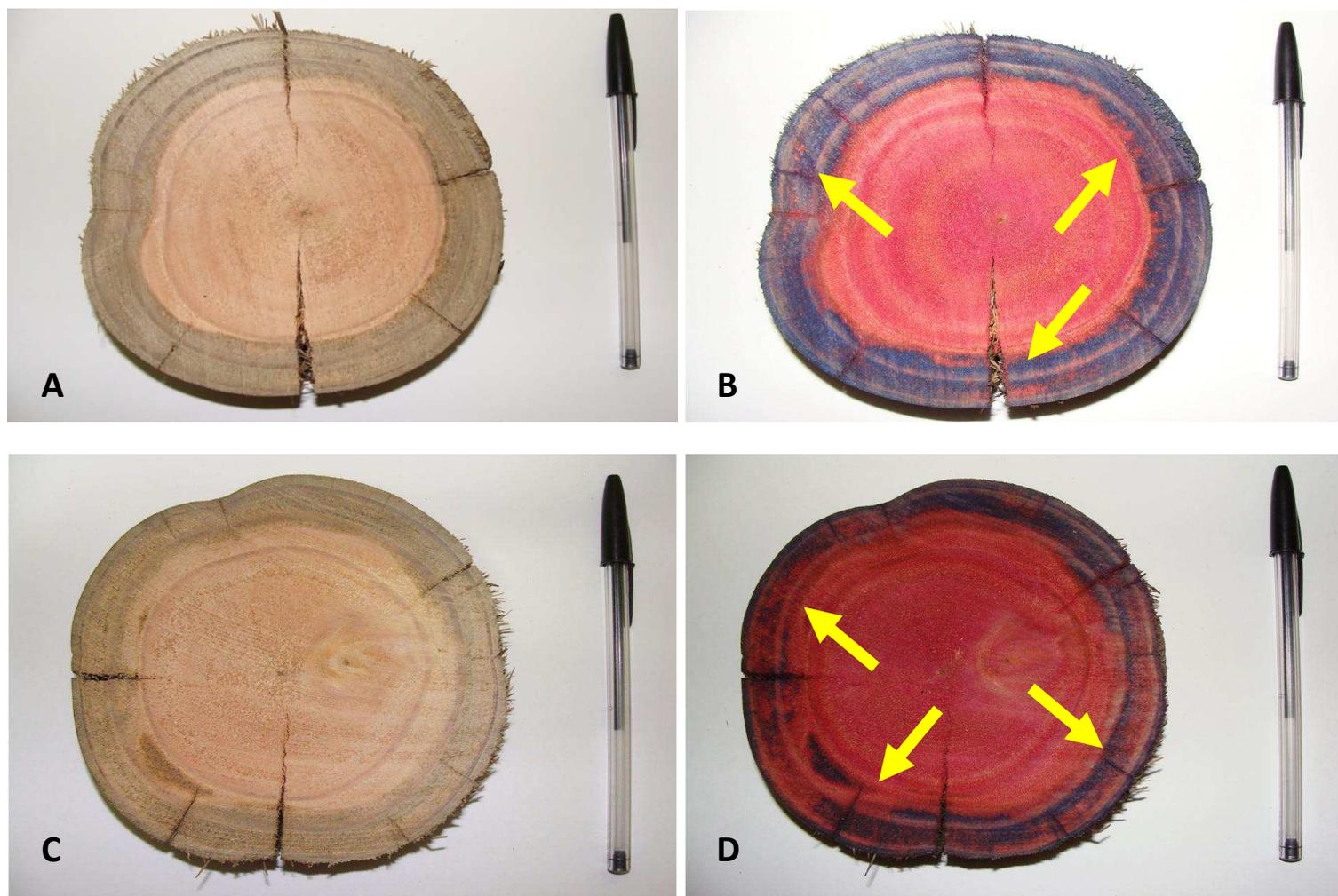


Figura 9 – Madeira tratada do híbrido de *Eucalyptus urophylla* (Figura 9AC) e testes de penetração com reação do cromoazurol-S (Figura 9BD).
Seta amarela = região sem reação do cromoazurol-S.

Segundo Tsoumis (1997, p. 103), o nó corresponde a uma inclusão da parte basal de um galho numa árvore, sendo um componente indispensável de uma árvore viva. Na literatura não há informações sobre a permeabilidade de madeiras com nós: neste trabalho, no entanto, verificou-se que regiões próximas a esses defeitos não apresentam penetração de produtos preservativos, conforme pode ser visto na Figura 8D.

A madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresentou penetração superficial do cerne em regiões onde houve rachaduras ao longo do raio (Figura 7D). Provavelmente, a madeira desse híbrido poderia receber tratamento preservativo no cerne, caso ela passasse por um processo de incisão. Kartal e Lebow (2002, p. 44-48), Venkatasamy (2002b, p. 1-17), Islam *et al.* (2008, p. 343-350) e Lebow (2010, p. 15-17; p. 15-18) observaram aumento na retenção e penetração de produtos na madeira através da aplicação da técnica da incisão. Silva *et al.* (2010), avaliando a permeabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, observaram que a madeira do cerne apresentou alguma permeabilidade à passagem de fluidos, o que pode reforçar a ideia que essa madeira poderia apresentar tratamento satisfatório da madeira impermeável, após um processo de incisão.

