

**VARIAÇÕES NA RETENÇÃO DE CCA-A EM ESTACAS DE *Pinus*
APÓS 21 ANOS DE EXPOSIÇÃO EM CAMPO DE APODRECIMENTO**

VIVIANE DE PAULA E FREITAS

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Recursos Florestais, com opção em Tecnologia
de Produtos Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março – 2002

**VARIAÇÕES NA RETENÇÃO DE CCA-A EM ESTACAS DE *Pinus*
APÓS 21 ANOS DE EXPOSIÇÃO EM CAMPO DE APODRECIMENTO**

VIVIANE DE PAULA E FREITAS
Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. **IVALDO PONTES JANKOWSKY**

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Recursos Florestais, com opção em Tecnologia
de Produtos Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março – 2002

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Freitas, Viviane de Paula

Variações na retenção de CCA-A em estacas de *Pinus* após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento / Viviane de Paula Freitas. - Piracicaba, 2002.

65 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

Bibliografia.

1. Madeira (Tratamento) 2. Pinheiro 3. Preservação da madeira I.

Título

CDD 674.142

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos e ao meu namorado

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ivaldo Pontes Jankowsky, pela orientação, paciência, dedicação, dispensados no decorrer deste trabalho.

Aos professores Lourival Marin Mendes, Paulo Fernando Trugilho, José Reinaldo Moreira Silva e em especial, José Tarcisio Lima, da Universidade Federal de Lavras (Laboratório de Tecnologia da Madeira), pelos ensinamentos recebidos.

À professora Maria Cristina Stolf Nogueira do Departamento de Matemática e Estatística, da Esalq, pelo incentivo e informações prestadas,

Ao professor Marcelo Côrrea do Ciagri, pela atenção e ensinamentos.

Ao funcionário Valdir Ferreira Caldas do laboratório de Laminação da Madeira, pela ajuda na coleta de dados.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos que permitiu a execução deste trabalho.

Ao Dr. Ricardo Montagna, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, pelas informações prestadas.

Aos funcionários José Carlos, Eduardo, João, Giovani e Adeildo, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, pelo acompanhamento nas avaliações do campo experimental.

Aos técnicos Luiz e Antônio, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Ao biólogo Sérgio Brazolin, chefe do Agrupamento Preservação de Madeira do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pela atenção e colaboração na análise dos dados.

Ao Flávio Carlos Geraldo da Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira (ABPM), pelas informações prestadas.

Aos amigos de turma, moradia estudantil e república a amizade e carinho.

Às amigas queridíssimas, Guadalupe, Cristiane e Graziela (científicas), Lú, pelo apoio, amizade, cumplicidade.

Aos amigos Rê, Kelmo, Ariel, Rogério, Ivo, pela amizade.

Ao meu namorado Winter Érik de Oliveira pela ajuda durante a elaboração e finalização deste trabalho.

E a **Deus** pela cumprimento de mais uma etapa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.2 Durabilidade natural da madeira	6
2.3 A preservação de madeiras no Brasil.....	8
2.4 Preservante de madeira	11
2.5 Avaliação da efetividade de preservantes	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Histórico do experimento	23
3.2 Amostragem.....	27
3.3 Avaliação da sanidade.....	28
3.4 Análise química.....	30
3.5 Delineamento estatístico.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICES	57

VARIAÇÕES NA RETENÇÃO DE CCA-A EM ESTACAS DE *Pinus* APÓS 21 ANOS DE EXPOSIÇÃO EM CAMPO DE APODRECIMENTO

Autora: VIVIANE DE PAULA E FREITAS

Orientador: Prof. Dr. IVALDO PONTES JANKOWSKY

RESUMO

A durabilidade da madeira preservada quando em contato direto com o solo, é determinada, principalmente, pela concentração do preservante na madeira, usualmente definida como retenção. Dentre os diversos produtos usados na preservação da madeira, a literatura especializada é concordante ao afirmar que o CCA (arsenato de cobre cromatado) é um dos mais eficientes, com citações de durabilidade acima de 40 anos. Contudo, também é citada a perda do produto ao longo do tempo, a qual poderia comprometer sua eficiência. Assim o presente trabalho teve como objetivo quantificar a retenção atual de CCA tipo A em estacas de *Pinus*, após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento, buscando relacionar o nível de retenção com a possível perda de produto e com a durabilidade da madeira. O material para ensaio foi coletado de um campo de apodrecimento com estacas (Padrão IUFRO); quantificando-se a retenção atual através da técnica de espectrofotometria de absorção atômica e comparando-se os resultados com a retenção inicial. Foi possível comprovar a perda de CCA-A na madeira tratada, a qual está diretamente relacionada com o nível de retenção inicial. Dentre os

componentes do preservante, as maiores perdas foram observadas para o Cu, e as menores para o Cr; levando ao desbalanceamento entre os componentes do produto (CCA-A) que permanece na madeira. Todavia, a redução observada na retenção do CCA-A, até o momento, não afetou a durabilidade da madeira preservada.

DECREASING OF CCA-A RETENTION IN *Pinus* STAKES AFTER 21 YEARS OF EXPOSURE IN A FIELD TESTE

Author: VIVIANE DE PAULA E FREITAS

Adviser: Prof. Dr. IVALDO PONTES JANKOWSKY

SUMMARY

The durability of treated wood in direct ground contact is mainly determined, by the concentration of preservative in wood, usually defined as retention. Among the products used to preserve wood, specialized literature aggress about CCA (chromated copper arsenate) as one of the most efficient, with citations of durability above 40 years. However, product loss along exposure time is also noticed, which could compromise its efficiency. This research has as objective, to quantify the current retention of CCA type A in *Pinus* stakes, after 21 years of exposure in field test, trying to relate the level of retention to the possible product loss and to wood durability . The material on trial was collected from a stake field test (IUFRO Standard); in order to quantify the current retention through spectroscopy atomic absorption technique and to compare the results with the initial retention. It was possible to prove the CCA-A loss in the treated wood, which is directly related to the level of initial retention. From individual preservative components, copper (CuO), showed the biggest loss, while chromium (CrO₃) showed the lesser one. As a result, the remanaing

CCA-A in the lumber turned unbalanced. However, the reduction observed in the retention of the CCA-A, until this moment, did not affect the durability of preserved wood.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a madeira tratada é tradicionalmente utilizada na forma de dormentes, postes de eletrificação, moirões e cruzetas. No entanto o seu potencial de utilização é muito maior, por exemplo, na construção de casas pré-fabricadas, indústria moveleira, construções rurais e, no setor de construção civil.

O uso concentrado basicamente em três produtos (postes, moirões e dormentes) é decorrente tanto da falta de conhecimento e tradição no uso de madeira preservada como na falta de especificações técnicas. As poucas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) referem-se exatamente a postes, moirões, dormentes e bobinas para cabos elétricos.

Watai (1991), preconiza a intensificação das pesquisas tecnológicas visando utilizar, com maior intensidade, as madeiras de reflorestamento em substituição as nativas. Como ponto favorável na utilização de espécies do gênero *Pinus* cita-se sua consagração no mercado interno, principalmente no setor de manufaturados (móveis), e a exportação para países industrializados; e como ponto desfavorável à baixa resistência natural ao ataque de organismos xilófagos.

Uma forma de agregar valor à madeira serrada do gênero *Pinus* é através do tratamento químico preservante, o qual irá conferir a madeira uma maior durabilidade em uso. Jankowsky et al. (1989), estimam que a vida útil média de moirões de *Pinus* tratados por preservantes hidrossolúveis é de 12 a

16 anos, enquanto que Fernandes et al. (1991), obtiveram em seu trabalho uma vida útil média inferior a um ano para estacas de *Pinus* sem tratamento.

Galvão et al. (1967), citam que a eficiência do tratamento pode ser aferida pela determinação da retenção, da penetração e da distribuição do preservante na madeira, as quais são influenciados por características relacionadas à madeira e ao processo de tratamento utilizado. A resistência da madeira tratada, aos agentes biológicos da deterioração, é determinada principalmente pela concentração do preservante, usualmente definida como retenção (Mazela, 2000).

Os ensaios de campo, conhecidos como campos de apodrecimento, permitem avaliar a interação entre a madeira, o preservante, a eficiência do processo de tratamento, a retenção do preservante na madeira e as condições ambientais do local de ensaio (clima, pluviosidade, solo e atividade biológica). Embora sejam ensaios de longa duração, representam com maior fidelidade as reais condições de uso.

Em condições de campo e em contato direto com o solo, supõe-se que a ação conjunta da radiação solar (degradação foto-química), da pluviosidade (lixiviação dos compostos solubilizados) e bactérias (detoxificação do preservante) provoquem uma redução gradativa da retenção, a qual poderá atingir um nível insuficiente para evitar o processo da deterioração biológica. Por essa razão os ensaios de campo são considerados como um ponto crucial na avaliação do potencial de utilização da madeira ou preservante (Lopez & Milano, 1986).

Dentre os produtos destinados ao tratamento preservante, atualmente disponíveis no mercado, os do tipo CCA (arsenato de cobre cromatado) são considerados de alta eficiência, conferindo longa durabilidade à madeira tratada. São relatados na literatura ensaios de campo (Hedley et al., 2000; Cooper et al., 2000) com a madeira ainda em condições de uso após períodos de exposição entre 19 e 52 anos.

Essa eficiência do CCA tem sido atribuída à sua fixação à madeira e, por conseqüência, sua resistência à lixiviação; embora possam ocorrer mudanças na proporção entre os seus componentes (Cooper et al., 2000).

A partir do conhecimento sobre a performance do CCA é possível propor como hipótese de trabalho que a perda de preservante ao longo do tempo não afeta o nível de proteção, e a durabilidade da madeira tratada, conseqüentemente, estará relacionada com o nível de retenção inicial do produto.

Assim, o principal objetivo da presente pesquisa foi quantificar a variação da retenção de CCA-A, em estacas do gênero *Pinus*, após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento; buscando relacionar essa possível variação com a retenção inicial e com a durabilidade da madeira tratada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A potencialidade de uso da madeira de *Pinus* no Brasil

A opção prioritária do Brasil com relação à floresta plantada baseou-se principalmente em dois gêneros: *Pinus* e *Eucalyptus*. O advento dos incentivos fiscais, por iniciativa do governo federal em 1966, que permitia que uma parcela do imposto de renda devido pelas empresas fosse aplicada em reflorestamento, trouxe reflexos imediatos na área plantada, sobretudo com espécies exóticas (Suassuna, 2001).

A indústria de base florestal no Brasil atua em diversos segmentos (produtos de madeira sólida, painéis reconstituídos, celulose e papel, moveleiro, dentre outros), o que a torna a mais expressiva da América do Sul. Das serrarias existentes no país, 60 % estão situadas nas Regiões Norte e Centro-Oeste, sendo que nestas regiões predominam unidades produtoras de serrados de folhosas (nativas). Por outro lado, nas Regiões Sul e Sudeste a maioria das indústrias processa madeira de *Pinus*. As unidades produtoras de serrados no Brasil, particularmente as de médio e grande porte, apresentam uma tendência de agregação de valor ao produto serrado.

Segundo a ABIMCI (2002), a tendência na produção dos PMVA (produtos de maior valor agregado) iniciou-se no final da década de 80 e início dos anos 90, impulsionada pela oportunidade de negócios com o mercado externo e pelo desenvolvimento do segmento moveleiro no Brasil. Dentre os principais PMVA produzidos no Brasil e direcionados ao mercado externo destacam-se os blocks, blanks, molduras e pisos. Quanto aos PMVA que estão

voltados ao segmento moveleiro evidenciam-se os pré-cortados, componentes estruturais e painéis EPG (Edge Glued Panel ou painel colado lateralmente).

O Pinus é a madeira predominante na produção de blocks, blanks, molduras e painéis EPG, enquanto que os pisos são produzidos principalmente com Jatobá e Ipê.

Estimativas da ABIMCI (Associação Brasileira de Madeira Processada Mecanicamente), mostram que 60 % do compensado brasileiro é produzido com madeira tropical, enquanto que os outros 40 % são produzidos a partir de madeira proveniente de florestas plantadas nas Regiões Sul e Sudeste, particularmente o *Pinus*.

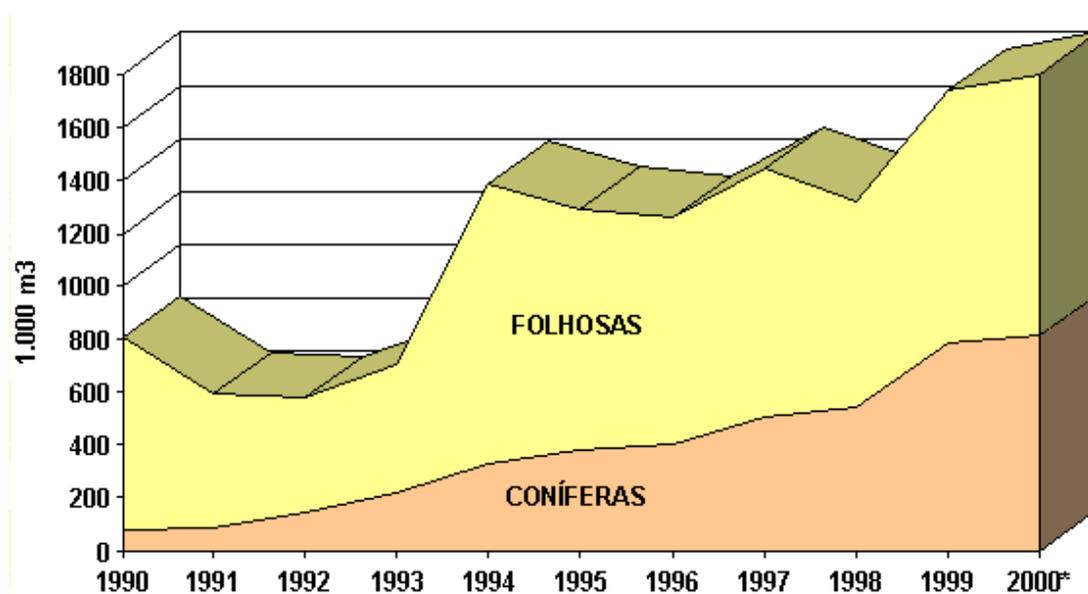


Figura 1 - Evolução das exportações brasileiras de madeira serrada.

