

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARICÁ E SEU USO EM
ESTRUTURAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO

Florianópolis, março de 2010

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARICÁ E SEU USO
EM ESTRUTURAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs (Orientador)

Prof^ª. Dra. Janaíde Cavalcante Rocha (Coordenadora do Curso)

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^ª. Dra. Ângela do Valle (UFSC)

Prof^ª. Dra. Poliana Dias de Moraes (UFSC)

Prof^ª. Dr. Narbal Ataliba Marcellino (UFSC)

Prof^ª. Dra. Raquel Gonçalves (Unicamp)

Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo (Unicamp)

“A lógica das plantações florestais é tão forte e óbvia que elas, indubitavelmente, desempenham e desempenharão importante papel no alcance da sustentabilidade global. A verdadeira questão é quantos danos a mais serão provocados às florestas naturais até que as contribuições essenciais das plantações florestais sejam plenamente reconhecidas”.

Fenning, Trevor e Gerhenson, J.
Instituto Max Planck.

Dedico esta obra
à DEUS, pela força, saúde e
condução;
ao meu filho Rafael e à minha esposa
Fabíola pelo companheirismo;
aos meus pais Evaristo e Izabel, pelo
apoio e carinho;
à minha irmã Cristina, pelo zelo à
família.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao mestre Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs que com grande estima e sabedoria me orientou de forma incansável durante todas as etapas da pesquisa.

Agradeço ainda aos engenheiros florestais Roberto Takeda e Evaristo Terezo pelo inestimável apoio e incentivo durante a coleta e beneficiamento das árvores; à empresa Tramontina Belém S/A pela doação das árvores de 6 e 10 anos de idade e secagem dessas madeiras provenientes de seu plantio de Aurora do Pará/PA; à equipe de derrubada de árvores e ao técnico agrícola Sr. Guilherme Augusto Neves e ao Sr. Aarão dos Anjos Neves pela ajuda solidária; ao Sr. Manoel Duarte que gentilmente cedeu sua serraria e funcionários para o desdobro dessas árvores sem custos; à empresa EBATA Produtos Florestais Ltda, Sr. Leônidas de Souza, pelo beneficiamento gratuito dessas madeiras; à empresa transportadora Bento-Belém pelo transporte gratuito dos lotes de 6 e 10 anos de Belém/PA para Florianópolis/SC; ao Sr. João Francisco de Deus Neto pela doação das árvores de 19 e 28 anos de idade provenientes de seu plantio particular em Tomé-Açu/PA; à empresa Arca Madeireira Ltda, Srs. José Tadeu e Vailton Machado, pelo desdobro e imunização gratuito dessas madeiras; à empresa Dalmaso Ltda, Sr. Aderval José Dalmaso de Paragominas/PA, que interrompeu sua produção por dois dias para efetuar o beneficiamento e secagem dessas madeiras de forma gratuita; ao Prof^o João de Deus Medeiros pela orientação durante a produção e análise das lâminas com amostras do tecido lenhoso do paricá; à empresa Esmara, Sr. Andreas, pelo apoio na produção de elementos com emendas dentadas de paricá sem custos; à empresa Refloreste, Sr. Rui e Sra Débora, pelo apoio na produção das vigas de madeira laminada colada de paricá também sem custos; à empresa Hexon do Brasil pela doação dos adesivos empregados nesta pesquisa; ao Sr. Raphael Pigozzo, do IPT, pelo auxílio na determinação das dimensões das fibras da madeira de paricá; ao Sr. Gonzalo, também do IPT, pela condução dos teste de resistência ao ataque de cupins; à bolsista e parceira Luciane Derner que se dedicou entusiasticamente durante os ensaios experimentais; aos amigos Gustavo Lacerda, Joana Velloso, Pedro Britto e David da Rosa pelo coleguismo e conselhos; aos bolsistas e colaboradores do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira – GIEM, pela ajuda incondicional; e ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Contextualização do problema	4
1.2.	Justificativa.....	5
1.3.	Objetivos	6
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1.	Situação das florestas no mundo	7
2.2.	Florestas plantadas no mundo	7
2.3.	O paricá.....	12
2.4.	Relações entre estrutura anatômica e propriedades físico-mecânicas	20
2.5.	Propriedades físicas e mecânicas.....	21
2.6.	Variabilidade das propriedades da madeira em relação à idade.....	23
2.7.	Classificação de madeiras.....	25
2.8.	Durabilidade da madeira	29
2.9.	Resistência ao fogo.....	32
2.10.	Madeira laminada colada.....	33
2.11.	Ultrassom.	39
2.12.	Considerações	41
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1.	Amostragem no plantio de aurora do pará	43
3.2.	Amostragem no plantio de tomé-açu	53
3.3.	Caracterização por testes não destrutivos.	61
3.4.	Características do lenho	65
3.5.	Resistência ao ataque de cupins de madeira seca.....	70
3.6.	Caracterização física e mecânica	73
3.7.	Caracterização das vigas em mlc.....	78
4.	TRATAMENTO DOS DADOS.....	85
4.1.	Tratamento estatístico 1 – amostragem simples ao acaso	85
4.2.	Tratamento estatístico 2 – kolmogorov-smirnov	86
4.3.	Tratamento estatístico 3 – mann-whitney	88
4.4.	Tratamento estatístico 4 – weibull	90
4.5.	Tratamento estatístico 5 – correlações	93
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
5.1.	Amostragem	95
5.2.	Caracterização do lenho	98
5.3.	Resistência ao ataque de cupins de madeira seca.....	105
5.4.	Caracterização física e mecânica.....	106
5.5.	Caracterização por testes não destrutivos.	113
5.6.	Caracterização das vigas em mlc.....	117