Na madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, apenas dois moirões não apresentaram penetração de CCA em toda a seção do alburno (Figura 9). Pela classificação proposta por Montana Química (2008), uma peça apresentou penetração profunda e irregular, que indica a penetração profunda, mas desuniforme em toda a extensão do alburno, havendo regiões do alburno que não receberam o preservativo (Figura 9B). A outra peça apresentou penetração parcial e irregular, que indica a penetração desuniforme e não total pela extensão do alburno, conforme reação do cromoazurol-S (Figura 9D). A ausência de penetração de toda a seção do alburno provavelmente pode ter sido causada por alguma irregularidade da estrutura anatômica da madeira, o que não foi avaliada neste trabalho. Com relação à retenção, a madeira que apresentou penetração parcial e irregular foi tratada com solução de 1,5% de princípio ativo e tempo de pressão de 120 min, apresentando uma retenção de 3,45 kg/m³ de madeira tratada; nesse caso, a penetração de produto observada nessa peça pode ter influenciado na baixa retenção observada, que foi muito abaixo do valor médio verificado nesse tratamento (4,88 kg/m³), conforme pode ser visto Tabela 22. A madeira que apresentou penetração profunda e irregular foi tratada com solução de 2,0% de princípio ativo e tempo de pressão de 120 min, apresentando

retenção de 7,13 kg/m³, estando um pouco abaixo do valor médio observado nesse tratamento (7,79 kg/m³). Apesar de a retenção ter sido mais baixa, ela ainda foi suficiente para assegurar o uso dessa peça em contato com o solo. As demais peças de *Eucalyptus urophylla* apresentaram penetração de toda a região do alburno (Figura 8). Valle (2009, p. 53-54), avaliando a penetração de CCA na madeira de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, através do processo Bethell, verificou também penetração em todo o alburno da madeira.

A penetração de toda a região do alburno, aliada à obtenção de uma retenção mínima de produtos na madeira, proporciona tratamento preservativo eficiente, de acordo com a classe de uso. A utilização de solução, com concentração de 2,0% de princípio ativo, associado a um tempo de pressão de 60 min, proporcionou tratamento preservativo eficiente para o uso da madeira tratada em contato com o solo, considerando-se também a penetração de CCA. O uso da solução, com concentração de 1,5% de princípio ativo e tempo de pressão de 60 min, pode ser utilizado no tratamento da madeira das espécies e híbridos utilizados, sem contato com o solo.

4.8.2. Avaliação quantitativa

Na avaliação quantitativa da penetração de CCA, determinou-se a penetração de produto na seção transversal, medida da borda externa até a região de máxima penetração, precisamente na região de transição alburno-cerne. Determinou-se, também, a área tratada com CCA na seção transversal. A análise de variância referente à penetração na seção transversal pode ser vista na Tabela 27.

Para a penetração na seção transversal foram significativos os efeitos da espécie/híbrido e da interação entre espécie/híbrido e princípio ativo. A análise de variância referente à área transversal tratada com CCA pode ser vista na Tabela 28.

Na área tratada com CCA, somente o efeito da espécie/híbrido foi significativo. Os valores médios da penetração radial e a área tratada com CCA podem ser visualizados na Tabela 29.

Os menores e os maiores valores médios da penetração radial e área tratada com CCA foram observados nas madeiras do híbrido de *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus citriodora*, respectivamente. Todas as espécies e híbridos apresentaram diferença significativa entre si, nos dois parâmetros analisados.

Tabela 27 – Análise de variância da penetração na seção transversal de CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Espécie/Híbrido (EH)	3	35,3716	11,7905	295,19*	0,000000
Princípio ativo (PA)	2	0,2335	0,1167	2,92	0,058048
Tempo de pressão (TP)	2	0,0392	0,0196	0,49	0,613674
Interações					
EH x PA	6	0,5695	0,0949	2,38*	0,033979
EH x TP	6	0,1764	0,0294	0,74	0,621629
PA x TP	4	0,0435	0,0109	0,27	0,895101
EH x PA x TP	12	0,2753	0,0229	0,57	0,858511
Resíduo	108	4,3137	0,0399		
Total	143	41,0226			

* Significativo a 5% de significância.

Tabela 28 – Análise de variância da área tratada com CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	P
Espécie/Híbrido (EH)	3	42051,6	14017,2	1420,60*	0,000000
Princípio ativo (PA)	2	45,2	22,6	2,29	0,105962
Tempo de pressão (TP)	2	31,6	15,8	1,60	0,206105
Interações					
EH x PA	6	110,2	18,4	1,86	0,094021
EH x TP	6	61,1	10,2	1,03	0,408731
PA x TP	4	31,2	7,8	0,79	0,533867
EH x PA x TP	12	151,5	12,6	1,28	0,240832
Resíduo	108	1065,6	9,9		
Total	143	43548,2			

* Nível de 5% de significância.

Tabela 29 – Valores médios de 36 observações da penetração radial (cm) e da área tratada (%) com CCA tipo C na madeira das espécies e híbridos estudados

Parâmetro Avaliado	Espécies		Híbridos	
	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>
Penetração radial de CCA (cm)	2,9 a ^{1/} (0,3) (12,05) ^{2/}	2,0 b (0,2) (9,50)	1,6 d (0,1) (3,46)	1,7 c (0,1) (3,01)
Área tratada com CCA (%)	86,65 a (4,57) (5,29)	63,61 b (4,46) (7,01)	43,38 d (0,90) (2,08)	46,74 c (1,08) (2,31)

* Número de observações.

^{1/} Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de uma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

^{2/} Valores abaixo da média, à esquerda e à direita, correspondem ao desvio-padrão e ao coeficiente de variação, respectivamente.

Os valores médios da penetração radial de CCA foram similares aos observados na espessura do alburno (Tabela 6), mostrando que, nas condições experimentais adotadas, somente houve penetração da madeira do alburno. Conforme relatado por Tamblyn (1984, p. 343-344), a madeira de *Eucalyptus* spp. apresenta alburno permeável e cerne refratário ao tratamento preservativo, sob tratamento com pressão de 14 kgf/cm². Os híbridos clonais avaliados apresentaram maior porcentagem de cerne, que é um tecido impermeável. Com isso, esses híbridos mostraram menor penetração radial do produto e volume de madeira tratada.

Situação inversa foi observada na madeira das duas espécies, em que se observou menor porcentagem de cerne e, conseqüentemente, maior volume de madeira tratada, com destaque para a madeira de *Eucalyptus citriodora*, que apresentou maior área de madeira tratada com CCA. Os valores médios da penetração radial verificados neste trabalho estão também em conformidade com Paes *et al.* (2005, p. 79-83), na madeira de *Eucalyptus viminalis*, e com Torres (2008, p. 51-53), na madeira de *Eucalyptus camaldulensis*.