*Estimativa

Fonte: ABIMCI, 2002.

A madeira serrada de folhosa dominou as exportações brasileiras na década de 90, respondendo por 96 % do volume total. Porém, a tendência de

crescimento das exportações de coníferas está atualmente bem estabelecida, atingindo taxas superiores a 15 %, o que pode ser visualizado na Figura 1.

É esperado um crescimento constante, nos próximos anos, na produção de serrados com madeira de *Pinus* (ABIMCI, 2002)

2.2 Durabilidade natural da madeira

A durabilidade ou resistência natural da madeira refere-se ao grau de susceptibilidade a ação de intempéries e ao ataque de agentes destruidores, como fungos, insetos e brocas marinhas. Madeiras de alta massa específica, por apresentarem uma estrutura mais fechada e, freqüentemente, elevado teor de substâncias especiais, impregnando as paredes das células, são mais resistentes. A presença de materiais como sílica, alcalóides, taninos, normalmente de ocorrência mais acentuada no cerne dos troncos, aumenta a durabilidade natural da madeira, devido ao efeito tóxico que apresentam sobre os agentes deterioradores (Burger & Richter, 1991).

O risco de ocorrer a degradação biológica é uma das formas utilizadas para pré estabelecer a necessidade de tratamento preservativo, denominada como classificação do potencial de risco. O uso em contato direto com o solo é considerado como uma situação das mais agressivas para a madeira, com elevado potencial de risco, decorrente da interação entre organismos xilófagos e fatores climáticos.

Através da durabilidade da madeira em contato com o solo pode-se avaliar sua susceptibilidade a organismos xilófagos; bem como classificar as madeiras que podem ou não ser utilizadas em contato com o solo, em estruturas ou outras aplicações.

Considerando a madeira em contato direto com o solo, sua durabilidade normalmente é classificada em função do tempo em que permanece em

condições de uso, resistindo a ação dos agentes deterioradores. A classificação mais comum é ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1. Grau de durabilidade e sua respectiva vida útil em contato com o solo.

Grau de durabilidade	Vida útil em contato com o solo (anos)
Muito durável	25
Durável	15-20
Moderadamente durável	10-15
Não durável	5-10
Perecível	Até 5

Fonte: Santini (1988).

As madeiras brasileiras apresentam uma grande variação na durabilidade natural, existindo assim madeiras com resistência baixíssima até madeiras altamente resistentes a organismos xilófagos. Na Tabela 2 podemos observar a durabilidade (em anos) de algumas madeiras brasileiras (Rocha et al., 2000).

Ensaio de campo utilizando 20 estacas de alburno e 20 de cerne, todas com madeiras de *Pinus silvestris* sem nenhum tratamento, mostraram que, ao final do terceiro ano de exposição, se mantinham em boas condições de sanidade cerca de 25% das de alburno contra 75% das de cerne (Reis, 1965). Moirões de eucalipto e pinus, sem tratamento preservante apresentam durabilidade natural de 2 a 4 anos. (Freitas, 1976; Santiago & Galerti, 1982).

Com base nas informações divulgadas por Fernandes et al. (1991) e por Jankowsky et al. (1989), a durabilidade natural da madeira de *Pinus sp* é inferior a 2 anos, permitindo classificá-la como perecível.

Tabela 2. Durabilidade natural (em anos) da madeira de algumas espécies brasileiras.

Nome comum	Nome científico	Durabilidade (anos)
Angico-preto	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	15 - 20
Vinhático	<i>Plathymenia foliosa</i>	15 - 20
Guarita	<i>Astronium graveolens</i>	10 - 15
Angelim amargoso	<i>Vatairea heteroptera</i>	10 - 15
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	5 - 10
Peroba Rosa	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	5 - 10
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>	> 5
Gema-de-ovo	<i>Vatairea sp.</i>	< 3,5

Fonte: Rocha et al. (2000).

2.3 A preservação de madeiras no Brasil

Segundo Moraes (1996), na maior parte dos países a indústria de madeira preservada surgiu devido à necessidade de se tratar dormentes das estradas de ferro que se encontravam em expansão. Alemanha, Espanha, Irã, Portugal e Brasil se enquadram neste caso. Já na Austrália a indústria de madeira preservada surgiu com o tratamento dado aos postes de eletrificação e telefonia. No Japão, país importador de grande volume de madeira, a indústria de preservação surgiu com os elevados preços das madeiras de alta durabilidade, em 1961. Na Holanda a indústria de madeira preservada desenvolveu-se devido à necessidade de se tratar madeiras utilizadas na construção de diques, com o intuito de proteger o país das inundações das marés.

Em geral, os principais produtos tratados são os postes de eletrificação rural e de telefonia, cruzetas, dormentes de estrada de ferro, estacas, cercas, componentes estruturais para a construção civil, madeira para jardins e

parques, compensados, escoras para minas e madeiras serradas para finalidades diversas.

Estimava-se em 1979 a existência de aproximadamente 2.800 usinas de preservação sob pressão, sendo cerca de 1.000 na Europa, 600 nas Américas, 500 na Ásia, 300 na África e 400 na Austrália (Cavalcante, 1986). Nos países onde o setor de preservação de madeira está mais organizado, existem as Associações Nacionais dos Preservadores de Madeira.

No Brasil, o suprimento de madeira para a primeira ferrovia, inaugurada no Rio de Janeiro em 1854, era proveniente das grandes quantidades de madeira duráveis. Porém, com a intensificação do crescimento das estradas de ferro, dos telégrafos e da iluminação elétrica, surgiu a necessidade de se preservar madeiras.

Estima-se que entre 1880 e 1884 cerca de 50.000 dormentes creosotados foram importados da Inglaterra, pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro. A antiga Estrada de Ferro Central do Brasil importou da Inglaterra, em 1900, a primeira usina de preservação de madeira no Brasil. Esta foi instalada em Juiz de Fora, Minas Gerais, começando a operar em 1902. Os dormentes de eucalipto eram tratados com creosoto (Cavalcante, 1986).

O primeiro tratamento de postes de eucalipto foi efetuado em 1935, em Rio Claro, São Paulo, utilizando o processo banho quente-frio com creosoto, cidade em que foi criada a primeira empresa de capital privado para preservação de madeiras. A segunda usina de tratamento sob pressão foi inaugurada em 1944, quando a mesma empresa passou a tratar postes de eucalipto sob pressão.

Na década de 60, a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) instalou 10 usinas de preservação de madeira sob pressão, em diversos estados brasileiros. Alguns fatos estimularam o desenvolvimento do setor de

preservação de madeiras neste período, como as promulgações da Lei Federal nº 4797, de 20/10/1965, dos Decretos Lei nº 58.016, de 18/03/1966, e de nº 61.248, de 30/09/1967, estabelecendo que toda a madeira utilizada em serviços públicos - área de transporte e energia – deveria passar por tratamento, e regulamentado o seu uso (Moraes, 1996).

Segundo Moraes (1996 b), até 1996 existiam 68 usinas de preservação de madeira sob pressão no Brasil (40 usinas na Região Sudeste, 18 na Região Sul). Destas, 14 pertenciam a empresas dos setores ferroviário tratando madeira para consumo próprio; restando, portanto, 40 usinas fornecedoras de produtos para o mercado.

Um fato de suma importância que deve ser comentado é que, ao contrário de outros países, a indústria brasileira de preservação de madeiras praticamente não diversificou sua produção. Desde sua origem em 1904 com o tratamento de dormentes, a indústria passou em 1935 a tratar postes e até hoje estes são os principais produtos ofertados ao mercado. Segundo Geraldo (1994), no Brasil o volume de madeira que passa pelo tratamento químico não é superior a 1 % de toda a madeira produzida.

Atualmente são tratados uma média anual de 560.000 m³ de madeira (24 % postes, 68 % moirões, 5 % dormentes, 3 % madeira serrada). Este volume revela-se muito pequeno quando comparado a produção anual americana, de aproximadamente 16,6 milhões de m³, ou a da Inglaterra, de 2 milhões de m³ (Geraldo¹).

Apesar da pequena dimensão das indústrias de preservação de madeira na década de 80, existe um grande potencial de crescimento para esta indústria desde que se altere o perfil de produção e se crie mecanismos de aumento da demanda interna e externa por produtos de madeira preservada.

¹GERALDO F.C. (Montana Química, S/A.). **Informação pessoal**, 2001.

Sabendo-se que o desenvolvimento de novos produtos deva ser embasado em especificações técnicas, assegurando assim qualidade e satisfação do consumidor; a criação de mais normas e especificações para outros produtos de madeira tratada estaria diretamente ligado ao potencial de crescimento desta indústria no Brasil.

Considerando que o custo de extração e transporte da madeira mexicana é muito elevado e que a maior parte da madeira exportada pelo Canadá não é tratável, o Brasil, Chile e Venezuela são os três países da América Latina com maiores potenciais para fornecer madeira preservada para os Estados Unidos, um dos maiores compradores mundiais do produto. Os próximos fornecedores dos Estados Unidos serão os países que conseguirem manter o binômio qualidade e preço (Gill, 1994).

2.4 Preservante de madeira

Preservante é a denominação dada a certas substâncias ou formulações químicas, de composição e características definidas que, aplicadas à madeira, lhe conferem proteção contra a degradação biológica.

Os preservantes e sistemas preservantes devem satisfazer algumas exigências; dentre elas ser tóxico a um número grande de organismos xilófagos, não ser tóxico ao homem e ao meio ambiente, ser insolúvel em água ou formar complexos insolúveis após aplicação na madeira, ser viável economicamente e não alterar as propriedades físicas da madeira.

Os preservantes atualmente disponíveis atendem a essas exigências em menor ou maior grau, e sua escolha devem ser baseada nas especificações existentes e no uso final a que se destina a madeira.

Neste contexto, o creosoto é classificado como altamente eficiente, porém provoca escurecimento da madeira, além de torná-la oleosa e prejudicar a qualidade das aplicações de tintas e vernizes. Já os compostos a base de

boro possuem baixa toxidez ao homem, contudo não apresentam fixação satisfatória na madeira. Os preservativos que contém cobre na sua formulação, como o sulfato de cobre, geralmente são corrosivos a metais (Santini, 1988).

Barnes (1988), classifica os preservativos usados no tratamento de madeira em quatro categorias, hidrossolúveis, oleossolúveis, sistemas emulsificados e aditivos.

Contudo, a quase totalidade da madeira preservada, para uso em contato direto com o solo ou em ambiente marinho (acentuado potencial para degradação biológica), são tratadas atualmente com apenas 3 produtos: o creosoto (oleossolúvel), o CCA e o CCB (ambos hidrossolúveis).

Creosoto

As primeiras substâncias utilizadas para tratamento da madeira consistiam nos subprodutos da carbonização da própria madeira (Jankowsky, 1986; Lepage, 1986; Richardson, 1993).

O creosoto pode ser obtido de diversas fontes, mas o produto destilado do alcatrão da hulha betuminosa é considerado o mais utilizado e eficiente, além de ser padronizado para o tratamento da madeira. O creosoto de hulha é composto principalmente por hidrocarbonetos aromáticos e contém ácidos e bases de alcatrão. Não se fixa à madeira por reações químicas, mas apenas adere-se à parede celular se depositando no lume da célula. É empregado no tratamento de dormentes, postes, moirões de cerca e em peças estruturais nas quais não há contato direto com as pessoas nem necessidade de acabamento posterior. Devido a sua alta viscosidade, independente do processo utilizado, deve ser aplicado a uma temperatura de aproximadamente 90°C (Lepage, 1986).

Ensaio com postes tratados com creosoto mineral (de hulha), com retenção de 96 kg.m⁻³, mostraram vida média de 35 anos em serviço (Jankowsky, 1986; Jankowsky & Lepage, 1986).

CCA (arsenato de cobre cromatado)

De modo geral, os preservantes hidrossolúveis contêm mais de uma substância química na sua formulação, constituindo o que se chama de um sistema preservativo, com ação fungicida e inseticida, que será insolubilizado na madeira pela formação de complexos com componentes poliméricos das paredes celulares (Geraldo & Navajas, 1992).

Os preservantes hidrossolúveis são expressos em termos de ingrediente ativo, uma convenção estabelecida para se expressar às formulações dos preservantes numa mesma base estequiométrica. Os óxidos dos elementos são tomados como base para este cálculo.

Algumas vantagens podem ser citadas na utilização de preservantes hidrossolúveis quando comparada com a utilização dos oleossolúveis: é insolúvel na madeira pela formação de complexos com os componentes da parede celular, resistente a lixiviação, a aplicação pode ser feita à temperatura ambiente e não são inflamáveis.

