

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA JUVENIL DE  
*Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. PARA APLICAÇÃO NA ARQUITETURA  
RURAL

PABLO MARCEL DE ARRUDA TORRES

CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA - BRASIL  
ABRIL - 2008

**PABLO MARCEL DE ARRUDA TORRES**

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA JUVENIL DE  
*Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. PARA APLICAÇÃO NA ARQUITETURA  
RURAL**

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

**Área de concentração:** Construções Rurais e Ambiente

**Orientador:** Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA - BRASIL  
ABRIL - 2008**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

T693c

2008

Torres, Pablo Marcel de Arruda.

Caracterização da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. para aplicação na arquitetura rural / Pablo Marcel de Arruda torres. — Campina Grande, 2008.

76 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes.

*EUCALIPTO*

1. Caracterização Simplificada. 2. *Eucalyptus camaldulensis*. 3. Substituição de Seiva. 4. Mobiliário rural. I. Título.

CDU – 582.883.4(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



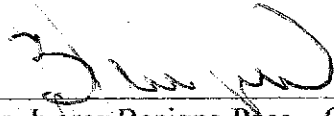
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

PABLO MARCEL DE ARRUDA TORRES

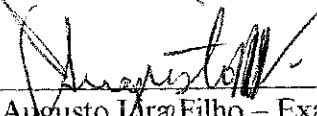
CARATERIZAÇÃO DA MADEIRA JUVENIL DE *Eucalyptus camaldulensis* PARA  
APLICAÇÃO NA ARQUITETURA RURAL

BANCA EXAMINADORA

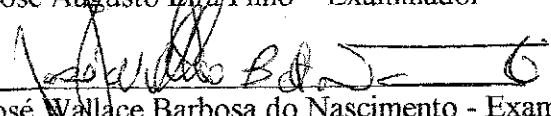
PARECER

  
Dr. Juárez Benigno Paes – Orientador

APROVADA

  
Dr. José Augusto Lara Filho – Examinador

APROVADA

  
Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador

APROVADO

ABRIL - 2008

Aos meus amores,  
José Mamede Torres e Uires Maria de Arruda Torres;  
Juliana Freire Barbosa e Júlia Isabelly Freire Torres.

“Diferentes amores, mas todos amores!”

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todo poder e glória, pela força, inteligência, por iluminar o meu caminho e por tudo que Ele me proporciona a cada dia. "É Dele a vitória alcançada em minha vida!"

A minha mãe, Uires, que viu antes de mim a necessidade em cursar Mestrado e pela força em todos os momentos da minha vida; a meu pai, Mamede, pela força e desejo de querer sempre o meu sucesso. Ambos são fontes de inspiração constante na minha vida. Esta realização é tão minha quanto de vocês.

A minha esposa Juliana e a minha princesa Júlia pela compreensão nos momentos em que me afastei; pelo apoio quando precisei e pelo incentivo nos momentos de fraqueza.

Ao Professor Juarez Benigno Paes, pela orientação, disposição, amizade e, sobretudo, amor à pesquisa científica, mesmo com todas as dificuldades, constituindo um exemplo que levarei pelo resto da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em especial à Área de Construções Rurais e Ambientância, na pessoa dos Professores José Wallace, Dermeval Furtado e Antonio Leal, por todos os ensinamentos.

A Eugênio Xavier e à Cerâmica Cincera Ltda., pelo belo e grandioso trabalho com reflorestamento de eucaliptos na zona rural do Município de Rio Tinto, PB, e por cederem as árvores que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Aos Laboratórios de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal de Campina Grande em Patos, PB, e Laboratório de Solos I do Curso de Engenharia Civil em Campina Grande, PB, pela realização dos ensaios físico-mecânicos da madeira, que constituíram parte fundamental deste trabalho.

A toda a minha turma de Curso, pela amizade e dificuldades que conseguimos superar juntos, em especial aos amigos Fábio Remy e Jonh Emerson, que ficarão para sempre na minha memória.

Ao amigo e companheiro Herbert Rocha, que nunca hesitou em me ajudar e orientar durante os ensaios mecânicos.

À Sra. Rivanilda, Secretária da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela simpatia e ajuda de sempre.

Sem vocês, não seria possível a realização deste trabalho. A todos, o meu muito obrigado!

## BIOGRAFIA

PABLO MARCEL DE ARRUDA TORRES, filho de José Mamede Torres e Uires Maria de Arruda Torres, nasceu em 07 de setembro de 1981, na cidade de Campina Grande, PB.

Em 2003 concluiu o Curso de Desenho Industrial pela Universidade Federal de Campina Grande.

Em 2004 estagiou na RENAR Móveis, em Fraiburgo, SC, que já trabalhava com madeira de reflorestamento de *Pinus elliotti*, na parte de projeto do Departamento Técnico da empresa.

Em 2005 iniciou carreira docente no Curso de Desenho Industrial da Universidade Federal de Campina Grande, permanecendo nesta função atualmente.

Em 2006 iniciou a Pós-Graduação, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Campina Grande, Área de Construções Rurais e Ambiente, tendo defendido sua Dissertação em abril de 2008.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Desenvolvimento sustentável .....	4
2.2. O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	5
2.2.1. Reflorestamento com eucaliptos no Brasil .....	6
2.2.2. Madeira serrada de eucalipto .....	7
2.2.3. A espécie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. ....	8
2.3. Propriedades físico-mecânicas da madeira .....	9
2.3.1. Densidade da madeira .....	10
2.3.2. Teor de umidade da madeira .....	10
2.3.3. Estabilidade dimensional da madeira .....	11
2.3.4. Resistência e rigidez da madeira .....	11
2.4. Tratamento preservativo da madeira .....	13
2.5. Mobiliário como elemento da arquitetura rural .....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
3.1. Procedência, seleção e abate das árvores .....	18
3.2. Seleção das toras e confecção dos corpos-de-prova .....	21
3.3. Propriedades físico-mecânicas da madeira .....	22
3.3.1. Densidade da madeira .....	22
3.3.2. Teor de umidade da madeira .....	23
3.3.3. Estabilidade dimensional da madeira .....	24
3.3.4. Ensaio de compressão paralela às fibras .....	25
3.4. Tratamento preservativo da madeira .....	31
3.4.1. Amostragem e análises das peças tratadas .....	33
3.4.2. Penetração e distribuição do cobre nas peças tratadas .....	34
3.4.3. Retenção de CCB nas peças tratadas .....	35
3.5. Análise dos resultados .....	39

3.6. Aplicação da madeira na confecção de mobiliário .....	40
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1. Propriedades físico-mecânicas da madeira .....	43
4.1.1. Densidade da madeira .....	43
4.1.2. Teor de umidade da madeira .....	43
4.1.3. Estabilidade dimensional da madeira .....	45
4.1.4. Resistência e rigidez à compressão paralela às fibras .....	47
4.2. Tratamento preservativo da madeira .....	49
4.2.1. Distribuição do elemento cobre nas peças tratadas .....	49
4.2.2. Penetração do elemento cobre nas peças tratadas .....	51
4.2.3. Retenção do CCB nas peças tratadas .....	54
4.3. Mobiliário experimental resultante .....	56
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sala de jantar, Fazenda Resgate, Bananal, SP (BENINCASA, 2006) .....	15
Figura 2	Sala de Jantar, Solar Monjardim, Vitória, ES (BENINCASA, 2006) .....	16
Figura 3	Mesas e bancos utilizados no meio rural I .....	17
Figura 4	Plantio de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , com idade de 4 anos, na propriedade da Cerâmica Cincera Ltda., Rio Tinto, PB .....	18
Figura 5	Corte das árvores com motosserra .....	19
Figura 6	Toras dispostas próximo à marcenaria da UFCG em Patos, PB .....	20
Figura 7	Corpos-de-prova para ensaios de compressão paralela às fibras e de propriedades físicas da madeira.....	21
Figura 8	Transdutor de Deslocamento Linear (LVDT) .....	25
Figura 9	LVDTs nos lados do corpo-de-prova e detalhes do espaçador e da rótula .....	26
Figura 10	Aparelho "Spider 8" para aquisição de dados .....	27
Figura 11	Aparelhagem conectada ao computador, com o "software" de controle .....	27
Figura 12	Corpo-de-prova após a ruptura .....	28
Figura 13	Peças imersas em tambor com a solução preservativa, em que se verificam as duas situações de tratamento .....	32

Figura 14	Posições na peça onde foram retirados os discos para as análises químicas .....	33
Figura 15	Discos identificados retirados das peças tratadas.....	33
Figura 16	Disco demarcado com linhas perpendiculares para leitura da penetração do elemento cobre .....	34
Figura 17	Aplicação da solução de "Cromo-azurol S" nos discos .....	35
Figura 18	Posição e dimensões das amostras retiradas dos discos .....	36
Figura 19	Corpos-de-prova em cadinhos de porcelana no forno mufla para incineração .....	36
Figura 20	Adição da mistura de ácidos às amostras incineradas .....	37
Figura 21	Digestão acelerada das amostras em chapa aquecida .....	38
Figura 22	Diluição das amostras digeridas em volumes fixos .....	38
Figura 23	Esquadreamento das toras em uma plaina .....	41
Figura 24	Peças prismáticas da madeira de <i>E. camaldulensis</i> .....	41
Figura 25	Ajuste das peças em serra circular de bancada .....	42
Figura 26	Distribuição do cobre nas peças não-invertidas .....	50
Figura 27	Distribuição do cobre nas peças invertidas .....	50
Figura 28	Mesa confeccionada com madeira de <i>E. camaldulensis</i> tratada .....	56
Figura 29	Detalhe dos sarrafos que constituem o tampo da mesa .....	57
Figura 30	Detalhe dos nós presentes na madeira .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de umidade para madeiras (ABNT, 1997) .....	11
Tabela 2	Classes de referências para madeiras de coníferas e folhosas (ABNT, 1997) .....	12
Tabela 3	Densidade aparente, densidade básica e umidade da madeira juvenil de <i>E. camaldulensis</i> .....	44
Tabela 4	Deformações específicas de retração e de inchamento.....	46
Tabela 5	Variação volumétrica da madeira juvenil de <i>E. camaldulensis</i> (%) e coeficiente de anisotropia para retração e inchamento .....	47
Tabela 6	Resistência e rigidez corrigidas para umidade padrão de 12% .....	48
Tabela 7	Valores comparativos de densidade aparente, resistência e rigidez de algumas espécies florestais .....	49
Tabela 8	Resultados de penetração para as situações e posições nas peças tratadas .....	52
Tabela 9	Comparações entre médias dos valores de penetração (mm) em função das situações e posições nas peças .....	53
Tabela 10	Retenção do boro, cobre e cromo para as situações e posições nas peças tratadas .....	54
Tabela 11	Comparações entre médias dos valores de retenção (kg i.a./m <sup>3</sup> ) em função das situações e posições nas peças .....	55
Tabela 12	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 1 .....	68
Tabela 13	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 3 .....	69
Tabela 14	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 5 .....	70

Tabela 15	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 7 .....	71
Tabela 16	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 8 .....	72
Tabela 17	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 9 .....	73
Tabela 18	Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 10 .....	74
Tabela 19	Análise estatística da penetração (mm) do cobre nas peças tratadas .....	75
Tabela 20	Análise estatística da retenção do CCB (kg i.a/m <sup>3</sup> ) nas peças tratadas .....	76

## RESUMO

O reflorestamento e o manejo florestal sustentável são práticas que visam à proteção ambiental em virtude de reduzirem o desmatamento e a utilização indiscriminada de espécies nativas. O objetivo principal deste trabalho foi analisar a qualidade da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. plantada em Rio Tinto, PB, com vista à sua utilização na arquitetura rural, com ênfase na confecção de mobiliário. Realizaram-se, para determinação das propriedades da madeira, ensaios físico-mecânicos, por meio do método de caracterização simplificada. Nos ensaios físicos foram obtidos valores de teor de umidade, densidade básica, densidade aparente, retração e inchamento da madeira, além do coeficiente de anisotropia; por outro lado, os ensaios mecânicos foram executados ao se utilizar transdutores de deslocamento linear (LVDT's) acoplados ao sistema de aquisição de dados. Esses ensaios determinaram os valores de resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da madeira. Utilizou-se no tratamento da madeira o método de substituição de seiva por transpiração radial com borato de cobre cromatado (CCB) em que se comparou o efeito da inversão das peças na solução preservativa e se realizaram análises de distribuição, penetração e retenção na madeira a fim de se verificar a qualidade do tratamento. Os valores obtidos demonstraram que a madeira juvenil de *E. camaldulensis* se enquadra na classificação de resistência C 20 para folhosas, determinada pela NBR 7190. Como apresenta resistência baixa quando comparada a outras madeiras exóticas, seu uso para fins estruturais não é aconselhável, porém pode ser aplicada em elementos secundários de arquitetura rural, inclusive para confecção de mobília. A distribuição, a penetração e a retenção foram melhores nas peças que foram invertidas, quando comparadas com as peças não-invertidas na solução preservativa.

**Palavras-chave:** Caracterização simplificada, *Eucalyptus camaldulensis*, substituição de seiva, mobiliário rural

## ABSTRACT

Reforestation and sustainable forest management are practices that aim at environmental protection as a way to support reduction of deforestation and unrestrained use of native species. The main objective of this study was to analyze the quality of juvenile wood of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. planted in Rio Tinto, PB, for the use in rural architecture, with emphasis on the making of furniture. Aiming to determine the wood properties, physical-mechanical tests were conducted by using the simplified wood characterization method. Through physical tests values of humidity tenor, density, bulk density, shrinkage and swelling and the coefficient of anisotropy were obtained. The mechanical tests were carried out using linear variable displacement transducers (LVDT's) coupled to the data acquisition system. These tests determined the values of rigidity and resistance of wood to parallel compression to the fiber. The method used for the treatment of wood was the sap displacement for radial transpirations using chromated copper borate (CCB) where was analysed the effect of the samples inversion in the preservative solution. In order to check the quality of the treatment of wood, distribution, penetration and retention in the wood were analyzed. The values obtained showed that the juvenile wood of *E. camaldulensis* can be clustered according to the classification of resistance C 20 for trees determined by NBR 7190. Taking into consideration that the wood this study investigates has low resistance in comparison with other exotic woods, its use for structural purposes is unadvisable. Nevertheless, it can be used for rural secondary elements of architecture, including the manufacture of furniture. The distribution, penetration and retention were better succeeded in the samples that were reversed, when compared with the non-reversed samples in the preservative solution.

**Keywords:** Simplified wood characterization, *Eucalyptus camaldulensis*, sap displacement, rural furniture



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável não é apenas um conceito recente que vem transformando o modo de pensar e agir de pessoas e empresas, mas se baseia no equilíbrio entre proteção ambiental e desenvolvimento socioeconômico. O reflorestamento consiste no plantio de novas árvores em áreas florestais já exploradas, com objetivo comercial ou ambiental; logo, tem relevante importância no que tange à sustentabilidade no meio rural.