4.9. Correlações entre a penetração de CCA e as propriedades da madeira do alburno

As correlações da penetração na seção transversal e da área tratada com CCA com as propriedades da madeira do alburno podem ser vistas na Tabela 30. Em geral, observaram-se correlações significativas e positivas da penetração de CCA com a espessura e porcentagem de alburno. Essas correlações já eram esperadas, uma vez que a madeira de eucalipto apresenta todo o alburno permeável à passagem de fluidos, indicando que a maior espessura e o volume de madeira de alburno acarretarão maior volume de madeira tratada com preservativos.

Na madeira de *Eucalyptus citriodora*, a penetração do produto na seção transversal e a área tratada com CCA apresentaram correlações significativas e positivas com a espessura e porcentagem de alburno, sendo os coeficientes de correlação acima de 0,80. A penetração na seção transversal ainda apresentou correlação positiva com o diâmetro do lume dos vasos, bem como correlações negativas com a frequência de vasos e raios. As correlações observadas entre esses parâmetros, apesar de significativas, podem ser consideradas fracas quando comparadas com aquelas observadas com a espessura e porcentagem de alburno. A área tratada com CCA também apresentou correlação positiva com o diâmetro do

Tabela 30 – Coeficientes de correlação entre a penetração da seção radial e a área tratada com CCA e as propriedades da madeira do alburno das espécies e híbridos estudados ($p < 0,05$)

Espécie/Híbrido	Penetração de CCA	Propriedades da madeira de alburno													
		EALB ²	PALB	MEB	CF*	LF	DLF	EPF	DLV	FV	AV	LR	AR	FR	RRX
<i>Eucalyptus citriodora</i>	PST ¹	0,96	0,83	ns ³	ns	ns	ns	ns	0,69	-0,66	ns	ns	ns	-0,63	ns
	AT	0,91	0,98	ns	ns	ns	ns	ns	0,62	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	PST	ns	0,66	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	AT	ns	0,78	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	PST	0,71	0,73	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,64	ns
	AT	ns	0,97	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Eucalyptus urophylla</i>	PST	0,69	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	AT	0,59	0,81	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{1/} PST = penetração de CCA na seção transversal; e AT = área tratada com CCA.

^{2/} EALB = espessura de alburno; PALB = porcentagem de alburno; MEB = massa específica básica do alburno; CF = comprimento de fibras; LF = largura de fibras; DLF = diâmetro do lume de fibras; EPF = espessura de parede de fibras; DLV = diâmetro do lume de vasos; FV = frequência de vasos; AV = área de vasos; LR = largura de raios; AR = altura de raios; FR = frequência de raios; e RRX = retenção de CCA, por espectrometria de raios X.

³ Não significativo.

volume dos vasos. As correlações verificadas na madeira de *Eucalyptus citriodora* foram também mais fortes que aquelas observadas na madeira de *Eucalyptus cloeziana* e dos dois híbridos.

Na madeira de *Eucalyptus cloeziana*, somente a porcentagem de alburno apresentou correlações significativas com a penetração de CCA. Na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, a penetração na seção transversal apresentou correlações positivas com a espessura e porcentagem de alburno e, também, correlações negativas com a frequência dos raios. Do ponto de vista tecnológico, não se encontraram explicações para as correlações negativas entre a penetração na seção transversal e a frequência de raios. A área tratada com CCA na madeira de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* apresentou correlações positivas com a porcentagem de alburno.

Na madeira do híbrido de *Eucalyptus urophylla*, a penetração na seção transversal apresentou correlações significativas e positivas apenas com a espessura do alburno. A área tratada mostrou correlações positivas com a espessura e porcentagem de alburno.

Em nenhuma espécie e híbrido foram verificadas correlações significativas entre a retenção, obtida por espectrometria de raios X, e a penetração de CCA. Também não foi verificada nenhuma correlação significativa da penetração com as dimensões das fibras e com a massa específica básica do alburno. Essas propriedades não contribuíram para explicar a relação entre as propriedades da madeira e a penetração, como também não o fizeram com os índices de retenção de CCA (Tabela 26).

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram a conclusão de que:

1) As espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. apresentam diferenças entre si quanto aos parâmetros relacionados ao alburno e cerne da madeira. À exceção da espessura do alburno, tais diferenças também são observadas ao longo da direção longitudinal.

2) Em geral, as espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. apresentam diferenças significativas na massa específica básica, teor de umidade e propriedades anatômicas.

3) A massa específica básica do alburno é sempre maior que a massa específica básica média da madeira.

4) A massa específica básica e o teor de umidade da madeira apresentam-se inversamente proporcionais.

5) A madeira das espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. apresentam diferentes níveis de retenção e penetração de CCA, mostrando que o material genético exerce efeito significativo sobre o tratamento preservativo.

6) A análise de retenção por diferença de massa, utilizada como alternativa ao método de espectrometria de raios X, não se mostra apta para a determinação de retenção de CCA na madeira.

7) A concentração de princípio ativo da solução preservativa apresenta-se diretamente correlacionada com a retenção de CCA.

8) O tempo de pressão, nas condições propostas neste trabalho, não afeta o tratamento preservativo das madeiras, quando observada a interação espécie/híbrido x tempo de pressão.

9) A interação entre princípio ativo e tempo de pressão é significativa, entretanto o aumento na retenção de CCA com o aumento do tempo somente é significativo quando é utilizada uma solução com concentração de 2,5% de princípio ativo.

10) Em geral, o tratamento preservativo da madeira das espécies e híbridos proporciona penetração de toda a seção do alburno.

11) A concentração de princípio ativo e o tempo de pressão não exercem efeito significativo sobre a penetração de CCA na madeira.

12) Madeiras com quinos e nós apresentam penetração irregular de CCA na região onde esses defeitos estão localizados.

13) A concentração de 2,0% de princípio ativo e o tempo de pressão de 60 min são suficientes para garantir a retenção mínima de $6,5 \text{ kg/m}^3$ de madeira tratada, bem como uma penetração de todo o alburno, estabelecida pela Norma NBR 9480, para usos em contato com o solo. Exceção foi verificada na madeira do híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, em que é necessário um tempo de pressão de 90 min.

