

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO TRATAMENTO
PRESERVATIVO DA MADEIRA DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*(Sw) D.C.),
PELO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO DE SEIVA

DESMOULINS WANDERLEY DE FARIAS SOBRINHO

CAMPINA GRANDE
PARAÍBA - BRASIL
NOVEMBRO - 2003

DESMOULINS WANDERLEY DE FARIAS SOBRINHO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO TRATAMENTO
PRESERVATIVO DA MADEIRA DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*(Sw) D.C.),
PELO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO DE SEIVA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

**CAMPINA GRANDE
PARAÍBA - BRASIL
NOVEMBRO - 2003**



F224v Farias Sobrinho, Desmoulins Wanderley de
Viabilidade tecnica e economica do tratamento
preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora*
(Sw) D. C.), pelo metodo de substituicao de seiva /
Desmoulins Wanderley de Farias Sobrinho. - Campina Grande,
2003.
53 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias
e Tecnologia.

1. Algaroba 2. CCB 3. Substituicao de Seiva 4.
Viabilidade Economica 5. Dissertacao I. Paes, Juarez
Benigno II. Universidade Federal de Campina Grande -
Campina Grande (PB) III. Título

CDU 631.24:582.373(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

DESMOULINS WANDERLEY DE FARIAS SOBRINHO

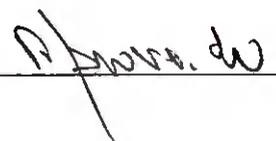
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO TRATAMENTO
PRESERVATIVO DA MADEIRA DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*
(SW) D.C.) PELO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO DE SEIVA

BANCA EXAMINADORA

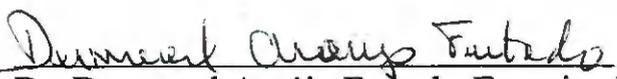
PARECER



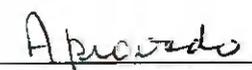
Dr. Juarez Benigno Paes-Orientador



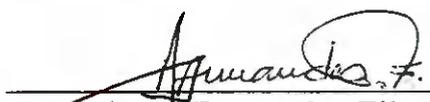
Aprovado



Dr. Demerval Araújo Furtado-Examinador



Aprovado



Dr. Judenor Fernandes Filgueiras-Examinador



Aprovado

NOVEMBRO - 2003

Aos meus pais, Antonio e Tereza.

À minha esposa, Francisca.

Aos meus filhos, Vinícius e Yasmin.

Aos meus irmãos, Francisco, Laura,

Taciana, Marcio, Yonara, Sayonara e Fabiano.

Afetuosamente, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, criador do universo.

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade em realizar o Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, na Área de Construções Rurais e Ambiente.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela paciência, compreensão, motivação e pela sua indispensável orientação, sem a qual não seria possível a conclusão desta pesquisa.

Ao amigo Ildefonso e aos colegas Aminthas e Itaragil, pelo incentivo e colaboração na realização deste trabalho.

À minha esposa, Francisca de Fátima Medeiros Wanderley, pelo incentivo e paciência nas horas mais difíceis.

Aos Professores Dr. Demerval Araújo Furtado e Dr. Judenor Fernandes Filgueiras, membros da banca examinadora pelas sugestões e críticas, em especial ao Prof. Judenor, pela valiosa colaboração prestada na avaliação econômica.

Aos Professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola.

A Sra. Rivanilda, Secretária da Coordenação de Pós-Graduação do Curso de Engenharia Agrícola.

Ao Governo do Estado da Paraíba (Secretaria da Agricultura Irrigação e Abastecimento), pela liberação para a realização do Curso de Pós-Graduação.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro concedido.

À Empresa Montana Química S.A., pela doação do produto preservativo "Osmose CCB".

Ao Dr. Valdevino José Carlos (Montana Química S.A.), pela atenção prestada.

Ao Senhor Antonio Bezerra Wanderley, por ceder suas instalações, e pela doação da madeira de algaroba para o tratamento preservativo.

Ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba, Campus de Areia - PB e ao Laboratório de Compostos de Coordenação e Química de Superfície (LCCQS) do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN) da Universidade Federal da Paraíba, Campus de João Pessoa - PB, pelas análises químicas das amostras.

BIOGRAFIA

DESMOULINS WANDERLEY DE FARIAS SOBRINHO, filho de Antonio Bezerra Wanderley e Tereza Wanderley Bezerra, nasceu em 24 de dezembro de 1966, em Patos - PB.

Desde abril de 1988, é Funcionário Público do Estado da Paraíba lotado na Secretaria da Agricultura Irrigação e Abastecimento (S.A.I.A).

Em 1991, concluiu o Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal da Paraíba, Patos - PB.

Em 1988, concluiu o Curso de Ciências Econômicas na Faculdade de Ciências Econômica de Patos, Patos - PB.

Em 2001, concluiu o Curso de Especialização em Gerência Estratégica pela Fundação Francisco Mascarenhas, Patos - PB.

Em 2000, iniciou a Pós-Graduação em nível de Mestrado na Universidade Federal de Campina Grande tendo defendido sua Dissertação em 14 de novembro de 2003.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Características gerais da algaroba.....	3
2.2. Utilização da algaroba.....	3
2.3. Fatores anatômicos que afetam a penetração de preservativos na madeira ..	4
2.3.1. Influência dos elementos vasculares.....	4
2.3.2. Influência do tecido radial.....	4
2.3.3. Influência da relação alburno/cerne.....	4
2.4. Tratamento da madeira por substituição de seiva (transpiração radial).....	5
2.5. Parâmetros para avaliar o tratamento da madeira.....	7
2.5.1. Penetração e distribuição da solução preservativa.....	7
2.5.2. Retenção do preservativo na madeira.....	7
2.6. Aspectos econômicos da preservação da madeira.....	8
2.7. Viabilidade técnica e econômica.....	9
2.8. Métodos de avaliação econômica.....	9
2.8.1. Custo (benefício) periódico equivalente.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Espécie empregada e coleta da madeira.....	12
3.2. Preparo das peças e produto preservativo utilizado.....	12
3.3. Preparo das soluções preservativas.....	17
3.4. Tratamento preservativo dos moirões.....	17

	Página
3.5. Análise química das amostras.....	19
3.6. Cálculo da retenção do produto preservativo na madeira.....	24
3.7. Análises dos resultados.....	25
3.7.1. Análise estatística.....	25
3.7.2. Análise econômica.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Características da madeira submetida ao tratamento preservativo.....	27
4.2. Distribuição do produto preservativo na madeira.....	28
4.3. Penetração do produto preservativo na madeira.....	33
4.4. Retenção do produto preservativo na madeira.....	38
4.5. Viabilidade técnica e econômica do tratamento das peças de algaroba.....	41
5. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Exemplar de algaroba (<i>Prosopis juliflora</i> (Sw) D.C.).....	12
Figura 2 - Operações de descascamento das peças.....	13
Figura 3 - Padronização do comprimento das peças e retirada dos discos.....	16
Figura 4 - Peças de algaroba submetidas ao tratamento em tambores de 200 litros....	18
Figura 5 - Peças de algaroba no processo de secagem em local coberto e arejado....	18
Figura 6 - Posições na peça de onde foram retirados os discos para as análises químicas	19
Figura 7 - Diâmetros demarcados perpendiculares no disco para leitura da penetração dos elementos cobre e boro.....	20
Figura 8 - Retirada da amostra para a análise de retenção do CCB.....	21
Figura 9 - Corpos-de-prova de algaroba nos cadinhos para incineração.....	22
Figura 10 - Corpos-de-prova dentro da múfla à temperatura de 500 - 550 °C.....	23
Figura 11 - Combustão da madeira e sua transformação em cinzas.....	23
Figura 12 - Digestão acelerada das cinzas, com a mistura dos ácidos, em chapa aquecida.....	24
Figura 13 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 1% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".....	30
Figura 14 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 2% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".....	31
Figura 15 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 3% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".....	32

LISTA DE TABELA

		Página
Tabela 1	- Características da madeira de algaroba submetida ao tratamento preservativo.....	28
Tabela 2	- Penetração média (mm) dos elementos cobre e boro na madeira de algaroba tratada.....	34
Tabela 3	- Comparações múltiplas entre médias, pelo teste de Tukey, para a penetração (mm) dos elementos boro e cobre nas peças de algaroba.....	36
Tabela 4	- Retenção média (kg/m ³) do preservativo “Osmose CCB” na madeira.....	39
Tabela 5	- Comparações múltiplas entre médias, pelo teste de Tukey, para a retenção (kg/m ³) do CCB nas peças de algaroba tratadas.....	40
Tabela 6	- Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e de sabiá	42
Tabela 7	- Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e de jurema - preta.....	43
Tabela 8	- Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e não-tratada.....	44
Tabela A1	- Análises de variância da penetração (mm) do elemento cobre nas peças.....	51
Tabela A2	- Análises de variância da penetração (mm) do elemento boro nas peças.....	51
Tabela B1	- Retenção média (kg/m ³) dos elementos que compõem o preservativo “Osmose CCB” nas peças de algaroba.....	52
Tabela B2	- Análise de variância da retenção (kg/m ³) do preservativo “Osmose CCB” nas peças de algaroba	53

RESUMO

As madeiras de boa durabilidade natural estão escassas e espécies menos duráveis vem sendo utilizadas no meio rural. Esta pesquisa teve os objetivos de avaliar a eficiência do método de substituição de seiva por transpiração radial, na penetração, distribuição e retenção do preservativo “Osmose CCB” em peças roliças de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.); investigar tempos e concentrações adequados ao tratamento da madeira; e analisar a viabilidade técnica e econômica do tratamento na propriedade rural. As peças foram submetidas às soluções de 1; 2 e 3% de ingredientes ativos do CCB, durante 3, 6, 9, 12 e 15 dias. Foram analisadas a distribuição e a penetração dos elementos cobre e boro em discos retirados em 5 posições nas peças, e a retenção em 3 posições (região de afloramento, meio e topo das peças). Observou-se uma melhor distribuição, penetração e retenção do CCB na madeira exposta à solução de 2% de i. a. O elemento boro apresentou penetração satisfatória e distribuição homogênea em todas as posições, concentrações e tempos analisados. Em função da penetração dos elementos cobre e boro e da retenção do CCB, as peças submetidas à concentração de 2% de i.a., durante 15 dias, podem ser utilizadas em contato com o solo. O tratamento da madeira de algaroba é tecnicamente viável pela facilidade de aplicação do método na propriedade rural e economicamente, quando comparado os Custos Equivalentes Anuais (CEA), às taxas de desconto de 3; 9; e 15% e expectativas de vida útil de 16 a 30 anos, em que a algaroba tratada apresentou menor CEA que a madeira de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*). A algaroba tratada, com vida útil estimada em 30 anos, e a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) em 5, à uma taxa de desconto de 3% a.a., apresentou menor CEA que o da jurema-preta, o que justifica o emprego da madeira de algaroba tratada.

Palavras chaves: algaroba (*Prosopis juliflora*), CCB, substituição de seiva e viabilidade econômica.

ABSTRACT

The woods of good natural durability are rareness and less durable species have been used in environment rural. This research aimed to evaluate the efficiency of sap displacement method in penetration, distribution and retention of commercial "Osmostone CCB" preservative in *Prosopis juliflora* (Sw) D.C. round pieces; to investigate appropriated times and concentrations to *P. juliflora* wood treatment; and to analyze the technical and economical viability of treatment in rural property. The pieces were submitted to 1; 2 and 3% of CCB solutions during 3, 6, 9, 12 and 15 days. The distribution and penetration of copper and boron elements were analyzed in disks taken in 5 positions in pieces, as well as the retention in 3 positions (ground contact area, half and top of pieces). In these work was observed a better distribution, penetration and retention of CCB in wood exposed to 2% CCB solution. The element boron presented a satisfactory penetration and homogeneous distribution in all positions, concentrations and analyzed times. In function of copper and boron penetrations and CCB retention, the submitted pieces to 2% CCB solution, during 15 days, are able to ground contact uses. The treatment of *P. juliflora* wood is technically viable for easiness of application of method in rural property and economically viable, when compared the Annual Equivalent Costs (AEC), to discount rates of 3; 9; and 15% and expectations of service life from 16 to 30 years. The *P. juliflora* treated wood presented smaller AEC to *Mimosa caesalpinifolia* wood. The *P. juliflora* treated wood, with life in service of 30 years, and *Mimosa tenuiflora* of 5 years, to a discount rate of 3% to year presented smaller AEC to *M. tenuiflora*, this condition justifies the employment of *P. juliflora* treated wood.

Key words: *Prosopis juliflora*, CCB, sap displacement method and economical viability.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material de natureza orgânica, portanto, susceptível ao ataque de organismos deterioradores. Algumas madeiras são naturalmente resistentes a esses organismos xilófagos, no entanto, a maioria delas necessita de um tratamento preservativo que lhes forneça proteção, quando postas em serviço (LEPAGE e MONTANGNA, 1973).

A vida útil das madeiras pode ser melhorada por meio de tratamentos simples que, quando bem aplicados, proporcionam-lhes maior proteção, protegendo, também, os recursos florestais, o que é de fundamental importância ecológica e econômica, pois o alívio da pressão sobre as florestas remanescentes permite a formação de madeiras com maior dimensão, que podem ser utilizadas para fins mais nobres.

O processo de substituição de seiva por transpiração radial é um método de tratamento para madeira verde, recém abatida, em que as peças a serem tratadas ficam dispostas verticalmente em recipientes que podem ser de plásticos, metálicos ou de concreto. A base da peça deve ficar submersa no preservativo hidrossolúvel e as peças dispostas de forma a permitir uma boa ventilação entre elas, proporcionando melhor absorção do preservativo (GALVÃO, 1975).

Este método é simples e pode ser executado nas dependências das propriedades rurais pelos próprios produtores, reduzindo o custo do tratamento da madeira e gerando benefícios para o produtor que terá madeira com maior durabilidade.

A algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), espécie introduzida no Brasil na década de 1942, é uma árvore cuja altura atinge 18 metros (MENDES, 1987), de tronco curto e tortuoso, que pode atingir 8 metros (BRAGA, 1976) e de diâmetro de até 80 cm (SOUZA e TENÓRIO, 1982; AZEVEDO, 1984). Sua madeira é elástica, pesada, compacta e dura (BRAGA, 1976), mas apresenta facilidade de ser trabalhada e recebe bem tintas e vernizes. Além destas características, KARLIN e AYERZA (1982) citam que a madeira tem boa textura, grã direita, boa durabilidade natural e apresenta estabilidade dimensional, sendo madeira de boa qualidade para carpintaria e marcenaria. Em função de suas características, é recomendado para a construção de esquadrias, madeiramento para assoalhos, tábuas, ripas, linhas, caibros, vigas para a

construção de pontes e móveis rústicos (BRAGA, 1976; SOUZA e TENÓRIO, 1982; AZEVEDO, 1984; MENDES, 1987).

Dentre as espécies que vegetam na Caatinga, a algaroba, com manejo adequado e um planejamento florestal, conduzidos com base nas técnicas silviculturais, pode garantir a sustentabilidade e fornecer madeira de boa qualidade para cercas e outros usos a partir dos 7 anos de idade.

Segundo o Dr. Paulo César Fernandes Lima, do Centro de Pesquisa do Semi-Árido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), sediada em Petrolina - PE, estima-se que existe atualmente, uma área superior a 500 mil hectares de algaroba, na Região Nordeste.

Apesar das citações de KARLIN e AYERZA (1982) e (GOMES, 1999), sobre a boa resistência natural da madeira de algaroba, PAES et al. (2000) citam que cercas instaladas com essa madeira, em uma fazenda experimental da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária (EMEPA), no município de Soledade - PB, estavam com ataque severo de fungos e insetos xilófagos, após o quarto ano de instalação. Além deste fato, PAES, et al. (2001) e PAES, et al. (2002) constataram que a madeira de algaroba é severamente atacada por cupins xilófagos em condições de laboratório. Assim, o tratamento preservativo de peças roliças de algaroba, contendo alta porcentagem de alburno, é necessário para prolongar a vida útil das instalações.

Assim, este estudo teve os seguintes objetivos:

- Avaliar a eficiência do método de substituição de seiva por transpiração radial (capilaridade) na penetração, distribuição e retenção do preservativo “Osmose CCB” em peças roliças de algaroba;
- Investigar tempo e concentração adequados ao tratamento preservativo da madeira de algaroba.
- Analisar a viabilidade técnica e econômica do tratamento da madeira de algaroba na propriedade rural.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características gerais da algaroba

A algaroba é uma espécie vegetal arbórea da família das Leguminosas, pouco exigente em água, cuja ocorrência, em sua forma natural, dá-se em zonas tropicais áridas que não chegam a alcançar índices pluviométricos de 100mm anuais. Essa característica da algaroba, de desenvolver-se bem em zonas de baixa precipitação pluviométrica é de extrema importância para o Nordeste brasileiro, uma vez que a precipitação média anual dessa região semi-árida é de 750mm (GOMES, 1999).

A algaroba é classificada como sendo da Família Leguminosae, (atualmente, Família Mimosaceae, em função do desmembramento da Família Leguminosae), Sub-família Mimosaceae, gênero *Prosopis* e espécie *juliflora*.

O sistema radicular da algaroba, em geral apresenta raiz principal que chega a alcançar grandes profundidades, com presença de raízes laterais no subsolo (GOMES, 1999).

2.2. Utilização da algaroba

A algaroba pode ser utilizada sob várias maneiras, como na produção de alimentos para animais, proteção do solo e enriquecimento deste com o nitrogênio assimilável, alimentação humana, reflorestamento de áreas salinizadas, arborização e ajardinamento das cidades e produção de madeiras (GOMES, 1999).

A algaroba possui madeira dura, porém fácil de ser trabalhada, além de boa qualidade para a carpintaria e marcenaria. Possui alta durabilidade, podendo ser largamente utilizada para fabricação de móveis, esquadrias, tacos, linhas, ripas, dormentes, moirões, postes e estacas para cercas, em razão de sua grande resistência ao ataque de cupins e à podridão, mesmo quando enterrada no solo. No entanto, PAES et al. (2000) e PAES et al. (2002) contestam esta afirmação. Além destas características, a madeira de algaroba presta-se para o uso de lenha e carvão (GOMES, 1999).

2.3. Fatores anatômicos que afetam a penetração de preservativos na madeira

2.3.1. Influência dos elementos vasculares

HUNT e GARRATT (1967) citam que os vasos são passagens naturais para a condução de preservativos longitudinalmente na madeira, e NICHOLAS e SIAU (1973) afirmam que as extremidades de tais elementos são perfuradas e, a menos que estejam obstruídos por tilos, promovem fluxo contínuo. HUNT e GARRATT (1967) fazem semelhante citação e afirmam que, além dos tilos e de outros elementos estranhos, o número e a distribuição dos vasos no lenho afetam a eficiência do fluxo de preservativos na madeira. Os autores acrescentam que sua distribuição tende a ser mais homogênea em madeiras com porosidade difusa.

HUNT e GARRATT (1967), NICHOLAS e SIAU (1973), TAMBLYN (1978) e LEPAGE (1986) afirmam ser os vasos os componentes anatômicos mais importantes para a penetração e distribuição do preservativo no lenho das folhosas, enquanto Wandrop e Davies, citados por NICHOLAS e SIAU (1973), acrescentam, que após a penetração da solução nos vasos, o fluxo pode ocorrer transversalmente, através das pontuações dos elementos adjacentes.

2.3.2. Influência do tecido radial

HUNT e GARRATT (1967) citam que não há provas de que os raios facilitem a penetração de preservativos nas folhosas. No entanto, Wandrop e Davies, citados por NICHOLAS e SIAU (1973), afirmam que a eficiência dos raios como elementos condutores nas folhosas é variável, mas significativa em algumas espécies.

2.3.3. Influência da relação alburno/cerne

Segundo TORRES JUAN (1966), a proporção de alburno e cerne é, depois do teor de umidade, o fator que mais influencia na absorção de preservativos. NICHOLAS e SIAU (1973) citam que o alburno de muitas espécies é fácil de se

impregnar, no entanto, no cerne isto não pode ser feito com facilidade. HUNT e GARRATT (1967) citam que a maior permeabilidade do albarno, em comparação com o cerne, pode ser explicada pelas alterações anatômicas, físicas ou químicas, produzidas durante as transformações do albarno em cerne.

A quantidade e o tipo dos extrativos depositados durante as transformações do albarno em cerne são importantes, pois estes podem obstruir os vasos, impedindo o fluxo da solução preservativa (NICHOLAS e SIAU, 1973; LEPAGE, 1986). HUNT e GARRATT (1967) citam também que, aliado a tais transformações, há a formação de tilos que pode impedir a penetração da solução preservativa por meio da obstrução dos vasos.

2.4. Tratamento da madeira por substituição de seiva (transpiração radial)

Segundo REIMÃO (1972), o processo de ascensão de soluções salinas (deslocamento de seiva por efeito da transpiração radial) é um dos métodos mais simples e fácil de preservar madeiras roliças. HUNT e GARRATT (1967) citam que se trata de um método de difusão, que consiste em colocar a madeira recém abatida com a base submersa em um recipiente em presença de preservativo hidrossolúvel.

Segundo REIMÃO (1972), este processo irá substituir a seiva e água livre do lenho. PEREIRA e RUSSO (1961) citam que isto ocorre em virtude da substituição progressiva da umidade das células do lenho pela solução preservativa, por causa da evaporação da umidade original que promove a subida dos preservativos pelos dutos vasculares e sua distribuição lateral através das células dos raios. Assim, à medida que a água da seiva se evapora pelas partes superiores dos moirões, que estão em contato com o ar, a solução sobe por capilaridade e difusão. PEREIRA e RUSSO (1961) acrescentam que, além da capilaridade, este processo é resultante da ação do fenômeno de transpiração radial que permite, por meio de uma imersão parcial dos moirões, a penetração da solução preservativa e sua quase completa difusão por todo o albarno da peça.

LEPAGE (1986) afirma que se trata de um processo prático que deve ser empregado em madeira verde. HAN (1963) concorda com tal afirmativa e acrescenta

que, ao processar o descascamento das peças, deve-se ter o cuidado de não cortar as fibras do alburno, para se evitar a interrupção do fluxo do preservativo. PEREIRA e RUSSO (1961) e LEPAGE (1986) afirmam que os moirões devem ser postos verticalmente e com a base imersa na solução preservativa, acrescentam, ainda, que para uma melhor absorção, a base dos mesmos deve ser cortada em bisel.

O processo de transpiração radial é recomendado para moirões recém abatidos, com menos de 48 horas entre o abate e o início do tratamento. No entanto, GALVÃO (1975) cita que o intervalo de tempo entre o abate e o início do tratamento deve ser de, no máximo, 24 horas. LEPAGE (1986) afirma não ser recomendado o emprego de preservativo de fixação rápida, como arseniato de cobre cromatado (CCA) para esse processo.

Segundo LEPAGE (1986), a solução de preservativos hidrossolúveis, para ser empregada neste processo, deve ter de 2 a 5% de concentração, a qual deve ser posta em um recipiente até a uma altura mínima de 40 centímetros. GALVÃO (1975) cita que assim podem ser tratadas peças de até 4 metros de comprimento.

PEREIRA e RUSSO (1961) afirmam que o nível da solução preservativa deve ser mantido constante durante o tratamento. GALVÃO (1975) acrescenta que os moirões devem ser arranjados de forma a permitir uma boa ventilação entre as partes aéreas dos mesmos para acelerar o processo de tratamento.

Para evitar que a solução preservativa evapore, recomenda-se colocar uma fina camada de óleo sobre a solução, pois assim a seiva evaporada será substituída por uma quantidade semelhante da solução preservativa que penetrará nos moirões por seus elementos celulares (PEREIRA e RUSSO, 1961; GALVÃO, 1975; LEPAGE, 1986).

Este processo de tratamento confere uma maior proteção no terço inferior dos moirões, o que é vantajoso, pois é esta a parte que ficará em contato com o solo (zona de afloramento) que é a região mais propícia ao desenvolvimento de organismos xilófagos (PEREIRA e RUSSO, 1961; REIMÃO, 1972).

2.5. Parâmetros para avaliar o tratamento da madeira

2.5.1. Penetração e distribuição da solução preservativa

Segundo HUNT e GARRATT (1967), o critério utilizado para se julgar a eficiência de um tratamento é o da quantidade de preservativo absorvido e retido pela madeira e o da profundidade de penetração. Os autores afirmam que a distribuição do preservativo na zona tratada é, dentre os parâmetros, aquele de menor importância. TORRES JUAN (1966) comenta que tanto a retenção quanto a penetração são indispensáveis para que as peças não sejam atacadas por organismos xilófagos, quando instaladas.

A penetração é dada pela profundidade da camada tóxica com que se protege a madeira. Ela é dependente do sistema de impregnação, da umidade e das características da madeira a ser impregnada, e da natureza do produto químico empregado (TORRES JUAN, 1966).

Segundo Blew, citado por RODRIGUEZ HERRERA (1977), quando a espessura do alburno for inferior a 2 cm, este deve ser totalmente impregnado. O autor acrescenta que em moirões em que o alburno tenha uma espessura maior que 2 cm, a penetração deverá ser de, pelo menos, 85% da sua espessura. TORRES JUAN (1966) estabelece que esta penetração deve ser superior a 2 cm de profundidade.

2.5.2. Retenção de preservativo na madeira

A retenção é o fator mais importante que influencia a eficiência do sistema preservativo (ARSENAULT, 1973), mas a quantidade para fornecer adequada proteção depende do uso a que a madeira tratada se destina (HUNT e GARRATT, 1967; ARSENAULT, 1973). De modo geral, as retenções mínimas de preservativos hidrossolúveis devem ser de 5 a 16 kg de preservativo hidrossolúvel/m³ de madeira tratada (HUNT e GARRATT, 1967). Segundo TORRES JUAN (1966), tratando-se de moirões para cerca, as retenções mínimas de sólidos devem ser de 5 kg/m³ de madeira tratada. No entanto, GALVÃO (1975) cita que a retenção deste tipo de preservativo

para o mesmo emprego deve ser de $5,5 \text{ kg/m}^3$. CAVALCANTE (1984), em conformidade com a norma P - EB - 474 da ABNT (1973a), cita que, para o caso específico do preservativo CCB (borato de cobre cromatado), a retenção deve ser de $6,5 \text{ kg}$ de ingredientes ativos/ m^3 de madeira tratada.

2.6. Aspectos econômicos da preservação da madeira

No passado, a construção e a manutenção de benfeitorias executadas em madeira, especialmente no meio rural, eram pouco dispendiosas. A grande oferta de madeira e a disponibilidade de mão-de-obra tornavam o custo muito baixo.

Em decorrência do aumento do custo de mão-de-obra e da escassez de madeiras adequadas para fins estruturais, o custo e a manutenção de construções em madeiras atingiram altos valores.

Em conseqüência, o usuário de madeira se defronta com alternativas de usar madeiras de baixa qualidade e vida útil curta ou usar madeira de boa qualidade a elevado custo. Em qualquer das alternativas, o custo de mão-de-obra é o mesmo, entretanto, na primeira alternativa, terá um gasto maior com manutenção. Uma possível solução para o problema é a utilização de madeiras tratadas, principalmente oriundas de reflorestamento. Assim, o problema passa a ser a decisão entre usar madeira não-preserveda, de baixo custo com pouca durabilidade ou madeira preservada, de custo mais elevado e de maior duração. Esta decisão é altamente importante para qualquer usuário de madeira.

A madeira preservada e a não-preserveda possuem vida útil diferente, e não se pode decidir qual delas é a mais econômica, simplesmente comparando os custos de aquisição. Uma das maneiras de se tomar esta decisão é determinar o custo anual das madeiras tratadas e não-tratadas, que pode ser calculado pelas Equações 1 e 2, respectivamente (LELLES e REZENDE, 1986).