O reflorestamento e o manejo florestal sustentável são práticas imprescindíveis para a proteção ambiental por ajudarem na redução do desmatamento e da utilização indiscriminada de espécies nativas contribuindo, assim, para a manutenção e recuperação de áreas degradadas. Levando-se em consideração que a floresta se recupera à base de 1 m<sup>3</sup>/ha/ano, enquanto o reflorestamento pode oferecer, no mínimo, 15 m<sup>3</sup>/ha/ano, conclui-se que cada hectare reflorestado garante a proteção de 15 hectares de mata nativa, pelo menos (TEREZO, 2001). O reflorestamento pode ser visto também como alternativa para a recuperação de áreas alteradas, sobretudo para um Estado como a Paraíba cuja devastação da cobertura florestal, principalmente em razão do uso indiscriminado da vegetação natural para os mais diversos fins, foi de 43,7% em 17 anos, período compreendido entre 1973 e 1990 (LEAL JUNIOR et al., 1999).

A exploração florestal sustentável gera renda e emprega as famílias no campo resultando em melhoria na qualidade de vida. Tendo em vista que as florestas plantadas estão localizadas na zona rural, é possível perceber o seu papel como mantenedor das populações rurais diminuindo a migração para os grandes centros, cuja infraestrutura social é sempre precária (TEREZO, 2001).

O reflorestamento também constitui uma alternativa para diversificação da economia de pequenos produtores, em longo prazo. Como o plantio florestal ocorre em fontes renováveis, o suprimento de árvores para os mais diferentes fins é confiável e assegurado. A produtividade é maior em menor espaço de tempo, haja vista serem espécies de rápido crescimento, com destaque para o *Eucalyptus* e o *Pinus*. Segundo a Aracruz Celulose (2007), uma árvore de

eucalipto pode ser cortada aos 7 anos com altura de 35 metros; seu desenvolvimento é muito mais rápido que o da maioria das espécies nativas.

Por se tratar de um gênero com espécies que se adaptam a diferentes condições climáticas, o eucalipto é plantado praticamente em todas as regiões do Brasil, sendo a árvore mais utilizada em reflorestamentos no País, seguida do *Pinus*, plantado basicamente na Região Sul (TEREZO, 2001). Estima-se que, na indústria de papel e celulose, 82,3% das árvores utilizadas sejam de eucalipto. Na produção de carvão vegetal para abastecer a indústria siderúrgica este percentual é ainda maior (BACHA e BARROS, 2004). A espécie mais comum para este fim é a *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., que é uma das mais plantadas em zonas áridas e semiáridas do mundo (BACON et al., 1993); logo, a aplicação dessa madeira, cuja exploração causa impactos ambientais relevantes em construções rurais, pode resultar em enormes benefícios para a sociedade e para o meio ambiente.

Em termos de resistência em relação ao seu baixo peso e ao pequeno consumo energético necessário para sua produção, a madeira apresenta grande vantagem quanto ao aço e ao concreto mostrando ser o mais ecológico dentre estes materiais. Produtos madeireiros são empregados com frequência na arquitetura rural, na solução de problemas relacionados à cobertura, travessia de obstáculos (pontes, viadutos, passarelas para pedestres), armazenamento (silos verticais e horizontais), linhas de transmissão (energia elétrica, telefonia) e benfeitorias rurais, entre outros (CALIL JUNIOR e DIAS, 1997). Na Paraíba, segundo o PNUD/FAO/IBAMA/UFPB/GOV. PARAIBA (1994), os recursos energéticos e produção de carvão consomem 66,4% do volume total da madeira produzida no Estado. Produtos para construções rurais, como estacas, moirões e varas somam 33% restando apenas 0,25% para outras finalidades. A utilização da madeira para construções rurais, apesar de não se destacar em função do seu consumo, quando comparada com a produção para fins energéticos, é mais valorizada comercialmente já que exige um manejo voltado para um tipo de produto específico.

Como material de natureza orgânica, a madeira é susceptível ao ataque de organismos deterioradores necessitando, a maioria, de tratamento preservativo que lhe forneça proteção. Sua finalidade é aumentar a resistência da madeira a fungos e insetos (brocas e cupins) o que, conseqüentemente,

aumenta sua vida útil e diminui os custos, em longo prazo. O tratamento ocorre, em geral, com a aplicação de substâncias químicas na madeira, por processos industriais ou artesanais. O processo de substituição de seiva por transpiração radial é muito comum no meio rural devido à fácil execução e necessitar de pouca infraestrutura para ser realizado. Consiste em um método de tratamento para a madeira verde recém-abatida, em que as peças a serem tratadas ficam dispostas verticalmente, em recipientes de plástico, metal ou concreto. As peças devem ficar com a base submersa no preservativo e dispostas de forma a permitir uma boa ventilação entre elas proporcionando melhor evaporação da seiva e consequente absorção do preservativo (GALVAO, 1975).

Em função da importância da madeira de *Eucalyptus* para os mais diversos usos, esta pesquisa teve como objetivos:

- analisar a qualidade da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. plantada em Rio Tinto, PB, visando à sua aplicação na arquitetura rural (cercas, playgrounds e decks, entre outros), com ênfase na mobília rural;
- comparar as características físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. com outras espécies reflorestáveis;
- avaliar a qualidade da madeira para tratamento de substituição de seiva com borato de cobre cromatado (CCB);
- verificar a influência da inversão na distribuição, penetração e retenção do CCB, ao longo das peças tratadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Desenvolvimento sustentável**

Desenvolvimento Sustentável, segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (CMMAD, 1987), é aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras satisfaçam as suas próprias necessidades. A idéia deriva do conceito de ecodesenvolvimento, proposto nos anos 1970, e busca o equilíbrio entre proteção ambiental e desenvolvimento socioeconômico. Este paradigma leva em consideração a complexidade e a interrelação de questões críticas, como pobreza, desperdício, degradação ambiental, decadência urbana, crescimento populacional, igualdade de gêneros, saúde, conflito e violência aos direitos humanos (GONÇALVES, 2005).

O desmatamento é uma das intervenções humanas que mais prejudicam a sustentabilidade ambiental. A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) apresentou relatório informando que, no período de 2000 a 2005, o Brasil desmatou 74% da área desmatada na América do Sul, significando que, dos 42 mil km<sup>2</sup> desmatados por ano em toda a Região Sul-Americana, pelo menos 31 mil estão localizados em terras brasileiras (SBS, 2006).

Ao lado da pecuária e do cultivo de soja a exploração madeireira é um dos principais responsáveis pelo aumento das áreas desmatadas no Brasil. De acordo com o relatório divulgado pelo Governo Federal em agosto de 2006, apenas na Amazônia, a média de madeira movimentada é de aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos, incluindo madeira serrada, carvão e lenha; desse total, apenas 9 milhões foram provenientes de manejo florestal previamente autorizado (ALENCAR et al., 2004).

A utilização de espécies oriundas de reflorestamento contribui para a diminuição do emprego de algumas espécies nativas reduzindo, conseqüentemente, a velocidade de desmatamento (HELLMEISTER e SOUZA,

1992). Segundo XAVIER (2004), o uso racional e sustentado tem como objetivo não apenas a simples preservação das espécies, mas também a utilização constante, sem provocar desequilíbrios que comprometam a sustentabilidade da área, por meio de intervenções regulares que abasteçam a unidade produtora; além disso, ajuda na geração de renda no campo evitando, assim, o êxodo para os grandes centros urbanos.

O manejo florestal deve ser executado para atender a uma demanda dentro de um raio econômico (centros urbanos, indústrias, pólos cerâmicos e construções rurais); desta forma, dois aspectos importantes devem ser considerados no manejo florestal: existência, disponibilidade, sustentabilidade e incremento médio anual por parte da vegetação lenhosa, em quantidade suficiente para o abastecimento da demanda, além da existência de consumo que justifique e viabilize a produção (XAVIER, 2004). O conhecimento da distribuição e a comercialização dos produtos florestais, das localidades de maior consumo, tipos de produtos e os destinos finais são elementos fundamentais para se estabelecer o planejamento adequado e o uso eficiente desses recursos (FERREIRA, 1994).

## **2.2. O gênero *Eucalyptus***

O gênero *Eucalyptus* conta, atualmente, com mais de 600 espécies identificadas, consideradas as mais altas árvores do planeta podendo atingir cerca de 80 m de altura; quase todas são nativas da Austrália. Sua copa geralmente é rala e alongada e o tronco quase sempre retilíneo e cilíndrico com casca variando entre muito lisa e muito áspera, e fissurada, dependendo da espécie. As folhas possuem características comuns entre a maioria das espécies, como aromáticas e dispostas nos ramos, de maneira oposta na parte inferior e alternadas na parte superior. Suas flores são discretas ou muito vistosas e os frutos constituídos de cápsulas lenhosas, com sementes muito pequenas (CSIRO, 2004).

Os plantios comerciais de eucalipto no Brasil obedecem as características de uma cultura agrícola, ou seja, são formados por populações

homogêneas (de uma só espécie ou variedade) e distribuídas no terreno, em espaçamento uniforme, geralmente de 3x2 m (SCAVANACA JUNIOR e GARCIA, 2004).

### **2.2.1. Reflorestamento de eucalipto no Brasil**

O eucalipto foi introduzido no Brasil no final da década de 1870, com plantios de caráter cênico, de pouquíssimos indivíduos. Apenas em 1903 é que foi iniciado o plantio em escala considerável visando ao fornecimento de madeira para produção de dormentes de linhas ferroviárias (TEREZO, 2001).

Posteriormente, no início da década de 1960, o Governo Brasileiro decidiu estimular a produção de papel e celulose, até então dependente de importações. Em 1966 já havia cerca de 400 mil hectares plantados; no mesmo ano, o Governo Federal lançou um programa de incentivo ao seu plantio para atender a necessidades energéticas e de matéria-prima para a indústria; nele, foram empregados cerca de 2,7 bilhões de dólares resultando na geração de 400.000 empregos diretos e ajudando a fixar o homem no meio rural. Os Estados que mais se beneficiaram foram Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul (TEREZO, 2001). Ainda conforme o autor, em 1983 o Brasil possuía cerca de 5,2 milhões de hectares reflorestados; em 1988, já somavam 6 milhões de hectares de área plantada com eucalipto e o País tinha a maior disponibilidade imediata de florestas em idade de corte do mundo.

A produção de madeira de eucalipto no Brasil atingiu 263,5 milhões de m<sup>3</sup> na década de 90 e se iniciava o emprego do eucalipto como matéria-prima para uso em estruturas internas constituindo uma nova possibilidade de uso, além da indústria de papel e celulose e da produção de carvão. A madeira serrada de eucalipto apresenta vantagens adicionais por ser renovável, de ciclo curto, encontrada em abundância no Brasil e não enfrenta barreiras ecológicas substituindo as espécies nobres, com menor custo; sua produtividade já atingia 45 m<sup>3</sup>/ha/ano, em 1998 (TEREZO, 2001).

Em função das características de planta com desenvolvimento e crescimento rápidos, fuste e densidade que permitem vários usos, propagação sexual e assexuadamente, regeneração de cepas, afinidade gênica possibilitando a produção de híbridos, boa resistência a pragas e doenças e do clima favorável ao reflorestamento, o Brasil se tornou um dos países com uma das maiores áreas reflorestadas do planeta, correspondente a 22% do reflorestamento mundial de eucaliptos (FLYNN e SHIELD, 1999).

Atualmente, a política de reflorestamento no Brasil segue a tecnologia de plantios com padrões internacionais de manutenção e exploração buscando manter o equilíbrio ecológico, atendendo aos padrões de exigência da ISO 14000 (International Organization for Standardization/Qualidade Ambiental); anualmente são produzidos 13 milhões de metros cúbicos de madeira reflorestada (*Pinus e Eucalyptus*), dos quais 10% desse total são exportados e 60% destinados à construção civil (OESP CONSTRUÇÃO, 1997).

### **2.2.2. Madeira serrada de eucalipto**

O eucalipto conquistou posição significativa na indústria de papel e celulose e na produção de carvão vegetal, razão pela qual vem recebendo cada vez mais tratamento científico, conquistando ganho de qualidade e produtividade através de técnicas de melhoramento genético e manejo florestal. Na atualidade, a busca pelo uso múltiplo das florestas e de melhor remuneração para a madeira tem incentivado o estabelecimento de estratégias por parte das empresas, com vistas à oferta de madeira serrada de eucalipto (FLYNN e SHIELD, 1999).

De vez que o reflorestamento de eucalipto no Brasil foi introduzido com propósitos energéticos, não havia preocupação com a produção de madeira serrada, fato muito recente. Este aspecto refletiu no fornecimento ao mercado de toras de baixa qualidade originando o mito de que a madeira de eucalipto não serve para utilização em construções ou mobiliário. De fato, a madeira de eucalipto apresenta uma série de problemas naturais que podem ser minimizados com práticas simples (BACHA e BARROS, 2004).

De acordo com WATAI (1990), um dos maiores problemas na utilização do eucalipto como madeira serrada são as tensões de crescimento e de secagem, que causam perdas de até 50% da madeira serrada, além de provocar rachaduras e empenamentos. Operações corretas de desdobro diminuem os efeitos na madeira, enquanto a presença de nós é outra característica negativa, passível de ser minimizada por meio da desrama adequada do povoamento.

O aumento da densidade de árvores em um povoamento, resultante do plantio, do desbaste ou de ambos, consiste em prática silvicultural que influencia o crescimento da árvore e a qualidade da madeira (BACHA e BARROS, 2004).

De modo geral, para a utilização do eucalipto como madeira serrada de qualidade são necessárias melhorias na adaptação da tecnologia de produção (melhoramento genético e práticas silviculturais adequadas, como desbaste e desrama), na tecnologia de processamento (técnicas adequadas de abate, desdobro e secagem), até a fase de utilização (acabamento e design), comercialização e aproveitamento de seus subprodutos (FLYNN e SHIELD, 1999).

Apesar dos problemas tecnológicos referentes ao eucalipto, a produção de madeira serrada no Brasil e no mundo, tem demonstrado elevada taxa de crescimento nos últimos anos. Estima-se que a produção interna já ultrapasse os 200.000m<sup>3</sup>. As restrições de corte das matas nativas, associadas ao crescimento da demanda, estão levando à utilização das florestas cultivadas, especialmente as de rápido crescimento. Neste contexto, a madeira de eucalipto tende a assumir papel de destaque em termos de mercado (BACHA e BARROS, 2004).