14) Para usos da madeira sem contato com o solo, a concentração de 1,5% de princípio ativo e o tempo de pressão de 60 min são suficientes para garantir a retenção mínima de $4,0 \text{ kg/m}^3$ de madeira tratada.

15) A massa específica básica e as propriedades anatômicas da madeira de alburno não contribuem para explicar os níveis de retenção e penetração de CCA na madeira.

6. RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados deste trabalho, podem ser feitas as seguintes recomendações:

1) Utilizar outras espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. no estudo do tratamento preservativo da madeira.

2) Avaliar outras concentrações de princípio ativo da solução preservativa e tempos mais reduzidos de pressão em autoclave.

3) Avaliar as relações entre as propriedades tecnológicas da madeira e a retenção e penetração de CCA na madeira de eucalipto.

4) Avaliar outros produtos preservativos para tratamento da madeira sob vácuo-pressão, como o CCB e preservativos à base de cobre e azole.

5) Validar as informações da Norma NBR 9480, as quais prescrevem a retenção mínima de 4,0 e 6,5 kg/m³ de produtos hidrossolúveis (CCA e CCB) na madeira, como realmente suficientes para garantir a sua resistência, através de testes de apodrecimento e resistência a insetos xilófagos, em condições laboratoriais e de campo.

6) Ampliar a base de informação sobre as possibilidades de utilização da madeira preservada, principalmente na construção civil e indústria moveleira.

7) Tomar cuidado na extrapolação dos resultados deste trabalho, por se tratar de situações específicas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. *Anuário estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010*. Brasília, DF, 2011. 130 p.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. *Clonagem e doenças do eucalipto*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. 442 p.

ALZATE, S. B. A. *Caracterização da madeira de árvores de clones de Eucalyptus grandis, E. saligna e E. grandis x urophylla*. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard for waterborne preservatives: p. 5-6. In: _____. *2006 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama, USA, 2006. p. 111-116.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. *2010 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama, USA, 2010. 576 p.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard for waterborne preservatives: p. 5-9. In: _____. *2010 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama-USA, 2010. p. 113-118.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard for chromated copper arsenate type C (CCA-C): p. 23-8. In: _____. *2010 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama-USA, 2010. p. 131-132.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard methods for determining penetration of preservatives and fire retardants: A3-08. In: _____. *2010 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama-USA, 2010. p. 199-204.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. Standard method for analysis of treated wood and treating solutions by X-rays spectroscopy: A9-08. In: _____. *2010 AWPA book of standards*. Birmingham, Alabama-USA, 2010. p. 234-237.

ARANTES, M. D. C. *Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake.* 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

ARSENAULT, R. D. Factors influencing the effectiveness of preservative systems. In: NICHOLAS, D. D. *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments.* Syracuse: Syracuse University Press, 1973. 2 v, cap. 2, p. 121-278.

ASSIS, T. F.; MAFIA, R. G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. *Biotecnologia florestal.* Viçosa, MG: [s.n.], 2007. p. 93-121.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica* – Especificação: NBR 8456. Rio de Janeiro, 1984. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Mourões de madeira preservada para cercas* – Especificação: ABNT 9480. Rio de Janeiro, 1986. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de madeira:* NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Madeira para carretéis para fios, cordoalhas e cabos:* NBR 6236. Rio de Janeiro, 2004. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Dormente de madeira* – Requisitos e métodos de ensaio: NBR 7511. Rio de Janeiro, 2005. 18 p.

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

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P.; DIAS, C. T. S. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 707-713, 2008.

BOLAND, D. J.; BROKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; McDONALD, M. W.; TURNER, J. D. *Forest trees of Australia.* 5. ed. Australia: CSIRO Publishing, 2006. 736 p.

BORÉM, A. (Ed.). *Biotecnologia florestal.* Viçosa, MG: [s.n.], 2007. 387 p.

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, MG, v. 24, n. 1, p. 115-121, 2000.

BOTREL, M. C. G.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; FERNANDES, B. R. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 76, p. 13-19, dez. 2007.

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, J. R. M. Seleção de clones de *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade da madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, v. 38, n. 86, p. 237-245, jun. 2010.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Lei nº 4.797, de 20 de outubro de 1965. Torna obrigatório pelas empresas concessionárias de serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1965.

BRAZOLIN, S.; LANA, E. L.; MONTEIRO, M. B. B.; LOPEZ, G. A. C.; PLETZ, E. Preservação de madeiras: sistema de classes de risco. *Madeira: arquitetura e engenharia*, São Carlos, SP, v. 13, maio-ago. 2004.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 59, p. 61-76, jun. 2001.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 64, p. 33-47, 2003.

COOPER, P. A. Post treatment conditioning-fixation of CCA. Canadian Wood Preservation Association. *Proceedings...* [S.l.], 2001, p. 88-97.

COOPER, P. A.; JEREMIC, D.; UNG, Y. T. Effectiveness of CCA fixation to avoid hexavalent chromium leaching. *Forest Products Journal*, v. 51, n. 10, p. 58-62, 2001.

COOPER, P. A.; JEREMIC, D.; TAYLOR, J. L. Residual CCA levels in CCA-treated poles removed from service. *Forest Products Journal*, v. 54, n. 3, p. 56-58, 2004.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *The facts about CCA-treated timber*. 2008. Disponível em: <<http://www.csiro.au/resources/CCATreatedTimber.html>>. Acesso em: 19 maio 2011.

COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. *Anatomia vegetal*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2003. cap. 5, p. 129-154.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne. *Forest Products Laboratory*, CSIRO, n. 66, p. 1-28, 1972.

DHAMODARAN, T. K.; GNANAHARAN, R. Optimizing the schedule for CCA impregnation treatment of rubber wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 59, n. 4, p. 294-298, 2001.

DHAMODARAN, T. K.; GNANAHARAN, R. Boron impregnation treatment of *Eucalyptus grandis* wood. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 11, p. 2240-2242, ago. 2007.

DUARTE, F. A. S. *Avaliação da madeira de Betula pendula, Eucalyptus globulus e de híbrido de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla destinadas à produção de polpa celulósica kraft*. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

EVANGELISTA, W. V. *Caracterização da madeira de clones de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. e Eucalyptus urophylla S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril*. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2007.