Madeira tratada

$$A = \frac{(C + I + P) \times i}{1 - \frac{1}{(1 + i)^n}} \quad (1)$$

Madeira não-tratada

$$A = \frac{(C + I) \times i}{1 - \frac{1}{(1 + i)^n}} \quad (2)$$

em que:

A = Custo anual de uma peça de madeira preservada (R\$);

C = Custo da peça sem tratamento (R\$);

I = Custo de instalação da peça (R\$);

P = Custo do tratamento (produto químico e mão-de-obra requeridos) (R\$);

i = Taxa de desconto (sempre se referindo à unidade) (%); e

n = Vida útil da madeira (anos)

2.7. Viabilidade técnica e econômica

Todo projeto, antes de ser implementado, deveria ser submetido aos testes de viabilidade técnica, econômica, financeira, social, ambiental e política. Na viabilidade técnica, o objetivo a ser alcançado deve ser tecnicamente viável, e na viabilidade econômica o objetivo consiste em verificar se as receitas inerentes ao projeto superam os custos necessários (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

2.8. Métodos de avaliação econômica

Existem vários critérios ou métodos de avaliação econômica de projetos, e, segundo REZENDE e OLIVEIRA (2001), os critérios ou métodos mais recomendados são:

- Valor Atual (VA) ou Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Custo (ou Benefício) Periódico Equivalente (CPE ou BPE);
- Custo Médio de Produção (CMPr);
- Razão Benefício (Receita)/Custo (B/C); e
- Tempo de Recuperação do Capital.

2.8.1. Custo (benefício) periódico equivalente

Benefício periódico equivalente é o fluxo de caixa líquido constante, sendo o primeiro supostamente concentrado no final do primeiro período de operação do projeto que, com vida útil igual a da opção que está sendo analisada, apresenta o mesmo valor presente líquido (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

O CPE/BPE é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil. Assim, para uma taxa i unitária, relativa ao mesmo período que o adotado para o intervalo entre fluxos de caixa, o CPE/BPE de um projeto pode ser calculado pela Equação 3, citada e recomendada por REZENDE e OLIVEIRA (2001).

$$C(B)PE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1](1+i)^n}{(1+i)^{nt} - 1} \quad (3)$$

em que:

n = Duração do projeto (anos, meses etc.);

t = Número de períodos de capitalizações;

i = Taxa unitária.

O projeto será considerado economicamente viável se apresentar C(B)PE positivo, indicando que os benefícios periódicos são superiores aos custos periódicos. Assim, quanto à seleção de opções deve ser escolhida a que apresentar maior benefício e menor custo para uma determinada taxa de desconto (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

A relevância da aplicação do critério do C(B)PE encontra-se, entretanto, na seleção de projetos que apresentam duração ou vida útil diferentes, visto que os valores equivalentes obtidos por período corrigem, implicitamente, as diferenças de horizonte (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

Segundo Kassai et al., citados por BERGER et al. (2002) o Valor Anual Equivalente (VAE) consiste em transformar o VPL em um fluxo de receitas/custos

anuais, a fim de fornecer um resultado equivalente em bases periódicas. Calculado pela Equação 4.

$$VAE = \frac{VPL(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - i} \quad (4)$$

em que:

VAE = Valor anual equivalente (R\$);

VPL = Valor presente líquido (R\$);

i = Taxa mínima de atratividade (%);

n = Duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Espécie empregada e coleta da madeira

A espécie florestal utilizada foi a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), em que foram utilizados exemplares que vegetavam na fazenda Caicú, de propriedade do Sr. Antonio Bezerra Wanderley, município de São José de Espinharas - PB, localizado no polígono das secas, com altitude de 208m, longitude de 37° 19' 33" W, latitude de 06° 50' 50" S e área de 735,9 Km². Dos exemplares selecionados (Figura 1) foram retirados com o auxílio de uma moto-serra galhos (peças) jovens, com diâmetro variando entre 6 a 12 cm.



Figura 1 - Exemplar de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D. C.).

3.2. Preparo das peças e produto preservativo utilizado

Após o abate, as peças foram transportadas para um galpão onde foram descascadas, com emprego de ferramentas manuais e, posteriormente, removeu-se a

camada de células cambiais (Figura 2). A seguir, procedeu-se a seleção das peças, tendo utilizado aquelas que apresentaram diâmetro variando de 6 a 12 cm, medidos no meio das peças. Na seqüência, mediu-se o diâmetro de cada peça para determinar o volume de madeira a ser submetido em cada tratamento. Após medidas, estas foram identificadas e agrupadas de forma que cada tratamento tivesse volume de madeira o mais homogêneo possível.

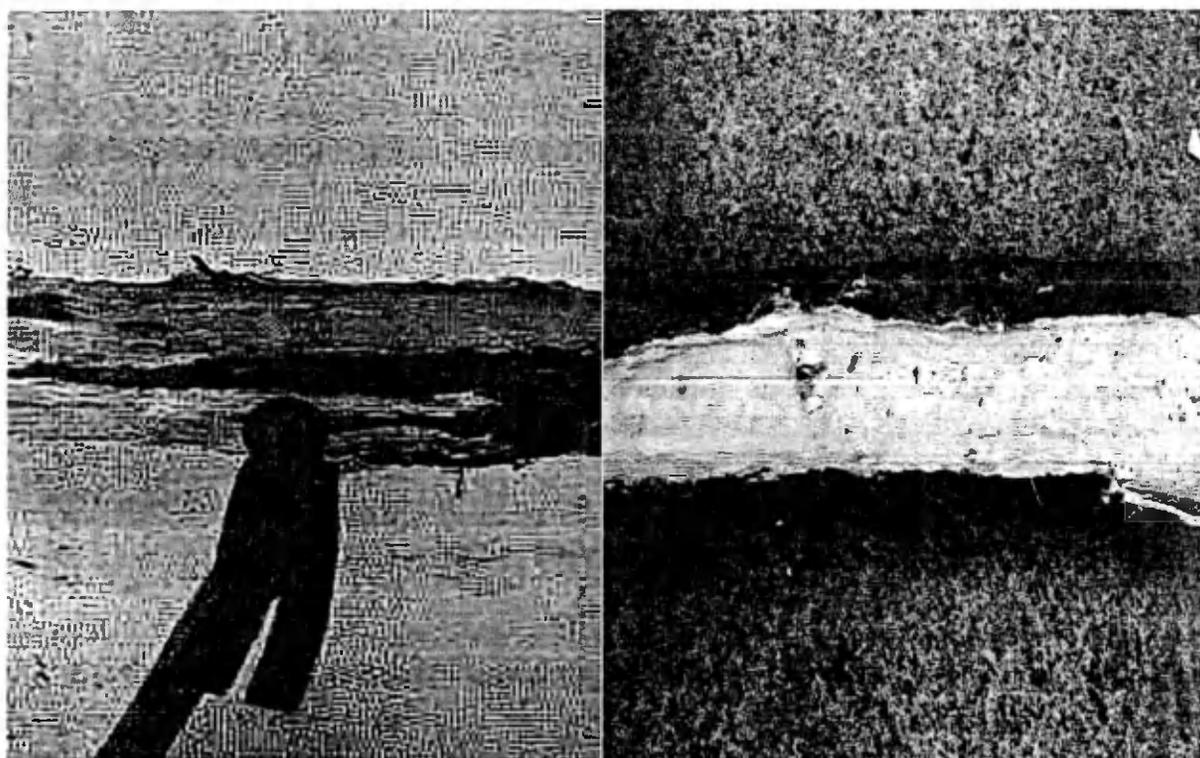


Figura 2 - Operações de descascamento das peças.

Após o descascamento, ajustou-se o comprimento das peças para 2 metros com o auxílio de uma serra de disco (Figura 3). Ao ajustar o comprimento, foram retirados dois discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura de cada extremidade das peças. Os discos obtidos foram acondicionados em sacos plásticos para que não perdessem umidade e, posteriormente, conduzidos ao Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Patos, Patos - PB, para as determinações da porcentagem do teor de umidade (Equação 5), densidade básica (Equação 6) e percentual de madeira tratável (Equações 7 e 8).

Na determinação da massa úmida dos discos, utilizou-se uma balança de precisão (0,01g), em seguida, mediu-se o volume de cada disco pelo método de deslocamento de água como descrito por VITAL (1984). Depois de calculados os volumes dos discos, estes foram levados à estufa a 103 ± 2 °C, até que estivessem com massa constante, para determinação da massa seca, próximo de 0% de umidade.

O teor de umidade e a densidade básica dos discos foram calculadas pelas Equações 5 e 6, respectivamente.

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (5)$$

em que:

U = Teor de umidade (%);

Mu = Massa úmida (g); e

Ms = Massa seca (g).

$$E = \frac{Ms}{Vu} \quad (6)$$

em que:

E = Densidade básica (g/cm³);

Vu = Volume da madeira saturada de umidade (cm³);

Para a determinação da porcentagem de madeira tratável de cada peça, determinou-se a proporção de cerne e de alborno da madeira ao executarem medições nos discos retirados na base e no topo das peças (Figura 3) e empregou-se o valor médio destas medições para a determinação do volume total e do volume de madeira tratável para cada tratamento. O tempo entre o abate e a exposição das peças no produto preservativo foi de, aproximadamente, 4 horas.

A porcentagem de madeira tratável ou de alburno, em cada disco, foi obtida ao subtrair o volume total da peça pelo volume do cerne da mesma. Para os cálculos, foram empregadas as Equações 7 e 8.

Volume total da peça

$$V_{total} = \frac{\pi D^2}{40000} \times L \quad (7)$$

em que:

V_{total} = Volume da peça (m^3);

D = Diâmetro médio da peça (cm);

L = Comprimento da peça (m)

Volume do cerne na peça

$$V_{cerne} = \frac{\pi D^2}{40000} \times L \quad (8)$$

V_{cerne} = Volume do cerne (m^3);

D = Diâmetro médio do cerne (cm);

L = Comprimento da peça (m)



Figura 3 - Padronização do comprimento das peças e retirada dos discos.

Para o tratamento da madeira foi utilizado o “Osmose CCB”, produto em pasta hidrossolúvel, fungicida e inseticida com aplicação de imersão prolongada a frio, que apresenta boa mobilidade na madeira e que é indicado para o método de tratamento empregado.

O produto preservativo é normalmente encontrado no comércio brasileiro com o nome de “Osmose CCB”. Segundo a norma P - EB - 474 da ABNT (1973a), tem como princípio ativo o cobre, o cromo e o boro. Sua composição química é especificada como:

- Cromo hexavalente, calculado como CrO_3 63,5%
- Boro, calculado como B (elemento)10,5%
- Cobre, calculado como CuO 26,0%

3.3. Preparo das soluções preservativas

As soluções preservativas foram preparadas para atender a três níveis de concentração de ingredientes ativos (1%, 2% e 3%). Estes níveis de concentração atendem às necessidades do tratamento para o método de substituição de seiva (CHIANI, 1966; LEPAGE, 1973).

As soluções foram preparadas antes do abate das árvores, para se evitar perdas de umidade das peças durante o preparo das soluções, uma vez que o método de tratamento empregado é para madeira verde.

As soluções foram armazenadas em tambores de 200 litros a fim de que as peças submetidas aos tratamentos ficassem em contato com uma solução de mesma concentração, quando da necessidade de reposições.

3.4. Tratamento preservativo dos moirões

Depois de descascadas, as peças foram submetidas ao método de substituição de seiva por transpiração radial. Para atender às exigências do método, as peças ficaram dispostas verticalmente em tambores de 200 litros, e adicionou-se o preservativo de forma que as peças ficassem parcialmente submersas (50 cm da base) nas soluções preservativas, com suas porções aéreas separadas, a fim de facilitar a aeração entre as peças e proporcionar uma boa evaporação da seiva. As peças permaneceram na solução preservativa sob tratamento por 3, 6, 9, 12 e 15 dias (Figura 4).

Para evitar a evaporação da água da solução preservativa, derramou-se uma fina camada de óleo lubrificante na superfície das soluções. Procedeu-se desta forma para permitir que as peças ficassem expostas a mesma concentração durante o tratamento. Sempre que necessário, em função da absorção do preservativo pelas peças de algaroba, foi feita, a reposição da solução, a fim de manter constante o nível inicial das soluções preservativa nos recipientes.

Após o tempo estipulado para cada tratamento, as peças foram retiradas da solução preservativa, empilhadas para secagem, em local coberto e ventilado, por um período de 30 dias, para assegurar uma boa fixação dos sais preservativos (Figura 5).