### **2.2.3. A espécie *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.**

O *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. é uma árvore do gênero *Eucalyptus*, nativa da Austrália, geralmente encontrada ao longo dos cursos dos rios, quer sejam permanentes ou sazonais de água (BROOKER et al.,



2002). A espécie foi identificada com esse nome em homenagem ao mosteiro *Camaldoli*, perto de Nápoles (Itália), onde o primeiro exemplar da espécie foi descrito.

A árvore de *E. camaldulensis* desempenha papel fundamental na estabilização ribeira, na exploração do solo e na redução de inundações. Sua altura média é de 30 metros (BREN e GIBBS, 1986), embora alguns autores (BOLAND et al., 2006; BROOKER et al., 2002) reportem a árvores com até 45 metros.

O *E. camaldulensis* tem, provavelmente, uma das mais rápidas taxas de crescimento e, com um bom abastecimento de água, pode atingir a altura de 12 a 15 metros em poucos anos (CUNNINGHAM et al., 1981). Sua casca é espessa e esponjosa, apresentando elementos em vermelho, cinza, verde e branco. A espécie tem o hábito de deixar cair grandes galhos (com metade da espessura do tronco) como forma de economizar água.

As sementes do *E. camaldulensis* germinam prontamente, tanto na forma natural como sementes armazenadas em ambiente seco; elas enrijecem rapidamente para cima e podem resistir à seca. Sua madeira é brilhante e avermelhada, podendo variar desde o rosa até o vermelho escuro, quase preto, dependendo da idade e umidade; é resistente à podridão e geralmente usada em aplicações como tocos, vedação de fendas, dormentes, travessas e, mais recentemente, foi reconhecida como material para confecção de mobiliário artesanal em virtude da cor vermelha e textura típica. Porém ela precisa de seleção cuidadosa uma vez que tende a ser bastante reativa às mudanças de umidade. É muito dura, densa (cerca de 900 kg/m<sup>3</sup>), podendo ser boa de se cortar e torneiar, além de poder levar polimento fino (CSIRO, 2004).

Em função de suas características físico-mecânicas, a madeira tem sido utilizada para construção pesada, dormentes ferroviários, pisos, vigamento, cercas, madeira torneada, na produção de lenha e carvão e na fabricação de compensado, além de o ser, também, como fonte de energia na produção de ferro e aço (BOLAND et al., 2006). Em função de sua adaptação a climas temperados e tropicais, ao inverno e chuvas de verão, o *E. camaldulensis* é uma das espécies de eucalipto mais plantadas no mundo (cerca 5.000 km<sup>2</sup> de área plantada), podendo ser encontrada em países como Argentina, Brasil, Egito, Estados Unidos, Quênia, Marrocos, Nigéria, Paquistão,

Senegal, Serra Leoa, Espanha, Sri Lanka, Sudão, Tanzânia, Uruguai e Zimbábue (CSIRO, 2004).

### **2.3. Propriedades físico-mecânicas da madeira**

O emprego racional da madeira apenas pode ser conseguido se houver um conhecimento adequado de suas propriedades (AZEVEDO, 1999). As propriedades da madeira são condicionadas através de sua estrutura anatômica devendo-se distinguir os valores de tração e compressão, além dos valores da direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras, além dos valores atribuídos às diferentes classes de umidade (Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997).

#### **2.3.1. Densidade da madeira**

A densidade básica pode ser definida como a relação da madeira seca com seu volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos-de-prova em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até atingirem massa constante; já o volume saturado é estabelecido em corpos-de-prova submersos em água até atingirem massa constante (ABNT, 1997).

A densidade aparente consiste em uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com teor de umidade nominal de 12%. Por ser de fácil determinação e apresentar boa relação com as propriedades mecânicas, é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo (PANSIN e De ZEEUW, 1970). A variação na densidade afeta a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (ARCANBRIGHT, 1971).

### 2.3.2. Teor de umidade da madeira

Determina-se o teor de umidade de lotes homogêneos de madeira para que se realizem ajustes das propriedades de resistência e rigidez, possibilite a escolha de métodos de preservação da madeira e das condições ambientais em que a madeira será inserida. A madeira pode ser classificada segundo classes de umidade, de acordo com a Tabela 1 (NBR 7190, ABNT, 1997).

Tabela 1 - Classes de umidade para madeiras (ABNT, 1997)

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente ( $U_{amb}$ )	Umidade de equilíbrio da madeira ( $U_{eq}$ )
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

### 2.3.3. Estabilidade dimensional da madeira

Consiste na movimentação da madeira pelo ganho ou perda de água abaixo da umidade de saturação das fibras (inchamento ou retração). A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas relações de retração e inchamento dos corpos-de-prova, nos sentidos axial, radial e tangencial. A retração tangencial tende a ser maior que a radial enquanto a longitudinal é praticamente desprezível. Quanto menor a diferença entre a retração tangencial e a radial, melhor é a madeira para marcenaria. O Eucalipto apresenta, geralmente, alta retração, sendo este um dos principais problemas para sua utilização como madeira sólida (SCAVANACA JUNIOR e GARCIA, 2004).

### 2.3.4. Resistência e rigidez da madeira

A resistência é a capacidade da madeira de suportar tensões e é determinada, convencionalmente, pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova normalizados e isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos como ruptura ou deformação específica excessiva (ABNT, 1997). Pode-se usar, para determinação da resistência, valores obtidos em ensaios de laboratório, valores fornecidos pela NBR 7190 para determinada espécie ou, então, de acordo com a classe de resistência à qual a espécie pertence (ABNT, 1997).

A classe de resistência é definida pelo valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0k}$ ) em MPa, que comprove as propriedades dentro de uma das classes de referência, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de referência para madeiras de coníferas e folhosas (ABNT, 1997)

Madeira de folhosas					
Valores na condição de referência $U=12\%$					
Classes	$f_{c0k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (MPa)	$\rho_{ap}$ (MPa)
C 20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000
Madeira de coníferas					
Valores na condição de referência $U=12\%$					
Classes	$f_{c0k}$ (MPa)	$f_{vk}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (MPa)	$\rho_{ap}$ (MPa)
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade determinado na fase de comportamento elástico linear. O módulo de elasticidade ( $E_{w0}$ ) na direção paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras (ABNT, 1997).

#### 2.4. Tratamento preservativo da madeira

Para suprir a demanda crescente por madeiras resistentes a organismos xilófagos e diminuir a pressão sobre as florestas nativas, uma opção bastante atraente é o uso de tratamento preservativo em madeira de espécies plantadas e de crescimento rápido (MAGALHÃES e PEREIRA, 2003).

O tratamento da madeira deve ser realizado para prevenir sua deterioração, ampliando assim o tempo de vida útil. Para este fim, são utilizados, comumente, produtos químicos que se fixam na madeira, tornando-a mais resistente à ação de fungos e insetos (brocas e cupins), sobretudo se a madeira ficar em contato direto com o solo ou água (SILVA, 2005). As operações de tratamento implicam em aumento do custo inicial da madeira mas que, ao longo do tempo de uso é diluído a ponto de ser mais vantajoso que a madeira não-tratada (MAGALHÃES e PEREIRA, 2003).

Os métodos de tratamento podem ser não-industriais ou industriais (com a utilização de equipamentos específicos). Dentre os métodos não-industriais se destaca o de substituição de seiva por transpiração radial, em função de sua operacionalidade e baixo custo das instalações (FARIAS SOBRINHO, 2003) e, especialmente, quando se desejam pequenas quantidades de moirões tratados e não se dispõe dos mesmos na região (GALVÃO, 1975). Este método vem sendo testado por diversos pesquisadores, principalmente para a imunização de moirões de *Eucalyptus* e de *Pinus* (GALVÃO, 1968; WEHR, 1985; PAES, 1991).

O método de substituição de seiva por transpiração radial consiste em substituir a seiva da madeira ainda verde pela solução preservativa. Desta forma, é conveniente que o tratamento seja realizado no máximo 24 horas após o corte da árvore. É um processo de tratamento muito utilizado nas pequenas

propriedades para o tratamento de moirões. Neste sistema se utiliza um tambor e se emprega madeira verde, roliça e descascada. Após o tratamento os moirões devem passar pelo processo de secagem ao ar livre. Um dos produtos mais utilizados para o tratamento não-industrial da madeira é o borato de cobre cromatado (CCB) (MAGALHÃES e PEREIRA, 2003).

Os critérios 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 (HUNT e GARRAT, 1967). A penetração é dada pela profundidade da camada tóxica com que se protege a madeira e depende do sistema de impregnação, da umidade e das características da madeira, além da natureza do produto químico empregado. De maneira geral, a penetração média deve ser superior a 2 cm de profundidade ou, no mínimo, 85% da espessura da peça caso o alburno tenha mais de 2 cm de espessura (RODRIGUEZ HERRERA, 1977).

Segundo ARSENAULT (1973), a retenção é o fator mais importante na eficiência do sistema preservativo. De modo geral, as retenções mínimas de preservativos hidrossolúveis devem ser de 5 a 16 kg/m<sup>3</sup> de madeira tratada (HUNT e GARRATT, 1967). De forma mais precisa, CAVALCANTE (1984), em conformidade com a norma P-EB-474 (ABNT, 1973) cita que, para o caso específico do CCB, a retenção deve ser de 6,5 kg de ingredientes ativos/m<sup>3</sup> de madeira.

## **2.5. Mobiliário como elemento da arquitetura rural**

A arquitetura rural ainda é uma ciência pouco explorada e pesquisada, constituindo um abrangente campo de estudos e atuação. Engloba o estudo da habitação rural, arquitetura agrícola (produção), arquitetura agroecológica (campos cultivados), o patrimônio cultural rural, a infraestrutura física, além do planejamento da produção e a gestão de serviços integrados (FERRÃO, 2006). Como elemento da habitação rural o mobiliário é um importante componente dessa paisagem, tratando-se de interiores ou de exteriores. Tradicionalmente se utiliza, na fabricação de móveis, a madeira como matéria-prima de sua

constituição, podendo ser conciliada com outros materiais, como metais, pedras, osso, papel e bambu. Historicamente, o mobiliário evoluiu acompanhando a arquitetura rural, desde peças que representavam a sociedade burguesa até móveis rústicos e simples de produzir.

A mobília no século XIX apresentava certo refinamento, um desenho mais cuidadoso, incomum até então. Era natural o emprego de elementos da arquitetura greco-romana, como a simetria. Nesta época, os móveis eram trazidos do exterior ou fabricados em pequena escala em marcenarias da Corte Portuguesa. Todo esse tratamento artesanal encarecia as peças, de maneira que apenas as famílias burguesas poderiam desfrutar dessa mobília de maior qualidade (BENINCASA, 2006). A sala de jantar era o maior dos cômodos e fazia comunicação entre as três zonas da casa: social, íntima e de serviços, além de quase sempre oferecer acesso direto aos fundos da edificação e funcionava quase como uma grande praça e foi um dos cômodos mais importantes da casa rural, haja vista que era grande, confortável e espaçosa e ainda centralizada na mesa, geralmente alongada e cheia de cadeiras para abrigar toda a família (Figura 1).



Figura 1 - Sala de jantar, Fazenda Resgate, Bananal-SP (BENINCASA, 2006)

Nas primeiras décadas do século XX com o desenvolvimento regional e tecnológico, sobretudo a construção de linhas de trem no interior para o escoamento da produção de café e o desenvolvimento do automóvel, a arquitetura rural começa a sofrer uma transformação que, como consequência, afetaria a mobília utilizada no ambiente rural desse período e influenciaria o mobiliário rural contemporâneo (BENINCASA, 2006).

A mobília acompanha esta transformação e passa a ser bem mais simples, reflexo do período de desenvolvimento industrial. Fazendo um contraponto com a sala de jantar do século XIX, grande e suntuosa, a sala de jantar da residência rural do século XX é muito mais simples e funcional, agora sem adornos ou peças supérfluas, e de tamanho muito menor acomodando apenas as louças e equipamentos domésticos que são utilizados diariamente (BENINCASA, 2006).

A mesa de jantar sofre a maior transformação: o tamanho é drasticamente reduzido e, como a família não mora mais na fazenda, a quantidade de cadeiras disponíveis também sofre redução, de modo que o fazendeiro tivesse apenas o suficiente para se acomodar e a algumas poucas visitas (Figura 2).



Figura 2 - Sala de Jantar, Solar Monjardim, Vitória – ES (BENINCASA, 2006)



A mobília rural atual evoluiu seguindo os princípios de simplificação e funcionalidade verificados desde o início do século XX; o que se observa hoje são móveis com facilidade máxima de produção, em nome da funcionalidade. A marcenaria é bem menos cuidadosa adotando técnicas utilizadas em construções rurais, como a utilização de parafusos, pregos e grampos de grande porte para união de partes; o custo de produção é mínimo visto que, na maioria das vezes, os processos de produção são reduzidos e se utiliza a madeira disponível na propriedade rural.

De maneira geral, o que se observa é que se aproveita na fabricação de móveis, a forma natural da madeira, caracterizando a simplificação da produção (Figura 3), em que as peças podem receber tratamento preservativo e acabamento simples (vernizes, óleos e ceras).



Figura 3 - Mesas e bancos utilizados no meio rural

Outra transformação que pode ser identificada é que esse mesmo tipo de móvel acaba sendo versátil a ponto de poder ser utilizado não só na composição de interiores, mas também em salas e cozinhas, tal como em exteriores, jardins e churrasqueiras; se a madeira receber o devido tratamento poderá constituir uma peça de grande durabilidade e resistência e combinar com a paisagem natural.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Procedência, seleção e abate das árvores

As árvores de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. foram coletadas na propriedade da Cerâmica Cincera, localizada na Zona Rural do Município de Rio Tinto, PB (latitude 6°48'27" S e longitude 35°04'05" W). No povoamento foram escolhidas, aleatoriamente, cinco árvores, sendo três de maior diâmetro, visto que todas elas tinham mais de 20 metros de altura (Figura 4). Ressalta-se que todas as árvores eram jovens, com cerca de quatro anos de idade (plantadas em julho de 2003 e abatidas em novembro de 2007), ou seja, todo trabalho foi feito com lenho juvenil.



Figura 4 - Plantio de *Eucalyptus camaldulensis*, com idade de 4 anos, na propriedade da Cerâmica Cincera Ltda., Rio Tinto, PB

As árvores foram abatidas com motosserra (Figura 5). Após o abate foram medidas a altura total e altura comercial das árvores, e os troncos subdivididos em toras de quatro metros; cada árvore, originou quatro toras. Ao lhes seccionar os troncos, discos de  $\pm 2,5$  cm de espessura foram retirados na posição correspondente à base e ao topo de cada tora, identificados e armazenados em sacos plásticos; enfim, esses discos foram utilizados para o cálculo da densidade básica da árvore, conforme o indicado por VITAL (1984).