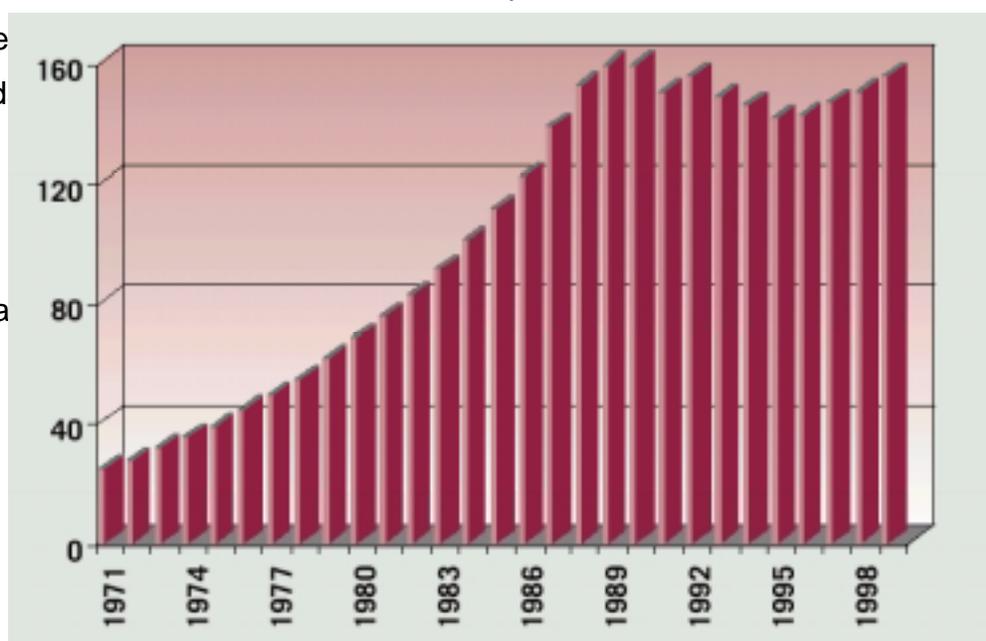
O CCA é o preservante de maior utilização na atualidade. Vem sendo utilizado desde 1930 e em quantidades crescentes. A Figura 2 mostra a evolução do uso desse preservante na América do Norte, do ano de 1971 a 1999.

O aumento no consumo foi exponencial nas décadas de 70 e 80,

mantendo-se estável na década de 90.

Figura

0 ton



Fonte: Preston (2000).

A composição básica do CCA é uma combinação de Cu (cobre), Cr (cromo) e As (arsênio). Internacionalmente, são normatizadas 3 formulações de CCA, definidas como tipos A, B, C, em que variam as proporções dos componentes (Tabela 3).

Dentro do grupo dos CCA, os componentes de cobre, cromo e arsênio estão presentes em variadas proporções e incorporados como óxidos ou sais. As diferentes proporções de cada elemento, nos diferentes tipos de CCA, são definidas em termos de sistemas de óxido ativo equivalente (Richardson, 1978).

Os preservantes tipo CCA tem uma composição química conhecida com exatidão. Estes compostos são altamente efetivos e são fixados na madeira pela formação de compostos insolúveis. As soluções deste produto não têm odor, não são corrosivos aos metais e são quimicamente estáveis a temperatura ambiente. Na maioria dos usos, o CCA e o creosoto são considerados de igual performance na preservação de madeiras, ao longo do tempo (Wilkinson, 1979).

Tabela 3 . Composição dos 3 tipos de CCA expressa em (%) de ingredientes ativos.

Composição	Tipo A	Tipo B	Tipo C
CrO ₃	65,5	35,3	47,5
CuO	18,1	19,6	18,5
As ₂ O ₃	16,4	45,1	34,0

Fonte: ABNT (1986).

O CCA normalmente é aplicado à madeira seca pelo processo de célula cheia e, em alguns países, a madeira verde usando métodos de pressões alternadas. Só mediante o uso de processos de alta pressão é possível atingir uma adequada penetração da solução de tratamento.

A madeira tratada com CCA sai do cilindro de tratamento saturada da solução de tratamento e, para a maioria das aplicações, à mesma deve ser seca novamente antes de seu uso. Depois disto, a madeira fica limpa, não oleosa, não tóxica e segura para o manuseio. Durante a primeira etapa de secagem, a madeira deve ser protegida da chuva, caso contrário podem ser lixiviadas pequenas quantidades de preservante. Outra característica do período de fixação é que na exposição à luz do sol a madeira pode apresentar faixas de cor verde (Wilkinson, 1979).

Segundo Smith & William (1973), a maior fixação desses produtos é obtida para as seguintes relações de sais: $Cr/As < 1,9$ e $Cr/Cu = 1,7$.

O cromo, quando empregado sozinho, não tem êxito como preservante da madeira. Porém, funciona como agente fixador do arsênio e do cobre, o que torna estes componentes resistentes à lixiviação. Já o cobre age como fungicida, através da precipitação de proteínas e causando interferências no metabolismo dos fungos, por meio de reações enzimáticas. Porém determinados fungos, particularmente os de podridão parda e mole, são relativamente tolerantes na presença de cobre, e elevadas quantidades são requeridas para efeito de fungicida. O arsênio apresenta elevada toxicidade a muitos fungos e insetos. Assim como ocorre com o cobre, alguns fungos apresentam tolerância a dosagens maiores desse elemento. Um inconveniente apresentado pelo arsênio é a alta toxicidade ao homem (Williams et al., 1991; Hunt & Garratt, 1962).

Devido à importância comercial do CCA e suas propriedades de permanência, vários estudos tem sido feito para explicar o mecanismo de fixação de seus componentes. A Figura 3 resume as reações químicas de fixação de CCA na madeira.

As reações instantâneas iniciais do CCA com a madeira levam a um rápido decréscimo de pH, sendo essa queda atribuída à fixação do cobre por troca iônica, com liberação de prótons. Logo após o decréscimo inicial momentâneo, o pH aumenta gradativamente à medida que as reações de

fixação progridem. Este aumento gradativo do pH é decorrente da formação dos complexos lignina-ácido crômico e lignina-cromato de cobre, e também à redução de cromo. A maioria do cobre fixado na madeira está localizado na sub-camada S1, sugerindo assim a associação do cobre com a lignina; encontrando-se cobre também associado com a celulose, provavelmente ligado aos grupos OH. O cromo forma compostos com a madeira nas formas trivalente e hexavalente. Nesta última forma complexos com a lignina, provavelmente com as unidades guaiacil. Os complexos formados pelos componentes do CCA com a madeira conferem ao preservante uma grande eficácia. Quando o cromo é reduzido para a forma trivalente, reage com o arsênio formando CrAsO_4 . Na madeira tratada, aproximadamente 85% do arsênio reage com o cromo, e o restante forma complexos relativamente insolúveis com a lignina e a celulose (Lepage, 1986).

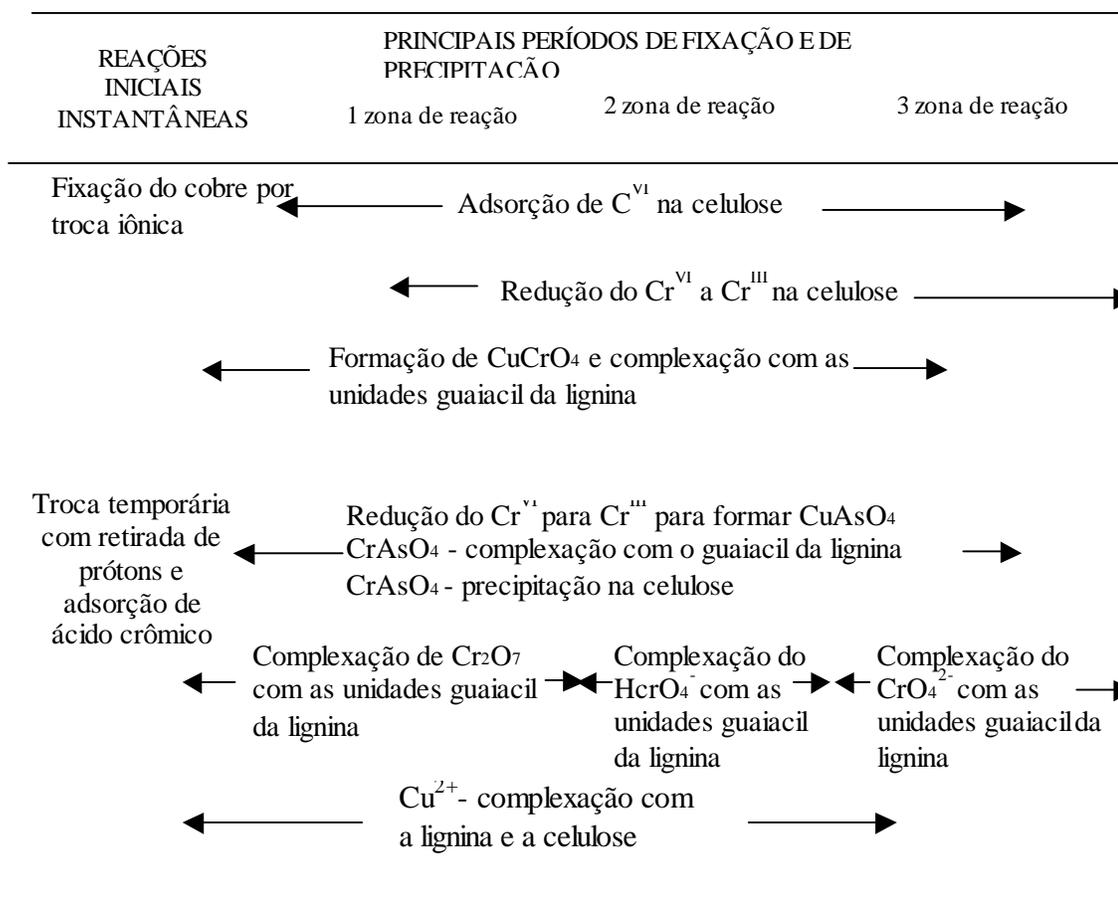


Figura 3 - Diagrama esquemático da fixação do CCA na madeira.

Fonte: Lepage (1986).

Dahlgren & Hartford², citados por Willians et al.(1991), mencionam que no mecanismo de fixação ocorre um breve desbalanceamento de cobre, cromo e arsênio. Este desbalanceamento é atribuído ao tempo seqüencial da fixação dos componentes individuais do CCA.

Dahlgren (1972), avaliou a mudança do pH na reação do CCA, testando também a lixiviabilidade do cromo durante o curso da fixação, para determinar taxas constantes para as várias reações. Pizzi (1982), analisou a

² DALHGREN, S.E.; HARTFORD, W.H. Kinetics and mechanism of fixation of Cu-Cr: as wood preservatives. Part. I, II, III. *Holzforschung*, 26, p.62-69, 105-113, 142-149, 1972.

reação dos produtos insolúveis formados durante a reação do CCA com um modelo de compostos simples, selecionados para representar a celulose e a lignina.

Pettye & Preston², citados por Williams et al. (1991), estudaram a microdistribuição do CCA e mostraram que o cobre não pode penetrar nas regiões cristalinas das fibras de celulose, mas pode penetrar nas regiões menos regulares.

Os fatores que influenciam a quantidade de componentes lixiviados da madeira tratada depende do grau de absorção e da distribuição do preservante, concentração na madeira, permeabilidade da madeira e parâmetros tecnológicos do processo de impregnação. A temperatura e o conteúdo de umidade da madeira, durante a fixação, influenciam a lixiviação dos componentes (Brown & Eaton, 2000).

Os mesmos autores salientam que a fixação é um processo químico que faz com que os elementos preservantes solúveis em água tornem-se insolúveis na madeira. Por exemplo, a completa redução do cromo indica que o potencial para o cobre e o arsênio lixivarem foi ou será minimizada.

Osborne & Fox (1995), compararam 5 níveis de retenção de CCA, abaixo e acima do solo, em postes após seis anos em serviço e verificaram que não existia diferença significativa de preservante nos postes. Os níveis de cobre e arsênio eram inferiores abaixo do nível do solo, indicando lixiviação mais alta destes compostos em solo úmido. O arsênio apresentava-se mais lixiviado que outros componentes.

Cooper et al. (2000), reportaram que em cinquenta e dois postes removidos de serviço depois de até 50 anos em uso, as retenções de CCA, apesar de apresentarem lixiviação de cobre e arsênio e, conseqüentemente, um desbalanceamento dos mesmos; ainda continham teores do preservante bem acima do limite tóxico para apodrecimento, até mesmo nos postes mais velhos.

Segundo Lopez et al. (1984), a madeira de *Pinus elliottii*, tratada com preservantes hidrossolúveis (CCA-A, CCA-C e CCB) e exposta por um período de 4 anos em diferentes campos de apodrecimento, apresentou performance similar (entre sem ataque e ataque moderado) em todos os níveis de retenção testados (4,9; 6,9; 9,6; e 13,5 kg.m⁻³).

Apesar da performance apresentada pelo CCA, duas das principais desvantagens devem ser também abordadas. A primeira é que quando a espécie a ser tratada combina impermeabilidade com uma baixa durabilidade natural (como por exemplo, eucalipto), os tratamentos com CCA têm sua eficiência reduzida já que fixam-se demasiadamente rápido e não são capazes de penetrar profundamente na madeira por difusão. A segunda centra-se na observação de certa deterioração em madeiras de folhosas, ainda que com altas retenções de produto, aparentemente devido a uma irregular microdistribuição dos elementos tóxicos, o qual não protege totalmente a parede celular apesar de que pode estar presente em grandes quantidades no lume (Richardson, 1978).