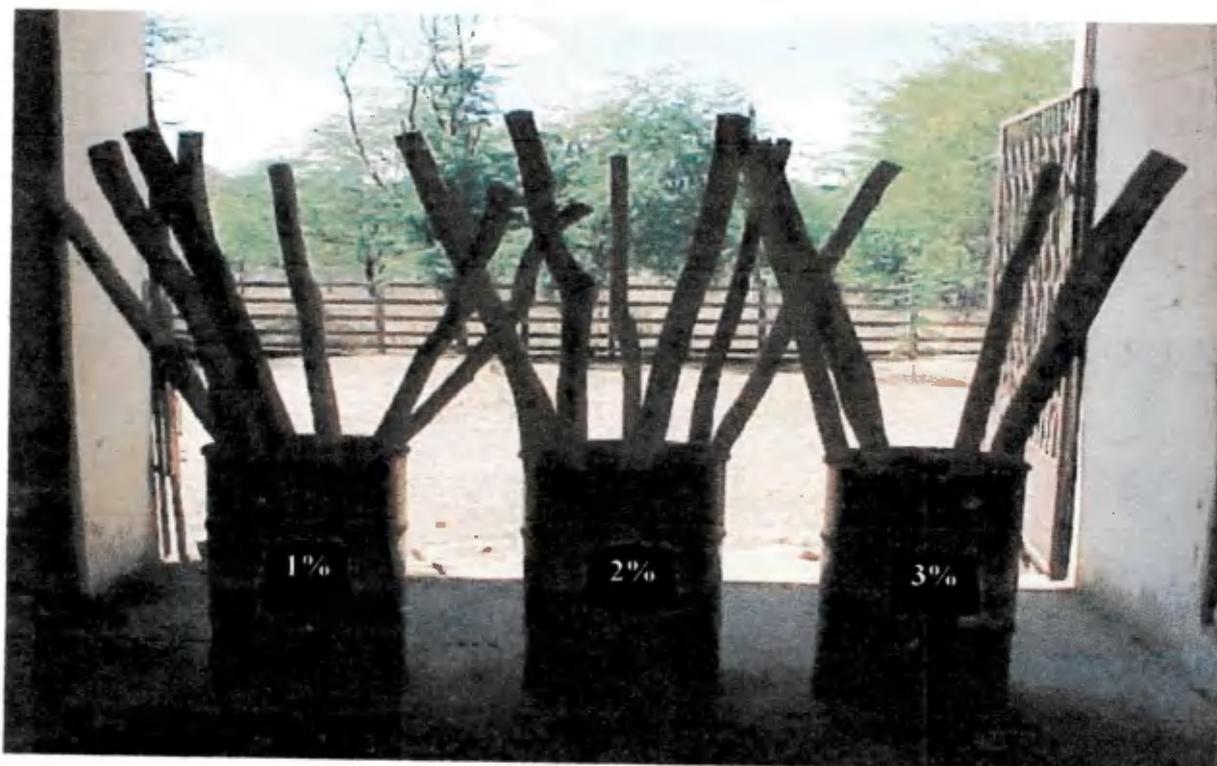


Figura 4 - Peças de algaroba submetidas ao tratamento em tambores de 200 litros.



Figura 5 - Peças de algaroba no processo de secagem em local coberto e arejado.

3.5. Análise química das amostras

Decorrido o período de secagem, foram executadas as análises químicas para as determinações da penetração, distribuição e retenção do CCB nas peças tratadas. Para tanto, foram retirados discos em cinco posições nos moirões (10 cm da base, 50 cm da base (região de afloramento, região mais propícia ao desenvolvimento de xilófagos), meio do comprimento, 150 cm e 190 cm da base das peças), para verificar o tratamento recebido ao longo do comprimento das peças (Figura 6).

As determinações foram feitas por reações colorimétricas. Para as análises, foram seguidas as recomendações da norma P - MB - 790 da ABNT (1973b).

Após o preparo das soluções reveladoras do cobre e do boro conforme (ABNT, 1973b), distribuiu-se uma camada fina das soluções, de maneira uniforme sobre as amostras de cada tratamento. Um disco de cada posição serviu para ambas as reações, e, após a reação química em um dos lados do disco para o elemento cobre, utilizou-se o lado oposto para a reação do elemento boro.

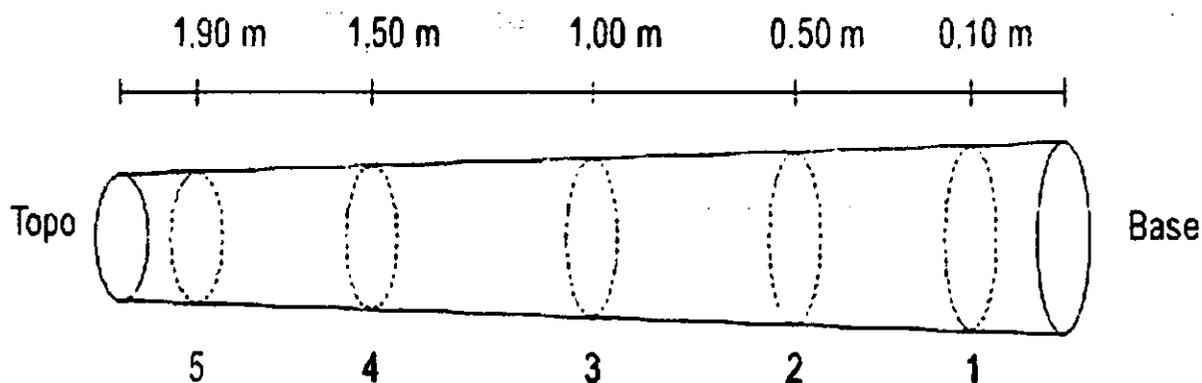


Figura 6 - Posições na peça de onde foram retirados os discos para as análises químicas.

Para facilitar a leitura e medição da penetração do preservativo, as peças foram previamente lixadas, demarcados ao acaso dois diâmetros perpendiculares entre si,

como se pode observar na Figura 7, e sobre tais diâmetros, as leituras foram realizadas em quatro pontos. A média das leituras de cada disco representou a penetração do elemento químico analisado.

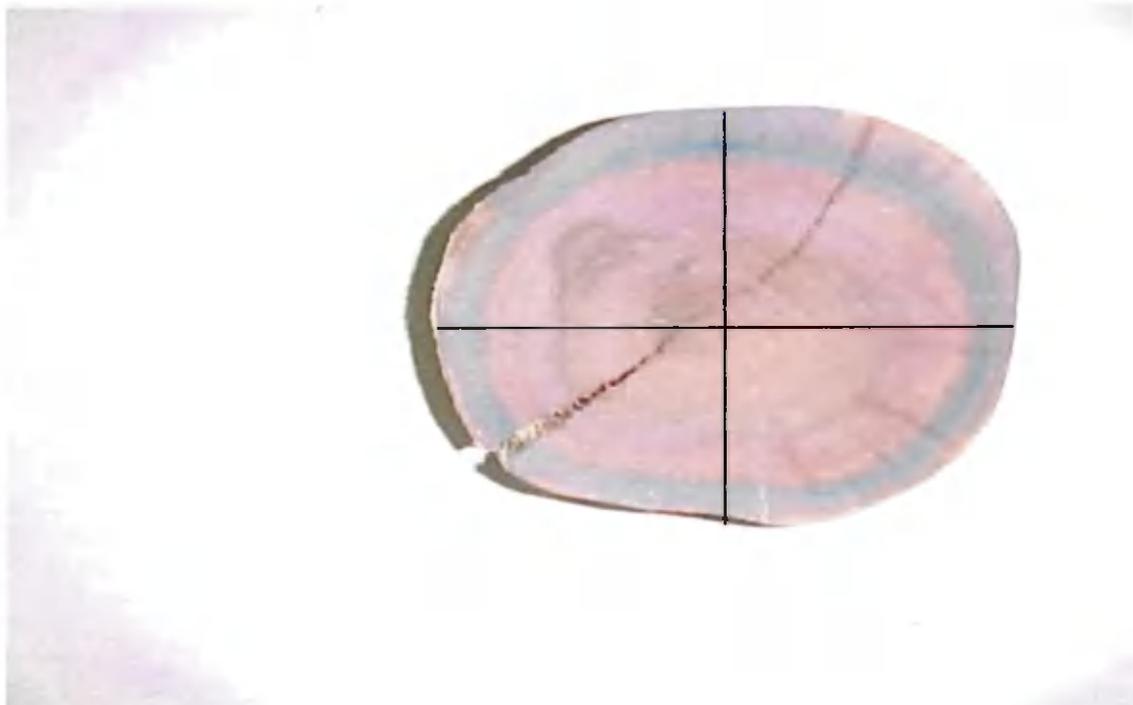


Figura 7 - Diâmetros demarcados perpendiculares no disco para leitura da penetração dos elementos cobre e boro.

Para a determinação da retenção do preservativo foram retirados discos complementares nas posições 2 (50 cm da base), 3 (meio da peça) e posição 5 (190 cm da base da peça). Dos obtidos, retiraram-se quatro amostras na direção radial à medula com dimensões de 1,5 x 1,5 x 2 cm (Figura 8). As amostras retiradas nos quatro quadrantes no disco foram agrupadas e uma delas, tomada ao acaso, foi utilizada para as análises de retenção do CCB na madeira.

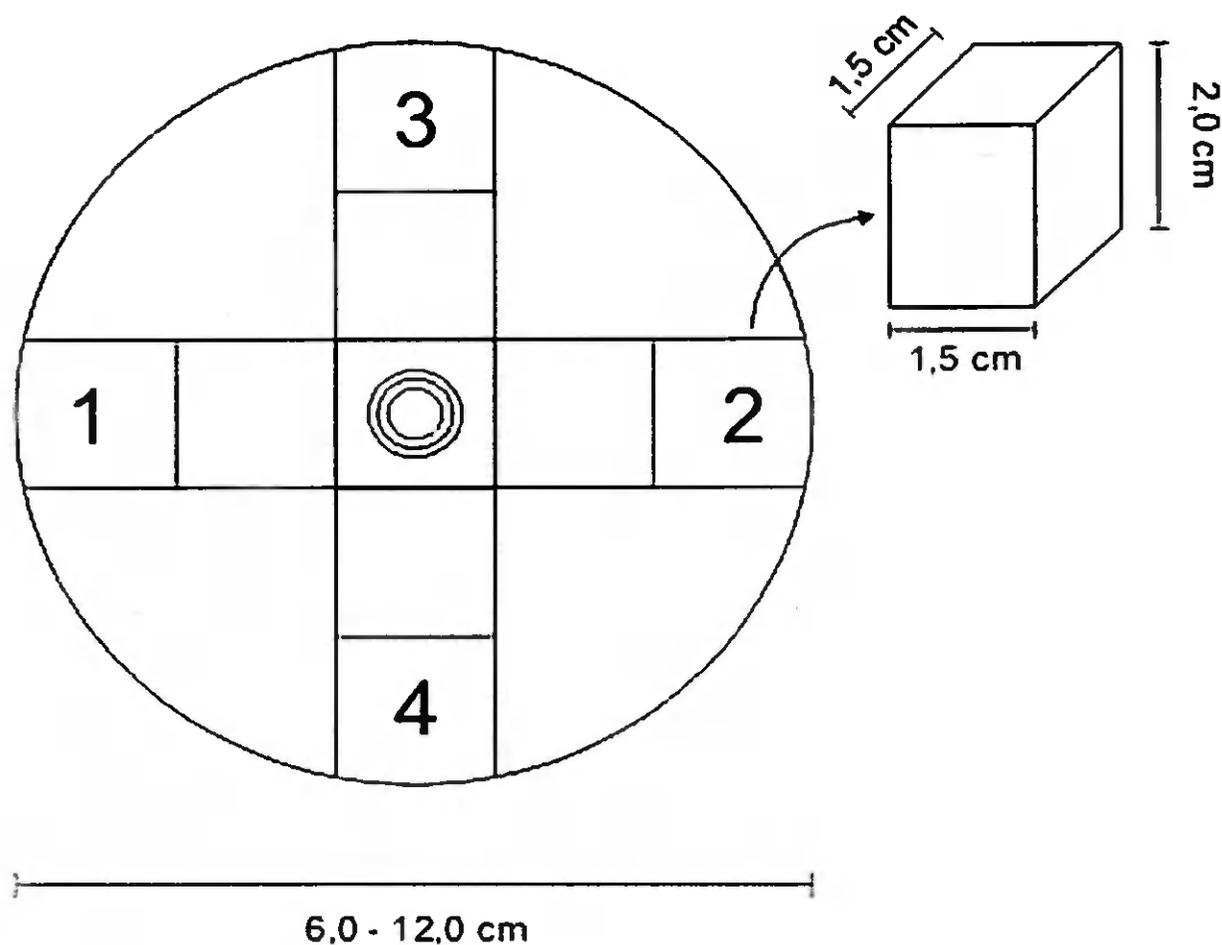


Figura 8 - Retirada da amostra para a análise de retenção do CCB.

Para a análise da retenção, realizou-se a digestão das amostras sorteadas, conforme a metodologia descrita por Wischer, citada por MORESCHI (1985) que consta das seguintes etapas:

- Incineração das amostras para obtenção das cinzas e sais metálicos, a uma temperatura de 500 a 550° C, até a transformação em cinzas brancas;
- Adição de 3 mL da mistura dos ácidos sulfúrico, perclórico e nítrico, todos concentrados nas proporções de 7: 2: 1, às cinzas obtidas pela incineração das amostras;
- Digestão acelerada pelo aquecimento da mistura dos ácidos e cinzas, em chapa aquecida, até a mistura ficar límpida;
- Diluição das soluções ácidas com água destilada a volumes fixos.