6.	CONCLUSÕES FINAIS.....	123
6.1.	Conclusões e recomendações.....	123
6.2.	Pesquisas futuras.....	127
7.	BIBLIOGRAFIA	129
8.	ANEXOS	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Floresta plantada pela Tramontina no Estado do Pará (paricá com 1,5 anos, consorciado com mogno).	2
Figura 2 - Desbaste com 8 anos de idade para laminação.....	3
Figura 3 - Seção transversal do lenho de paricá nativo. Adaptado de Coradin et al. (1991).....	17
Figura 4 – Emenda por entalhes múltiplos: b – espessura da extremidade de um dente; g – largura total da emenda; l – comprimento dos entalhes; s – folga do fundo da emenda; t – passo dos dentes; e α – inclinação da fase do dente. Adaptado de Szücs (1992).....	36
Figura 5 - (a) medição do diâmetro - DAP, (b) derrubada e (c) medição do comprimento.....	44
Figura 6 - Cortes das toras em toretes de 2,5 m de comprimento.	46
Figura 7 - Transporte dos toretes até o trator.	46
Figura 8 - Carregamento das amostras no reboque do trator.	47
Figura 9 - (a) Toretos codificados e armazenados conforme idade e (b) toretes codificados sendo transportados para desdobro.	47
Figura 10 - (a) serragem dos toretes em serra fita com carro e (b) torete esquadrejado.	48
Figura 11 - Esquema de armazenagem das pranchas de paricá dos plantios 1998 e 1995.	49
Figura 12 - Armazenamento das pranchas de paricá de 6 e 10 anos aptas à secagem em estufa.	50
Figura 13 – Secagem da madeira: (a) determinação do teor de umidade com higrômetro resistivo portátil e (b) higrômetro resistivo do sistema controlador da estufa.....	51
Figura 14 - Esquema de armazenamento das peças de paricá.....	52
Figura 15 - Peças desclassificadas devido aos defeitos e ao pouco aproveitamento.	53
Figura 16 - (a) Porte da árvore com 28 anos, (b) marcação das amostras, e (c) detalhe do tronco com apodrecimento interno.	54
Figura 17 - Derrubada da primeira árvore de paricá com 30 anos.	55
Figura 18 - (a) Retirada dos galhos para enlace da tora, e (b) carregamento das toras no caminhão.	56
Figura 19 – Processamento da madeira: (a) corte da tora em toretes e; (b) torete sendo serrado em pranchas.	57
Figura 20 – Imunização das pranchas de paricá das árvores de 19 e 28 anos. ...	57
Figura 21 – (a) Empilhamento com tabiques mais grossos e (b) lotes prontos para secagem.....	58
Figura 22 – (a) Empilhamento na secadora e (b) lotes posicionados no meio da secadora.	59
Figura 23 – (a) Peças desengrossadas sendo aplainadas nas 4 faces e (b) plaina S4S em funcionamento.	60