Rak & Clark³, citados por Willians et al., demonstraram que a penetração do preservante contendo cobre amoniacal resultou em melhores resultados do que àqueles comparados quando se usou CCA, em espécies não permeáveis. Porém, ao se testar espécies permeáveis, a penetrabilidade do preservante CCA foi melhor do que aquela observada para os preservantes amoniacais.

CCB (*borato de cobre cromatado*)

O CCB foi desenvolvido na década de 60, como alternativa ao CCA, substituindo o arsênio pelo boro. É normatizado em uma única formulação descrita na Tabela 4.

³ RAK, J.R.; CLARK, M.R. Ann. Meet. Am. Wood Preserv. Assoc., 1974, p.27.

A formulação comercial mais comum tem como base uma mistura contendo 35,8 % de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 22,4 % de H_3BO_3 e 38,5 % de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, mais aditivos (Lepage, 1986).

Tabela 4. Composição do CCB, expressa em ingredientes ativos.

Composição	Proporção dos ingredientes ativos (%)
CuO	26,0
B	10,5
CrO ₃	63,5

Fonte: ABNT (1986).

O CCB, devido a maior solubilidade do boro, é menos resistente a lixiviação e portanto, a performance a longo prazo é menos pronunciada em comparação com o CCA. Contudo, permite o tratamento de madeiras menos permeáveis.

No Brasil, é usado para o tratamento de postes numa retenção mínima de $9,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de ingredientes ativos. Considerando que esse sal possui cerca de 40 % de ingredientes ativos, esta retenção corresponde a $24 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de sal seco.

Os compostos a base de boro combinam tanto propriedades inseticidas e fungicidas como ignífugas. Quando a madeira não é exposta à lixiviação nem vai ser colocada em contato com o solo os compostos à base de boro podem ser usados sem adição de outros produtos. Estes compostos tem a restrição de que são solúveis em água, mas podem atingir uma penetração mais profunda (Cavalcante, 1982; Lepage, 1986; Richardson, 1978).

2.5 Avaliação da efetividade de preservantes

Galvão et al. (1967), descrevem que o controle de qualidade em madeira tratada é feito, normalmente, através de determinação da retenção, da penetração e da distribuição do preservativo na madeira.

A penetração e a retenção dos preservativos são influenciadas por características relacionadas à madeira e ao processo de tratamento utilizado (Santini, 1988).

Oliveira & Lepage (1986), definem retenção e penetração como parâmetros básicos para avaliação de eficiência do tratamento preservativo. A penetração é medida em centímetros ou milímetros e indica a profundidade atingida pelo preservante na peça submetida ao tratamento. Sua determinação é feita por reações colorimétricas em seções da peça impregnada. A retenção, sendo um parâmetro de natureza quantitativa, refere-se a quantidade de preservante existente num determinado volume de madeira.

Se o tratamento da madeira pode ser facilmente avaliado, através da penetração, da retenção e da distribuição do produto; avaliar a eficiência do preservante contra a ação dos agentes deterioradores envolve uma série de ensaios seqüenciais.

Segundo Wilkinson (1979), o melhor teste de um preservante de madeira é se o mesmo protege a madeira frente ao ataque de insetos e fungos por um determinado período. Contudo, o tempo requerido poder ser tão longo como 50 anos, de maneira que seria impraticável esperar só a metade deste tempo para avaliar a performance de um novo preservante antes de recomendar seu uso.

Para obter resultados em forma relativamente rápida os preservantes devem ser sujeitos a uma seqüência de testes desenhados para descartar produtos em pouco tempo. O primeiro passo desta seqüência é um teste de refugo: este rapidamente indica se o composto tem propriedades preservantes.

No caso afirmativo seguem-se testes de laboratório mais rigorosos. Pode ocorrer que estes resultados indiquem que um produto mereça ser avaliado em ensaios de campo. Nesta etapa devem ser levados em conta outras características tais como disponibilidade, preço, riscos para a saúde humana e animal, residualidade e compatibilidade dos produtos tratados com pinturas, colas e metais. Se, depois destas considerações o balanço for favorável, o mesmo é avaliado em condições naturais ou de campo (Wilkinson, 1979). Os ensaios de campo, segundo

Lopez & Milano (1986), representam um ponto crucial na avaliação do potencial de utilização de uma madeira ou preservante.

A determinação da confiabilidade de um preservante representa só uma pequena parte do tempo, custos e trabalho que são requeridos para introduzir um novo produto. Cada vez mais, são maiores as avaliações ambientais e da saúde humana (Richardson, 1978).

Os ensaios de campo, conhecidos como campos de apodrecimento, visam avaliar a performance da madeira quando exposta a condições que representem, da melhor forma possível, situações normais de uso. Nestes campos pode-se verificar quais os organismos que estão deteriorando o material (microrganismos e/ou insetos xilófagos) e estimar sua vida média em serviço. Este ensaio, apesar de envolver altos custos, é o único método onde é possível que se façam previsões sobre o desempenho que a madeira apresentará em serviço e qual o potencial de utilização de uma madeira ou preservante (Lopez & Milano, 1986).

Para Nicholas (1985), a madeira quando em contato com o solo deteriora muito mais rápido do que fora dele; devido ao equilíbrio da umidade da madeira em contato com o solo úmido, a possibilidade de lixiviação de produtos preservantes e a uma grande quantidade de microrganismos que colonizam a madeira e causam degradação do preservativo ou da madeira.

Neste estudo não é possível ser seletivo quanto ao fungo que causa algum tipo particular de deterioração. Os resultados são, portanto, menos reproduzíveis que os testes de laboratório; mas os ensaios de campo são preferíveis por simular, com melhor representatividade, as condições de uso da madeira tratada. Tais testes podem fornecer uma indicação da vida útil (Wilkinson, 1979).

Um método de ensaio em campo muito utilizado em estudos sobre preservação de madeiras é o “Método Padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira”, descrito por Lepage (1970).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Histórico do experimento

O campo de apodrecimento, do qual foi coletado o material para o presente trabalho, foi instalado em 1980, como parte de um projeto de pesquisa envolvendo o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) e o Instituto Florestal do Estado de São Paulo; cujo objetivo principal era avaliar a durabilidade da madeira do gênero *Pinus* submetida a tratamento preservante.

O método de ensaio adotado foi o Método Padrão sugerido pela IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) para ensaios de campo com estacas de madeira, descrito por Lepage (1970). Neste método são utilizadas estacas de 25 mm X 50 mm X 500 mm, com a última dimensão paralela à fibra, livre de nós, fendas, manchas, apodrecimento, orifícios de insetos ou outros defeitos.

O ensaio totalizou 100 tratamentos combinando quatro espécies de *Pinus*, cinco produtos preservantes e cinco níveis de retenção. As espécies utilizadas foram, o *Pinus elliottii* Engl. var. *elliottii*, o *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis*, B & G., o *Pinus oocarpa* Shied e o *Pinus kesiya* Royle ex Gordon, oriundas de plantios da Estação Experimental de Itirapina, com aproximadamente 14 anos de idade na época.

Os produtos preservantes utilizados foram arsenato de cobre cromatado tipo A, tipo B e tipo C (CCA-A, CCA-B, CCA-C), borato de cobre

cromatado (CCB) e pentaclorofenol dissolvido em óleo diesel. A composição dos produtos utilizados consta na Tabela 5.

Tabela 5. Composição quantitativa dos ingredientes ativos nos produtos preservantes utilizados.

Produto	Proporção dos ingredientes ativos (%)		
CCA tipo A	65,5 CrO ₃	18,1 CuO	16,4 As ₂ O ₅
CCA tipo B	35,3 CrO ₃	19,6 CuO	45,1 As ₂ O ₅
CCA tipo C	45,1 CrO ₃	18,5 CuO	34,0 As ₂ O ₅
CCB	63,5 CrO ₃	26,0 CuO	10,5 B
Pentaclorofenol	85,0 C ₆ Cl ₅ OH		

Para os hidrossolúveis o tratamento das madeiras foi feito sob pressão pelo método BETHEL (célula-cheia) e para o pentaclorofenol o método de LOWRY (célula-vazia). A concentração das soluções de tratamento e os níveis de retenção efetiva são descritos na Tabela 6.

É importante destacar que o experimento em questão, quando idealizado, tinha como objetivo avaliar a durabilidade da madeira tratada, sem a preocupação de acompanhar a retenção ao longo do tempo. A retenção inicial (Tabela 6) foi estimada pelo método da diferença de massa, o qual não apresenta o mesmo nível de precisão do método de análise química.

Segundo Jankowsky⁴ a estaca era individualmente pesada antes e após o tratamento, considerando-se que a diferença de massa correspondia ao volume de solução retido pela estaca. Conhecendo-se a densidade relativa e a concentração da solução de tratamento era calculada a retenção, admitindo-se que o volume das estacas era constante e igual para todas.

⁴JANKOWSKY, I.P. (ESALQ. Departamento de Ciências Florestais). **Informação pessoal**,2000.

Tabela 6. Concentração das soluções de tratamento e os níveis de retenção efetiva (kg.m^{-3}).

Produto	C.S. ¹	Retenções (kg.m^{-3})			
		<i>P. kesiya</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. elliotii</i>	<i>P. caribaea</i> ²
CCA-A	0,70	5,26	4,95	4,32	5,36
	0,90	6,71	6,29	5,69	6,65
	1,10	8,29	7,71	6,72	8,11
	1,40	10,61	9,79	8,70	10,52
	1,70	12,97	12,07	10,92	12,40
CCA-B	0,70	4,79	4,57	4,00	4,99
	0,93	6,91	6,48	5,02	5,81
	1,14	7,19	6,56	7,00	8,37
	1,40	8,50	8,23	8,27	9,44
	1,50	9,41	9,93	8,27	10,59
CCA-C	0,79	5,19	5,14	4,63	5,22
	0,90	5,68	5,41	5,48	6,21
	1,14	6,86	6,74	6,29	7,12
	1,35	8,41	8,69	7,57	8,15
	1,50	7,82	7,68	6,55	6,95
CCB	0,71	4,38	4,34	4,49	4,65
	0,92	6,06	5,80	5,64	6,29
	1,14	8,61	8,19	7,31	8,10
	1,35	9,76	9,46	8,37	8,77
	1,57	10,29	10,42	9,74	10,39
Pentacloroenol	0,90	4,84	2,93	3,82	4,93
	0,90	4,92	4,37	4,16	4,71
	1,25	5,32	4,56	5,42	7,09
	2,03	11,40	10,40	8,72	10,12
	2,71	13,85	13,36	12,62	14,69
Testemunha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ C.S. - Concentração da solução de tratamento, em ingredientes ativos (gramas/100 ml).

² *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Fonte: Fernandes et al. (1991).

O campo de Mogi-Guaçu (Figura 4) foi instalado em 25 de agosto de 1980, contendo 1040 estacas, seguindo um delineamento de blocos casualizados com 10 repetições. As estacas foram enterradas até aproximadamente metade de seu comprimento, sendo o espaçamento entre estacas de 0,5 m e entre as fileiras (blocos) de 1,0 m.



Figura 4 - Aspecto do campo de apodrecimento Mogi-Guaçu, em 1990.

A Estação Experimental de Mogi-Guaçu está localizada a 22° 18' de Latitude Sul e 47° 13' de Longitude Oeste de Greenwich, a 600 m de altitude. Segundo classificação de Köppen o solo é tipo Lva e o clima Cwa. A vegetação original da região é o cerrado típico.

Os resultados da última avaliação divulgada constam da Tabela 7 (Fernades et al., 1991), com os autores concluindo que:

- a madeira de *Pinus* sem tratamento preservante apresenta vida média inferior a um ano;

- nos tratamentos com preservantes hidrossolúveis, o nível de retenção dos produtos não influenciou nos índices de comportamento observados até a data da inspeção;
- os produtos com teor mais elevado de componentes inseticidas proporcionaram um melhor desempenho; e
- o desempenho da madeira de *Pinus* tratada com preservantes não sofreu interferências da espécie até a data da inspeção.

A fim de verificar a atividade biológica do solo, em janeiro de 2001 foram instaladas 16 testemunhas adicionais (estacas sem tratamento preservante). As estacas testemunhas foram confeccionadas na serraria da ESALQ, com madeira da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, nas mesmas dimensões das peças do ensaio em andamento (25 mm x 50 mm x 500 mm).

A avaliação do estado de sanidade das testemunhas adicionais do campo de Mogi-Guaçu foi realizada após 7 meses da instalação.

3.2 Amostragem

Inicialmente procedeu-se a uma vistoria no campo de apodrecimento (Figura 5), em janeiro de 2001, visando identificar as estacas tratadas com CCA-A que ainda estavam em serviço. Com base nesse levantamento foram selecionadas, ao acaso, 3 estacas por tratamento, as quais constituem o material para o estudo desta pesquisa.

Desta forma, o ensaio, que visa quantificar a retenção do preservante, passou a contemplar as seguintes variáveis:

- 1 preservante (CCA-A);
- 5 níveis de retenção ($R_1=5,0 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_2=6,5 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_3=8,0 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_4=9,5 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_5=11,0 \text{ kg.m}^{-3}$);
- 4 espécies (*Pinus elliottii*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus kesiya*, *Pinus oocarpa*);

com três repetições por variável (as estacas sorteadas dentre as que ainda estavam em serviço).



Figura 5 - Campo de apodrecimento em Mogi-Guaçu, em janeiro de 2001.

3.3 Avaliação da sanidade

As estacas foram retiradas do solo e examinadas quanto ao estado de sanidade (intensidade do ataque por agentes deterioradores), adotando-se como critério de classificação o Índice de Comportamento sugerido por Lepage (1970).