Após a digestão e diluição, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos, identificadas e encaminhadas à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), para as leituras dos elementos cobre, cromo e boro. No Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), Areia - PB, foram realizadas as leituras do cobre e boro, e no Laboratório de Compostos de Coordenação e Química de Superfície (LCCQS) do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN), João Pessoa - PB, as leituras do cromo. A incineração da madeira e a digestão das cinzas estão apresentadas nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

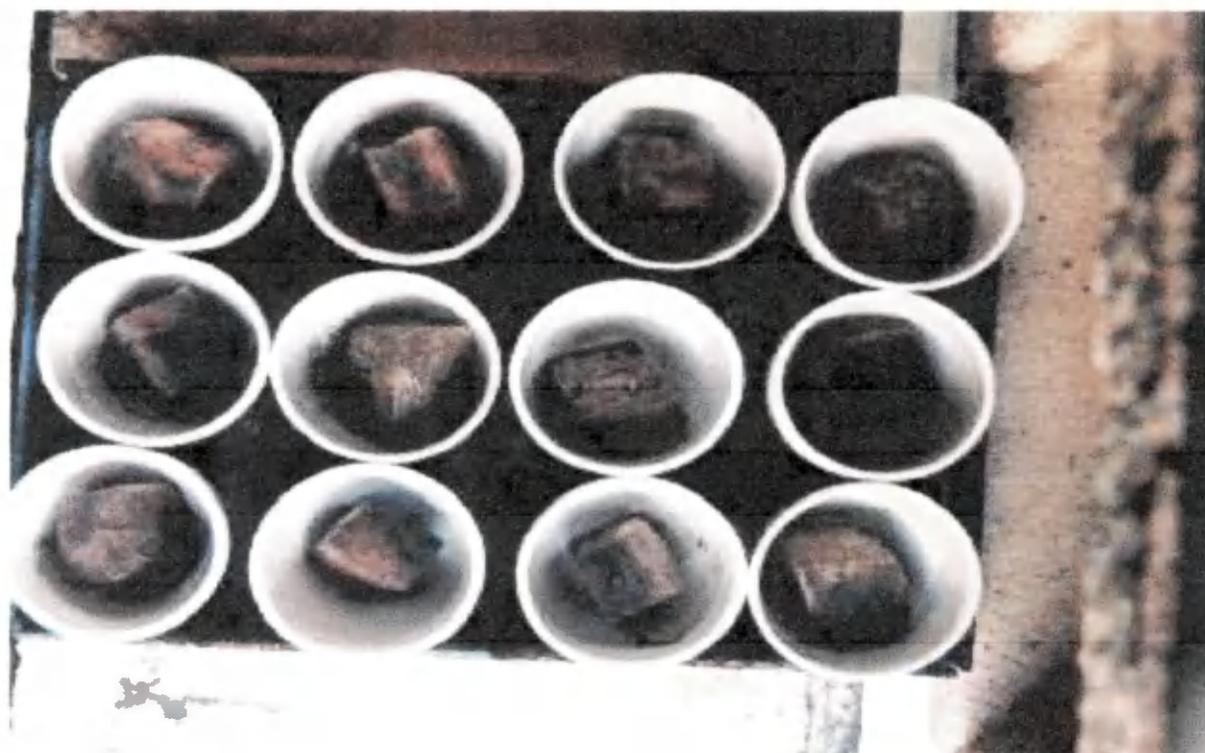


Figura 9 - Corpos-de-prova de algaroba nos cadinhos para incineração.

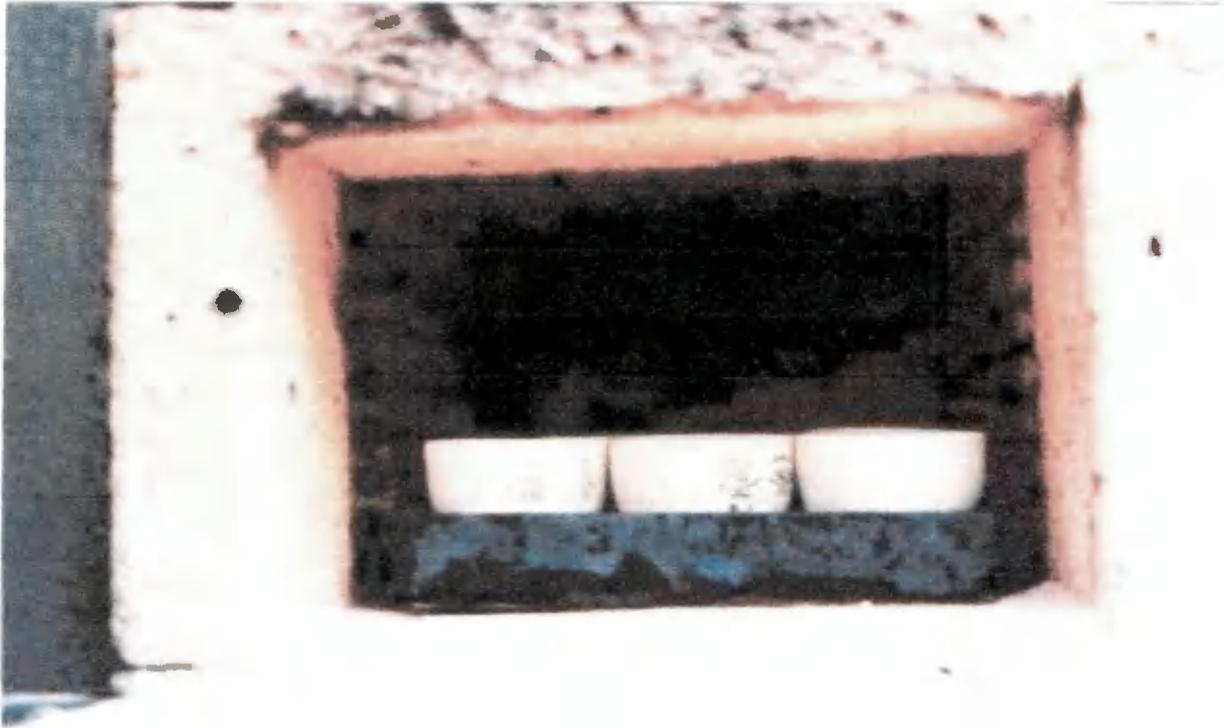


Figura 10 - Corpos-de-prova dentro da múfla à temperatura de 500 - 550 °C.

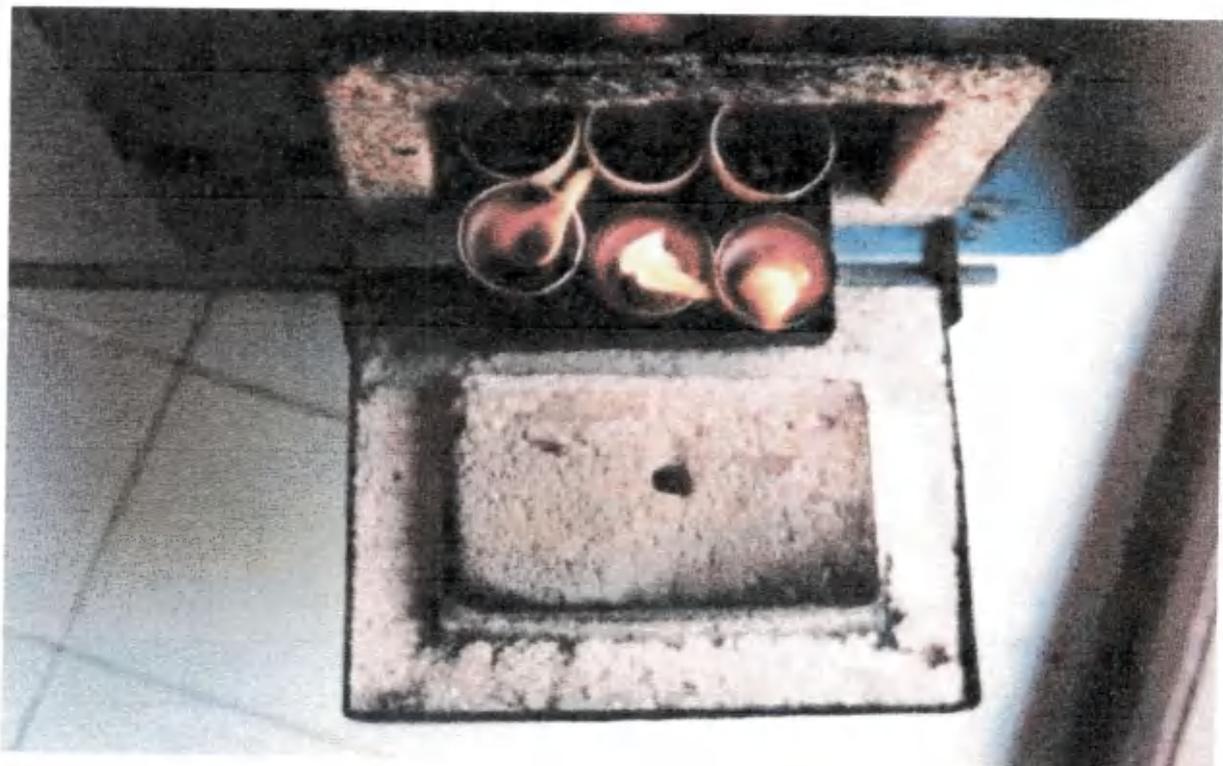


Figura 11- Combustão da madeira e sua transformação em cinzas.

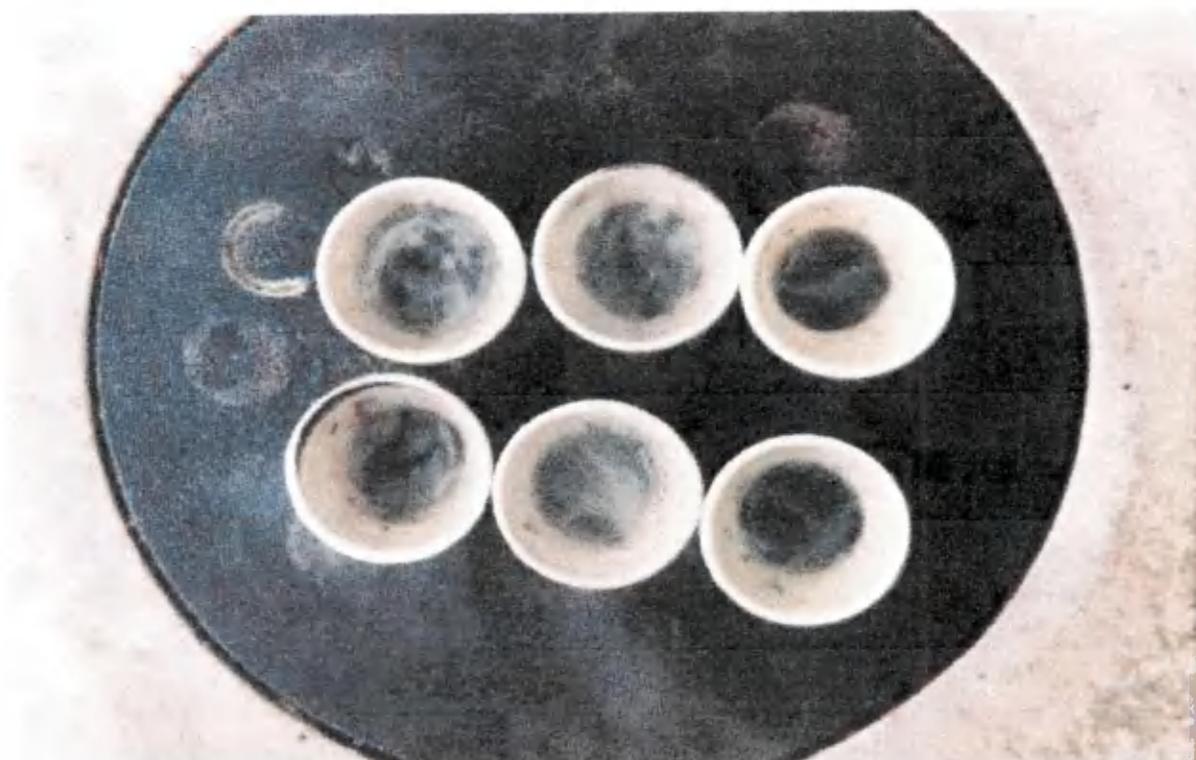


Figura 12 - Digestão acelerada das cinzas, com a mistura dos ácidos, em chapa aquecida.

3.6. Cálculo da retenção do produto preservativo na madeira

Com os dados obtidos das leituras de espectrometria de absorção atômica e dos volumes das amostras obtidos por deslocamento em mercúrio (ASTM D - 1413, 1994), das madeiras digeridas, efetuaram-se os cálculos de retenção, conforme Equação 9 (PAES, 1991).

$$R = \frac{F \times L \times Fd \times 10^{-3}}{V} \quad (9)$$

em que:

R = Retenção do elemento na madeira (kg/m^3);

F = Fator estequiométrico empregado para transformação dos elementos químicos para óxidos (cobre $\times 1,2518 = \text{CuO}$, cromo $\times 1,9230 = \text{CrO}_3$);

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

Fd = fator de diluição; e

V = volume das amostras utilizadas nas análises (cm^3).

3.7. Análises dos resultados

3.7.1. Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados ao empregar o Sistema de Análises Estatística e Genéticas (SAEG) desenvolvido pelo Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa.

Na interpretação dos resultados, empregou-se o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial. Para comparar as penetrações e retenções do preservativo CCB nas peças, foram testados os seguintes fatores: tempo de permanência na solução preservativa com 5 níveis (3; 6; 9; 12 e 15 dias); concentração das soluções preservativas, com 3 níveis (1; 2 e 3% de i.a.) e 4 repetições, totalizando 60 peças de algaroba. A penetração foi testada com 5 níveis e a retenção com 3 níveis.

Os valores de penetração e retenção do preservativo empregado, obtido para cada tratamento, serviram para verificar se há diferenças significativas entre os níveis de concentração; entre os tempos de tratamento e a existência de interações significativas entre níveis de concentração e tempos de tratamento.

Nas análises e avaliação dos ensaios realizados, empregou-se o teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

3.7.2. Análise econômica

Na análise econômica foi utilizado o Custo Equivalente Anual (CEA), ao considerar os custos das peças de algaroba (tratadas e não-tratadas); de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Benth.) e de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). As madeiras de jurema-preta e sabiá foram introduzidas na análise econômica, por serem comumente utilizadas em cercas na região.

No cálculo do custo das peças de algaroba (não-tratadas) e da jurema-preta foram considerados os custos de extração, posto que estas espécies estão presentes na propriedade rural, e no custo da peça de sabiá (proveniente do Estado do Ceará), preço das peças postas na propriedade.

Na análise econômica apresentada, o custo do tratamento preservativo das peças de algaroba foi calculado, ao considerar o preço de 30 kg do “Osmose CCB” a R\$ 244,15 (preço fornecido pelo fabricante do preservativo, Montana Química S.A., em 09/10/2003. A cotação do dólar para este dia foi de R\$ 2,889, e as peças tratadas a uma retenção de 6,5 kg de ingredientes ativos/ m³ de madeira).

O custo Equivalente Anual (CEA) foi calculado para confecção de 1 Km de cerca na região, com 1 metro entre estacas e esticadores a cada 10 metros. Calculou-se o (CEA) apenas para aquisição das peças, sem colocá-las em serviço, taxas de descontos de 3, 9 e 15% a.a., e vida útil de 16 a 30 anos, para algaroba tratada e sabiá. Para a madeira de algaroba não-tratada e jurema-preta, a expectativa de vida útil foi de 2 a 10 anos, praticando-se as mesmas taxas de desconto citadas (Equação 10 e 11).