Figura 24 – (a) Topos das peças sendo retirados e (b) marcação das peças e registro das dimensões.....	60
Figura 25 – (a) Aspecto final das peças após aplainamento e (b) peças sendo embaladas para transporte.	60
Figura 26 – Leitura da propagação de onda ultrassônica com equipamento Sylvatest®.	62
Figura 27 – Esquema do posicionamento dos transdutores emissores e receptores de ultrassom.	63
Figura 28 - (a) Aparência típica do lenho e (b) medição do diâmetro do disco.	65
Figura 29 - Posição dos corpos de prova em relação ao disco de madeira.	66
Figura 30 - Esquema de preparação de lâminas com cortes de madeira de paricá.	66
Figura 31 - Esquema de amostragem dos corpos de prova para determinação do comprimento de fibra e espessura do lume.....	68
Figura 32 – Corpos de prova para a caracterização anatômica.	70
Figura 33 – Amostras para a determinação da resistência ao ataque de cupins de madeira seca.	71
Figura 34 – Sistema de forças e dimensões do corpo de prova do teste de cisalhamento da NBR-7190/97.....	73
Figura 35 - Sistema de forças e dimensões do corpo de prova para o teste de cisalhamento adaptado.....	74
Figura 36 - Modos de ruptura não desejada em corpos de prova de cisalhamento adaptados da NF B 5-32.	74
Figura 37 - Desenho esquemático para retirada de corpos de prova de peças de 6 cm x 6 cm x 250 cm: Flex-Flexão; TP-Tração Paralela; Cis-Cisalhamento; CP-Compressão Paralela; TN-Tração Normal; Den-Densidade.	75
Figura 38 - Máquina Universal de Ensaios Kratos®: (a) ensaio de cisalhamento; e (b) detalhe do corpo de prova de cisalhamento.....	76
Figura 39 - Máquina Universal de Ensaios Mohr & Federhaff®: (a) ensaio de compressão paralela; e (b) em detalhe, transdutores de deslocamento acoplados e célula da carga embaixo do corpo de prova.	77
Figura 40 – Montagem das vigas em MLC: (a) aplicação da cola e (b) posicionamento das lâminas.	80
Figura 41 – Prensagem das vigas em MLC: (a) pressão manual e (b) disposição das vigas na prensa.	80
Figura 42 – Aplainamento das vigas em MLC: (a) plaina de uma face e (b) aspecto final das vigas.	80
Figura 43 - Desenho esquemático do sistema de teste de flexão a quatro pontos para as vigas MLC.....	81
Figura 44 – Teste de flexão das vigas MLC: (a) esquema de ensaio a quatro pontos; (b) e posicionamento dos transdutores de deslocamento entre os pontos de aplicação de carga.	82