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, MG, v. 11, n. 3, p. 225-236, 2005.

FERREIRA, C. R.; FANTINI JUNIOR, M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: Parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. *Manual prático de melhoramento genético do eucalipto*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. 200 p.

FREITAS, V. P. *Variações na retenção de CCA-A em estacas de Pinus após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento*. 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.

GUO, A.; COOPER, P. A.; UNG, Y. T.; RUDDICK, J. N. R. Comparison of fixation rates of earlywood, latewood, sapwood, and heartwood of CCA-treated Douglas-fir, southern pine and eastern larch. *Forest Products Journal*, v. 52, n. 5, p. 77-80, 2002.

HARTFORD, W. H. Chemical and physical properties of wood preservatives and wood-preservative systems. In: NICHOLAS, D. D. *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments*. Syracuse: Syracuse University Press, 1973. 2 v, cap. 2, p. 1-120.

HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. *Eucalyptus for wood production*. Sydney-Australia: Academic Press, 1984. cap. 12, p. 259-289.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. *Preservacion de la madera*. Tradução por Adelardo Sanchis Batalla. Barcelona: Salvat Editores, 1962. 486 p.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, n.s., Leiden, The Netherlands, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.

ISLAM, M. N.; ANDO, K.; YAMAUCHI, H.; KOBAYASHI, Y.; HATTORI, N. Comparative study between full cell and passive impregnation method of wood preservation for laser incised Douglas fir lumber. *Wood Science and Technology*, v. 42, p. 343-350, 2008.

KARTAL, S. N.; LEBOW, S. T. Effects of incising on treatability and leachability of CCA-C-treated eastern hemlock. *Forest Products Journal*, v. 52, n. 2, p. 44-48, Feb., 2004.

KAZI, F. K. M.; COOPER, P. A. Kinetic model of CCA fixation on wood. Part I: The initial reaction zone. *Wood and Fiber Science*, v. 32, n. 3, p. 354-361, jul., 2000.

KAZI, F. K. M.; COOPER, P. A.; CHEN, J. Kinetic model of CCA fixation on wood. Part II. The main reaction zone. *Wood and Fiber Science*, v. 32, n. 4, p. 442-449, out. 2000.

LEIGHTLEY, L. E. Protection of wood using combinations of biocides. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, T. P. *Wood deterioration and preservation: advances in our changing world*. Washington, USA, 2003. p. 390-398. (ACS Symposium Series, 845).

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 33, n. 7-8, p. 1105-1118, 2002.

LEBOW, S.; FOSTER, D. Environmental concentrations of copper, chromium, and arsenic released from a chromated-copper-arsenate-(CCA-C-) treated wetland boardwalk. *Forest Products Journal*, v. 55, n. 2, p. 62-71, 2005.

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood Handbook: wood as an engineering material*. Madison, USA: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p. 15-1; p. 15-28.

LEBOW, P.; LEBOW, S.; NELSON, W. Effect of treatment pressure on treatment quality and bending properties of red pine lumber. *Forest Products Journal*, v. 60, n. 5, p. 447-52, aug. 2010.

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

MEZZOMO, L. X. *Potencialidade de Eucalyptus cloeziana S. Muell, E. citriodora Hook, E. urophylla St Blake e E. urophylla x E. grandis, cultivados na Bahia, para produção de celulose solúvel*. 1996. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1996.

MOGLIA, J. G.; BRAVO, S.; GEREZ, R. Anatomía comparada del leño de *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) de dos orígenes, ensayados en Santiago del Estero. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, Córdoba, Argentina, v. 43, n. 3-4, p. 239-246, 2008.

MONTANA QUÍMICA S.A. *Madeira tratada com Osmose® K33 C – Óxido*: Informativo Técnico – Divisão Osmose. São Paulo, SP: Montana Química S.A., 2008. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Perguntas-Freq/Madeira-Tratada/CCA-Osmose-K33-C>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

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. 2v., cap. 4, p. 299-343.

OLIVEIRA, J. T. S. *Caracterização da madeira de eucalipto para construção civil*. 1997. 429 f. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1997.

OLIVEIRA, J. G. L. *Propriedades anatômicas da madeira de dois clones de eucalipto implantados em diferentes localidades*. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2009.

OLIVEIRA, J. G. L. *Propriedades anatômicas da madeira de dois clones de eucalipto implantados em diferentes localidades*. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2009.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição da seiva. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v. 15, n. 1, p. 75-86, 2005.

PÁDUA, F. A. *Amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake*. 2009. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

PÊGAS, M. R. C. *Resistência natural de nove espécies de madeiras ao ataque de *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1896) (Isoptera: Rhinotermitidae)*. 2007. 17 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. *Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil*. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas, Documentos, 38).

QUILHÓ, T.; MIRANDA, I.; PEREIRA, H. Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*). *IAWA Journal*, Leiden, The Netherlands, v. 27, n. 3, p. 243-254, 2006.

RADIVOJEVIC, S.; COOPER, P. A. Effects of CCA-C preservative retention and wood species on fixation and leaching of Cr, Cu, and As. *Wood and Fiber Science*, v. 39, n. 4, p. 591-602, 2007.

RADIVOJEVIC, S.; COOPER, P. A. The effects of wood species and treatment retention on kinetics of CCA-C fixation reactions. *Wood and Science Technology*, v. 44, n. 2, p. 269-282, 2010.

REVISTA DA MADEIRA. Tecnologia amplia possibilidades de usos. *Revista da Madeira*, n. 109, p. 106-111, dez. 2007.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, SP, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.

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, MG, v. 27, n. 6, p. 845-853, 2003.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. *Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010*. Brasília: SFB, 2010. 152 p. ISBN 978-85-63269-07-2. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Florestas_do_Brasil_em_resumo_SFB_2010.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2010.

SIAU, J. F. *Transport processes in wood*. Berlim; Heidelberg; New York: Springer-verlag, 1984. 245 p.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 34, n. 1, jan./abr., p. 13- 22, 2004.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill x. Maiden. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R.; XAVIER, B. A. *Manual prático do fazendeiro florestal: produzindo madeira com qualidade*. Viçosa, MG, 2008. 72 p.