Custo equivalente anual sem tratamento

$$CEA = \frac{C_0 + I \times i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad (10)$$

Custo equivalente anual com tratamento

$$CEA = \frac{C_0 + I \times i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} \quad (11)$$

em que:

CEA = Custo equivalente anual (R\$);

C_0 = custo da peça na propriedade (R\$);

n = vida útil da peça (anos);

i = taxa de desconto (%); e

I = Custo do tratamento (R\$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados e discutidos os resultados das características da madeira submetidas ao tratamento preservativo, da distribuição, penetração e retenção do produto preservativo na madeira e executada uma análise econômica do tratamento preservativo da madeira de algaroba, com custo equivalente anual (CEA) para confecção de estaca para a construção de 1,0 Km de cerca.

4.1. Características da madeira submetida ao tratamento preservativo

Os valores médios do teor de umidade (%), densidade (g/cm^3) e espessura do alburno (cm) da madeira de algaroba são apresentados na Tabela 1, em que se observa que a madeira apresentou uma densidade homogênea, com uma variação máxima de $0,10 \text{ g/cm}^3$ entre a maior e menor densidade, com uma espessura média de alburno de $2,5 \pm 0,2 \text{ cm}$ e teor de umidade médio de $56,61 \pm 4,11\%$.

Os teores de umidade apresentados pela madeira podem dificultar a penetração e difusão do preservativo nas peças. Estes valores podem ter ocorrido em função das peças terem sido abatidas fora da estação chuvosa.

Outro fator que pode afetar a penetração e difusão de soluções preservativa na madeira é a quantidade de alburno. Isto pode ter ocorrido em função das árvores terem sido coletadas de povoamento de regeneração natural, sem manejo adequado e sem a preocupação de uma condução destinada à produção de peças para confecção de cercas.

Quanto à densidade, a madeira de algaroba apresenta características compatíveis para sua utilização em moirões e estacas de cercas, apriscos e demais usos em construções no meio rural. Estas considerações estão de acordo com o apresentado por GOMES (1999), ao estudar as características físicas e mecânicas dessa madeira.

Tabela 1 - Características da madeira de algaroba submetida ao tratamento preservativo

Tratamentos		Densidade (g/cm ³)	Teor de umidade (%)	Volume total (dm ³)	Espessura alburno (cm)	Volume tratável (dm ³)
Conc. (%)	Tempo (dias)					
1	3	0,69	59,39	6,94	2,1	5,89
	6	0,73	57,49	9,04	1,7	6,15
	9	0,72	54,39	10,48	1,8	6,87
	12	0,73	55,04	10,09	1,6	6,08
	15	0,72	56,25	10,09	1,4	6,35
2	3	0,69	69,01	9,24	2,3	7,71
	6	0,78	54,62	11,18	1,2	5,41
	9	0,73	54,24	10,87	2,0	7,61
	12	0,72	55,30	10,33	2,0	7,47
	15	0,68	56,24	10,59	2,2	8,07
3	3	0,69	60,30	9,01	2,3	7,42
	6	0,72	56,12	11,76	1,8	7,36
	9	0,76	50,99	8,82	1,5	5,55
	12	0,76	53,48	8,53	1,6	5,79
	15	0,74	56,23	9,54	1,6	6,23

4.2. Distribuição do produto preservativo na madeira

A distribuição dos elementos cobre e boro, nas peças tratadas, foi analisada nos discos obtidos conforme o item 3.5 e apresentada nas Figuras 13, 14 e 15.

Observa-se, nas Figuras 13, 14 e 15, que a distribuição do elemento cobre na madeira tratada ocorreu de forma heterogênea em todas as concentrações do preservativo "Osrose CCB" testadas.

Nota-se, ainda, que o aumento do tempo de exposição da peça no preservativo, em cada concentração, melhorou a distribuição do elemento cobre na madeira, tendo, a melhor distribuição ocorrido no tempo de 15 dias de tratamento.

A distribuição ao longo da peça, em cada concentração, demonstrou que as posições 1 e 2 (base e região de afloramento) tomadas a 10 cm e 50 cm do comprimento das peças, respectivamente, foram aquelas que apresentaram uma melhor distribuição do cobre. Percebe-se, para a solução com 2% de i.a. (Figura 13), que a distribuição do preservativo na peça foi mais homogênea que nas demais soluções testadas.

Com relação à distribuição do elemento boro (Figura 13, 14 e 15), observa-se que a distribuição no sentido longitudinal foi homogênea, e a solução de 2% de i.a. (Figura 14) apresentou melhor distribuição nas peças, quando comparadas às soluções de 1 e 3% de i.a. (Figuras 13 e 15, respectivamente).

Observa-se, ainda, que o incremento do tempo de exposição das peças nas soluções preservativas, dentro de cada concentração, proporcionou uma melhoria na distribuição do boro na madeira, tendo o tempo de 15 dias apresentado melhor distribuição quando comparado aos demais.

Uma análise da distribuição na madeira dos elementos cobre e boro, para os tempos e concentrações testados, demonstrou que a concentração com 2% i.a. (Figura 14) apresentou melhor distribuição que as soluções com 1 e 3% i.a. (Figuras 13 e 15, respectivamente).

O maior tempo de exposição das peças na solução preservativa ocasionou uma melhor distribuição dos elementos cobre e boro na madeira, tendo os tempos de 12 e 15 dias de tratamento apresentado distribuições mais homogêneas que os demais.

O elemento cobre se distribuiu de forma heterogênea entre os tratamentos testados, enquanto o elemento boro apresentou distribuição homogênea. Isto pode ter ocorrido em função do boro se difundir com maior facilidade na madeira.

Observa-se que as posições 1 e 2, apresentaram melhor distribuição dos elementos cobre e boro quando comparadas às demais posições ao longo da peça.

Tratamentos		Posições nas peças tratadas				
Conc. (%)	Tempo (dias)	1	2	3	4	5
1	Distribuição do elemento cobre					
	3					
	6					
	9					
	12					
	15					
	Distribuição do elemento boro					
	3					
	6					
	9					
	12					
15						

Figura 13 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 1% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".

Tratamentos		Posições nas peças tratadas				
Conc. (%)	Tempo (dias)	1	2	3	4	5
		Distribuição do elemento cobre				
2	3					
	6					
	9					
	12					
	15					
	Distribuição do elemento boro					
	3					
	6					
	9					
	12					
15						

Figura 14 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 2% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".

Tratamentos		Posições nas peças tratadas				
Conc. (%)	Tempo (dias)	1	2	3	4	5
3	Distribuição do elemento cobre					
	3					
	6					
	9					
	12					
	15					
	Distribuição do elemento boro					
	3					
	6					
	9					
12						
15						

Figura 15 - Distribuição dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba submetidas à concentração de 3% de i.a. do preservativo "Osmose CCB".

4.3. Penetração do produto preservativo na madeira

Os resultados da penetração do cobre e do boro são apresentados na Tabela 2, em que se observa, de modo geral, que a penetração dos elementos cobre e boro apresentou comportamento distinto com relação à concentração, tempo de exposição ao preservativo e posição na peça.

Quanto à concentração, nota-se uma maior penetração nas peças submetidas ao tratamento em que a solução de 2% de i.a. foi utilizada. Isto pode ter ocorrido em função de dificuldade de difusão da solução de 3% de i.a. nas peças, ou do tempo de exposição da madeira na solução de 1% de i.a., que foi insuficiente para que houvesse uma penetração satisfatória.

A penetração do elemento cobre na base da peça (posição 1), de modo geral, foi satisfatória para todos os tempos à concentração de 2%, com redução ao longo da peça. Uma penetração desejável na região de afloramento (posição 2) e no meio (posição 3) apenas foi obtida após 15 dias de tratamento. Estas considerações estão de acordo com GALVÃO (1968), WEHR (1985) e PAES (1991), que consideram como satisfatórias as penetrações superiores a 10 mm.

Quanto ao elemento boro, observa-se uma penetração homogênea e satisfatória ao longo das peças tratadas, para todas as concentrações testadas. O cobre apresentou resultados insatisfatórios para as mesmas concentrações, tendo a solução de 2% apresentado, ao longo das peças, valores próximos à penetração mínima recomendada.

De modo geral, quando se aumentou o tempo de exposição das peças no preservativo, houve também um acréscimo na penetração dos elementos cobre e boro. Porém, nas concentrações de 1 e 3%, a maior penetração ocorreu logo aos 6 dias de exposição ao preservativo CCB. Na solução de concentração de 2%, os elementos obtiveram a maior penetração quando as peças foram submetidas a 15 dias de tratamento. O boro apresentou valores superiores ao cobre, nas cinco posições ao longo das peças tratadas, tendo resultados satisfatórios em todas as posições.

Como o cobre possui eficiência contra fungos apodrecedores e apresentou resultados de penetração satisfatórios na posição 2 (região de afloramento) para o tempo de 15 dias, à concentração de 2%, as demais peças não devem ser utilizadas em

locais em contato direto com o solo, condições estas que expõem as madeiras ao ataque de fungos xilófagos.

Tabela 2 - Penetração média (mm) dos elementos cobre e boro na madeira de algaroba tratada

Tratamentos		Elemento Cobre					Elemento Boro				
Conc. (%)	Tempo (dias)	Posições nas peças tratadas					Posições nas peças tratadas				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	3	7,60	6,90	6,40	6,20	4,00	12,10	11,40	9,80	8,70	7,30
	6	9,30	6,50	6,30	5,80	5,80	15,30	16,30	15,40	15,00	15,90
	9	10,40	5,00	4,50	4,00	2,70	14,90	13,00	11,30	10,20	10,90
	12	12,20	5,50	4,80	3,50	1,50	14,00	12,50	12,70	11,90	11,50
	15	9,40	5,40	4,00	2,70	2,10	12,10	10,70	10,20	9,60	7,50
2	3	14,90	9,90	9,70	9,40	6,10	19,40	14,70	14,30	13,60	13,00
	6	9,80	8,00	7,20	7,10	6,10	12,80	13,20	14,20	11,80	11,80
	9	16,40	9,30	6,00	4,90	3,40	22,40	17,30	15,30	13,00	12,80
	12	13,40	7,50	7,80	6,70	6,00	19,20	16,20	17,40	15,40	12,50
	15	16,90	10,30	9,50	8,50	7,90	23,40	21,60	20,40	18,50	17,60
3	3	7,80	3,50	3,50	2,80	1,60	13,90	7,70	7,75	7,78	5,50
	6	8,50	6,80	7,00	7,00	6,20	16,70	16,40	16,10	14,30	13,60
	9	7,90	4,50	3,90	3,60	2,00	13,10	13,00	13,60	12,70	13,60
	12	8,30	4,00	2,70	2,40	3,20	14,10	13,70	12,50	13,60	12,50
	15	10,03	4,80	4,30	3,60	3,30	14,60	14,10	13,20	11,00	12,10

A penetração do boro, que possui eficiência inseticida, apresentou resultados diferentes do cobre que, no geral, foi satisfatória em todas as posições da base para o topo das peças, nas concentrações de 1; 2; e 3% e nos cinco tempos de exposição ao preservativo CCB. Portanto, estas peças são indicadas para o uso em estruturas no meio rural, desde que não sejam utilizadas em contato direto com o solo.

Os valores apresentados na Tabela 2 foram analisados estatisticamente, a fim de se detectar qual o tratamento que apresentou melhor penetração dos elementos na madeira.

As análises de variâncias, realizadas para os elementos cobre e boro, (Tabelas A1 e A2, respectivamente, Anexo A) demonstraram que os fatores posição, tempo, concentração e a interação entre tempo e concentração foram significativos pelo teste de F.

O efeito da posição e do desdobramento da interação entre o tempo e a concentração foi analisado pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3).

Observa-se na Tabela 3 que a penetração do cobre na posição 1 (10 cm da base) foi superior às demais. As penetrações obtidas nas posições 2; 3 e 4 foram semelhantes, tendo a posição 5 (tomada a 10 cm do topo) apresentado a menor penetração, e esta não diferiu da posição 4, tomada a 50 cm do topo.

O fato de a penetração obtida na posição 2 (região de afloramento) e posição 3 (meio da peça) e posição 4 ter sido semelhante indica que as peças tiveram penetração homogênea do cobre, desde a região de afloramento até a 1,50 m do comprimento das peças.

Com relação à penetração do boro (Tabela 3), nota-se que as penetrações nas posições 1 e 2 foram semelhantes. As posições 3 e 4 apresentaram penetrações semelhantes à posição 2, tendo essas posições semelhanças com a posição 5, que diferiu da posição 2.

Uma penetração semelhante do boro na posição 2 é vantajosa, pois esta é a região mais propícia ao desenvolvimento de organismos xilófagos em peças instaladas diretamente no solo.

A análise do efeito do tempo para cada concentração do elemento cobre indicou para a solução com concentração de 1%, que não houve diferença significativa entre os tempos de exposição das peças no preservativo. Isto provavelmente tenha ocorrido em função de os tempos de tratamentos terem sido insuficientes para que houvesse penetração diferenciada entre as peças.

Para a concentração com 2% de i.a., os tempos de 3 e 15 dias apresentaram penetrações do elemento cobre semelhantes entre si, sendo estas superiores às obtidas

para os tempos de tratamento de 6 e 9 dias. Na solução com 3% de i.a. os tempos de 6 e 15 dias apresentaram penetrações do elemento cobre semelhantes entre si, tendo o tempo de 15 dias sido semelhante aos demais testados.