Tabela 8. Critério para avaliação do estado de sanidade.

Estado de sanidade	Índice de Comportamento
Sadio (ausência de ataque)	100
Ataque incipiente	90
Ataque moderado.	70
Ataque intenso.	40
Quebra da estaca	0

Fonte: Lepage (1970).

Tabela 7. Índice de Comportamento das estacas do campo de Mogi-Guaçu, decorridos 111 meses após a instalação.

Produto	Nível de Retenção	Índice de Comportamento			
		<i>P. kesiya</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>P. elliotii</i>	<i>P. caribaea</i> *
CCA-A	1	95	91	83	97
	2	98	98	99	93
	3	97	98	95	95
	4	89	96	97	92
	5	98	98	95	96
CCA-B	1	100	98	99	100
	2	100	100	100	100
	3	100	100	100	99
	4	99	100	99	92
	5	99	100	100	100
CCA-C	1	99	100	96	99
	2	99	100	100	99
	3	99	100	100	100
	4	99	99	100	100
	5	99	87	100	99
CCB	1	87	87	75	69
	2	76	67	64	76
	3	85	87	74	78
	4	81	88	74	85
	5	92	85	78	85
Pentaclorofenol	1	41	44	58	32
	2	68	67	54	42
	3	73	66	56	77
	4	85	88	63	79
	5	70	75	72	97

* *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Fonte: Fernandes et al. (1991).

3.4 Análise química

De cada uma das estacas foram retiradas 3 baguetas (com o auxílio de uma broca especial) de 11,25 cm de diâmetro; sendo uma no terço superior (parte aérea da estaca), uma no terço inferior (parte enterrada da estaca), e uma na linha de afloramento.

Em sequência foi determinada a massa específica aparente de cada uma das baguetas, considerando-se que a média das 3 baguetas representa a massa específica da estaca. Essa determinação seguiu o método de imersão em mercúrio, descrito na norma NBR-7190 (ABNT, 1997).

Para quantificar a concentração dos componentes do CCA-A (Cu, Cr, As) nas baguetas foi utilizada a técnica de espectrofotometria de absorção atômica, seguindo-se uma adaptação do Método AWPA-A1174, citada na Publicação do IPT n° 1157⁵. As análises foram realizadas no laboratório químico da Divisão de Produtos Florestais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Cada conjunto de 3 baguetas, originadas de uma mesma estaca, foi moído em moinho Wiley, coletando-se a serragem de fração 40 mesh. O material foi então digerido com H₂SO₄ 2,5 M e H₂O₂ (100 volumes) em banho maria a temperatura entre 70 e 80° C por 40 minutos.

Após resfriamento acrescentou-se solução de NaSO₄ e água deionizada para diluição. A solução resultante é então filtrada e analisada no espectrofotômetro de absorção atômica. O resultado expressa a concentração dos elementos Cu, Cr e As na solução (em ppm).

⁵ Métodos de ensaio e análises em Preservação de Madeiras. Determinação de cobre, cromo e arsênio em madeira preservada por espectrofotometria de absorção atômica, 1980.

O cálculo de retenção de CCA-A e dos seus componentes (expressa em termos de ingredientes ativo, ou seja, CuO, CrO₃ e As₂O₅) foi feito aplicando-se a eq. 1:

$$R = \frac{F \times L \times Fd \times 10^{-3}}{V} \quad (1)$$

onde:

R= retenção do elemento na madeira (kg.m⁻³);

F= Fator estequiométrico empregado para transformação dos elementos químicos nos óxidos equivalentes (CuO=1,2518; CrO₃=1,9230; AS₂O₅=1,5339);

L= Leitura obtida do espectrofotômetro de absorção atômica (ppm);

Fd= Fator de diluição (CU=500; Cr=1500; As=50); e

V= Volume das amostras de madeira utilizadas nas análises (cm³).

O valor da retenção total de CCA-A, determinado por análise química, foi denominado de retenção atual (Ra); e a retenção relatada na instalação do ensaio (obtido por diferença de massa), de retenção inicial (Ri). A retenção atual dos compostos CCA-A é o resultado da análise por espectrofotometria, enquanto que a retenção inicial do Cu, Cr, e As foi estimada a partir da Ri e da composição percentual do CCA-A (Tabela 5).

A diferença (Ri-Ra), tanto para o CCA-A como para os óxidos dos seus componentes representa a perda do preservante ao longo do tempo.

3.5 Delineamento estatístico

Para análise estatística dos resultados foi adotado o esquema fatorial com delineamento inteiramente casualizado: 3 (preservantes) x 4 (espécies) x 5 (níveis de retenção), com 3 repetições (estacas coletadas).

O esquema para análise da variância é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9. Esquema da análise de variância.

Causa de Variação	GL
Espécie (E)	3
Retenção (R)	4
E x R (Tratamentos)	12 (19)
Resíduo	40
TOTAL	59

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 10 apresenta o Índice de Comportamento para as estacas tratadas com CCA-A. O tratamento apresentado como testemunha corresponde as estacas não tratadas (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) instaladas em janeiro de 2001 e avaliadas após 7 meses de exposição.

A Figura 6 ilustra o estado geral de sanidade das estacas, exemplificando o Índice de Comportamento; e na Figura 7 pode-se visualizar a sanidade das testemunhas adicionais.

Pelo Índice de Comportamento das testemunhas comprova-se que o campo de apodrecimento (Mogi-Guaçu) está biologicamente ativo, uma vez que a deterioração foi acentuada e em espaço de tempo muito reduzido (7 meses). Observou-se a predominância do ataque por cupins subterrâneos.

As estacas tratadas apresentam-se em bom estado de conservação (Índice de Comportamento variando de 70 a 100) após 21 anos de exposição, independentemente do produto, do nível de retenção e da espécie considerada.

Os valores médios da retenção atual (R_a) e da retenção inicial (R_i), do CCA-A e de seus componentes em base óxido, são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 11 e 12. Os valores individuais correspondentes (por estaca) podem ser vistos nas Tabelas 17 a 24, no Apêndice.

A retenção inicial (Tabela 12 e Tabelas 21 a 24 do Apêndice) foi obtida das fichas originais de tratamento das estacas, fornecidas por Jankowsky⁶. Os valores para os componentes foram calculados com base na retenção inicial e na proporção entre os ingredientes ativos do produto (Tabela 5).

Tabela 10. Índice de Comportamento das estacas tratadas com CCA-A, após 21 anos de exposição no campo de apodrecimento de Mogi-Guaçu.

Espécie	Nível de Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	90,0	90,0	100,0	93,0
E ₂		90,0	100,0	90,0	93,0
E ₃		90,0	90,0	90,0	90,0
E ₄		70,0	90,0	100,0	86,7
E ₁	2	100,0	100,0	100,0	100,0
E ₂		90,0	100,0	100,0	96,7
E ₃		100,0	100,0	100,0	100,0
E ₄		100,0	90,0	90,0	93,3
E ₁	3	90,0	90,0	90,0	90,0
E ₂		90,0	100,0	100,0	96,7
E ₃		90,0	90,0	90,0	90,0
E ₄		90,0	90,0	90,0	90,0
E ₁	4	100,0	100,0	100,0	100,0
E ₂		100,0	100,0	90,0	96,7
E ₃		90,0	100,0	100,0	96,7
E ₄		100,0	100,0	90,0	96,7
E ₁	5	100,0	100,0	70,0	90,0
E ₂		100,0	90,0	100,0	96,7
E ₃		100,0	100,0	100,0	100,0
E ₄		90,0	90,0	90,0	90,0
Testemunha		-	-	-	66,9

⁽¹⁾E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

⁶JANKOWSKY, I.P. (ESALQ. Departamento de Ciências Florestais). **Informação pessoal**, 2001.



Figura 6 - Ilustrando o estado de sanidade em estacas tratadas, com os respectivos Índices de Comportamento.



Figura 7 - Ilustrando o estado de sanidade das testemunhas instaladas em janeiro de 2001.

Tabela 11. Valores médios da retenção atual em kg.m^{-3} , para o CCA-A e seus componentes (base óxido).

Espécie	Nível de Retenção	Retenção Atual (Ra)			CCA -A
		CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,70	3,67	0,73	5,10
E ₂		0,75	4,20	0,90	5,85
E ₃		0,80	4,10	0,83	5,73
E ₄		0,83	3,57	0,77	5,17
E ₁	2	0,83	4,23	0,87	5,93
E ₂		0,97	5,07	1,33	7,37
E ₃		1,03	4,83	1,03	6,90
E ₄		0,75	4,45	0,85	6,05
E ₁	3	0,77	4,27	0,90	5,93
E ₂		1,13	5,27	1,13	7,53
E ₃		1,37	6,23	1,30	8,90
E ₄		1,07	5,73	1,07	7,87
E ₁	4	1,10	6,97	1,43	9,50
E ₂		1,37	7,67	1,60	10,63
E ₃		1,10	8,47	1,37	11,57
E ₄		1,00	6,27	1,23	8,50
E ₁	5	1,30	7,10	1,53	9,93
E ₂		1,10	8,47	1,37	11,57
E ₃		1,07	7,37	1,63	10,07
E ₄		1,37	7,80	1,63	10,80

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 12. Valores médios da retenção inicial em kg.m^{-3} , para o CCA-A e seus componentes (base óxido).

Espécie	Nível de Retenção	Retenção inicial (Ri)			CCA -A
		CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,82	2,97	0,74	4,53
E ₂		0,93	4,20	0,84	5,97
E ₃		0,97	3,52	0,88	5,37
E ₄		0,84	3,03	0,76	4,63
E ₁	2	1,00	3,63	0,91	5,54
E ₂		1,17	4,26	1,06	6,49
E ₃		1,79	4,32	1,08	6,59
E ₄		1,16	4,19	1,05	6,40
E ₁	3	1,18	4,28	1,07	6,53
E ₂		1,47	5,33	1,33	8,13
E ₃		1,44	5,22	1,30	7,96
E ₄		1,35	4,89	1,23	7,47
E ₁	4	1,51	5,46	1,37	8,34
E ₂		1,91	6,90	1,73	10,54
E ₃		1,86	6,73	1,68	10,27
E ₄		1,71	6,20	1,55	9,46
E ₁	5	1,97	7,12	1,78	10,87
E ₂		2,23	8,05	2,02	12,28
E ₃		2,17	7,86	1,97	12,00
E ₄		2,18	7,90	1,98	12,06

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Na Figura 8, que correlaciona o Índice de Comportamento com a retenção de CCA-A, a durabilidade da madeira tratada não é dependente do

nível de retenção, seja o inicial ou o atual. Comprova-se, assim, que a perda de CCA-A não afetou a resistência da madeira tratada, até o presente momento.

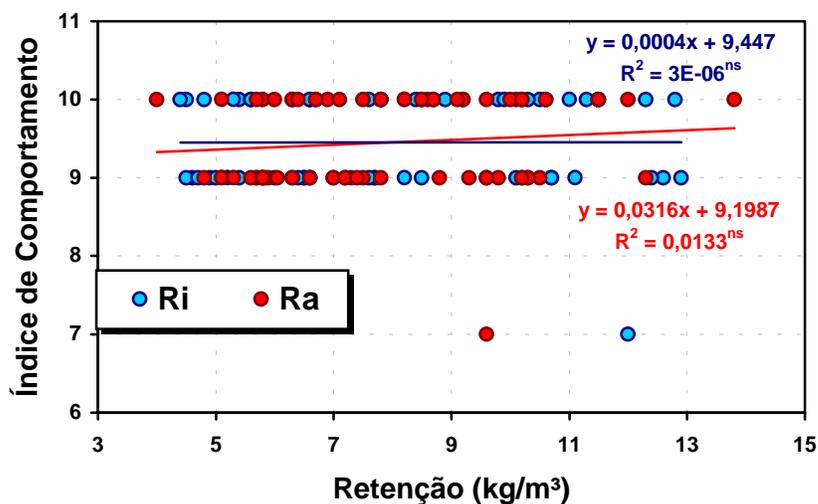


Figura 8 - Relação entre o Índice de Comportamento e as retenções inicial (Ri) e atual (Ra).

Os valores médios da variação na retenção de CCA-A e seus componentes (base óxido), após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento, são apresentados na Tabela 13.

Observa-se que a diferença na retenção de CrO_3 assume valores negativos, em quase todos os tratamentos, com conseqüente reflexo nos resultados do preservante (CCA-A) como um todo.

Se a diferença entre a retenção inicial e a atual (Ri-Ra) assume valores negativos, a interpretação seria que ocorreu um aumento na quantidade de preservante na madeira ao longo do tempo; o que é impossível de ter acontecido.

Tabela 13. Variação média da retenção (Ri-Ra) do CCA-A e seus componentes (base óxido), em kg.m^{-3} , após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento.

Espécie	Nível de Retenção	(Ri-Ra)			CCA -A
		CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,12	-0,70	0,01	-0,57
E ₂		0,18	-0,83	-0,06	-0,72
E ₃		0,17	-0,59	0,04	-0,37
E ₄		0,00	-0,53	-0,01	-0,53
E ₁	2	0,17	-0,61	0,04	-0,40
E ₂		0,20	-0,81	-0,27	-0,86
E ₃		0,16	-0,51	0,05	0,03
E ₄		0,41	-0,26	0,20	0,35
E ₁	3	0,42	0,01	0,17	0,60
E ₂		0,34	0,06	0,20	-0,60
E ₃		0,07	-1,01	0,00	-0,90
E ₄		0,29	-0,84	0,20	-0,40
E ₁	4	0,41	-1,51	-0,07	-1,17
E ₂		0,54	-0,76	0,13	-0,10
E ₃		0,49	-0,34	0,18	0,33
E ₄		0,71	-0,07	0,31	0,97
E ₁	5	0,67	0,02	0,24	0,93
E ₂		1,12	-0,41	0,65	0,73
E ₃		1,10	0,49	0,34	1,93
E ₄		0,82	0,10	0,35	1,27

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Considerando-se que a retenção atual foi obtida através de um método preciso de análise química quantitativa, o engano provavelmente estará no cálculo da retenção inicial; a qual teria sido subestimada.