SILVA, J. C. *Paradigmas das plantações de eucalipto: no limiar entre o bom senso e a insensatez*. Viçosa, MG: Arka Editora, 2009. 128 p.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; DEINER, J.; CALIL JUNIOR, C. Permeability measurements of brazilian *Eucalyptus*. *Materials Research*, São Carlos, SP, v. 13, n. 3, p. 281-286, 2010.

SLAHOR, J. J.; HASSLER, C. C.; DeGROOT, R. C. Gardner, D. J. Preservative treatment evaluation with CCA and ACQ-B of four Appalachian wood species for use in timber transportation structures. In: SLAHOR, J. J. *Preservative treatment evaluation of five appalachian wood species with four preservatives*. 1999. 85 f. Dissertação (Mestrado em Science in Forestry) – West Virginia University, Morgantown, West Virginia, 1999. p. 19-36.

SOUSA JÚNIOR, W. P. *Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de Eucalyptus cloeziana e de Eucalyptus urophylla oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG)*. 2004. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

STEVANOVIC-JANEZIC, T.; COOPER, P. A.; UNG, Y. T. Chromated copper arsenate preservative treatment of north american hardwoods: Part 1: CCA fixation performance. *Holzforschung*, v. 54, n. 6, p. 577-584, 2000.

TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. *Eucalyptus for wood production*. Sydney-Australia: Academic Press, 1984. cap. 18, p. 343-356.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. *Floresta*, Curitiba, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

TORRES, P. M. A. *Caracterização da madeira juvenil de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. para aplicação na arquitetura rural*. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. *Cerne*, Lavras, MG, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 73, p. 55-62, mar. 2007.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, MG, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.

TSOUMIS, G. *Science and technology of wood: structure, properties and utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

TUFOLO NETTO, H. *Benefícios do uso da madeira de reflorestamento tratada para a construção civil*. 2010. 47 f. Monografia (Especialização em Gestão Empresarial) – Instituto Nacional de Pós Graduação, São Paulo, SP, 2010.

USTA, Ü. The effect of moisture content and wood density on the preservative uptake of caucasian fir (*Abies nordmanniana* (link.) Spach.) treated with CCA, *Turquia*, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2004.

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

VEENIN, T.; FUJITA, M.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. *IAWA Journal*, Leiden, The Netherlands, v. 26, n. 3, p. 353-361, 2005.

VENKATASAMY, R. The influence of age on retention and fixation of CCA in pressure-treated Kenyan-grown *Eucalyptus saligna*: summary of findings. In: ANNUAL MEETING OF IRG - WP (INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION), 33., 2002a, Cardiff, Wales, United Kingdom. *Proceedings...* Cardiff, Walles, UK, 2002. 14 p. IRG/WP 02-30296.

VENKATASAMY, R. Butt-end incising to improve penetration and retention of CCA in *Eucalyptus saligna* telegraph poles in Kenya: preliminary results. In: ANNUAL MEETING OF IRG - WP (INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION), 33., 2002b, Cardiff, Wales, United Kingdom. *Proceedings...* Cardiff, Walles, UK, 2002b. 14 p. IRG/WP 02-40243.

VENKATASAMY, R. Differential retention and leaching of CCA(C) in sapwood and heartwood of Kenyan-grown blue gum (*Eucalyptus saligna*) and black wattle (*Acacia mearnsii*). In: ANNUAL MEETING OF IRG - WP (INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION), 36., 2005, Bangalore-India. *Proceedings...* Bangalore-Índia, 2005. 13 p. IRG/WP 05-30371.

VENKATASAMY, R. Influence of grain direction on penetration, retention, and leaching of CCA(C) in sapwood and heartwood of Kenyan-grown *Eucalyptus saligna* and *Acacia mearnsii* In: ANNUAL MEETING OF IRG - WP (INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION), 38, 2007, Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA. *Proceedings...* Wyoming, 2007. 14 p. IRG/WP 07-40383.

VITAL, B. R. *Métodos de determinação da densidade da madeira*. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

RETENÇÕES MÍNIMAS DE CCA E CCB RECOMENDADAS, DE ACORDO COM A CLASSE DE USO

Tabela 1A – Valores mínimos de retenção de CCA tipo C e CCB recomendados na madeira tratada, de acordo com sua condição de uso

Categoria de Uso *	Condições de Uso	Aplicação**	Retenção Mínima (kg/m ³ ***)	Xilófagos Nocivos****
1	<p>A madeira está inteiramente protegida das intempéries e não sujeita à reumidificação. A umidade média de equilíbrio da madeira varia entre 12 e 18%*</p> <p>Situações: interior de construções com ou sem contato com alvenaria, mas fora do contato com o solo ou com fundações, e protegido de intempéries e de fontes internas de umidade**</p>	<p>Carreteis^{1/} janelas/móveis internos/portas/embalagens/ batentes/ assoalhos/guarda-corpos/montantes/ subcoberturas de telhado</p>	4,0 ou 6,5 ^{2/}	<p>Cupins de madeira seca, cupins subterrâneos, cupins arborícolas e brocas de madeira</p>
2	<p>A madeira está inteiramente protegida das intempéries, mas sujeita à reumidificação ocasional. A umidade média de equilíbrio da madeira varia entre 12 e 18%**</p> <p>Situações: interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegida de intempéries, que pode ocasionalmente ser exposta a fontes de umidade.*</p>	<p>Corrimãos/lambris/vigas/soleiras/ colunas</p>	4,0 ou 6,5 ^{2/}	<p>Cupins de madeira seca, cupins subterrâneos, cupins arborícolas e brocas de madeira, fungos emboloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores</p>
3	<p>A madeira não está protegida das intempéries ou está, mas sujeita à reumidificação frequente. A umidade média de equilíbrio da madeira é superior ou igual a 25%**</p> <p>Situações: uso exterior, fora de contato com o solo e sujeita a intempéries*</p>	<p>Batentes/telhas/shingles/tabeira/cumeeiras/caibros/terças/tesouras/ móveis externos/ fechamentos/ cruzetas para postes/ carrocerias de caminhões/tampas laterais e assoalhos para semirreboques/ assoalhos para ônibus e vagões ferroviários</p>	4,0 ou 6,5 ^{2/}	<p>Cupins de madeira seca, cupins subterrâneos, cupins arborícolas e brocas de madeira, fungos emboloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores</p>

Continua...