Tabela 3 - Comparações múltiplas entre médias, pelo teste de Tukey, para a penetração (mm) dos elementos boro e cobre nas peças de algaroba

Efeito da posição na peça na penetração dos elementos cobre e boro					
Elemento cobre			Elemento boro		
Posição	Penetração média (mm)		Posição	Penetração média (mm)	
1	10,86 a		1	15,85 a	
2	6,53 b		2	14,10 ab	
3	5,83 b		3	13,58 bc	
4	5,19 bc		4	12,46 bc	
5	4,10 c		5	11,86 c	

Efeito do tempo para cada concentração na penetração dos elementos cobre e boro					
Penetração média (mm) do elemento cobre					
Concentração (%)	Tempo de tratamento (dias)				
	3	6	9	12	15
1	6,21 Ab	6,73 Aa	5,29 Ab	5,49 Ab	4,71 Ab
2	9,98 ABa	7,62 Ca	8,00 Ca	8,29 BCa	10,60 Aa
3	3,83 Bc	7,09 Aa	4,35 Bb	4,11 Bb	5,28 ABb

Penetração média (mm) elemento boro					
Concentração (%)	Tempo de tratamento (dias)				
	3	6	9	12	15
1	9,85 Bb	15,57 Aa	12,04 Bb	12,53 Bb	10,00 Bb
2	14,99 Ba	12,74 Ba	16,15 Ba	16,12 Ba	20,28 Aa
3	8,47 Bb	15,40 Aa	13,20 Aab	13,25 Aab	12,99 Ab

As médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade.

Nos tempos de 3; 9; 12; e 15 dias de exposição da madeira ao preservativo, a solução que apresentou maior penetração do cobre foi a de 2%, não havendo, no entanto, diferença significativa entre as concentrações testadas aos 6 dias de exposição das peças no preservativo.

A análise do efeito do tempo em cada concentração do elemento boro demonstrou que na solução com 1%, o tempo de 6 dias de exposição proporcionou resultados superiores aos demais tempos testados.

Na solução com 2% de i.a. do preservativo "Osrose CCB", a penetração do elemento boro, no tempo de 15 dias, apresentou valor de penetração superior aos demais testados.

Para a solução de 3%, a penetração do boro foi semelhante nos tempos de 6; 9; 12; e 15 dias de exposição das peças no preservativo. Estes tempos forneceram penetrações superiores ao de 3 dias.

Os tempos de 3 e 15 dias de exposição, à concentração de 2% do CCB, apresentaram penetração superior do elemento boro, quando comparados àqueles submetidos às concentrações de 1 e 3%, que apresentaram valores semelhantes entre si.

Os tempos de 9 e 12 dias de tratamento, às concentrações de 2 e 3%, apresentaram penetrações do elemento boro semelhantes. A penetração atingida pela concentração de 1% de i.a. foi semelhante àquela da concentração de 3%.

A exposição das peças no preservativo "Osrose CCB" durante 6 dias não apresentou penetração diferenciada entre as concentrações testadas. Isto ocorreu tanto para o elemento cobre, como para o boro.

Esperava-se que, com o aumento do tempo de tratamento, houvesse uma maior penetração da solução preservativa na madeira, com tendência a uma estabilização após determinado tempo de exposição. No entanto, os resultados obtidos revelaram que isto não ocorreu. Tal fato, provavelmente, pode ter ocorrido em função do baixo teor de umidade e da proporção de alburno nas peças (Tabela 1).

Além destes fatos, as peças foram retiradas de povoamentos heterogêneos em que a seleção da madeira foi com base no diâmetro e retilinidade das peças e, muitas delas, apresentaram uma alta proporção de cerne. Assim, espera-se que melhores

resultados possam ser alcançados com o emprego de peças de madeiras mais jovens (com maior teor de alburno) e retiradas durante a estação chuvosa.

4.4. Retenção do produto preservativo na madeira

As retenções médias (kg/m^3) de cobre, cromo e boro, componentes do “Osmose CCB”, produto empregado para o tratamento das peças, encontram-se listadas na Tabela B1 (Anexo B).

Na Tabela 4, encontra-se a retenção média (kg/m^3) do CCB para cada tratamento a que as peças de algaroba foram submetidas. Nota-se que, quando as peças foram submetidas à concentração de 1% de i.a., a retenção mínima recomendada pela norma P - MB - 790 da ABNT (1973b), que é de $6,5 \text{ kg de i.a.}/\text{m}^3$ para que as peças sejam postas em serviço, em contato direto com o solo, não foi atingida para nenhum dos tempos de tratamentos testados, nas três posições analisadas.

Para a solução de 2% de i.a., quando as peças foram submetidas aos tempos de 12 e 15 dias de tratamento, a retenção média foi satisfatória na posição 2 (região de afloramento). Quando submetida a 15 dias, uma retenção satisfatória foi obtida nas posições 2 e 3 (meio da peça). Isto indica que tais peças podem ser utilizadas em contato direto com o solo.

Para o tempo de 6 dias de exposição, a retenção alcançada na posição 2 não foi satisfatória, para que as peças possam ser utilizadas em contato direto com o solo. No entanto, na posição 3 obteve-se uma retenção de $8,44 \text{ kg de i.a.}/\text{m}^3$, superior à retenção mínima recomendada pela ABNT (1973b). Isto provavelmente tenha ocorrido em função da posição em que a amostra foi retirada do disco. Como as amostras, obtidas nas quatro partes diametralmente opostas, foram sorteadas e apenas uma delas submetidas às análises de retenção, as amostras da posição 3 (meio da peça) podem ter sido obtidas em local de maior retenção do produto preservativo. Assim, no cômputo geral, com base na retenção média das quatro amostras, pode-se ter uma retenção na peça próxima à recomendada. Desta forma, as peças submetidas a este tratamento podem ser indicadas para uso em contato com o solo.

Tabela 4 - Retenção média (kg/m³) do preservativo "Osmose CCB" na madeira

Tratamentos		Posições nas peças tratadas		
Conc. (%)	Tempo (dias)	2	3	5
1	3	2,18	2,13	1,86
	6	3,26	3,14	2,15
	9	2,29	1,32	0,89
	12	3,77	1,46	0,44
	15	4,28	0,47	0,12
2	3	5,62	4,65	3,14
	6	4,07	8,44	3,64
	9	5,51	2,78	1,77
	12	7,70	4,95	3,59
	15	7,69	9,11	3,98
3	3	3,05	0,79	0,79
	6	4,16	5,22	4,86
	9	5,33	0,68	0,37
	12	4,61	0,63	1,85
	15	4,49	2,91	2,02

As peças em que a retenção ficou entre 4,0 e 6,5 kg /m³ de i.a., nas posições 2 e 3, podem ser utilizadas em estruturas fora do contato direto com o solo, desde que seja aplicado um reforço no topo das mesmas, o que pode ser conseguido com a inversão das peças na solução preservativa (WEHR, 1985; LELLES e REZENDE, 1986; LEPAGE, 1986; PAES, 1991).

As peças que permaneceram na solução a 3% de i.a. do CCB não atingiram uma retenção mínima para serem empregadas em contato com o solo. Porém, as peças com 4,0 kg de i.a./m³ (posição 2), com um tratamento de reforço no topo, até que se atinja uma retenção desejável, a exemplo do exposto anteriormente, podem ser empregadas em estruturas fora do contato com o solo.

Os valores que geraram a Tabela 4 foram analisados estatisticamente e apresentados na Tabela B2 (Anexo B). Observa-se nesta tabela que o efeito da concentração e a interação entre as posições e os tempos de tratamento foram significativos pelo teste de F.

O efeito da concentração e o desdobramento entre tempo e posição foram analisados pelo teste de médias (Tukey) e apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparações múltiplas entre médias, pelo teste de Tukey, para a retenção (kg/m^3) do CCB nas peças de algaroba tratadas

Efeito da concentração em cada posição na retenção (kg/m^3) de CCB					
Concentração (%)	Retenção média do CCB na madeira				
2	5,11 a				
3	2,78 b				
1	1,98 b				
Efeito do tempo em cada posição na retenção do CCB					
Posição	Tempo (dias)				
	3	6	9	12	15
2	3,62 Aa	3,83 Aa	4,38 Aa	5,36 Aa	5,49 Aa
3	2,52 Ba	5,60 Aa	1,59 Bb	2,35 Bb	4,16 ABab
5	1,92 Aa	3,55 Aa	1,01 Ab	1,96 Ab	2,04 Bb

As médias seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, ou maiúscula, na horizontal, não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade.

O teste de Tukey revelou que a concentração de 2% de i.a. proporcionou uma retenção superior às concentrações de 1 e 3%, as quais não diferiram entre si.

Uma análise do efeito da posição em cada tempo de tratamento revelou para os tempos de 3 e 6 dias a não existência de diferença significativa entre as posições analisadas nas peças. Para os tempos de 9 e 12 dias, observou-se que a retenção alcançada na posição 2 foi superior a das demais. Para o tempo de 15 dias, a retenção alcançada nas posições 2 e 5 foram diferentes estatisticamente, tendo a posição 3

apresentado retenção semelhantes às obtidas nas posições testadas. Isto significa que o tempo de 15 dias proporcionou uma retenção mais homogênea ao longo da peça quando comparada aos tempos de 9 e 12 dias

A análise do efeito do tempo de tratamento em cada posição revelou que nas posições 2 e 5 não foi observada diferença significativa entre os tempos de tratamentos empregados. Isto indica que todos os tempos proporcionam retenções semelhantes nas posições 2 e 5 (região de afloramento e topo das peças, respectivamente).

Para a posição 3 (meio da peça) a retenção proporcionada pelo tempo de 6 dias foi superior a dos tempos de 3, 9 e 12 dias, e semelhante à retenção atingida pelo tempo de 15 dias, a qual não diferiu dos demais tempos testados.

A exemplo do especulado anteriormente (item 4.3), isto pode ter ocorrido em função da heterogeneidade das peças tratadas ou em função da baixa umidade existentes nas mesmas, o que impossibilitou a penetração e difusão dos sais preservativos no interior da madeira.

4.5. Viabilidade técnica e econômica do tratamento das peças de algaroba

Observa-se nas Tabelas 6, 7 e 8, os Custos Equivalentes Anuais (CEAs) da madeira necessários para a confecção de 1,0 Km de cerca, que variam em função da vida útil da madeira e da taxa de desconto adotada.

O menor CEA da algaroba tratada (Tabela 6) ocorreu a taxa de desconto de 3% a.a. para uma vida útil de 30 anos, enquanto o maior CEA ocorreu a uma taxa de desconto de 15% a.a. e vida útil de 16 anos. O percentual de redução do CEA à taxa de desconto de 3%, em decorrência do aumento da vida útil de 16 para 30 anos, foi de aproximadamente 35,92%, enquanto o CEA aumentou em 110,96%, com a mudança da taxa de desconto de 3% para 15% a.a. para uma vida útil de 16 anos.

O aumento da taxa de desconto reduziu a diferença percentual do CEA entre a menor e maior vida útil. Pois, quanto maior a taxa de desconto, menos significativo é o incremento da vida útil da peça sobre o CEA.

Ao comparar os custos equivalentes anuais das madeiras de algaroba tratada e de sabiá, notou-se que a madeira de algaroba apresentou CEA menor para todas as

taxas e vidas úteis analisadas. Percebe-se, ainda, que o menor CEA da algaroba ocorreu aos 30 anos de vida útil e taxa de desconto de 3% a.a., com valor de R\$ 45,92 e o maior CEA a uma taxa de 15% a.a. com valor de R\$151,15 e vida útil de 16 anos. Enquanto o menor e maior CEA da madeira de sabiá, para as mesmas taxas e vida útil, é de R\$ 82,00 e R\$ 272,08, respectivamente.

Tabela 6 - Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e de sabiá

C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de algaroba tratada, com C_0 (custo inicial) = R\$ 900,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
16	71,65	108,27	151,15
18	65,44	102,79	146,87
20	60,49	98,59	143,79
22	56,47	95,31	141,54
24	53,14	92,72	139,89
26	50,34	90,64	138,66
28	47,96	88,97	137,75
30	45,92	87,60	137,07
C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de sabiá, com C_0 (custo inicial) = R\$ 1.620,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
16	128,97	194,89	272,08
18	117,79	185,02	264,36
20	108,89	177,47	258,81
22	101,65	171,57	254,77
24	95,66	166,90	251,80
26	90,62	163,16	249,59
28	86,34	160,14	247,95
30	82,65	157,68	246,73

A madeira de sabiá apresenta custos de CEA superiores ao da algaroba em todas as taxas de desconto e expectativas de vida útil analisada.

Na Tabela 7, ao comparar os custos equivalentes anuais da algaroba tratada e da jurema-preta, com valor estimado de vida útil de 20 e 5 anos, respectivamente, indicou, para todas as taxas de desconto analisadas, que o custo equivalente anual da algaroba tratada superou ao da jurema-preta. O CEA da algaroba tratada foi menor que o da jurema-preta para uma vida útil de 28 anos, quando comparado aos 5 anos de vida útil da jurema-preta, à taxa de desconto de 3% a.a.

Tabela 7 - Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e de jurema-preta

C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de algaroba tratada, com C_0 (custo inicial) = R\$ 900,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
16	71,65	108,27	151,15
18	65,44	102,79	146,87
20	60,49	98,59	143,79
22	56,47	95,31	141,54
24	53,14	92,72	139,89
26	50,34	90,64	138,66
28	47,96	88,97	137,75
30	45,92	87,60	137,07
C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de jurema-preta, com C_0 (custo inicial) = R\$ 225,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
2	117,59	127,91	138,40
3	79,54	88,89	98,54
4	60,53	69,45	78,81
5	49,13	57,41	67,12
6	41,53	50,16	59,45
7	36,11	44,71	54,08
8	32,05	40,65	50,14
9	28,90	37,53	47,15
10	26,38	35,06	44,83

A diferença percentual entre o CEA da algaroba tratada aos 20 anos de vida útil e da jurema-preta com 4 anos, é de apenas 0,07%. O CEA de R\$ 45,92 para a algaroba tratada, com vida útil estimada em 30 anos a uma taxa de desconto 3% a.a. é inferior ao da jurema-preta (CEA de R\$ 49,13) para uma vida útil de 5 anos, a uma mesma taxa de desconto.