Conforme abordado na metodologia, o objetivo inicial do ensaio era de avaliar a durabilidade da madeira tratada, agrupando as estacas em diferentes níveis de retenção. A retenção em si foi estimada por diferença de massa e assumido um volume constante e igual para todas as estacas. Esse é um procedimento normalmente utilizado no controle de qualidade de produtos de madeira tratada, mas não tem a precisão de um método quantitativo.

O conhecimento atual sobre os processos de fixação do CCA na madeira, conforme descrição de Lepage (1986), permite aventar uma possível redução na densidade relativa da solução de tratamento, decorrente da rápida fixação do CCA e conseqüente mudança na concentração.

Caso tenha ocorrido um engano na aferição da solução de tratamento, seja da densidade relativa ou da concentração; estaria explicada a subestimativa da retenção inicial.

Outro fator que poderia levar a um resultado semelhante é o volume das estacas, que foi considerado como igual e constante para todas. Como as estacas foram secas ao ar, poderia ter ocorrido uma retração pela diminuição do teor de umidade, resultando em redução no volume que não teria sido aferida na ocasião.

Independentemente da(s) causa(s) que possa(m) ter provocado erro experimental quando da impregnação das estacas, é evidente que houve um engano no cálculo da retenção inicial. Contudo, ao se admitir o erro experimental, é possível assumir também que o erro tenha ocorrido aleatoriamente em todos os tratamentos; validando a análise dos resultados obtidos.

A análise de variância efetuada para a variável diferença de retenção (Ri-Ra) no preservante CCA-A (Tabela 14), acusou significância para o fator níveis de retenção e para interação entre níveis de retenção e espécies; não sendo verificada diferença de comportamento entre espécies isoladamente.

Tabela 14. Análise de variância para a variável diferença de retenção (Ri-Ra).

Causas de variação	GL	QM	F
Espécie (E)	3	0,6365	0,98
Níveis de Retenção (R)	4	5,5456	8,53**
E x R	12	1,2929	2,00*
(Tratamentos)	(19)	(2,0846)	
Resíduo	40	0,6499	
TOTAL	59		

** e * indicam diferença entre tratamentos ao nível de 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Pela análise de regressão (Figura 9), comprova-se que a diferença de retenção (Ri-Ra) está correlacionada com a retenção inicial. Embora o valor numérico no coeficiente de determinação (r^2) seja baixo (0,3996), o teste t acusou significância ao nível de 1 % de probabilidade.

Assim, conclui-se que a perda de CCA-A está diretamente relacionada com a retenção inicial do produto, ou seja, retenções iniciais mais altas implicam em maiores perdas do produto ao longo do tempo.

Como a análise da variância acusou significância para a interação entre níveis de retenção e espécies, aplicou-se também a análise de regressão para as diferentes espécies (Figura 10).

Observa-se que todas as espécies apresentam a mesma tendência, ou seja, a perda de produto está diretamente relacionada com a retenção inicial; mas apenas para o *Pinus kesiya* e para o *Pinus oocarpa* essa correlação é estatisticamente significativa. Dentre estas duas espécies, a correlação da

perda de preservante (Ri-Ra) com a retenção inicial (Ri) é mais acentuada para o *Pinus kesiya*.

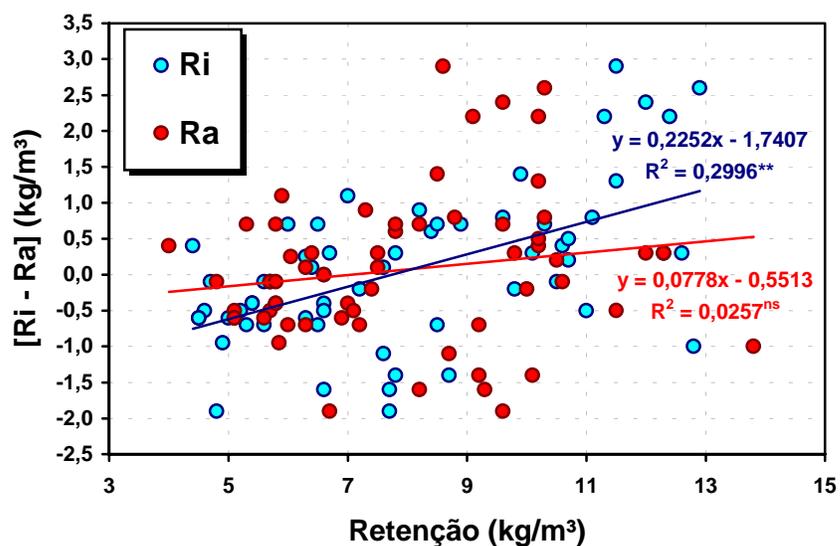


Figura 9 - Relação da diferença de retenção (Ri-Ra) do CCA-A com as retenções inicial (Ri) e atual (Ra).

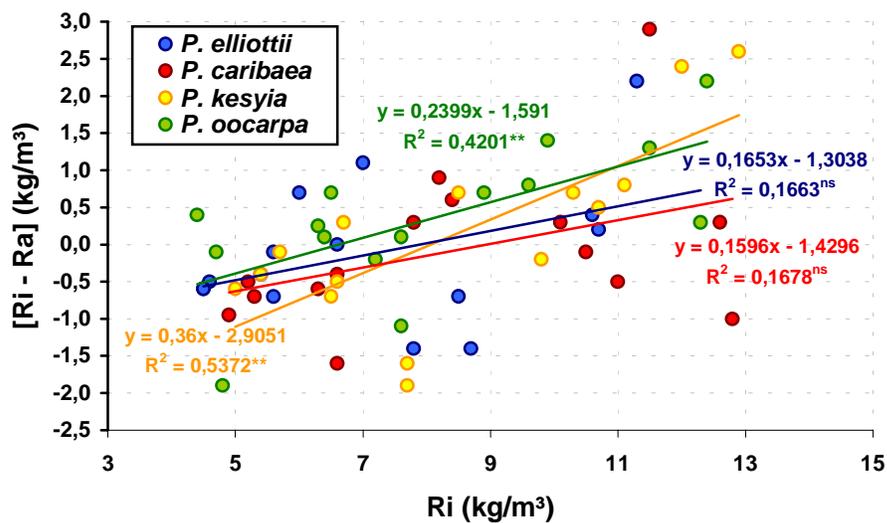


Figura 10 - Relação da diferença de retenção (Ri-Ra) do CCA-A com a retenção inicial (Ri), por espécie.

Dessa forma, pode-se afirmar que a quantidade de CCA-A perdida pela madeira tratada ao longo do tempo em uso, além de estar diretamente relacionada com a retenção inicial do produto, será diferenciada de acordo com a espécie considerada.

Esses resultados sugerem, para pesquisas futuras, o estudo da composição química das diferentes espécies em questão, visando detectar se existem diferenças que possam estar interferindo nas reações de fixação do CCA-A.

A análise de variância para a diferença de retenção dos componentes do CCA-A é apresentada na Tabela 15.

Da mesma forma que para o CCA-A, verifica-se nos componentes individualizados a significância ao nível de 1 % de probabilidade para o fator níveis de retenção. Na interação dos fatores níveis de retenção e espécies, apenas o CrO_3 , acusou significância, também ao nível de 1 % de probabilidade.

O estudo da correlação entre perda de cada um dos componentes e as retenções inicial e atual pode ser visualizado nas Figuras 11 a 13, respectivamente para o CuO , o CrO_3 , e o As_2O_5 .

Tabela 15. Análise de variância para a variável diferença de retenção ($R_i - R_a$) dos componentes do CCA-A (CuO , CrO_3 , As_2O_5).

Causa de Variação	Gl	CuO		CrO ₃		As ₂ O ₅	
		QM	F	QM	F	QM	F
Espécie (E)	3	0,0432	1,00	0,2114	1,22	0,0388	0,62
Níveis de Retenção (R)	4	1,2526	28,8**	1,0578	6,11**	0,3109	4,98*
E x R	12	0,0704	1,62	0,6363	3,68**	0,0695	1,11
(Tratamentos)	(19)	(0,3150)		(0,6580)		(0,1154)	
Resíduo	40	0,0434		0,1730		0,0624	
TOTAL	59						

** e * indicam diferença entre tratamentos ao nível de 1 % e 5 % de probabilidade respectivamente.

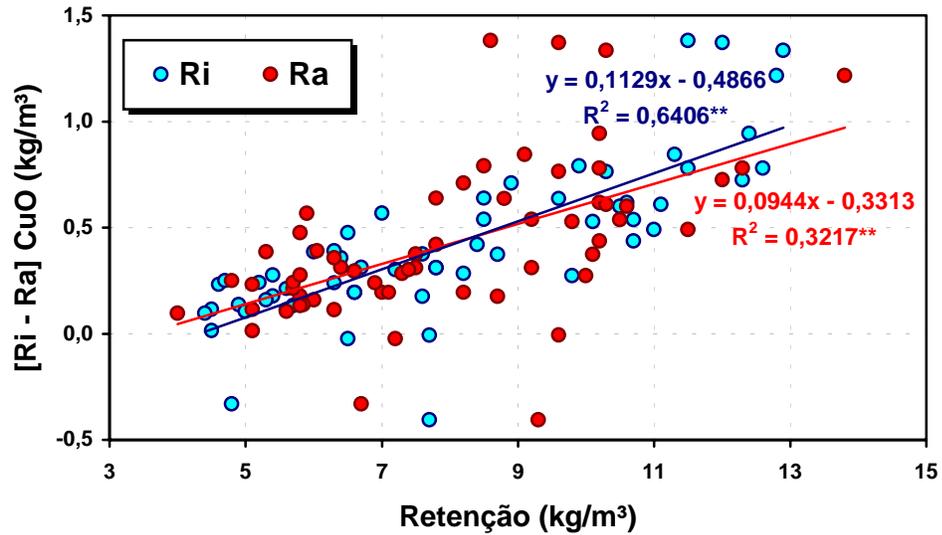


Figura 11 - Relação da diferença de retenção ($R_i - R_a$) do componente CuO , com as retenções inicial (R_i) e atual (R_a).

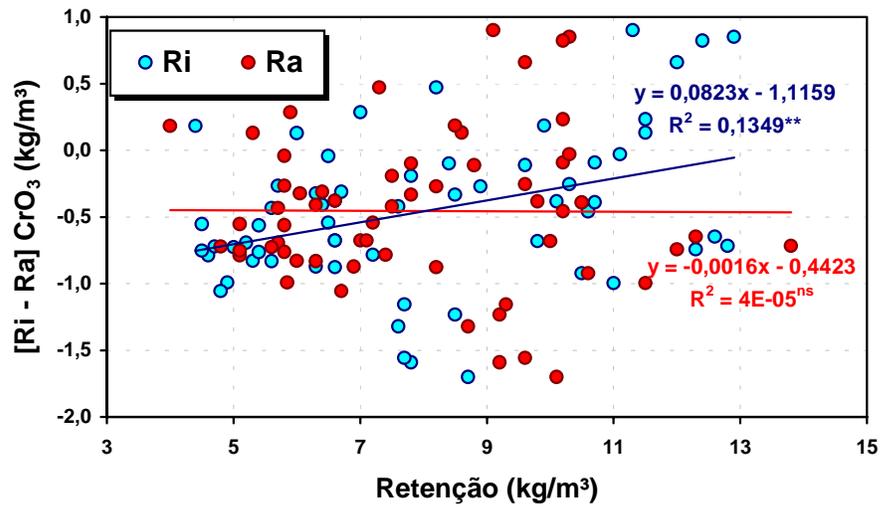


Figura 12 - Relação da diferença de retenção ($R_i - R_a$) do componente CrO_3 , com as retenções inicial (R_i) e atual (R_a).

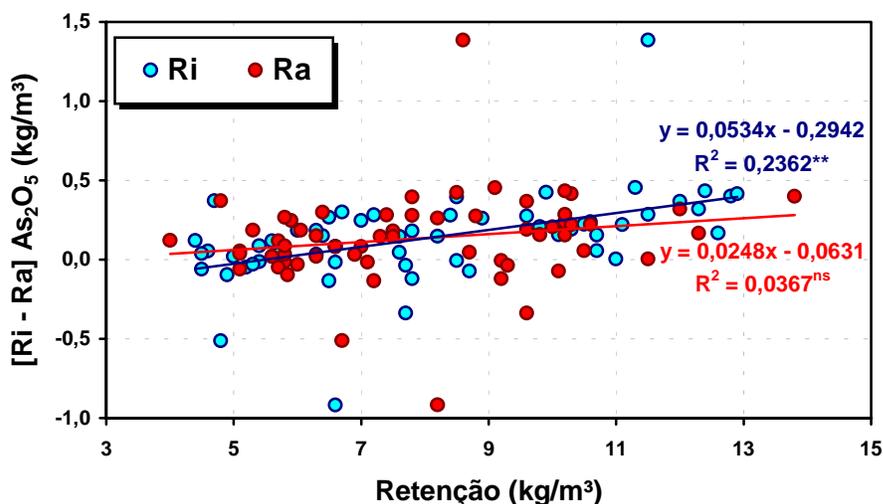


Figura 13 - Relação da diferença de retenção (Ri-Ra) do componente As_2O_5 com as retenções inicial (Ri) e atual (Ra).