Tabela 1A, Cont.

Categoria de uso*	Condições de uso	Aplicação**	Retenção mínima (kg/m³)***	Xilófagos nocivos****
4	A madeira está permanentemente em contato com o solo ou com água doce**	Peças roliças (moirões)	4,0 ou-6,5 ^{3/}	Cupins de madeira seca, cupins subterrâneos, cupins arborícolas e brocas de madeira, fungos emboloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores
		Postes	9,6 ^{4/}	
		Dormentes	9,6 ^{5/}	
		Cercas/pérgulas/playgrounds/torres de resfriamento/estacas/escadas/fundações	6,4 a (9,6 a 12,8) ^{6/}	
5	A madeira está permanentemente em contato com água salgada**	Colunas/defensas/pontes/passarelas	24,0-40,0 ^{7/}	Perfuradores marinhos, fungos emboloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores

* Classe de risco de uso da madeira, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 88-89).

** Adaptado de MONTANA QUÍMICA S.A., 2008.

*** Retenção mínima recomendada – quilos de ingredientes ativos por metro cúbico de madeira tratada.

**** Exemplos dos xilófagos nocivos, de acordo com Brazolin *et al.* (2004).

^{1/} Standards da AWP (2010), para componentes estruturais de fácil manutenção, reparo ou substituição (4,0 kg/m³) e para componentes estruturais de difícil manutenção, reparo ou substituição e críticos para o desempenho e segurança do sistema construtivo (6,5 kg/m³).

^{2/} NBR 6236 (ABNT, 2004, p. 4).

^{3/} NBR 9480 (ABNT, 2009, p. 10), para peças roliças suspensas, fora do contato com o solo (4,0 kg/m³) e em contato direto com o solo (6,5 kg/m³).

^{4/} NBR 8456 (ABNT, 1984, p. 30).

^{5/} NBR 7511 (ABNT, 2005, p. 16).

^{6/} Standards da AWP (2010), para componentes estruturais de fácil manutenção, reparo ou substituição (6,4 kg/m³) e para componentes estruturais de difícil manutenção, reparo ou substituição e críticos para o desempenho e segurança do sistema construtivo (9,6-12,8 kg/m³).

^{7/} Standards da AWP (2010), para locais com menor incidência (24,0 kg/m³) e maior incidência (40,0 kg/m³) de *Limnoria* sp.

APÊNDICE B

IMAGENS DO PROGRAMA UTILIZADO NA MEDIÇÃO DA ÁREA OCUPADA POR VASOS

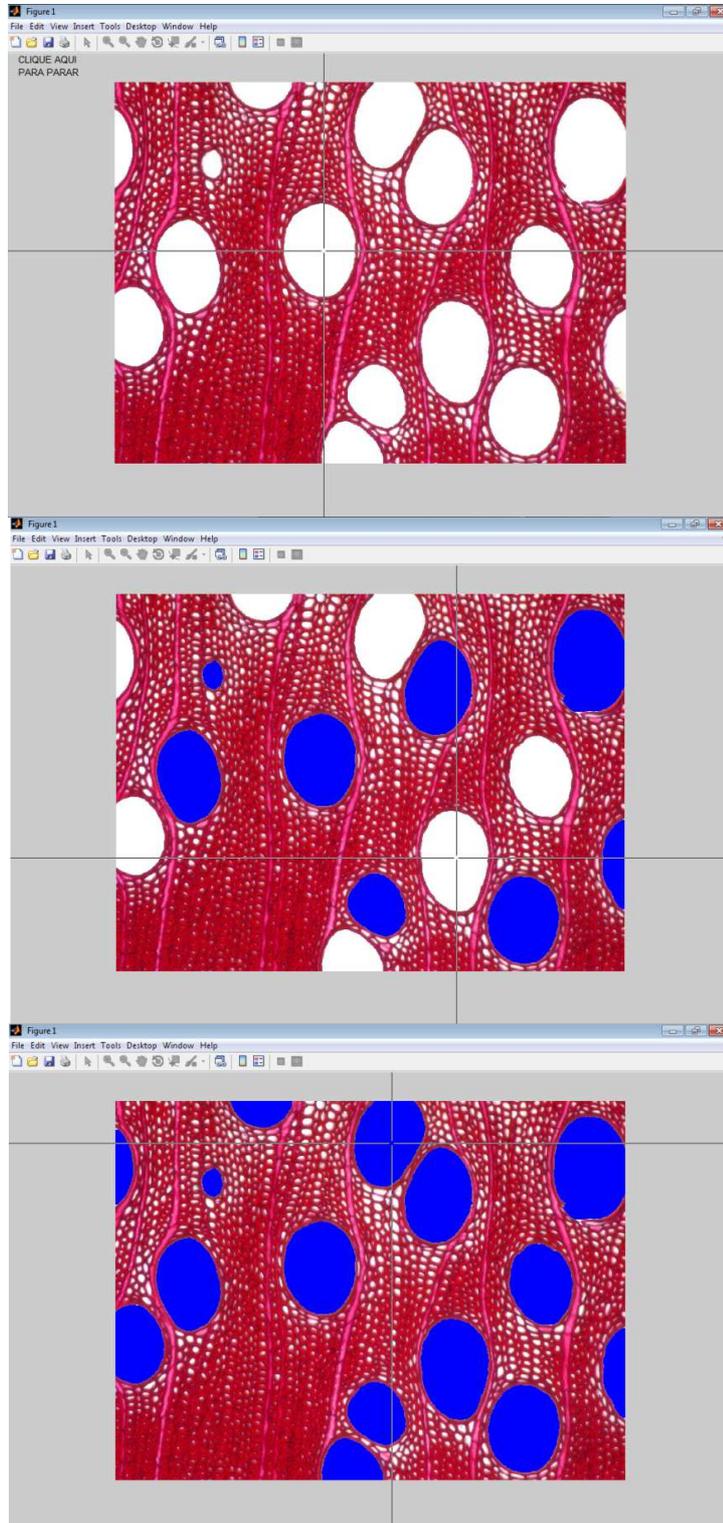


Figura 1B – Etapas e preenchimento do lume dos vasos para a estimativa da área ocupada por vasos.