Figura 5 - Corte das árvores com motosserra

As toras foram transportadas para o Campus da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em Patos, PB (latitude  $7^{\circ}01'31''$  S e longitude  $37^{\circ}16'40''$  O), onde foram descascadas manualmente. O processo de descascamento ocorreu com a aplicação de pancadas nas toras, utilizando

martelo; as cascas racharam e se desprenderam, o que facilitou sua retirada; depois de descascadas as toras foram postas para secar à sombra.

As toras mais finas, provenientes da quarta ou terceira secção do tronco, foram destinadas a tratamento pelo método de substituição da seiva por transpiração radial. Para este caso, depois de descascadas, as toras tiveram a camada de células cambiais removida, em virtude da raspagem da sua superfície com escova de aço, operação realizada com o intuito de facilitar a penetração e distribuição da solução de tratamento nas peças; depois de descascadas, seus comprimentos foram ajustados para 2 metros, ao se retirar discos na base e no topo de cada peça. Os discos obtidos foram utilizados para os cálculos do teor de umidade e volume das peças.



Figura 6 - Toras dispostas próximo à marcenaria da UFCG em Patos, PB

As toras mais grossas, provenientes principalmente da primeira ou segunda secção, foram destinadas à confecção dos corpos-de-prova para os ensaios físico-mecânicos, seguindo as recomendações da NBR 7190 da ABNT (1997).

### 3.2. Seleção das toras e confecção dos corpos-de-prova

As toras mais grossas foram submetidas a secagem e climatização ao ar livre em local coberto e ventilado, a fim de serem utilizadas nos testes físico—mecânicos e, após o período de secagem, aquelas de melhor qualidade foram desdobradas. O desdobro primário, que compreendeu as operações de secção transversal, padronizando o comprimento das toras em 2 metros, esquadreamento e secção longitudinal, foi realizado na Serraria Dois Irmãos, em Patos, PB.

Em referência aos corpos-de-prova, sua confecção foi realizada na Marcenaria da UFCG, em Patos, PB; para isto, utilizaram-se de equipamentos específicos para o trabalho com madeira, como plaina desempenadeira, serra circular e lixadeira.

Quanto ao ensaio de compressão paralela às fibras, foram utilizados corpos-de-prova de forma prismática com seção transversal quadrada, de 5 x 5 cm e 15 cm de comprimento (Figura 7a); e para determinação das propriedades físicas da madeira, se usaram corpos-de-prova com seção transversal retangular de 2 cm x 3 cm e 5 cm de comprimento (Figura 7b).

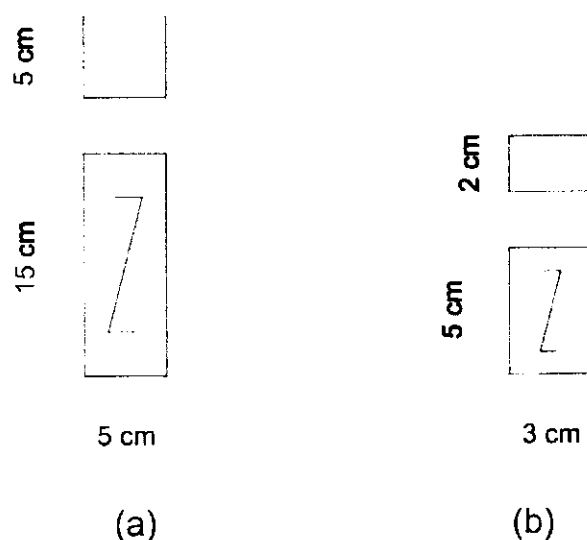


Figura 7 - Corpos-de-prova para ensaios de compressão paralela às fibras (a) e de propriedades físicas da madeira (b)

### 3.3. Propriedades físico-mecânicas da madeira

As propriedades da madeira foram determinadas de acordo com as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997) para caracterização simplificada da madeira.

Os ensaios de propriedades físicas da madeira foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal (UAEF), localizado no Campus da UFCG em Patos, PB, e os de compressão paralela às fibras foram realizados no Laboratório de Solos I, da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC), localizado no Campus de Campina Grande, PB.

#### 3.3.1. Densidade aparente e básica da madeira

Com vistas à determinação da densidade aparente da madeira, os corpos-de-prova foram identificados e postos em ambiente climatizado ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de umidade) até atingirem massa constante e umidade de equilíbrio aproximada de 12%. Os corpos-de-prova foram medidos com paquímetro digital (0,01 mm de precisão) (comprimento, largura e espessura) e pesados em balança digital com precisão de 0,01g, para obtenção do volume e massa inicial ( $m_i$ ). Os valores obtidos foram calculados segundo a Equação 1.

$$\rho_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (1)$$

em que:

$\rho_{ap(12\%)}$  = Densidade aparente à umidade de 12%, em  $\text{Kg/m}^3$

$m_{(12\%)}$  = Massa do corpo-de-prova à umidade de 12%, em Kg

$V_{(12\%)}$  = Volume do corpo-de-prova à umidade de 12%, em  $\text{m}^3$

Para a determinação da densidade básica o volume saturado da madeira foi determinado após a imersão dos corpos-de-prova em água, até que atingissem massa constante ou com no máximo 0,5% de variação em relação à medida anterior; posteriormente, as peças foram novamente medidas e pesadas.

Para o cálculo da massa seca da madeira os corpos-de-prova foram postos em estufa com temperatura ajustada para  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até massa constante. Durante o processo de secagem a massa dos corpos-de-prova foi medida a cada 6 horas até que ocorresse uma variação entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% em relação à última massa medida definindo, assim, a massa seca. Com esses dados, se aplicam os valores na Equação 2.

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (2)$$

em que:

$\rho_{bas}$  = Densidade Básica da madeira, em  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$m_s$  = Massa seca da madeira, em Kg

$V_{sat}$  = Volume da madeira saturada, em  $\text{m}^3$

### 3.3.2. Teor de umidade da madeira

Com os valores da massa inicial e a massa-seca dos corpos-de-prova obtidos segundo o item 3.2.1, calculou-se o teor de umidade ( $U\%$ ) ao se empregar a Equação 3.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

em que:

$U\%$  = Umidade da madeira, em porcentagem (%)

$m_i$  = Massa inicial da madeira, à umidade de 12%, em Kg

$m_s$  = Massa seca da madeira, em Kg

### 3.3.3. Estabilidade dimensional da madeira

As deformações específicas de retração e de inchamento, são consideradas índices de estabilidade dimensional e foram determinadas para cada uma das direções preferenciais (axial, radial e tangencial), em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca, dadas pelas Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\varepsilon_{r,x} = \frac{L_{x\text{sat}} - L_{x\text{sec } a}}{L_{x\text{sat}}} \times 100 \quad (4)$$

$$\varepsilon_{i,x} = \frac{L_{x\text{sat}} - L_{x\text{sec } a}}{L_{x\text{sec } a}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$\varepsilon_{r,x}$  = Deformação específica de retração

$\varepsilon_{i,x}$  = Deformação específica de inchamento

$L_{x\text{sat}}$  = Dimensionamento da madeira saturada, de acordo com a direção preferencial

$L_{x\text{seca}}$  = Dimensionamento da madeira seca, de acordo com a direção preferencial

A variação volumétrica foi definida em função das dimensões dos corpos-de-prova nos estados saturado e seco, sendo dada pela Equação 6.

$$\Delta V = \frac{V_{\text{sat}} - V_{\text{sec } a}}{V_{\text{sec } a}} \times 100 \quad (6)$$

em que:

$\Delta V$  = Variação volumétrica

$V_{\text{sat}} = L_{1,\text{sat}} \times L_{2,\text{sat}} \times \dots \times L_{x,\text{sat}}$

$V_{\text{seca}} = L_{1,\text{seca}} \times L_{2,\text{seca}} \times \dots \times L_{x,\text{seca}}$



### 3.3.4. Ensaio de compressão paralela às fibras

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) e os procedimentos descritos em ROCHA (2007). Assim, os corpos-de-prova foram dimensionados com um paquímetro digital de precisão 0,01mm; em seguida, realizou-se um ensaio destrutivo com corpos-de-prova do lote, a partir de um carregamento crescente, à taxa de 10 MPa por minuto, visando estimar o valor da resistência da madeira. Em continuidade, em corpos-de-prova isentos de defeito, quatro cantoneiras metálicas foram fixadas com parafuso, sendo uma superior e outra inferior, para cada face oposta dos corpos-de-prova a uma distância nominal de 10 cm entre as cantoneiras na linha de fixação.

Dois Transdutores de Deslocamento Linear (LVDT's), da marca "Gefran" (Figura 8), foram fixados às cantoneiras a fim de se medir o deslocamento provocado pela compressão sobre a madeira.



Figura 8 - Transdutor de deslocamento linear (LVDT)

Os corpos-de-prova foram ajustados entre os pratos de uma máquina universal de ensaio, marca “Losenhausen”, com capacidade máxima de 60 toneladas, sobre uma rótula e entre um espaçador metálico. Constatou-se a necessidade da utilização de um espaçador de aço maciço, em função da fiação proeminente dos LVDT's, que impediam o corpo-de-prova de ser posicionado na prensa (Figura 9).



Figura 9 - LVDTs nos lados do corpo-de-prova e detalhes do espaçador e da rótula

Os LVDT's foram conectados ao sistema de aquisição de dados, modelo “Spider 8” da marca “HBM” (Figura 10) que, por sua vez, foi ligado ao computador em que continha o *software* de controle “Catman” (Figura 11). O sistema de coleta de dados foi acionado no “datalogger” com amostragem de recebimento de 2 leituras por segundo.

Realizou-se o carregamento de forma monotônica crescente a uma taxa de 10 MPa por minuto com dois ciclos de carga e descarga. Não foi necessária a leitura das deformações uma vez que já se encontravam registradas em tempo real, pelo “software”.



Figura 10 - Aparelho “Spider 8” para aquisição de dados



Figura 11 - Aparentagem conectada ao computador, com o “software” de controle

Os primeiro e segundo ciclos compreenderam o carregamento do corpo-de-prova até 50% da resistência em que a carga era mantida durante 30 segundos; decorrido este tempo havia uma descarga para 10%, mantida durante mais 30 segundos. Este procedimento é adotado segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) para que as fibras da madeira sejam acomodadas.

No carregamento fina, as leituras foram realizadas a cada 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70% da carga estimada. Ao constatar que a carga estava a 70%, o operador da máquina de ensaio informava a passagem por este ponto para só então se fazer o registro e, em seguida, se retirar os LVDT's do corpo-de-prova. Após a retirada dos LVDT's elevou-se o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova (Figura 12).



Figura 12 - Corpo-de-prova após a ruptura

O observador registrava o tempo, em segundos, decorrido do início do ensaio, em que o operador da prensa informava a passagem pelos pontos de carga e descarga com base nos valores estimados da resistência máxima estimada. Os intervalos de 30 segundos entre cada carga e descarga foram controlados pelo operador da prensa, orientado por um cronômetro digital; em seguida fez-se o cruzamento dos dados coletados pelo "datalogger" com as marcações de tempo, registrados anteriormente pelo observador, a fim de realizar a leitura nos pontos predefinidos.

Obteve-se a resistência a compressão paralela às fibras da madeira pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova e calculada segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), apresentada na Equação 7.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0, \max}}{A} \quad (7)$$

em que:

$f_{c0}$  = Resistência à compressão paralela às fibras

$F_{c0, \max}$  = Esforço de compressão máximo aplicado ao corpo-de-prova

$A$  = Área inicial da seção transversal do corpo-de-prova

Os valores obtidos das resistências foram corrigidos para umidade padrão de referência de 12%, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), segundo a Equação 8.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[ 1 + \frac{3 \times (U\% - 12)}{100} \right] \quad (8)$$

em que:

$f_{12}$  = Resistência à compressão paralela às fibras a 12% de umidade

$f_{U\%}$  = Resistência à compressão paralela às fibras a U% de umidade

$U$  = Umidade do corpo-de-prova

Os resultados obtidos foram postos em ordem crescente ( $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_6$ ), não se tomando para ( $f_{c0,k}$ ) valor inferior a  $f_1$  nem a 0,7 do valor médio.

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras foi determinada por seu módulo de elasticidade obtido a partir da inclinação da reta secante à curva tensão x deformação específica, definida pelos pontos ( $\sigma_{10\%}$ ,  $\varepsilon_{10\%}$ ) e ( $\sigma_{50\%}$ ,  $\varepsilon_{50\%}$ ), correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da resistência a compressão paralela às fibras, medida no ensaio (Equação 9).

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (9)$$

em que:

$E_{c0}$  = Módulo de elasticidade na direção paralela às fibras da madeira, em MPa

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  = Valores da tensão a 10% e 50% da resistência máxima estimada, em MPa

$\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  = Deslocamento linear, em mm

Os valores da rigidez obtidos foram corrigidos para umidade padrão, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), Equação 10, e os valores de resistência, pelo emprego da Equação 11.

$$E_{12} = E_{U\%} \left[ 1 + \frac{2 \times (U\% - 12)}{100} \right] \quad (10)$$

em que:

$U\%$  - Teor de umidade do lote

$E_{12}$  - Rigidez da madeira corrigida para a umidade de 12%

$E_{U\%}$  - Rigidez da madeira no teor de umidade do lote

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (11)$$

em que:

$\sigma$  - Resistência, em MPa

$F$  - Força aplicada, em N

$A$  - Área da seção transversal do corpo-de-prova, em  $m^2$

### 3.4. Tratamento preservativo da madeira

A madeira foi tratada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da UFCG, localizado no Campus de Patos e realizados ensaios de penetração e o preparo das amostras, para as leituras da retenção.

O método de tratamento empregado foi o de substituição de seiva por transpiração radial com "Osmose CCB", à base de borato de cobre cromatado (CCB), produto hidrossolúvel em pasta, fungicida e inseticida. Escolheu-se este método devido à sua facilidade de aplicação, por ser comum no meio rural e pela disponibilidade de material para sua realização. O "Osmose CCB", segundo a P-EB-479 (ABNT, 1973), tem sua composição química especificada como:

- Cromo hexavalente, calculado como  $\text{CrO}_3$  ..... 63,5%
- Cobre, calculado como  $\text{CuO}$  ..... 26,0%
- Boro, calculado como B ..... 10,5%

Selecionaram-se aleatoriamente 10 peças com comprimento de 2 m, identificadas e imediatamente submetidas a tratamento, que teve início no dia seguinte do abate das árvores. As peças permaneceram dispostas verticalmente na solução de tratamento, em um tambor de 200 L (Figura 13). Adicionou-se o produto preservativo de forma que as peças ficassem parcialmente submersas a 50 cm da base e com suas porções aéreas separadas para facilitar a circulação de ar e a evaporação da seiva.