Verifica-se que todos os componentes apresentam a mesma tendência, que é da perda estar diretamente relacionado com a retenção inicial. Em todas as situações, o coeficiente de determinação (r^2) é significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

O cobre é o componente cuja perda está mais fortemente correlacionada com a retenção inicial (maior coeficiente r^2), e é também o componente que apresenta a maior perda quantitativa. Este resultado é coerente com as afirmativas do Cooper et al. (2000) e de Cech et al. (1974), que reportam altos teores de cobre lixiviado em madeira tratada com CCA.

O cromo é o componente que pode ser considerado como o mais estável, pois apresentou a menor perda quantitativa e menos dependente da retenção inicial. A maior estabilidade do cromo pode ser explicada pelas possíveis formas de fixação do mesmo na madeira.

De acordo com Lepage (1986), uma das reações do cromo na madeira é a formação de complexos com a lignina, provavelmente com as unidades guaiacil e na forma hexavalente. Como a lignina de coníferas é rica em unidades de guaiacil, maior seria a possibilidade da ocorrência dessas reações e, conseqüentemente, maior a proporção do cromo fixado na madeira.

A permanência do cromo na madeira tratada também tem sido relatada por outros pesquisadores (Osborne & Fox, 1995; Cooper et al., 2000; Cech et al., 1974).

O arsênio apresentou comportamento intermediário entre o cobre e o cromo. Uma das possíveis explicações é o fato de que, na madeira tratada, cerca de 85 % do arsênio reage com o cromo formando o CrAsO_4 (Lepage, 1986).

O resultado obtido para o arsênio é contraditório ao relato de Osborne & Raposa (1995), os quais reportam esse componente como o mais lixiviado em postes tratados como CCA. Contudo a pesquisa dos referidos autores foi conduzida em solos úmidos, situação climática diferente do local aonde estão instaladas as estacas avaliadas no presente experimento.

Como o cromo foi o único componente para a qual a análise da variância detectou interação significativa entre níveis de retenções e espécies, procedeu-se também ao estudo da regressão (Figura 14).

O *Pinus kesiya* foi a única espécie que mostrou uma relação, direta e positiva, da perda do componente com a retenção inicial.

O comportamento diferenciado do *Pinus kesiya*, em comparação as outras três espécies, reforça a suposição de um possível efeito da composição química nas reações de fixação do CCA-A. Da mesma forma, reforça a sugestão para futuras pesquisas visando identificar quais aspectos da composição química da madeira poderiam estar interferindo na perda de preservante da madeira tratada.

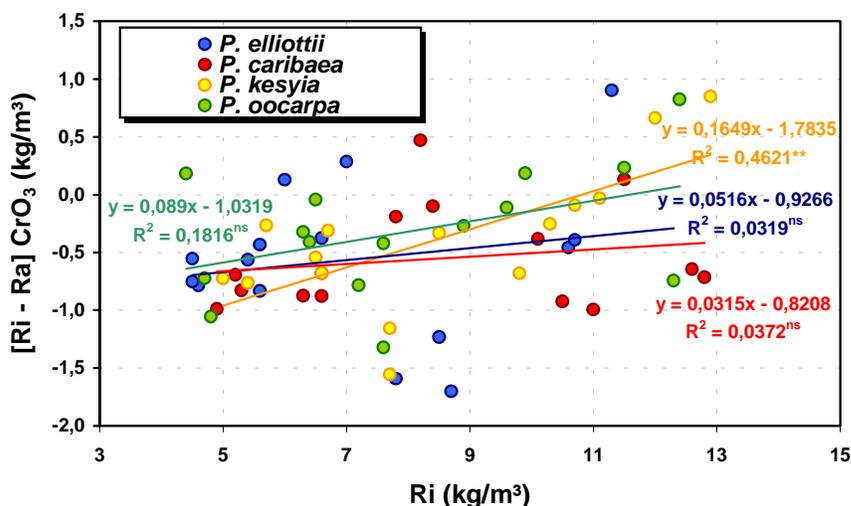


Figura 14 - Relação da diferença de retenção (Ri-Ra) do CrO₃ com a retenção inicial (Ri), por espécie.

Apesar de constatado um possível engano na estimativa da retenção inicial, os resultados são consistentes e concordantes com as poucas informações disponíveis na literatura.

Comprovou-se que ocorreram perdas do preservante CCA-A ao longo do tempo, e que essas são diferenciadas para os seus três componentes. Analisando os componentes individualizados, verifica-se que o CuO apresenta a perda mais acentuada, o CrO₃ a menos acentuada, e o As₂O₅ um comportamento intermediário.

Com base nos resultados da análise química, calculou-se a proporção atual entre os componentes do CCA-A que ainda permanece na madeira. Essa proporção, que é denominada de balanceamento do preservante, pode ser analisada na Tabela 16, para as variáveis espécies e níveis de retenção.

A perda diferenciada dos componentes provocou o desbalanceamento do produto remanescente. Em comparação com o padrão do CCA-A, verifica-se a redução nos níveis percentuais de CuO e As_2O_5 e um aumento para o CrO_3 .

Contudo, o decréscimo na retenção do CCA-A, bem como o desbalanceamento do produto que permanece na madeira, não afetaram a durabilidade até o momento.

A partir dessas considerações é possível concluir que as retenções iniciais foram altas o suficiente para compensar as perdas ao longo do tempo, permanecendo ainda em um nível suficiente para proteger a madeira da degradação biológica; comprovando-se assim a hipótese inicial da presente pesquisa.

Adicionalmente, os resultados indicam um comportamento diferenciado para as espécies, com o *Pinus kesiya* perdendo, proporcionalmente, menos CuO e As_2O_5 e mais CrO_3 do que as outras três espécies; sugerindo um possível efeito da composição química da madeira na fixação e posterior perda do preservante.

Tabela 16. Proporção atual entre os componentes do CCA tipo A, com base nos resultados da análise química (Tabela 11), comparada ao padrão normatizado pela ABNT (Tabela 3).

VARIÁVEL	PROPORÇÃO DO COMPONENTE (%)		
	CuO	CrO ₃	As ₂ O ₅
Padrão para o CCA-A	18,1	65,5	16,4
<i>P. ellioti</i>	13,1	72,0	14,9
<i>P. caribaea var. hondurensis</i>	12,8	72,2	15,0
<i>P. kesiya</i>	13,7	71,3	15,0
<i>P. oocarpa</i>	13,3	72,4	14,3
Nível de Retenção R1	14,1	71,2	14,6
Nível de Retenção R2	13,6	71,0	15,3
Nível de Retenção R3	14,2	71,3	14,6
Nível de Retenção R4	12,5	72,6	14,9
Nível de Retenção R5	11,5	73,8	14,7
MÉDIA GERAL	13,2	72,0	14,8

Buscar um melhor conhecimento sobre essa possível diferença é importante, pois poderia resultar em métodos que permitissem reduzir a perda de CCA-A ao longo do tempo. Reduzir as perdas do preservante significa a possibilidade de diminuir o nível de retenção inicial e, por conseqüência, minimizar o posterior risco de contaminação ambiental; sem comprometer a durabilidade da madeira tratada.

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos na presente pesquisa permite concluir que:

- ✓ ocorreram perdas do preservante CCA tipo A ao longo do tempo de exposição em campo de apodrecimento;
- ✓ a intensidade da perda do produto está relacionada, de forma direta e positiva, com o nível de retenção inicial;
- ✓ as perdas dos componentes do CCA tipo A (CuO , CrO_3 , As_2O_5) ocorrem de forma diferenciada, provocando um desbalanceamento do produto que ainda permanece na madeira tratada;
- ✓ o cobre (CuO) é o componente que apresenta a perda mais acentuada e o cromo (CrO_3) a menos intensa, com o arsênio (As_2O_5) apresentando comportamento intermediário;
- ✓ tanto a perda de CCA tipo A como o desbalanceamento do produto remanescente não afetaram, até o momento, a durabilidade da madeira tratada.

Embora não tenha sido comprovada diferença, na intensidade da perda de CCA tipo A, entre as espécies; o comportamento diferenciado do *Pinus kesiya* indica um possível efeito da composição química da madeira na fixação do preservante. Sugere-se o aprofundamento da pesquisa neste sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio físico e mecânico de madeiras:** norma MB-26. Rio de Janeiro, 1940. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moirões de madeira preservada para cercas:** norma NBR-9480. Rio de Janeiro, 1986. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Madeira processa mecanicamente Estudo Setorial.** Curitiba, 2001. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Madeira processa mecanicamente Estudo Setorial.** <http://www.abimci.com.br> (16 fev. 2002).

BARNES, H.M. Pressure treatment of wood with emulsifiable preservative systems. **Forest Products Journal**, v.38, n.10, p. 77-81, Oct.1988.

BROWN, C. J; EATON R. A. **Leaching of copper, chromium and arsenic from CCA-treated Scots pine exposed in sea water.** Stockholm. The International Research Group on Wood Preservation, 2000. 18p. (IRG/WP, 00-50149).

- BURGER, L.M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CAVALCANTE, M. S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., 1982a. 40 p. (IPT. Publicação, 1211).
- CAVALCANTE, M.S. Histórico da preservação de madeiras. In: LEPAGE. E.S. (Ed.) **Manual de preservação de madeiras** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v.1.
- CAVALCANTE, M.S. **Deterioração biológica e preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. 41p.
- CECH, M.Y.; PFAFF, F.; HULFFMAM, D.R. CCA retention and Disproportioning in white spruce. **Forest Products Journal**, v.24, n.7, p.6, july. 1974.
- COOPER, P.A.; UNG T.; AUCOIN J.P ; TIMUSK.C. The potential for reuse of preservative treated utility poles removed from service. **Waste Management & Research**, n.14, p.263-279, 2000.
- COOPER, P.A; DRAGICA.J; TAYLOR.J. **Residual levels in CCA treated poles removed from service**. Stockholm. The International Research Group on Wood Preservation, 2000. 11p. (IRG/WP, 00-50152).
- DAHLGREN, S.E. The course of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives. Rec. Ann. Conv. Brit. Wood Preservers Assoc. p.19. 1972.
- FERNANDES,P.S.; MONTAGNA,R.G.; JANKOWSKY,I.P.; CAVALCANTE,A.A. Estudo comparativo da durabilidade de *Pinus spp* tratados com Preservativos de Madeira. **Boletim ABPM**, n.73, 1-13, dez. 1991.

- FREITAS, A.R. Mourões de madeira preservada: maior durabilidade e maior economia. **Atualidades Agronômicas**, n.8, p.13, 1976.
- GALVÃO, A.P.M.; BARBIN, D.; CARVALHO, C.M. Contribuição ao estudo da eficiência dos processos de difusão simples e dupla no tratamento de eucalipto, através da análise química. **Silvicultura em São Paulo**, n.6, p.301-324, 1967.
- GERALDO, F.C.; NAVAJAS, E.M.C. Biodeterioração e Preservação de Madeiras. In: SIMPÓSIO FLORESTAL BRASILEIRO DO RIO GRANDE DO SUL, Esteio, 1992. 48p. **Anais**. Porto Alegre: Ageflora, 1992. p.48.
- GERALDO, F.C. Potencial inexplorado. **Revista da Madeira**. n.12. p.4, jan/fev.1994.
- GILL, J.G. Mercado americano aberto. **Revista da Madeira**, n.12, p.5, jan./fev.1994.
- HEDLEY, M.; PAGE, D.; PATTERSON, B. Long term performance of CCA preservatives in ground contact. Stockholm. The international research group on wood preservation, 2000. 15p. (IRG/WP, 00-30223).
- HUNT, G.M.; GARRAT, G.A. **Wood preservation** 3.ed New York: Mac Graw Hill, 1967. 433p.
- JANKOWSKY, I. P.; MONTAGNA, R. G.; FERNANDES, P. S. Utilização de mourões de Pinus ratados com preservativos de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 3., São Paulo, 1989. **Anais**. São Paulo: ABPM; IPT, 1989. p.219-224.
- JANKOWSKY, I. P.; Potencialidades do creosoto de Eucalyptus spp. Como preservativo de madeiras. São Paulo, 1986, 159p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- JANKOWSKY, I. P.; LEPAGE. O creosoto de Eucalyptus como preservativo para madeiras. **IPEF**, n.33, p.9.1986.
- JESUS, M.A.; MORAES, J.W.; ABREU, R.L.S; CARDIAS, M.F.C. Durabilidade Natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente Florestal. **Scientia Florestalis**, v.54, p.81-92, dez.1988.
- LEPAGE, E. S. Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de Madeiras** v.1, n.4, p.205-216, dez.1970.
- LEPAGE, E. S.; MONTAGNA, G. R. Estudo de Preservativos de Madeira e Processos de Tratamento. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**. v.7, p.1-8, dez. 1973.
- LEPAGE,E.S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E.S. (Ed.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v.1, p.279-330.
- LOPEZ, G. A C.; LEPAGE, E.S.; NETO, O.B. Effectiveness of Wood Preservatives by IUFRO's Method. Stockholm. The International Research Group on Wood Preservation, 1984. 21p. (IRG/WP, 3305).
- LOPEZ, G.A.C.; MILLANO. S. Avaliação da durabilidade natural da madeira e de produtos usados na sua proteção. In: OLIVEIRA,A.M.F.; LEPAGE,E.S. (Ed.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v.2, p.473-510.
- MAZELA, B. Changes of copper and chromium content after leaching in wood impregnated with the CCB and CB preservatives. Stockholm. The International Research Group on Wood Preservation, 2000. 15p. (IRG/WP, 00-50147).