APÊNDICE C

RESULTADO DAS ANÁLISES DAS SOLUÇÕES PRESERVATIVAS DE OSMOSE K33C (CCA TIPO C) UTILIZADAS NO TRATAMENTO PRESERVATIVO DA MADEIRA DAS ESPÉCIES E HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* spp.

	Departamento Técnico e Industrial Divisão: Osmose Laboratório: Controle de Qualidade Responsável pelo relatório: Jackson Marcelo Vidal NL nº.: 1075/09 Ref. nº.: CQ 996/09 Data: 14/12/09				
CLIENTE: Universidade Federal de Viçosa Avenida P H Rolfs S/N - Campos Federal de Viçosa 36570-000 Viçosa - MG	FACQ: 900				
AMOSTRA: solução 1	DATA ENTRADA: 11/12/09				
FINALIDADE: determinação da concentração da solução para uso no tratamento preservativo.					
Ingredientes	Resultados da análise (%)	Resultados do balanceamento químico (%)	Padrões do balanceamento químico		Método de ensaio
			Mínimo	Máximo	
Teor de CrO ₃ (Cromo)	0,65	46,8	44,5	50,5	ME 19/05
Teor de CuO (Cobre)	0,27	19,4	17,0	21,0	
Teor de As ₂ O ₅ (Arsênio)	0,47	33,8	30,0	38,0	
TOTAL	1,39	100,0			
Densidade a 24,0°C (g/cm ³)	1,0100				ME 49/05
Concentração pela tabela (%)	1,3				
pH da solução a 25,0°C	2,0		Especificação: 1,6 a 2,3		ME 38/05
PARECER A amostra apresentou balanceamento químico e pH conforme os limites estabelecidos.					
OBSERVAÇÕES: os resultados restringem-se à amostra fornecida.					
Relatório com emissão eletrônica.					


 Jackson Marcelo Vidal
 Químico Pesquisador
 Laboratório Osmose
 14/12/2009

Relatório 1C – Amostra representativa da solução de Osmose K33C utilizada no tratamento preservativo da madeira nos tratamentos com uso da solução de 1,5% de princípio ativo.

**Departamento Técnico e Industrial**

Divisão: Osmose

Laboratório: Controle de Qualidade

Responsável pelo relatório: Jackson Marcelo Vidal

NL n.º: 665/09

Ref. n.º: CQ 607/09

Data: 06/08/09

CLIENTE: Universidade Federal de Viçosa Avenida P H Rolfs S/N - Campos Federal de Viçosa 36570-000 Viçosa - MG	FACQ: 556
AMOSTRA: solução 1	DATA ENTRADA: 05/08/09
FINALIDADE: determinação da concentração da solução para uso no tratamento de mourões.	

Ingredientes	Resultados da análise (%)	Resultados do balanceamento químico (%)	Padrões do balanceamento químico		Método de ensaio
			Mínimo	Máximo	
Teor de CrO ₃ (Cromo)	0,97	46,0	44,5	50,5	ME 19/05
Teor de CuO (Cobre)	0,41	19,3	17,0	21,0	
Teor de As ₂ O ₅ (Arsênio)	0,73	34,7	30,0	38,0	
TOTAL	2,11	100,0			

Densidade a 23,0 °C (g/cm ³)	1,0160		ME 49/05
Concentração pela tabela (%)	2,0		
pH da solução a 23,0 °C	2,1	Especificação: 1,6 a 2,3	ME 38/05

PARECER A amostra apresentou balanceamento químico e pH conforme os limites estabelecidos. OBSERVAÇÕES: os resultados restringem-se à amostra fornecida. Relatório com emissão eletrônica.

Jackson Marcelo Vidal
Químico Pesquisador
Laboratório de Preservação de Madeiras
6/8/2009

Relatório 2C – Amostra representativa da solução de Osmose K33C utilizada no tratamento preservativo da madeira nos tratamentos com uso da solução de 2,0% de princípio ativo.

**Departamento Técnico e Industrial**

Divisão: Osmose

Laboratório: Controle de Qualidade

Responsável pelo relatório: Jackson Marcelo Vidal

NL n.º: 930/09

Ref. n.º: CQ 863/09

Data: 27/10/09

CLIENTE: Universidade Federal de Viçosa Avenida P H Rolfs S/N - Campos Federal de Viçosa 36570-000 Viçosa - MG	FACQ: 780
AMOSTRA: solução 2	DATA ENTRADA: 23/10/09
FINALIDADE: determinação da concentração da solução para uso no tratamento preservativo.	

Ingredientes	Resultados da análise (%)	Resultados do balanceamento químico (%)	Padrões do balanceamento químico		Método de ensaio
			Mínimo	Máximo	
Teor de CrO ₃ (Cromo)	1,16	45,7	44,5	50,5	ME 19/05
Teor de CuO (Cobre)	0,49	19,3	17,0	21,0	
Teor de As ₂ O ₅ (Arsênio)	0,89	35,0	30,0	38,0	
TOTAL	2,54	100,0			
Densidade a 24,0°C (g/cm ³)	1,0180				ME 49/05
Concentração pela tabela (%)	2,3				
pH da solução a 24,0°C	2,1		Especificação: 1,6 a 2,3		ME 38/05

PARECER

A amostra apresentou balanceamento químico e pH conforme os limites padronizados.

OBSERVAÇÕES: os resultados restringem-se à amostra fornecida.

Relatório com emissão eletrônica.

Jackson Marcelo Vidal
Químico Pesquisador
Laboratório Osmose
27/10/2009

Relatório 3C – Amostra representativa da solução de Osmose K33C utilizada no tratamento preservativo da madeira nos tratamentos com uso da solução de 2,5% de princípio ativo.