Figura 45 - Desenho esquemático da posição de retirada dos corpos de prova (CP) de cisalhamento e tração normal (TN).	83
Figura 46 – Corpos de prova de tração normal à linha de cola e de cisalhamento paralelo à linha de cola.	83
Figura 47 – Testes de resistência da linha de cola (a) teste de cisalhamento e (b) teste de tração normal.	84
Figura 48 - Distribuição Normal e de Weibull para um conjunto de dados hipotético. Adaptado de Bodig e Jayne, 1993.	92
Figura 49 - (a) Ataque de brocas próximo à casca e (b) broca em ação.	98
Figura 50 - (a) Disposição dos elementos de vaso e raios – 5X, (b) composição celular dos raios e (c) arranjo das pontuações nos elementos de vaso – 10X (10 anos).	99
Figura 51 - Zona de transição entre alburno e cerne – 10 anos.	100
Figura 52 - (a) Disposição dos elementos de vaso e raios – 5X, (b) composição celular dos raios e (c) arranjo das pontuações nos elementos de vaso – 10X.	101
Figura 53 - Zona de transição entre alburno e cerne – 28 anos.	101
Figura 54 – (a) Parênquima do paricá aos 10 anos e (b) parênquima do paricá aos 29 anos – 10X.	102
Figura 55 – (a) e (b) Exemplo de fibras com 10 anos para determinação do comprimento; (c) e (d) em detalhe para determinação do diâmetro. Autor: Raphael Pigozzo.	104
Figura 56 - Valores de resistência de compressão paralela às fibras.	108
Figura 57 - Valores de módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras.	109
Figura 58 - Valores de resistência à tração paralela às fibras.	109
Figura 59 - Valores de resistência à tração normal às fibras.	110
Figura 60 - Valores de resistência de cisalhamento.	110
Figura 61 - Gráfico de correlação entre densidade e velocidade de propagação em na madeira saturada.	116
Figura 62 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de cisalhamento: (a) adesivo RS 216-M e (b) adesivo EPI EL-70.	120
Figura 63 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de tração normal às fibras: (a) cola RS 216-M e (b) cola EPI EL-70.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países com maior área em florestas plantadas em 2005 (1.000 ha). Adaptado de FAO, 2007.	8
Tabela 2 - Fluxo de produtos de floresta nativa da Região Amazônica. Adaptado de Terezo e De Oliveira (2002).	9
Tabela 3 - Espaçamento do paricá em diferentes sistemas de plantio avaliado por instituições de pesquisa da Região Norte.	14
Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas do gênero <i>Schizolobium</i>	19
Tabela 5 - Classes de resistência das coníferas. Adaptada da NBR-7190/97....	27
Tabela 6 - Classes de resistência das dicotiledôneas, Adaptada da NBR- 7190/97.	27
Tabela 7 - Correlações entre classes de resistência da norma sul-africana com diferentes normas técnicas. Adaptada de Crickmay and Associates, 2006.	29
Tabela 8 - Volume bruto em m ³ de madeira em tora do Plantio de 1995.....	45
Tabela 9 - Volume bruto em m ³ de madeira em tora do Plantio de 1998.....	45
Tabela 10 - Volume de madeira após a serragem.	49
Tabela 11 - Faixas de classificação baseada nas Classes de Velocidade na peça estrutural saturada (Vvsat). Adaptado da NBR - 15.521/2007.....	64
Tabela 12 – Contagem dos anéis de crescimento das árvores de Tomé-Açu....	67
Tabela 13 - Códigos dos corpos de prova para caracterização anatômica.	69
Tabela 14 – Denominação dos níveis (amostras) para a determinação da resistência.	72
Tabela 15 - Médias do volume de madeira de cada amostra do plantio de 1995 e seus erros de amostragem.	95
Tabela 16 - Médias do volume de madeira de cada amostra do plantio de 1998 e seus erros de amostragem.	96
Tabela 17 - Volume em m ³ de madeira em tora de árvores de 19 anos.	97
Tabela 18 - Volume em m ³ de madeira em tora de árvores de 28 anos.	97
Tabela 19 - Valores de diâmetro e área de cerne e alborno.	98
Tabela 20 – Determinação das dimensões das fibras para cada idade.	103
Tabela 21 - Comparação entre as médias das dimensões anatômicas das fibras.	104
Tabela 22 – Comparação entre os resultados de alborno, cerne, cerne tratado de paricá e testemuho.	106
Tabela 23 - Valores de propriedades físicas e mecânicas do paricá em diferentes idades.....	107
Tabela 24 - Comparação entre médias das propriedades do paricá em diferentes idades.....	111
Tabela 25 - Comparação entre médias do módulo de elasticidade do paricá em diferentes idades.	112
Tabela 26 - Valores médios da velocidade de propagação da onda ultrasônica e classes de resistência dos lotes de paricá conforme NBR-15.521/07....	113

Tabela 27 - Valores da constante empregada na determinação da V_{LLsat} para a madeira de paricá.....	114
Tabela 28 - Correlações entre V_{LL} saturada e as propriedades do paricá em todas as idades.	115
Tabela 29 - Propriedades de resistência à flexão das vigas em MLC de paricá.	118
Tabela 30 - Resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola.	119
Tabela 31 - Resistência característica à tração normal à linha de cola.	119
Tabela 32 - Valores dos testes estatísticos para as propriedades das vigas MLC de paricá.	120
Tabela 33 - Valores dos testes estatísticos para a resistência à tração normal e ao cisalhamento na linha de cola.	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABPM – Associação Brasileira de Produtores de Madeira.
AITC – “American Institute of Timber Constructors”.
ANOVA – “Analysis of Variance”.
ASTM – “American Society for Testing and Materials”.
AWPA – “American Wood Protection Association”.
CCB – Centro de Ciências Biológicas.
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
COHAB/SC – Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina.
COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas.
CP’s – Corpos de prova.
DAP – Diâmetro à Altura do Peito.
DIN – “Deutsches Institut für Normung”.
EPI – Emulsão Polimérica de Isocianato.
FAO – “Food and Agriculture Organization”.
FISET – Fundo de Investimento Setorial.
GEE – Gases de Efeito Estufa.
GIEM – Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira.
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal.
INP – Instituto Nacional do Pinho.
IPCC – “Intergovernmental Panel on Climate Change”.
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
ISO – International Standardization Organization.
LEE – Laboratório de Experimentação em Estruturas.
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.
MLC – Madeira Laminada Colada.
MLCM – Madeira Laminada Colada Multidirecional.
MOE – Módulo de Elasticidade.
MOR – Módulo de Ruptura.
MQG – Média Quadrada do Grupo.
MQR – Média Quadrada dos Resíduos.
MSR – “Machine Stress Rating”.
NBR – Norma Brasileira.
OIMT – Organização Internacional de Madeiras Tropicais.
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

SABS – “South Africa Bureau of Standards”.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura.