Adicionaram-se, ao tambor, 500 mL de óleo de vegetal a fim de evitar a evaporação da água da solução preservativa e manter constante o nível inicial de solução nos recipientes. Na proporção em que a solução era absorvida pelas peças, deu-se a reposição de solução preservativa. Após o tratamento as peças foram armazenadas em local coberto e ventilado visando à secagem e fixação dos sais preservativos. Essas peças foram submetidas a duas situações, onde na situação A elas permaneceram durante oito dias na solução preservativa, sem que houvesse a inversão do topo das mesmas na solução; já na situação B as peças tiveram, após o sexto dia de tratamento, os topos

invertidos na solução, permanecendo no tratamento mais dois dias, a fim de completar o tempo de tratamento estipulado, ou seja, de oito dias.

O objetivo da inversão das peças na solução de tratamento foi verificar as prováveis diferenças na distribuição, penetração e retenção do CCB, ao longo das peças invertidas e não-invertidas.



Figura 13 - Peças imersas em tambor com a solução preservativa, em que se verificam as duas situações de tratamento



### 3.4.1. Amostragem e análise das peças tratadas

Após a secagem foram extraídos dois discos, em três posições ao longo das peças: a 50 cm da base (posição 1), no meio do comprimento (posição 2) e a 10 cm do topo (posição 3), sendo um disco para o ensaio de penetração e o outro para retenção, com a finalidade de verificar o tratamento recebido ao longo do comprimento das peças (Figura 14). Cada disco foi identificado com o número da peça correspondente (Figura 15).

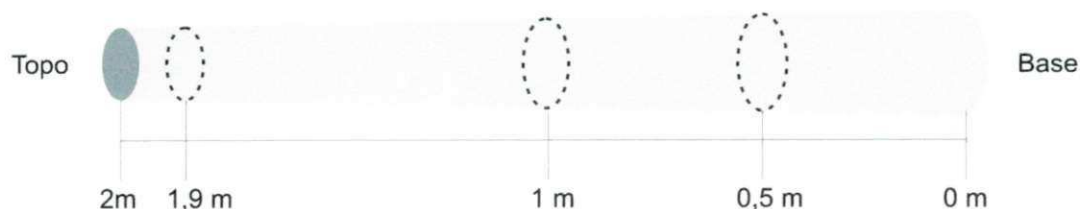


Figura 14 - Posições na peça onde foram retirados os discos para as análises químicas



Figura 15 – Discos identificados retirados das peças tratadas

### 3.4.2. Penetração e distribuição do cobre nas peças tratadas

Para permitir a leitura e medição da penetração do preservativo na madeira, os discos foram previamente lixados e marcados com linhas perpendiculares entre si, que se cruzavam na medula da amostra (Figura 16).



Figura 16 – Disco demarcado com linhas perpendiculares para leitura da penetração do elemento cobre

A penetração do CCB foi avaliada para o elemento cobre, por apresentar reação mais nítida. A fim de verificar a penetração do cobre, aplicou-se com um “pincel”, solução à base de “cromo-azurol S”, seguindo-se as especificações da norma P-MB-790 (ABNT, 1973). O produto reage com o cobre e mostra, de forma rápida, a diferença entre a parte tratada (cor azul) e a não-tratada (cor vermelha) da madeira (Figura 17); em seguida se mediu, com o auxílio das linhas marcadas, a penetração do cobre em cada disco por meio da realização de leituras em quatro pontos da demarcação realizada, sendo a média das leituras o valor da penetração do elemento na madeira.



Figura 17 - Aplicação da solução de “Cromo-azurol S” nos discos

### 3.4.3. Retenção de CCB nas peças tratadas

Visando-se à determinação da retenção da solução preservativa, selecionaram-se, aleatoriamente, três peças de cada situação (invertida ou não-invertida). De cada disco, foram selecionadas quatro amostras na direção radial à medula, na direção dos quadrantes do disco, com dimensões de 1,5 x 1,5 x 2 cm (Figura 18).

As amostras foram identificadas e uma delas tomada ao acaso para determinação da retenção; em seguida, se determinaram os volumes das amostras por meio do método de deslocamento em mercúrio (VITAL, 1984).

Conforme metodologia descrita por WISCHER citado por MORESCHI (1985), as amostras sorteadas passaram pelo processo de digestão, que iniciou com a incineração das amostras para obtenção das cinzas e sais metálicos em um forno mufla, em temperatura variando entre 500 e 550°C, até a transformação em cinzas (Figura 19).

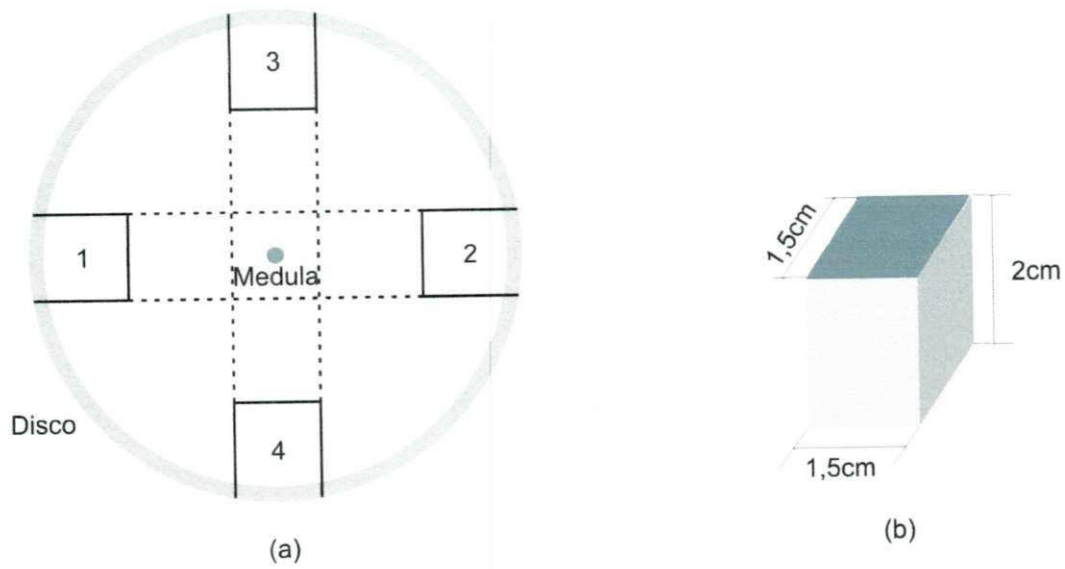


Figura 18 - Posição (a) e dimensões (b) das amostras retiradas dos discos



Figura 19 – Corpos-de-prova em cadinhos de porcelana no forno mufla para incineração

Após a digestão foram adicionados às cinzas 3 mL da mistura dos ácidos sulfúrico, perclórico e nítrico, todos na forma concentrada, na proporção de 7:2:1, respectivamente (Figura 20).



Figura 20 - Adição da mistura de ácidos às amostras incineradas

Em seguida, procedeu-se à digestão acelerada por meio do aquecimento da mistura dos ácidos e cinzas em chapa aquecida, até a mistura ficar límpida (Figura 21); por sua vez, as soluções resultantes foram diluídas em água destilada em volume fixo de 100 mL e armazenadas em frascos plásticos identificados (Figura 22).

Os frascos contendo as amostras diluídas foram enviados para leitura de espectrometria de absorção atômica, no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS), Centro de Ciências Agrárias, Campus II da Universidade Federal da Paraíba em Areia, PB.



Figura 21 - Digestão acelerada das amostras em chapa aquecida



Figura 22 - Diluição das amostras digeridas em volumes fixos

Com os dados das leituras e os volumes das amostras, efetuaram-se os cálculos de retenção, conforme a Equação 12 (PAES, 1991).

$$R = \frac{F \times L \times Fd \times 10^{-3}}{V} \quad (12)$$

em que:

$R$  = Retenção do elemento na madeira, em  $\text{kg/m}^3$

$F$  = 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, em  $\text{mg/L}$

$Fd$  = Fator de diluição

$V$  = Volume das amostras utilizadas nas análises

### 3.5. Análise dos resultados

Após a realização dos experimentos os resultados receberam tratamento estatístico cujos dados foram analisados através de programas de computador.

Com referência à determinação das propriedades físicas da madeira (densidade básica, densidade aparente, umidade e variação volumétrica de retração e inchamento), realizaram-se cálculos estatísticos simples, em que os valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação, foram determinados com auxílio de planilhas desenvolvidas no "software Excel".

Com relação às propriedades mecânicas da madeira determinadas pelo ensaio de compressão paralela às fibras, os dados de resistência, rigidez e umidade, tal como os gráficos de tensão  $\times$  deformação específica de cada corpo-de-prova, também foram definidos com a ajuda do "Excel".

Para os ensaios de penetração e retenção análises fatoriais foram realizadas com auxílio do "software ASSISTAT". Os fatores analisados foram a posição do disco na tora e a inversão das peças durante o tratamento.

### 3.6. Aplicação da madeira na confecção de mobiliário

Após a realização dos experimentos a madeira tratada de *E. camaldulensis* restante foi utilizada para confecção do protótipo de um mobiliário em escala real que pudesse exemplificar sua aplicação em elementos de arquitetura rural.

Como as toras de eucalipto têm diâmetro reduzido, sobretudo se levando em consideração que ainda passariam por processos de desdobro, as peças resultantes possuíam pequena largura, o que limitava as possibilidades de confecção do móvel.

Partindo-se dessas observações, o modelo de mobiliário escolhido para ser confeccionado foi de uma pequena mesa de apoio cujo tampo seria quadrado e feito com os sarrafos mais finos da madeira, dispostos lado a lado; as toras de maior diâmetro foram selecionadas para a confecção dos pés e das travessas de sustentação do móvel.

Com relação ao desdobro da madeira, primeiro as toras foram esquadrejadas em uma plaina, que desbastou a madeira e planificou suas superfícies (Figura 23); o objetivo foi fazer com que as toras em formato cilíndrico fossem transformadas em peças de forma prismática (Figura 24) porém a plaina ainda deixou as superfícies muito irregulares; as peças foram ajustadas em uma serra circular, que possui uma guia perpendicular à bancada (Figura 25). Ainda na serra circular de bancada as peças foram cortadas, segundo dimensionamento previamente definido; logo após, as superfícies de cada peça tiveram o acabamento melhorado na lixadeira. Finalmente, as peças foram fixadas entre si por meio de encaixes, cola e pregos.

Salienta-se que todo este processo de confecção do mobiliário foi realizado por um marceneiro especializado no assunto.





Figura 23 – Esquadreamento das toras em uma plaina



Figura 24 – Peças prismáticas da madeira de *E. camaldulensis*



Figura 25 – Ajuste das peças em serra circular de bancada

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Propriedades físico-mecânicas da madeira

Realizaram-se ensaios físicos (densidade, umidade e estabilidade dimensional da madeira) e mecânicos (rigidez e resistência a compressão paralela às fibras) visando à caracterização simplificada da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

#### 4.1.1. Densidade da madeira

A madeira juvenil de *E. camaldulensis* apresentou densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) de  $0,581 \pm 0,035$  g/cm<sup>3</sup> ou  $581 \pm 35$  kg/m<sup>3</sup>, com coeficiente de variação de 6,07% (Tabela 3). Este valor foi menor que o apresentado pela NBR 7190 (ABNT, 1997), de 899 kg/m<sup>3</sup>, o que se deve ao fato da madeira ser muito jovem, com cerne pouco desenvolvido, sendo o trabalho realizado praticamente com madeira de alburno.

Já a densidade básica ( $\rho_{bas}$ ) foi de  $0,470 \pm 0,029$  g/cm<sup>3</sup> ou  $470 \pm 29$  kg/m<sup>3</sup>, com coeficiente de variação de 6,27% (Tabela 3).

#### 4.1.2. Teor de umidade da madeira

O valor do teor de umidade médio para a madeira de *E. camaldulensis* ficou em  $10,82 \pm 1,64\%$ , com coeficiente de variação (CV) de 15,13% (Tabela 3), portanto, de acordo com a umidade de referência de 12%.

Tabela 3 – Densidade aparente, densidade básica e umidade da madeira juvenil de *E. camaldulensis*

Corpo-de-prova	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)
1	0,5703	0,4540	10,95
2	0,5504	0,4464	11,05
3	0,5363	0,4222	10,43
4	0,6050	0,5004	11,56
5	0,5560	0,4519	10,67
6	0,5636	0,4699	11,10
7	0,6164	0,4911	11,45
8	0,5584	0,4571	10,82
9	0,5232	0,4340	10,19
10	0,5694	0,4483	10,56
11	0,6234	0,5122	10,39
12	0,5657	0,4501	10,46
13	0,6237	0,5087	10,30
14	0,5632	0,4816	14,59
15	0,5443	0,4518	9,98
16	0,5359	0,4720	10,61
17	0,5507	0,4856	10,19
18	0,5308	0,3849	10,11
19	0,5655	0,4348	16,34
20	0,5843	0,4668	11,11
21	0,5757	0,5154	11,30
22	0,6454	0,4924	10,22
23	0,5723	0,4750	11,06
24	0,6401	0,4571	11,24
25	0,6068	0,4824	11,84
26	0,6063	0,4908	11,69
27	0,6449	0,4949	10,49
28	0,6040	0,4845	11,68
29	0,5792	0,4996	11,72
30	0,6177	0,4938	10,46
Média	0,5810	0,4703	10,82
Desvio padrão	0,0353	0,0295	1,6368
CV (%)	6,0697	6,2703	15,1295

#### 4.1.3. Estabilidade dimensional da madeira

A retração e o inchamento apresentaram deformação tangencial maior que a radial enquanto a longitudinal foi menor que 1%, conforme descreveram SCAVANACA JUNIOR e GARCIA (2004). Além disso, as deformações de inchamento foram maiores que as de retração em todas as direções (longitudinal, radial e tangencial), em função do efeito da histerese (SKARR, 1988).

A deformação média de retração na direção radial foi de  $4,70 \pm 1,03\%$ , com coeficiente de variação de 21,98%; na tangencial, de  $6,91 \pm 3,23\%$ , com coeficiente de variação de 4,80% e, na longitudinal, de  $0,77 \pm 0,83\%$ , com coeficiente de variação de 108,29%. Já a deformação média de inchamento na direção radial foi de  $4,94 \pm 1,14\%$ , e o coeficiente de variação, de 23,10%; na tangencial, de  $7,55 \pm 4,03\%$ , com coeficiente de variação de 53,35% e, na longitudinal, de  $0,78 \pm 0,86\%$ , cujo coeficiente de variação foi de 109,26% (Tabela 4).