- MILANO,S.; LEPAGE,E.S.; CAVALCANTE,M.S.; LELIS,A.T.; CORSINI,C.A.; KRONKA,F.J.N.; COELHO,L.C.C.; MONTAGNA,R.G.; BUENO,R.A.; HEMMERICH,W.; MUSCI,E.F. Estudo comparativo do comportamento de preservativos de madeira e processos de impregnação. **Preservação de Madeiras**, v.8/9, n.1, p.9-22, 1977/1978.
- MORAES, M.A.F.D. A indústria de madeira preservada no Brasil: um estudo de sua organização industrial. Piracicaba, 1996. 154p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MORAES, M. A. F. D.; BACHA, C.J.C. Indústria de madeira preservada. **Preços Agrícolas**, v.10, n.115, p. 2-5, maio 1996.
- MORESCHI, J.C.; PAES, J.C. Tratamento preservativo de Moirões de *Eucalyptus viminalis* LAB., Por Métodos Simples. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba , 1993. **Anais**. Curitiba: SBS,SBEF, 1993.v2, p.661- 666.
- NICHOLAS, D. D. **Wood preservation and its prevention by preservative treatments**. Suni: Syracuse University Press, 1985. v.1, 380p.
- OSBORNE, P.D. FOX, R.F. CCA type C depletion of southern yellow pine utility poles. Stockholm. The International Research Group on Wood Preservation, 1995. (IRG/WP 95-50049).
- OLIVEIRA, A. M. F.; LEPAGE, E. S. Controle de qualidade. In: LEPAGE, E.S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT; SICCT, 1986. v.1, cap.5, p.99-278.

- PIZZI, A. The chemistry and kinetic behavior of Cu-Cr-Ar wood preservatives. II Fixation of the Cu/Cr system on wood. **Journal of Polymer Science**, n.20, p.707-724, 1982.
- PRESTON, A.F. Wood preservation trends of today that will influence the industry tomorrow. **Forest Products Journal**, v.50, n.9, p.8, sept.2000.
- REIS, J.E.B. A avaliação do comportamento da Madeira tratada através de ensaios de campo. **Revista dos Alunos do I.S.T**, n.350, p.641-648, 1965.
- RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. London:Construction Press, 1978. 238 p.
- RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. 2. ed. London: E & F Spon, 1993. 226 p.
- ROCHA,F.T.; LOPEZ,G.A.C.; SPEGEORIN,L.; YOKOMIZO,N.K.S.; MONTAGNA,R.G.; FLÖRSHEIM,S.M.B. Durabilidade natural de madeiras em contato com o solo, V – avaliação final (20 anos). **Revista do Instituto Florestal**, v.12, 7p. 2000.
- SANTIAGO, A.C.; GALETI, P.A. Preservação de madeira. **Jornal da Armazenagem**, n.15, p.12, 1982.
- SANTINI, E.J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: UFSM; CEPEF; FATEC, 1988. 125p.
- SMITH, D.N.R; WILLIAMS, A.I. The effect of composition on the effectiveness and fixation of copper-chrome-arsenic and copper- chrome preservatives. Part I: effectiveness. **Wood Science and Technology**, v.7, p.60-76, 1973.
- SUASSUNA, J. A cultura de pinus: uma perspectiva e uma preocupação. **Revista Florestal**, n.29, p.1-9, jan./mar.1977. <http://fundaj.gov.Br/index.html> (05 nov. 2001).
- WATAI, L.T. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos de Jordão, 1990. Trabalhos convidados e voluntários. São Paulo: SBS, SBEF, 1990. v.1, p.131-133.
- WILKINSON, J.G. **Industrial timber preservation**. London: Rentokil 1979. 532p.
- WILLIAMS, G.R; CORNFIELD.J.A; ANDERSON, D.G. Waterbased fixed preservatives. In: THOMPSON,R. (Ed.) **The chemistry of wood preservation**, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1991. p.323.

APÊNDICES

Tabela 17. Valores individualizados da retenção atual (Ra), em kg.m^{-3} , para o CCA-A.

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	5,10	5,10	5,10	5,10
E ₂		5,70	6,00	5,85	5,85
E ₃		5,60	5,80	5,80	5,73
E ₄		4,80	4,00	6,70	5,17
E ₁	2	5,80	5,70	6,30	5,93
E ₂		7,00	6,90	8,20	7,37
E ₃		7,10	6,40	7,20	6,90
E ₄		5,80	6,30	6,05	6,05
E ₁	3	5,90	5,30	6,60	5,93
E ₂		7,30	7,80	7,50	7,53
E ₃		9,60	7,80	9,30	8,90
E ₄		7,50	7,40	8,70	7,87
E ₁	4	10,10	9,20	9,20	9,50
E ₂		11,50	10,60	9,80	10,63
E ₃		9,60	10,00	10,20	9,93
E ₄		8,20	8,80	8,50	8,50
E ₁	5	9,10	10,20	10,50	9,93
E ₂		13,80	12,30	8,60	11,57
E ₃		10,30	10,30	9,60	10,07
E ₄		12,00	10,20	10,20	10,80
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 18. Valores individualizados da retenção atual (Ra), em kg.m⁻³, para o CuO.

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,60	0,80	0,70	0,70
E ₂		0,70	0,80	0,75	0,75
E ₃		0,80	0,90	0,70	0,80
E ₄		0,60	0,70	1,20	0,83
E ₁	2	0,80	0,80	0,90	0,83
E ₂		1,00	0,90	1,00	0,97
E ₃		1,00	0,90	1,20	1,03
E ₄		0,70	0,80	0,75	0,75
E ₁	3	0,70	0,70	0,90	0,77
E ₂		1,20	1,10	1,10	1,13
E ₃		1,40	0,90	1,80	1,37
E ₄		1,00	1,00	1,20	1,07
E ₁	4	1,20	1,10	1,00	1,10
E ₂		1,50	1,30	1,30	1,37
E ₃		1,10	1,50	1,50	1,37
E ₄		0,90	1,10	1,00	1,00
E ₁	5	1,20	1,30	1,40	1,30
E ₂		1,10	1,50	0,70	1,10
E ₃		1,00	1,40	0,80	1,07
E ₄		1,50	1,30	1,30	1,37
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 19. Valores individualizados da retenção atual (Ra), em kg.m⁻³, para o CrO₃.

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	3,80	3,50	3,70	3,67
E ₂		4,10	4,30	4,20	4,20
E ₃		4,00	4,00	4,30	4,10
E ₄		3,80	2,70	4,20	3,57
E ₁	2	4,10	4,10	4,50	4,23
E ₂		5,00	5,00	5,20	5,07
E ₃		5,00	4,70	4,80	4,83
E ₄		4,30	4,60	4,45	4,43
E ₁	3	4,30	3,80	4,70	4,27
E ₂		4,90	5,60	5,30	5,27
E ₃		6,60	5,90	6,20	6,23
E ₄		5,40	5,50	6,30	5,73
E ₁	4	7,40	6,70	6,80	6,97
E ₂		8,20	7,80	7,00	7,67
E ₃		7,00	7,10	7,10	7,07
E ₄		6,10	6,40	6,30	6,27
E ₁	5	6,50	7,40	7,40	7,10
E ₂		9,10	8,90	7,40	8,47
E ₃		7,60	7,30	7,20	7,37
E ₄		8,80	7,30	7,30	7,80
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 20. Valores individualizados da retenção atual (Ra), em kg.m^{-3} , para o As_2O_5 .

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,70	0,80	0,70	0,73
E ₂		0,90	0,90	0,90	0,90
E ₃		0,80	0,90	0,80	0,83
E ₄		0,40	0,60	1,30	0,77
E ₁	2	0,90	0,80	0,90	0,87
E ₂		1,00	1,00	2,00	1,33
E ₃		1,10	0,80	1,20	1,03
E ₄		0,80	0,90	0,85	0,85
E ₁	3	0,90	0,80	1,00	0,90
E ₂		1,20	1,10	1,10	1,13
E ₃		1,60	1,00	1,30	1,30
E ₄		1,10	0,90	1,20	1,07
E ₁	4	1,50	1,40	1,40	1,43
E ₂		1,80	1,50	1,50	1,60
E ₃		1,50	1,40	1,60	1,50
E ₄		1,20	1,30	1,20	1,23
E ₁	5	1,40	1,50	1,70	1,53
E ₂		1,70	1,90	0,50	1,37
E ₃		1,70	1,60	1,60	1,63
E ₄		1,70	1,60	1,60	1,63
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 21. Valores individualizados da retenção inicial (Ri), em kg.m⁻³, para o CCA-A.

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	4,60	4,50	4,50	4,53
E ₂		5,20	5,30	4,90	5,13
E ₃		5,00	5,70	5,40	5,37
E ₄		4,70	4,40	4,80	4,63
E ₁	2	5,40	5,60	5,60	5,53
E ₂		6,60	6,30	6,60	6,50
E ₃		6,60	6,70	6,50	6,60
E ₄		6,50	6,40	6,30	6,40
E ₁	3	7,00	6,00	6,60	6,53
E ₂		8,20	8,40	7,80	8,13
E ₃		7,70	8,50	7,70	7,97
E ₄		7,60	7,20	7,60	7,47
E ₁	4	8,70	7,80	8,50	8,33
E ₂		11,00	10,50	10,10	10,53
E ₃		10,30	9,80	10,70	10,27
E ₄		8,90	9,60	9,90	9,47
E ₁	5	11,30	10,60	10,70	10,87
E ₂		12,80	12,60	11,50	12,30
E ₃		12,90	11,10	12,00	12,00
E ₄		12,30	11,50	12,40	12,07
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 22. Valores individualizados da retenção inicial (Ri), em kg.m⁻³, para o CuO.

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,83	0,81	0,81	0,82
E ₂		0,94	0,96	0,89	0,93
E ₃		0,91	1,03	0,98	0,97
E ₄		0,85	0,80	0,87	0,84
E ₁	2	0,98	1,01	1,01	1,00
E ₂		1,19	1,14	1,19	1,17
E ₃		1,19	1,21	1,18	1,19
E ₄		1,18	1,16	1,14	1,16
E ₁	3	1,27	1,09	1,19	1,18
E ₂		1,48	1,52	1,41	1,47
E ₃		1,39	1,54	1,39	1,44
E ₄		1,38	1,30	1,38	1,35
E ₁	4	1,57	1,41	1,54	1,51
E ₂		1,99	1,90	1,83	1,91
E ₃		1,86	1,77	1,94	1,86
E ₄		1,61	1,74	1,79	1,71
E ₁	5	2,05	1,92	1,94	1,97
E ₂		2,32	2,28	2,08	2,23
E ₃		2,33	2,01	2,17	2,17
E ₄		2,23	2,08	2,24	2,18
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 23. Valores individualizados da retenção inicial (Ri), em kg.m^{-3} , para o CrO_3 .

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	3,01	2,95	2,95	2,97
E ₂		3,41	3,47	3,21	3,36
E ₃		3,28	3,73	3,54	3,52
E ₄		3,08	2,88	3,14	3,03
E ₁	2	3,54	3,67	3,67	3,63
E ₂		4,32	4,13	4,32	4,26
E ₃		4,32	4,39	4,26	4,32
E ₄		4,26	4,19	4,13	4,19
E ₁	3	4,59	3,93	4,32	4,28
E ₂		5,37	5,50	5,11	5,33
E ₃		5,04	5,57	5,04	5,22
E ₄		4,98	4,72	4,98	4,89
E ₁	4	5,70	5,11	5,57	5,46
E ₂		7,21	6,88	6,62	6,90
E ₃		6,75	6,42	7,01	6,73
E ₄		5,83	6,29	6,48	6,20
E ₁	5	7,40	6,94	7,01	7,12
E ₂		8,38	8,25	7,53	8,05
E ₃		8,45	7,27	7,86	7,86
E ₄		8,06	7,53	8,12	7,90
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.

Tabela 24. Valores individualizados da retenção inicial (Ri), em kg.m^{-3} , para o As_2O_5 .

Espécie	Retenção	Repetição			Média
		1	2	3	
E ₁ ⁽¹⁾	1	0,75	0,74	0,74	0,74
E ₂		0,85	0,87	0,80	0,84
E ₃		0,82	0,93	0,89	0,88
E ₄		0,77	0,72	0,79	0,76
E ₁	2	0,89	0,92	0,92	0,91
E ₂		1,08	1,03	1,08	1,06
E ₃		1,08	1,10	1,07	1,08
E ₄		1,07	1,05	1,03	1,05
E ₁	3	1,15	0,98	1,08	1,07
E ₂		1,34	1,38	1,28	1,33
E ₃		1,26	1,39	1,26	1,30
E ₄		1,25	1,18	1,25	1,23
E ₁	4	1,43	1,28	1,39	1,37
E ₂		1,80	1,72	1,66	1,73
E ₃		1,69	1,61	1,75	1,68
E ₄		1,46	1,57	1,62	1,55
E ₁	5	1,85	1,74	1,75	1,78
E ₂		2,10	2,07	1,89	2,02
E ₃		2,12	1,82	1,97	1,97
E ₄		2,02	1,89	2,03	1,98
Testemunha		0,00	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ E₁ *Pinus elliottii*; E₂ *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; E₃ *Pinus kesiya*; E₄ *Pinus oocarpa*.