Quando os CEAs da algaroba tratada e não-tratada foram comparados (Tabela 8), notou-se que as peças tratadas, para as expectativas de vida útil analisadas, possuem valores inferiores ao da algaroba não-tratada, com expectativa de vida útil de 3 anos e taxa de desconto de 3% a.a.

Assim, observou-se que o aumento na taxa de desconto de 3% para 15% a.a. e mantendo fixa a vida útil das peças tratadas e não-tratadas, há um incremento nos custos, sendo os custos da algaroba não-tratada menores que os da algaroba tratada. Porém, a expectativa de vida útil da madeira de algaroba não-tratada na Região do Semi-Arido Paraibano, nas dimensões utilizadas nesta pesquisa, é de aproximadamente 3 anos.

Tabela 8 - Custo Equivalente Anual (CEA) em Reais/Km de cerca confeccionada com as madeiras de algaroba tratada e não-tratada

C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de algaroba tratada, com C_0 (custo inicial) = R\$ 900,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
16	71,65	108,27	151,15
18	65,44	102,79	146,87
20	60,49	98,59	143,79
22	56,47	95,31	141,54
24	53,14	92,72	139,89
26	50,34	90,64	138,66
28	47,96	88,97	137,75
30	45,92	87,60	137,07

C E A para confecção de 1,0 Km de cerca de madeira de algaroba não-tratada com C_0 (custo inicial) = R\$ 225,00			
Vida útil (anos)	Taxas de desconto a.a.		
	3%	9%	15%
2	117,59	127,91	138,40
3	79,54	88,89	98,54
4	60,53	69,45	78,81
5	49,13	57,41	67,12
6	41,53	50,16	59,45
7	36,11	44,71	54,08
8	32,05	40,65	50,14
9	28,90	37,53	47,15
10	26,38	35,06	44,83

Uma análise conjunta das Tabelas 6, 7 e 8 indicou que o aumento da taxa de desconto é proporcional ao aumento do CEA, enquanto o aumento da vida útil é inversamente proporcional ao custo equivalente anual, ou seja, quanto maior a vida útil da madeira, menor o CEA.

5. CONCLUSÕES

O teor de umidade (base seca) encontrado nas peças influenciou no tratamento preservativo, haja vista que o método de tratamento empregado exige que a madeira apresente alto teor de umidade.

A melhor distribuição do elemento cobre e boro na madeira ocorreu para a solução de 2% de ingredientes ativos do produto “Osmose CCB”.

O aumento do tempo de exposição das peças nas soluções preservativas proporcionou melhor distribuição do produto preservativo na madeira.

As posições 1 e 2 (base e região de afloramento, respectivamente) apresentaram a melhor distribuição dos elementos cobre e boro em cada tratamento.

O elemento boro atingiu uma penetração superior à penetração do elemento cobre em todas as concentrações e tempos testados, e apresentou uma penetração na madeira, de modo geral, satisfatória em todas as posições, concentrações e tempos testados.

As peças de algaroba submetidas às concentrações de 1% e 3% de i.a. do preservativo “Osmose CCB”, não devem ser utilizadas em contato direto com o solo, em função da baixa penetração do elemento cobre, que apresenta eficiência contra fungos, podendo ser utilizadas fora do contato com o solo, haja vista que apresentaram penetração satisfatória do elemento boro, que apresenta eficiência contra insetos.

As peças submetidas à concentração de 2% de i.a. e tempo de 15 dias podem ser utilizadas em contato direto com o solo, por apresentar resultados satisfatórios de penetração e retenção do produto preservativo na região de afloramento das peças.

O CEA da madeira de algaroba tratada é inferior ao da madeira de sabiá, para as taxas de desconto e expectativas de vida útil analisadas, demonstrando viabilidade econômica para sua utilização.

Quando comparados os CEAs da algaroba tratada, com os da jurema-preta, para uma vida útil estimada em 18 e 5 anos, respectivamente, concluiu-se que não há viabilidade econômica do uso das peças de algaroba tratadas, no entanto, o tratamento da madeira de algaroba com o “Osmose CCB” é viável economicamente, quando as

peças tratadas atingirem vida útil de 20 anos, e a jurema-preta 4 anos, a uma taxa de desconto de 3% a.a..

O tratamento da madeira de algaroba é viável economicamente desde que a vida útil das peças tratadas seja superior a 16 anos e das não-tratadas inferior a 4 anos.

Para novas pesquisas envolvendo o tratamento preservativo da madeira de algaroba, com a utilização do método de substituição da seiva por transpiração radial, sugere-se que a madeira seja tratada logo após o período das chuvas, para que a apresente maior teor de umidade, o que irá facilitar seu tratamento.

Sugere-se o emprego de madeira proveniente de reflorestamento em que se conheça a idade das plantas, a fim de evitar que a heterogeneidade das mesmas possa afetar os resultados da pesquisa.

Recomenda-se testar a eficiência do tratamento preservativo empregado em ensaios biológicos envolvendo fungos e cupins xilófagos em nível de laboratório e de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1413. Standard method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. **Annual Book of ASTM Standards**, v.04.10. Philadelphia, p. 219-224, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT P-EB-474. **Moirões de madeira preservada para cercas**. Rio de Janeiro: ABNT, 1973a. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT P-MB-790. **Penetração e retenção de preservativos em postes de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1973b. 12p.

AZEVEDO, N. V. As mil e uma utilidades da algaroba. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 13, p. 24 - 24, 1984.

CAVALCANTE, M. S. **Retenção de preservativos para madeira em diferentes usos**. São Paulo: ABPM, 1984. 4p. (Boletim Técnico, 19).

CHIANI, R. G. La relación de volumen de albura y otras variantes en la impregnación de postes cortos de eucalipto por el metodo de ascensión. **Revista Forestal Argentina**, Buenos Aires, v. 10, n.4, p. 125 -127, 1966.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste: especialmente do Ceará**. 4. ed. Natal: ESAM, 1976. 540p.

BERGER, R; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R.; LANCOWICZ, P.G.; BRASIL, A. A. Análise econômica da industrialização primária da madeira na Região Amazônica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n 1, p. 9 - 17, 2002.

GALVÃO, A. P. M. **Característica da distribuição de alguns preservativos hidrossolúveis em moirões roliços de *Eucalyptus alba* Reinw, tratados pelo processo de absorção por transpiração radial**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1968, 115p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1968.

GALVÃO, A. P. M. **Processos práticos para preservar a madeira**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 1975. 29p.

GOMES, J. J. **Características tecnológica da algarobeira (*Prosopis juliflora* D.C.): contribuição para seu uso racional.** Campina Grande: UFPB, 1999. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, 1999.

HAN, R. M. **Preservación de postes de cerco por métodos sencillos.** Santiago: Instituto Forestal, 1963. 20p. (Informe Técnico, 4).

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

KARLIN, U. O.; AYERZA, H. R. O programa da algaroba na República Argentina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGARROBA, 1., Natal, 1982. **Anais...** Natal: EMPARN, p. 146 – 197, 1982.

LELLES, J. G.; REZENDE, J.L.P. Considerações gerais sobre tratamento preservativo da madeira de eucalipto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 83 – 90, 1986.

LEPAGE, E. S; MONTAGNA, R. G. **Estudo de preservativo de madeira e processos de tratamentos:** nota prévia. São Paulo: Instituto Florestal, 1973. 14p. (Boletim Técnico, 7).

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

MENDES, B. V. Potencialidades da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW). DC). In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE ALGARROBA, 2., Mossoró, 1987. **Anais...** Mossoró: Revista da Associação Brasileira de Algaroba, v. 1, n. 4, p. 17 – 41, 1987.

MORESCHI, J. C. **Ensaio biológicos:** uma nova alternativa para a determinação dos ingredientes ativos do preservativo CCA e estudos de interações. Curitiba: UFPR, 1985. 128p. Tese (Professor Titular) – Universidade Federal do Paraná, 1985.

NICHOLAS, D. D.; SIAU, J. F. Factores influencing the tratability of wood. In: NICHOLAS, D. D. (Ed.). **Wood deterioration and its prevention by preservative trataments:** preservatives and preservative systems. Syracuse: Syracuse Univerty Press. v.2, p. 299 – 343. 1973.

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

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; SANTOS, J. M. Tratamento preservativo de moirões de algaroba (*Prosopis juliflora* D.C.) pelo método de Boucherie modificado. In:

ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2000, Cd-rom.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de preferência alimentar. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n.72, p59 – 69, 2001.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de três madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8. Uberlândia, 2002. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002, Cd-rom.

PEREIRA, J. A.; RUSSO, A. Um processo simples para preservar madeiras brancas para esteios, moirões e postes. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v.13, n.13, p. 301 – 313,1961.

REIMÃO, D. S. C. Impregnação de madeiras pelo processo de ascensão de soluções salinas. Nova Lisboa: Instituto de Investigação Agronômica de Angola, 1972. 18p. (Série Técnica, 28).

REZENDE, J. G.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001. 389p.

RODRIGUES HERREIRA, J. A. Preservación de maderas por métodos sencillos y de bajo costo. **Ciencia Forestal**, Coyacan, v.2, n. 8, p. 25 – 449, 1977.

SOUZA, R. F.; TENÓRIO, Z. Potencialidades da algaroba no Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA, 1. , Natal, 1982. **Anais...** Natal: EMPARN, p. 198 – 216, 1982.

TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A. G. (Ed.). **Eucalypts for wood production**. Sidney: CSIRO, p. 343-352, 1978.

TORRES JUAN, J. **Consevacion de maderas en su aspecto práctico**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 101p.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim técnico, 1).

WEHR, J. P. P. **Métodos práticos de tratamento preservativo de moirões roliços de *Pinus caribaea* Morolet Var. *hondurensis* Bar. et Golf**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1985. 209p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1985.

ANEXOS

ANEXO A - Análise de variância para os dados de penetração (mm) dos elementos cobre e boro nas peças de algaroba

Tabela A1 - Análises de variância da penetração (mm) do elemento cobre nas peças

FV	GL	SQ	QM	F
Posição	4	1616.93	404,23	54.35**
Tempo	4	74.85	18,71	2.52*
Concentração	2	886.99	443,50	59.63**
Pos. x tempo	16	179.68	11,23	1.51 ^{ns}
Pos. x conc.	8	56.56	7,07	0.95 ^{ns}
Tempo x conc.	8	252.50	31,56	4.24**
Pos. x tempo x conc.	32	120.62	3,77	0.51 ^{ns}
Resíduo	225	1673.53	7.44	
Total	299	4861.65		

* Significativo em nível de 5% de probabilidade.

** Significativo em nível de 1% de probabilidade.

^{ns} Não significativo em nível de 5% de probabilidade.

Tabela A2 - Análises de variância da penetração (mm) do elemento boro nas peças

FV	GL	SQ	QM	F
Posição	4	580.74	145,18	8.8**
Tempo	4	480.57	120,14	7.28**
Concentração	2	947.58	473,79	28.71**
Pos. x tempo	16	144.52	9,03	0.55 ^{ns}
Pos. x conc.	8	68.60	8,58	0.52 ^{ns}
Tempo x conc.	8	1066.56	133,32	8.08**
Pos. x tempo x conc.	32	183.71	5,74	0.35 ^{ns}
Resíduo	225	3712.77	16,50	
Total	299	7185.05		

** Significativo em nível de 1% de probabilidade.

^{ns} Não significativo em nível de 5% de probabilidade.

ANEXO B - Retenção média (kg/m^3) dos elementos que compõem o preservativo “Osmose CCB” e análise de variância dos dados de retenção (kg/m^3) do preservativo “Osmose CCB”

Tabela B1 - Retenção média (kg/m^3) dos elementos que compõem o preservativo “Osmose CCB”, nas peças de algaroba

Tratamentos		CuO			CrO ₃			B		
Conc. (%)	Tempo (dias)	Posições nas peças			Posições nas peças			Posições nas peças		
		2	3	5	2	3	5	2	3	5
1	3	0,32	0,49	0,32	1,67	1,44	1,42	0,19	0,20	0,12
	6	0,89	0,94	0,67	2,10	1,95	1,23	0,27	0,25	0,25
	9	0,89	0,23	0,08	1,17	0,84	0,53	0,23	0,25	0,28
	12	1,19	0,17	0,04	2,34	1,12	0,33	0,24	0,17	0,07
	15	1,03	0,08	0,01	3,02	0,29	0,04	0,23	0,10	0,07
2	3	1,44	1,76	0,41	3,85	2,58	2,64	0,33	0,31	0,09
	6	1,81	2,68	0,74	2,01	5,39	2,64	0,25	0,37	0,26
	9	1,40	0,41	0,14	3,78	2,06	1,36	0,33	0,31	0,27
	12	2,73	1,90	1,40	4,62	2,66	1,86	0,35	0,39	0,33
	15	2,10	2,71	0,50	5,28	6,00	3,15	0,31	0,40	0,33
3	3	0,93	0,28	0,16	1,90	0,31	0,59	0,22	0,20	0,04
	6	1,25	1,83	1,29	2,62	3,02	3,37	0,29	0,37	0,20
	9	1,24	0,14	0,05	3,77	0,40	0,26	0,32	0,14	0,06
	12	1,40	0,11	0,28	2,85	0,43	1,30	0,36	0,09	0,27
	15	1,15	0,77	0,39	3,02	1,93	1,52	0,32	0,21	0,11

Tabela B2 - Análises de variância da retenção (kg/m³) do preservativo "Osrose CCB", nas peças de algaroba

FV	GL	SQ	QM	F
Posição	2	89.16	44.58	16.72**
Tempo	4	49.31	12.33	4.62**
Concentração	2	158.12	79.06	29.65**
Pos. x tempo	8	51.23	6.41	2.40*
Pos. x conc.	4	22.56	5.64	2.12 ^{ns}
Tempo x conc.	8	36.12	4.51	1.69 ^{ns}
Pos. x tempo x conc.	16	30.51	1.91	0.72 ^{ns}
Resíduo	45	119.98	2.67	
Total	89	557.03		

* Significativo em nível de 5% de probabilidade.

** Significativo em nível de 1% de probabilidade.

^{ns} Não significativo em nível de 5% de probabilidade.