Em função da pequena variação nas dimensões longitudinais dos corpos-de-prova, tanto na retração quanto no inchamento, tais medidas estão sujeitas a erros operacionais o que, provavelmente, tenha sido o responsável pelo alto coeficiente de variação apresentado nas deformações de retração e de inchamento.

Quanto ao coeficiente de anisotropia (razão entre a retração tangencial e a radial), SCAVANACA JUNIOR e GARCIA (2004) afirmam que, quanto mais próximo de 1 melhor é a madeira para marcenaria. O *E. camaldulensis* apresentou coeficiente de anisotropia de  $1,55 \pm 0,96$  para retração, com coeficiente de variação de 61,86%, e de  $1,63 \pm 1,16$  para inchamento, com coeficiente de variação de 71,39%; a variação volumétrica média foi de  $13,76 \pm 4,82\%$ , com coeficiente de variação de 35,05% (Tabela 5).

Os valores indicam que a madeira possui restrições quanto à sua aplicação em marcenaria; contribuem, para tal resultado, o fato da madeira pesquisada ser muito jovem e seu lenho ainda estar em desenvolvimento, o que eleva a ocorrência de tensões de crescimento e, como consequência, a variação volumétrica da madeira.

Tabela 4 - Deformações específicas de retração e inchamento

Corpos- -de-prova	Deformação específica de retração			Deformação específica de inchamento		
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Radial	Tangencial	Longitudinal
1	4,70	6,75	0,85	4,93	7,24	0,86
2	4,41	5,53	0,26	4,61	5,85	0,26
3	4,34	6,67	0,17	4,54	7,15	0,17
4	4,08	5,25	0,10	4,25	5,54	0,10
5	5,86	4,38	0,26	6,23	4,58	0,26
6	4,58	6,57	0,13	4,80	7,04	0,13
7	4,16	6,85	0,24	4,34	7,36	0,24
8	4,57	5,73	0,03	4,78	6,08	0,03
9	4,22	4,96	0,05	4,41	5,22	0,05
10	5,16	5,03	1,15	5,44	5,30	1,16
11	6,22	8,19	0,33	6,63	8,92	0,34
12	3,85	5,87	0,80	4,00	6,23	0,80
13	5,70	6,66	0,25	6,04	7,13	0,25
14	3,71	6,85	0,35	3,85	7,35	0,35
15	2,66	4,69	0,38	2,73	4,92	0,38
18	3,34	18,12	0,99	3,46	22,14	1,00
22	6,27	10,13	2,65	6,69	11,28	2,72
24	6,86	10,80	2,10	7,36	12,10	2,15
25	4,54	6,07	2,26	4,75	6,46	2,31
27	5,13	1,66	2,30	5,41	1,69	2,35
28	4,26	8,31	0,56	4,44	9,06	0,56
Média	4,70	6,91	0,77	4,94	7,55	0,78
Desvio Padrão	1,03	3,23	0,84	1,14	4,03	0,85
CV (%)	21,98	46,80	108,29	23,10	53,35	109,26

Tabela 5 - Variação volumétrica da madeira juvenil de *E. camaldulensis* (%) e coeficiente de anisotropia para retração e inchamento

Corpo-de-prova	Variação volumétrica ( $\Delta V$ )	Coeficiente de anisotropia (retração)	Coeficiente de anisotropia (inchamento)
1	13,50	1,44	1,47
2	11,03	1,25	1,27
3	12,20	1,54	1,58
4	10,14	1,29	1,30
5	11,38	0,75	0,74
6	12,32	1,44	1,47
7	12,29	1,65	1,70
8	11,18	1,25	1,27
9	9,91	1,18	1,19
10	12,32	0,97	0,97
11	16,53	1,32	1,34
12	11,37	1,53	1,56
13	13,89	1,17	1,18
14	11,87	1,85	1,91
15	8,20	1,77	1,80
18	27,63	5,42	6,40
22	21,95	1,62	1,68
24	22,94	1,57	1,64
25	14,10	1,34	1,36
27	9,72	0,32	0,31
28	14,56	1,95	2,04
Média	13,76	1,55	1,63
Desvio Padrão	4,82	0,9604	1,1620
CV (%)	35,05	61,8574	71,3890

#### 4.1.4. Resistência e rigidez a compressão paralela às fibras

Os valores obtidos para cada corpo-de-prova selecionado durante os ensaios de compressão paralela às fibras, estão apresentados no Anexo.

Os resultados com as devidas correções de umidade padrão a 12%, dos valores obtidos durante os ensaios de compressão paralela às fibras da madeira, estão incluídos na Tabela 6.

O valor característico da resistência a compressão paralela às fibras ( $f_{c12}$ ) do lenho juvenil do *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. foi de 25,31 MPa; já a rigidez ( $E_{c12}$ ) foi de 12,379 MPa; logo, a madeira pode ser enquadrada na classe C 20 das classes de referência para folhosas (dicotiledôneas), conforme ABNT (1997), apresentada no item 2.3.4.

Tabela 6 - Resistência e rigidez corrigidas para umidade padrão de 12%

Resistência média ( $f_{c0}$ )	Resistência a U=12% ( $f_{c12}$ )	Rigidez média ( $E_{c0}$ )	Rigidez a U=12% ( $E_{c12}$ )	Densidade aparente média ( $\rho_{ap}$ )	Umidade média (U%)
23,39 MPa	25,31 MPa	11699 MPa	12379 MPa	601 kg/m <sup>3</sup>	14,75%

Na Tabela 7 se apresentam, para fins de comparação, os valores de referência sobre as características densidade aparente, resistência e rigidez das espécies *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus paniculata*, pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti* (ABNT, 1997).

A densidade aparente do lenho juvenil do *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. foi próxima à do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) e um pouco maior que a do *Pinus elliotti*, madeira muito comum em reflorestamentos na Região Sul do Brasil, embora inferior à do *Eucalyptus paniculata* e da madeira madura do *Eucalyptus camaldulensis*.

O valor de resistência a compressão paralela às fibras da madeira de eucalipto estudada foi inferior ao das madeiras apresentadas na Tabela 7, em razão do lenho juvenil ser menos resistente que o da madeira adulta.

Quanto à rigidez, o valor obtido se aproximou daqueles do *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti*, sendo menor que os valores apresentados para o *Eucalyptus camaldulensis* adulto e, sobretudo, para o *Eucalyptus paniculata*.

A diferença entre os valores obtidos na pesquisa e os apresentados pela norma NBR-7190 (ABNT, 1997) se deve ao fato da madeira ser muito jovem e sem o cerne desenvolvido, sendo o trabalho realizado praticamente com madeira de alburno.



Tabela 7 - Valores comparativos de densidade aparente, resistência e rigidez de algumas espécies florestais

Espécies	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{cok}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	Classe (ABNT, 1997)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> (lenho juvenil pesquisado)	581	25,3	12.379	C 20
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	13.286	C 40
<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	12.813	C 40
<i>Eucalyptus paniculata</i>	1.087	72,7	19.881	C 60
Pinheiro do Paraná	580	40,9	15.225	C 30
<i>Pinus elliotti</i>	560	40,4	11.889	C 30

## 4.2. Tratamento preservativo da madeira

O tratamento da madeira foi avaliado em função da distribuição e penetração do elemento cobre nas peças e da retenção dos elementos cobre, cromo e boro (CCB) nas peças tratadas.

### 4.2.1. Distribuição do elemento cobre nas peças tratadas

A distribuição do cobre nas peças tratadas não-invertidas e invertidas, consta das Figuras 26 e 27, respectivamente.

Observa-se que o preservativo penetrou em todas as peças mas de forma diferente entre as duas situações de tratamento. As peças que não foram invertidas (Situação A) apresentaram distribuição gradual visto que a maior penetração ocorreu na posição 1 (50 cm da base), seguida da posição 2 (meio da peça) e menor na posição 3 (10 cm do topo, fato que pode ter ocorrido em

virtude da parte inferior permanecer submersa na solução preservativa enquanto a superior se manteve fora da solução.
















POSIÇÕES	PEÇAS				
	1	3	7	8	10
3 (10cm do topo)					
2 (meio)					
1 (50cm da base)					

Figura 26 - Distribuição do cobre nas peças não-invertidas
















POSIÇÕES	PEÇAS				
	1	3	7	8	10
3 (10cm do topo)					
2 (meio)					
1 (50cm da base)					

Figura 27 - Distribuição do cobre nas peças invertidas

O preservativo penetrou na madeira pela parte inferior e alcançou a parte superior por capilaridade. Como este processo é irregular, ou seja, a parte inferior da peça é a primeira a ter diminuição na quantidade de água, absorvendo antes o preservativo, é natural que as peças da posição 1 tenham mais solução que a das demais posições, que apresentam mais água em processo de evaporação.

Por outro lado, as peças que sofreram inversão (Situação B) mostraram maior homogeneidade na distribuição da solução preservativa. De maneira geral, as extremidades das peças (posições 1 e 3) indicaram maior penetração pelo fato de que ambas passaram por um período em contato com a solução preservativa e em contato com o ar.

Observa-se que a distribuição nas peças da posição 1 foi mais homogênea que na posição 3, provavelmente, em função da posição 1 ter sido a primeira a entrar em contato com a solução, penetrando de forma mais homogênea. Quando as peças foram invertidas na solução, alguns vasos da madeira já possuíam solução e, por terem permanecido expostos ao ar, estavam menos úmidos, o que contribuiu para que a distribuição na parte superior ocorresse de forma irregular. Este comportamento da madeira está de acordo com o citado por GALVÃO (1968), WEHR (1985), PAES (1991) e FARIAS SOBRINHO (2003).

#### **4.2.2. Penetração do elemento cobre nas peças tratadas**

Os valores de penetração da madeira estão apresentados na Tabela 8. A penetração média foi de  $16,78 \pm 4,95$  mm, com coeficiente de variação de 29,50%, para todas as situações e posições analisadas, corroborando com GALVÃO (1968) e PAES (1991), que consideram satisfatórias penetrações maiores que 10 mm.

Os valores de penetração (Tabela 8) foram analisados estatisticamente a fim de se verificar se houve diferenças significativas na penetração do cobre nas diferentes posições da peça e entre as situações (invertidas e não-invertidas) às quais as peças foram submetidas (Tabela A1, Anexo A).

Observa-se, na Tabela 19, que os fatores posição e inversão das peças foram significativos a 1% de probabilidade. As médias dos fatores posição e inversão das peças foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e constam na Tabela 9.

Tabela 8 – Resultados de penetração para as situações e posições nas peças tratadas

Situação	Peça/Posição	Medidas de Penetração (mm)				Média na Posição	Média na Peça
		1	2	3	4		
Não-invertido (A)	1.1	27	23	24	17	22,75	16,08
	1.2	16	18	20	15	17,25	
	1.3	11	10	7	5	8,25	
	3.1	18	15	17	18	17,00	9,50
	3.2	7	12	11	5	8,75	
	3.3	1	7	1	2	2,75	
	7.1	26	26	27	26	26,25	16,67
	7.2	21	15	16	20	18,50	
	7.3	6	8	4	5	5,75	
	8.1	21	22	19	25	21,75	13,42
	8.2	17	10	9	15	12,75	
	8.3	5	6	6	6	5,75	
	10.1	18	21	23	15	19,25	11,92
	10.2	8	13	15	13	12,25	
	10.3	6	2	5	4	4,25	
Invertido (B)	2.1	21	21	23	22	21,75	17,67
	2.2	13	16	15	4	12,00	
	2.3	21	24	15	17	19,25	
	4.1	19	23	22	18	20,50	21,75
	4.2	15	20	15	16	16,50	
	4.3	33	39	24	17	28,25	
	5.1	35	40	38	36	37,25	26,83
	5.2	29	30	34	28	30,25	
	5.3	13	18	11	10	13,00	
	6.1	28	29	24	24	26,25	18,58
	6.2	18	16	19	21	18,50	
	6.3	13	12	11	8	11,00	
	9.1	21	18	16	17	18,00	15,33
	9.2	9	11	10	8	9,50	
	9.3	19	19	12	24	18,50	
Média Geral							16,78
Desvio Padrão							4,95
CV (%)							29,50

Com relação à posição, os valores apresentados na Tabela 9 demonstraram que os discos provenientes das porções inferiores das peças (posição 1) apresentaram maior penetração de cobre que as intermediárias e superiores (posições 2 e 3, respectivamente). Demonstram, ainda, que não houve diferença significativa entre as médias da posição 2 e posição 3; este comportamento é natural, visto que a base das peças permaneceu em contato com a solução de tratamento.

Tabela 9 – Comparações entre médias dos valores de penetração (mm) em função das situações e posições nas peças

Posições nas Peças	Médias (mm)
1	23,07 a
2	15,57 b
3	11,67 b

Situações	Médias (mm)
Não-invertida (A)	13,52 b
Invertida (B)	20,03 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo testes de Tukey ( $p \geq 0,05$ )

Com relação à situação (invertida e não invertida) houve diferença significativa na penetração do elemento cobre (Tabela 9), em que as peças invertidas apresentaram maior penetração que aquelas não-invertidas. Isto ocorre porque a inversão homogeneizou a penetração do cobre ao longo da peça.

#### 4.2.3. Retenção do CCB nas peças tratadas

Os valores de retenção da solução preservativa na madeira estão apresentados na Tabela 10. A retenção média obtida foi de 10,52 kg de

ingredientes ativos/m<sup>3</sup>, valor este superior ao mínimo recomendado pela P-EB-474 da ABNT (1973), para peças tratadas com produtos hidrossolúveis a serem utilizadas em contato direto com o solo.

Tabela 10 – Retenção do boro, cobre e cromo, para as situações e posições nas peças tratadas

Situação	Peça/Posição	Retenção (kg i.a./m <sup>3</sup> )			
		(Boro)	(Cobre)	(Cromo)	(CCB)
Não-invertida (A)	3.1	0,04	4,56	15,36	0,04
	3.2	0,04	1,82	6,89	0,04
	3.3	0,04	0,94	2,23	0,04
	7.1	0,05	3,76	10,46	0,05
	7.2	0,04	1,45	3,92	0,04
	7.3	0,04	1,42	3,75	0,04
	10.1	0,06	6,66	19,93	0,06
	10.2	0,05	2,80	7,25	0,05
	10.3	0,03	2,12	3,11	0,03
	Invertida (B)	5.1	0,05	2,30	5,25
5.2		0,04	0,89	3,18	0,04
5.3		0,03	2,18	7,17	0,03
6.1		0,05	2,36	13,61	0,05
6.2		0,05	5,31	10,43	0,05
6.3		0,05	2,92	10,58	0,05
9.1		0,05	2,44	6,74	0,05
9.2		0,03	0,79	0,87	0,03
9.3		0,05	3,57	9,53	0,05
Média		0,04	2,68	7,79	10,52

A análise estatística dos dados (Tabela 20) indicou que a posição na peça e a interação entre posição e situação (invertida e não-invertida) foram significativas a 5% de probabilidade. A interação foi desdobrada e analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 11).

Observou-se, ao se analisar o efeito das situações em cada posição na peça (Tabela 11), que, para a situação A, peças não-invertidas, a retenção na posição 1 (50 cm da base das peças) foi superior às obtidas para as posições 2 e 3; por outro lado, para a situação B, em que as peças foram invertidas na solução preservativa, não houve diferença significativa para as posições

analisadas, embora as amostras obtidas da base e topo tenham alcançado uma retenção numericamente superior à do meio da peça.

Tabela 11 – Comparações entre médias dos valores de retenção (kg i.a./m<sup>3</sup>) em função das situações e posições nas peças

Situações	Posições nas Peças		
	1	2	3
Não-invertida (A)	10,95 Ab	7,20 Aa	12,03 Aa
Invertida (B)	20,29 Aa	8,09 Ba	4,56 Bb

As médias seguidas da mesma letra, maiúscula na horizontal, ou minúscula na vertical, não diferem estatisticamente pelo testes de Tukey ( $p \geq 0,05$ )

Com a inversão obteve-se uma distribuição mais homogênea do produto preservativo ao longo da peça, além de um reforço suplementar no topo das mesmas; isto é vantajoso por se prever que peças instaladas no campo tenham o topo deteriorado pela ação de xilófagos, em função da baixa retenção alcançada.

Ao se considerar a posição das peças em cada situação (Tabela 11) nota-se, para a posição 1 (base) que a retenção foi superior nas peças não-invertidas haja vista que a base passou todo o período de tratamento em contato com a solução preservativa, ao contrário das peças invertidas, em que cada extremidade passou uma parte do tempo mergulhada na solução e outra em contato com o ar. Para a posição 2, as situações (invertida ou não-invertida) não causaram efeito significativo; no entanto, para a posição 3 as peças invertidas apresentaram maior retenção que as não-invertidas.

As retenções obtidas, exceto a da posição 3 (próximo ao topo) das peças não-invertidas, foram superiores à mínima recomendada pela norma P-EB-474 da ABNT (1973), a qual estabelece uma retenção mínima de 6,5 kg de ingredientes ativos/m<sup>3</sup> de madeira tratada, para que as peças possam ser utilizadas em contato direto com o solo ou em situações de alto risco de deterioração.

### 4.3. Mobiliário experimental resultante

O mobiliário confeccionado com a madeira tratada de *E. camaldulensis* é apresentado na Figura 28. As peças prismáticas mais grossas foram utilizadas como pernas da mesa de apoio; as demais peças foram usinadas e resultaram em vários sarrafos com espessura média de 1 cm, os quais foram utilizados como travessas horizontais, que unem as pernas, e como cobertura para o tampo (Figura 29).



Figura 28 – Mesa confeccionada com madeira de *E. camaldulensis* tratada



O móvel não apresentou qualquer tipo de acabamento adicional, o que tornou a apresentação da madeira fiel às suas características principais; a coloração variou entre um tom rosa claro e o verde, em função da presença do cerne e da substância preservativa no alburno.

Como a madeira de *Eucalyptus camaldulensis* utilizada na pesquisa foi plantada para a produção de energia, em que não se teve a preocupação com a desrama (poda), verificou-se a presença constante de nós na madeira (Figura 30), o que prejudica esteticamente sua aplicação como mobiliário. Porém, para produção visando à aplicação em arquitetura rural, o que exige maior qualidade da madeira, é necessário que se executem práticas silviculturais, como o desbaste e a desrama em períodos específicos do crescimento da árvore, além da secagem correta da madeira. Esses cuidados minimizam a quantidade de nós, além de evitar empenamentos e rachaduras excessivas, que comprometem a qualidade do produto final.



Figura 29 – Detalhe dos sarrafos que constituem o tampo da mesa



Figura 30 – Detalhe dos nós presentes na madeira

## 5. CONCLUSÕES

Com os dados obtidos nos ensaios físico-mecânicos, foi possível realizar a caracterização simplificada da madeira juvenil do *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e enquadrá-la, segundo a NBR 7190, na classe C 20, sendo esta a classe de menor resistência. Dados de resistência, rigidez e densidade da madeira estudada, são comparáveis aos de algumas espécies de coníferas cultivadas no Brasil.

A madeira juvenil do *Eucalyptus camaldulensis* apresenta baixa resistência e rigidez quando comparada a várias espécies de *Eucalyptus*, não sendo recomendada sua utilização para fins estruturais; no entanto, pode ser utilizada em casos que não exijam grandes esforços, como em cercas, portões, mobília e paisagismo rurais.

O emprego na confecção de móveis rústicos agrega valor ao uso da madeira utilizada basicamente para a produção de carvão vegetal. A utilização da madeira em móveis rústicos pode representar benefícios para a comunidade em que se localiza o reflorestamento, uma vez que passa a representar nova alternativa de maior valor comercial, para utilização da madeira.

A distribuição, penetração e retenção do preservativo "Osmose CCB", ocorreram de forma mais homogênea e eficiente nas peças que foram invertidas, uma vez que a parte superior (topo) recebeu mais solução preservativa em comparação com as peças não-invertidas. A penetração média atingida pelas peças durante o tratamento foi superior à mínima recomendada. As peças não-invertidas comprovaram a maior retenção próxima à base e o topo um valor inferior ao recomendado pela P-EB-474; já nas peças invertidas não houve diferença entre a retenção nas diferentes posições nas peças tratadas.

O tratamento preservativo da madeira é recomendável de vez que aumenta a vida útil das peças, tornando-as menos susceptíveis ao ataque de organismos xilófagos, como cupins, brocas e fungos.

Como a madeira de *Eucalyptus camaldulensis* utilizada no experimento era jovem (lenho juvenil), apresentou alguns problemas em seu desdobro e secagem ao ar, como empenamento e rachaduras excessivas, em função das

tensões de crescimento. Como não se trata de uma madeira plantada com a finalidade específica de se fabricar móveis, o que exige maior qualidade, a mesma apresentou nós em diversos pontos, ao longo do seu comprimento, problema passível de ser resolvido com o desbaste e desrama das árvores em períodos específicos de seu crescimento.

Sugere-se, com base nos resultados, estudar as propriedades e aplicações do *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. com madeira madura, ou seja, com plantios de pelo menos 16 anos, para comparação com o lenho juvenil, estudado neste trabalho.

Aconselha-se, também, a realização de outros ensaios físicos com a madeira, como ensaios de compressão normal, flexão, embutimento e cisalhamento, entre outros, a fim de se realizar a caracterização completa e de se obter resultados mais abrangentes acerca da madeira estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A.; NEPSTAD, N.; McGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M.D.C.V; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2004. 89 p.

ARACRUZ CELULOSE. **Celulose de eucalipto**. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/show\\_prd.do?act=stcNews&menu=true&id=107&lastRoot=16&lang=1](http://www.aracruz.com.br/show_prd.do?act=stcNews&menu=true&id=107&lastRoot=16&lang=1)>. Acesso em: 05 dez. 2007.

ARCANBRIGHT, D.G. Influence of extratives on bending strength of redwood (*Sequoia sempervirens*). **Wood and Fiber**, New York, v.2, n.4, p. 367-372, 1971.

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

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

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

AZEVEDO, M.A. **Estrutura de madeira para cobertura de aviários no Estado da Paraíba**. 1999. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

BACHA, C.J.C.; BARROS, A.L.M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 191-203, 2004.

BACON, P.E.; STONE, C.; BINNS, D.L.; LESLIE, D.J.; EDWARDS, D.W. Relationships between water availability and *Eucalyptus camaldulensis* growth in a riparian forest. **Journal of Hydrology**, v.150, p. 541-561, 1993.

BENINCASA, V. O patrimônio arquitetônico rural em São Paulo, Brasil, 1800-1940. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DO CAFÉ: HISTÓRIA E CULTURA MATERIAL, 1., 2006, Itú. **Anais...** Itú: Museu Republicano/USP, 2006. CD-ROM.

BOLAND, D.J.; BROOKER, M.I.H.; CHIPPENDALE, G M.; HALL, N.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINIG, D.A.; TURNER, J.D. **Forest Trees from Australia**. 5. ed. Melbourne: CSIRO Publishing, 2006. 768 p.

BREN, L.J.; GIBBS, N.L. Relationships between flood frequency, vegetation and topography in a river red gum forest. **Australian Forest Research Journal**, Melbourne, v. 16, p.357-370, 1986.

BROOKER, M.I.H.; CONNORS, J.R.; SLEE, A.V.; DUFFY, S.E. **Eucalypts of southern Australia**. Collingwood: CSIRO Publishing, 2002. CD-ROM.

CALIL JUNIOR, C.; DIAS, A.A. Utilização da madeira em Construções Rurais. **Agriambi**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 71-77, 1997.

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

COMISSÃO MUNDIAL PARA O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. New York: ONU, 1987.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO). ***Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.: River Red Gum**. Disponível em: <<http://www.anbg.gov.au/cpbr/WfHC/Eucalyptus-camaldulensis>>. Acesso em: 25 out. 2007.

CUNNINGHAM, G.M.; MULHAM, W.E.; MILTHORPE, P.E.; LEIGH, J.H. **Plants of Western New South Wales**. Melbourne: Inkata Press, 1993. 768 p.

FARIAS SOBRINHO, D.W. **Viabilidade Técnica e econômica do tratamento preservativo da madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora* Sw D.C.) pelo método de substituição de seiva**. 2003. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

FERRAO, A.M.A. Arquitetura Rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSAO RURAL, 3., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: FEALQ, 2006. CD-ROM.

FERREIRA, L.A. **Consumo de energéticos florestais do setor domiciliar do Estado da Paraíba**. João Pessoa: PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87-007, 1994. 32 p. (Documento de Campo FAO, 19).

FLYNN, B.; SHIELD, E. ***Eucalyptus* progress in higher value utilization: a global review**. Tacoma: Robert Flynn & Associates, 1999. 212 p.

GALVAO, 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**. 1968. 115f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

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

GONÇALVES, D.B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, Maringá, v. 5, n. 51, 2005. Disponível em: < <http://www.espacoacademico.com.br/051/51goncalves.htm> >. Acesso em: 01 fev. 2008.

HELLMEISTER, J.C.; SOUZA, A.F. Determinação de propriedades físicas, de resistência e de elasticidade de dez espécies de madeira do Estado de Roraima. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: LAMEM/EESC/USP, 1992.

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

LEAL JUNIOR, G.; SILVA, J.A.; CAMPELLO, R.C.B. **Proposta de manejo florestal sustentado do sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth)**. Crato: IBAMA/ PNUD/BRAS/93/0033, 1999. 15 p. (Boletim Técnico, 3).

MAGALHAES, W.L.E.; PEREIRA, J.C.D. **Método de substituição de seiva para preservação de mourões**. Colombo: EMBRAPA, 2003. (Comunicado Técnico, 97).

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

OESP CONSTRUÇÃO. **OESP mídia direta**. 13. ed. Curitiba: Editora Alternativa, 1997. p 31-38.

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

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, v.1, 1970. 705 p.



PNUD/FAO/IBAMA/UFPB/GOV. PARAIBA. **Diagnóstico do setor florestal da Paraíba**. João Pessoa: PNUD/FAO/BRA/87-007, 1994. 84 p.

ROCHA, H.L.S. **Caracterização físico-mecânica da madeira de Jurema-preta (*mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) visando seu emprego na indústria madeireira do semi-árido brasileiro**. 2007. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

RODRIGUEZ HERRERA, J. Preservación de maderas por métodos sencillos y de bajo costo. **Ciencia forestal**, Coyacan, v.2, n.8, p.25-449, 1977.

SCAVANACA JUNIOR, L.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, 2004.

SILVA, P.H.M. **Tratamento e secagem da madeira**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), 2005. Disponível em: <[http://www.ipef.br/tecprodutos/tratamento\\_secagem\\_madeira.asp](http://www.ipef.br/tecprodutos/tratamento_secagem_madeira.asp)>. Acesso em: 01 fev. 2008.

SKARR, C. **Wood-water relations**. New York: Springer-Verlag, 1988. 283 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS, 2006. 106 p.

TEREZO, E.F.M. Reflorestamentos em regiões tropicais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 5., 2001, Belém. **Anais...** Belém: ABIMCI/AIMEX/FIEPA, 2001. CD-ROM.

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

WATAI, T. Substituição de espécies de madeiras nativas por madeiras de reflorestamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, v.1, 1990. p. 131-133.

WEHR, J.P.P. **Métodos práticos de tratamento preservativo de moirões roliços de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Bar et Golf.** 1985. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

XAVIER, E.P.L. **Diagnóstico madeireiro de três mesorregiões do Estado da Paraíba.** Campina Grande, 2004. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

# ANEXOS

Tabela 12 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 1

Corpo de prova 1

Carga Estimada $f_{c0,est}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\varepsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0113	2.3924
50%	3000	0,1582	11,9619
50%	3000	0,1571	11,9619
10%	600	0,0113	2.3924
10%	600	0,0185	2.3924
50%	3000	0,1489	11,9619
50%	3000	0,1500	11,9619
10%	600	0,0103	2.3924
10%	600	0,0092	2.3924
20%	1200	0,0565	4.7848
30%	1800	0,0740	7.1772
40%	2400	0,1099	9.5695
50%	3000	0,1448	11,9619
60%	3600	0,1756	14,3543
70%	4200	0,2116	16,7467
Ruptura	6000		23,9239

Tensão	$f_{c0} =$	23,92 MPa
Rigidez	$E_{c0} =$	7058 MPa
Umidade	$U\% =$	14,31 %

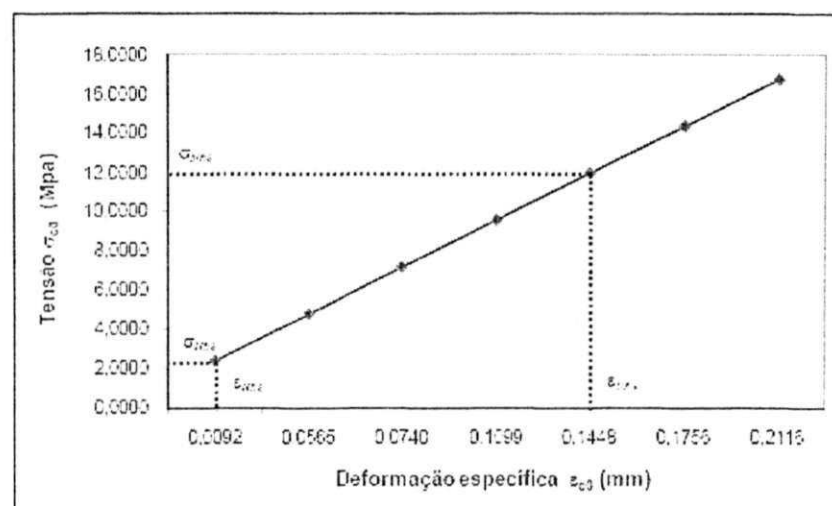


Tabela 13 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 3

Corpo de prova 3

Carga Estimada $f_{c,est}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\epsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0306	2.3902
50%	3000	0,1582	11,9512
50%	3000	0,1602	11,9512
10%	600	0,0122	2.3902
10%	600	0,0112	2.3902
50%	3000	0,1396	11,9512
50%	3000	0,1396	11,9512
10%	600	0,0051	2.3902
10%	600	0,0092	2.3902
20%	1200	0,0316	4.7805
30%	1800	0,0520	7.1707
40%	2400	0,1020	9.5609
50%	3000	0,1306	11,9512
60%	3600	0,1418	14,3414
70%	4200	0,1745	16,7316
Ruptura	6000		23,9023

Tensão	$f_{c0} =$	23.90 MPa
Rigidez	$E_{cs} =$	7874 MPa
Umidade	$U\% =$	13.73 %

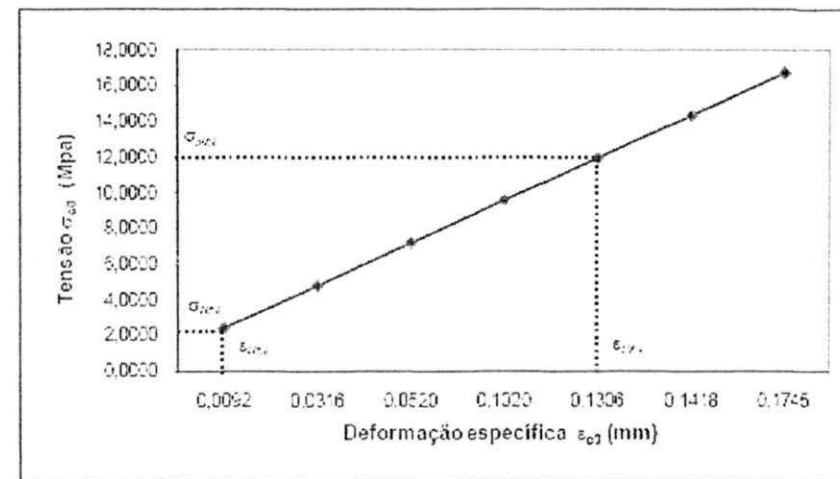


Tabela 14 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 5

Corpo de prova 5

Carga Estimada $f_{c0.05}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\epsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0072	2.2793
50%	3000	0,0994	11,3963
50%	3000	0,1014	11,3963
10%	600	0,0246	2.2793
10%	600	0,0215	2.2793
50%	3000	0,0881	11,3963
50%	3000	0,0932	11,3963
10%	600	0,0205	2.2793
10%	600	0,0174	2.2793
20%	1200	0,0246	4.5585
30%	1800	0,0410	6.8378
40%	2400	0,0615	9.1171
50%	3000	0,0881	11,3963
60%	3600	0,1014	13,6756
70%	4200	0,1096	15,9549
Ruptura	6000		22,7927

Tensão	$f_{c0}$ =	22.79 MPa
Rigidez	$E_{c0}$ =	12896 MPa
Umidade	$U\%$ =	14.41 %

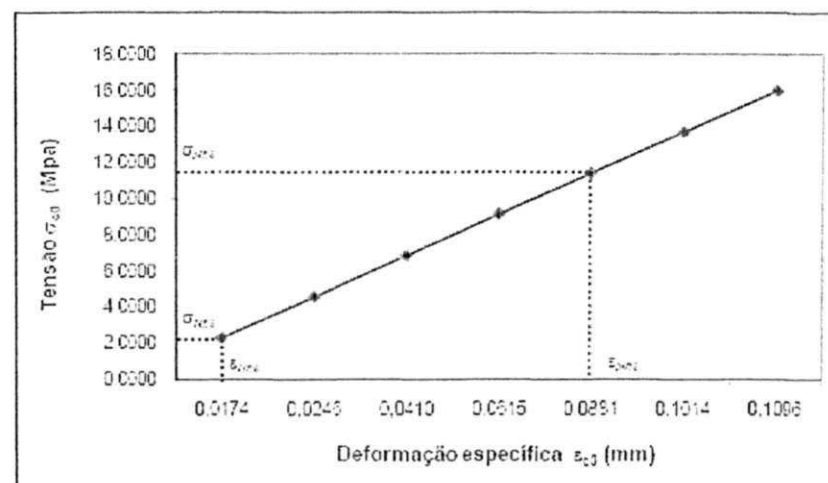


Tabela 15 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 7

Corpo de prova 7

Carga Estimada $f_{c0,28}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\epsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0118	2,3113
50%	3000	0,0728	11,5563
50%	3000	0,0728	11,5563
10%	600	0,0051	2,3113
10%	600	0,0020	2,3113
50%	3000	0,0723	11,5563
50%	3000	0,0723	11,5563
10%	600	0,0015	2,3113
10%	600	0,0000	2,3113
20%	1200	0,0108	4,6225
30%	1800	0,0258	6,9338
40%	2400	0,0508	9,2450
50%	3000	0,0692	11,5563
60%	3600	0,0848	13,8676
70%	4200	0,0959	16,1788
Ruptura	6000		23,1126

Tensão	$f_{c0}$ =	23,11 MPa
Rigidez	$E_{c0}$ =	13360 MPa
Umidade	$U\%$ =	14,95 %

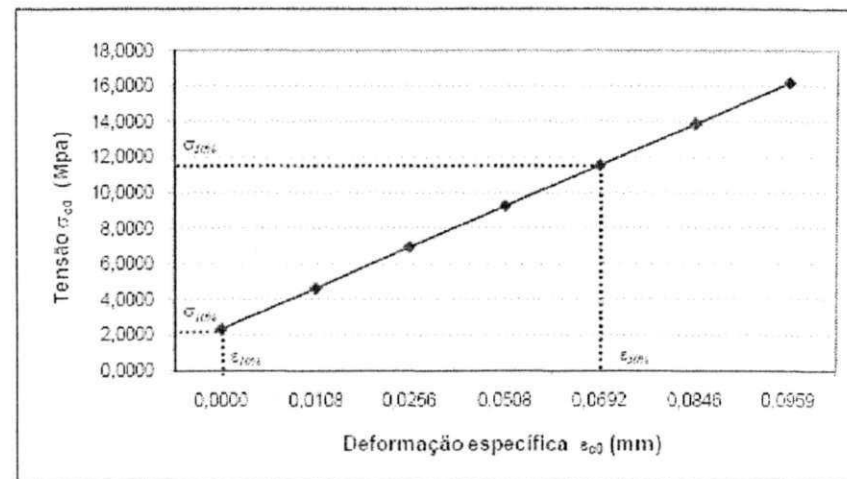
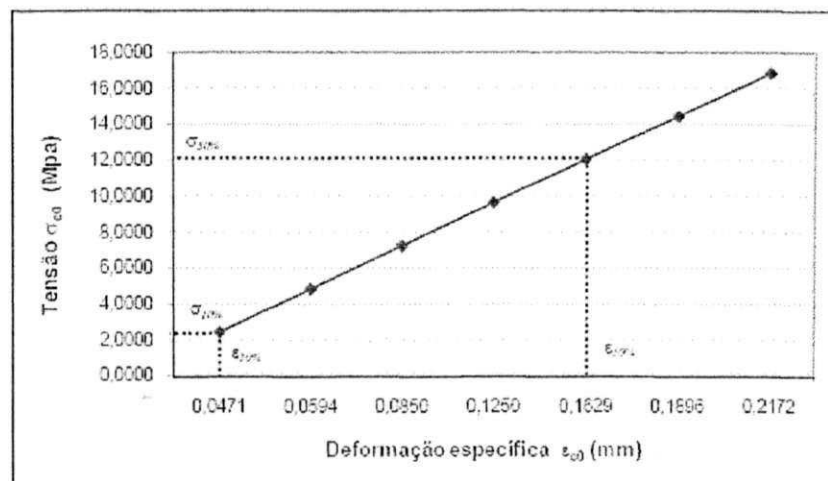


Tabela 16 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 8

Corpo de prova 8

Carga Estimada $f_{c,est}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\epsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0154	2,4069
50%	3000	0,1639	12,0346
50%	3000	0,1639	12,0346
10%	600	0,0523	2,4069
10%	600	0,0512	2,4069
50%	3000	0,1629	12,0346
50%	3000	0,1629	12,0346
10%	600	0,0482	2,4069
10%	600	0,0471	2,4069
20%	1200	0,0594	4,8138
30%	1800	0,0850	7,2207
40%	2400	0,1250	9,6277
50%	3000	0,1629	12,0346
60%	3600	0,1896	14,4415
70%	4200	0,2172	16,8484
Ruptura	6000		24,0692



Tensão	$f_{c0}$ =	24,07 MPa
Rigidez	$E_{c0}$ =	8315 MPa
Umidade	$U\%$ =	14,85 %



Tabela 17 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 9

Corpo de prova 9

Carga Estimada $f_{c0,est}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\varepsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0010	2,2768
50%	3000	0,0636	11,3840
50%	3000	0,0631	11,3840
10%	600	0,0056	2,2768
10%	600	0,0036	2,2768
50%	3000	0,0600	11,3840
50%	3000	0,0605	11,3840
10%	600	0,0021	2,2768
10%	600	<b>0,0021</b>	<b>2,2768</b>
20%	1200	0,0026	4,5536
30%	1800	0,0149	6,8304
40%	2400	0,0359	9,1072
50%	3000	<b>0,0580</b>	<b>11,3840</b>
60%	3600	0,0821	13,6608
70%	4200	0,1020	15,9376
Ruptura	6000		22,7680

Tensão	$f_{c0} =$	22,77 MPa
Rigidez	$E_{c0} =$	16292 MPa
Umidade	$U\% =$	16,06 %

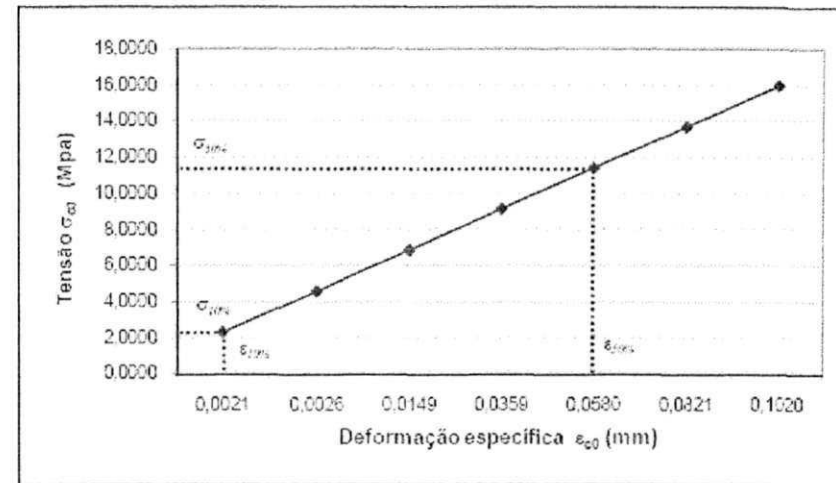


Tabela 18 - Ensaio de compressão paralela para o corpo-de-prova 10

Corpo de prova 10

Carga Estimada $f_{c0,est}$	Carga (Kgf)	Deformação Específica Média $\varepsilon$	Tensão $\sigma$ (MPa)
10%	600	0,0031	2,3144
50%	3000	0,1130	11,5720
50%	3000	0,1140	11,5720
10%	600	0,0493	2,3144
10%	600	0,0493	2,3144
50%	3000	0,1027	11,5720
50%	3000	0,1058	11,5720
10%	600	0,0462	2,3144
10%	600	0,0452	2,3144
20%	1200	0,0452	4,6288
30%	1800	0,0678	6,9432
40%	2400	0,0842	9,2576
60%	3000	0,1027	11,5720
60%	3600	0,1335	13,8864
70%	4200	0,1520	16,2008
Ruptura	6000		23,1439

Tensão	$f_{c0} =$	23,14 MPa
Rigidez	$E_{c0} =$	16095 MPa
Umidade	$U\% =$	14,98 %

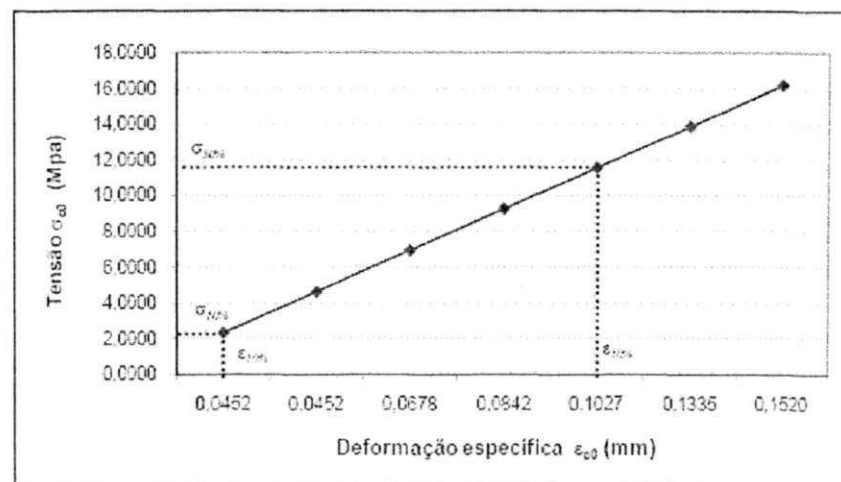


Tabela 19 – Análise estatística da penetração (mm) do cobre nas peças tratadas

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Posição	2	671,40	335,70	10,13**
Inversão	1	318,50	318,50	9,61 **
Pos x Inv	2	141,12	70,56	2,13 <sup>ns</sup>
Tratamentos	5	1131,02	226,20	6,83 **
Resíduos	24	795,40	33,14	
Total	29	1926,42		

\*\* significativo a 1% de probabilidade e <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 20 - Análise de variância para os valores de retenção (kg i.a./m<sup>3</sup>).em função das situações e posições nas peças

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Situação	1	3,84	3,84	0,18 <sup>NS</sup>
Posição	2	235,46	117,73	5,54 *
Sit x Pos	2	211,85	105,93	4,98 *
Resíduo	12	255,05	21,25	4,24 *
Total	17	706,20		

\* Significativo a 5% ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); <sup>NS</sup> não significativo a 5% ( $p > 0,05$ ) pelo teste de F.