SQG – Soma dos Quadrados do Grupo.

SQR – Soma dos Quadrados dos Resíduos.

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

RESUMO

A Floresta Amazônica é uma das maiores fornecedoras de madeira nativa tropical no mercado mundial. No entanto, tendo em vista um novo cenário comercial e ambiental que vem sendo delineando para o planeta, assim como, pelas pressões mundiais visando à preservação da Floresta Amazônica, a floresta plantada com espécies nativas de rápido crescimento na região norte do Brasil, vem se mostrando uma alternativa economicamente viável. Dentre as diversas espécies, o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) encontra-se entre as pioneiras. Neste trabalho, foram analisadas as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas desta madeira proveniente de floresta plantada e, também, a sua resistência ao ataque de cupins de madeira seca. Foram avaliadas as possibilidades de uso do ultrassom como ferramenta de classificação mecânica para essa espécie, bem como o emprego dessa madeira em vigas de madeira laminada colada. O material de pesquisa foi obtido de árvores com idades de crescimento de 6, 10, 19 e 28 anos, oriundas do Estado do Pará. O estudo da anatomia revelou que as dimensões das fibras da madeira se estabilizam em torno dos 10 anos de idade. Os ensaios de caracterização física e mecânica resultaram na determinação dessa madeira como pertencente à classe C-20 de resistência para todas as idades estudadas e densidade média de 311 kg/m³. O paricá demonstrou-se altamente suscetível ao ataque de cupins de madeira seca. A classificação por ultrassom apresentou igualdade de classes entre as idades, com valor médio de resistência à compressão paralela às fibras de 30 MPa. Sugere-se uma alteração na constante da equação de determinação da velocidade de propagação para que os valores dessa espécie sejam mais próximos ao da classificação destrutiva. Os resultados dos ensaios de flexão de vigas de madeira laminada colada de paricá revelam uma resistência característica à tensão longitudinal de 33 MPa e módulo de elasticidade médio de ruptura de 16.697 MPa. Com base nesses resultados, que atendem aos atuais requisitos normativos brasileiros, indica-se o uso da madeira de paricá em elementos estruturais e em vigas de madeira laminada colada. Procura-se com esta pesquisa estimular o uso desta espécie em outros produtos para a construção civil, agregando valor a esta matéria prima e, também, contribuir para reduzir a pressão de exploração da floresta nativa na região amazônica.

ABSTRACT

The Amazon forest is one of the largest suppliers of tropical native timber to the world market. However, considering a new trade and environment scenario that has been delineated for planet, as well as the worldwide pressures in order to preserve the Amazon rainforest, the forest planted with native species of rapid growth in northern Brazil, have proving a viable economical alternative. Among the many species, the paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) is one between the pioneers. In this study, it was analyzed the anatomical, physical and mechanical properties of this timber from planted forests, and also their resistance to attack by dry wood termites. It's evaluated the potential use of ultrasound as a tool for mechanical grading for this species and the use of this wood in glued laminated timber beams. The research material was obtained from trees with growth age of 6, 10, 19 and 28 years from the Pará State. The anatomical study revealed that the dimensions of the wood fibers are stabilized around 10 years of age. The physical and mechanical tests were resulted in the determination of wood as belonging to class C-20 resistance to all ages studied and average density of 311 kg/m³. However, the attack by dry wood termites on paricá shows to be highly susceptible. The classification by ultrasound showed equal classes between the ages, with the compression strength parallel to the fibers an average value of 30 MPa. It is suggested to modify the constant of the equation that determine the wave speed propagation in order to approach values from destructive classification. The bending tests results from glued laminated paricá timber beams shows a characteristic resistance to longitudinal tension of 33 MPa and the average rupture modules of elasticity of 16.697 MPa. Based on this results, which are in according to Brazilian regulatory requirements, indicates the use of paricá timber on structural elements and for glued laminated timber beams. Search in this research to stimulate the use of this species in others products for the building industry, adding value to this raw material and also to help for reduce the exploitation of native forests in the Amazon region.

1. INTRODUÇÃO

A ocupação da região norte do Brasil, através de políticas que visavam assegurar a soberania nacional, motivou a construção de estradas estratégicas que tornaram as áreas florestais acessíveis economicamente, o que deu origem ao crescimento da exploração que hoje é responsável por mais de 80% da produção total do país em toras oriundas de matas nativas.

A Amazônia é, atualmente, o maior pólo exportador de madeira serrada no Brasil. Em 2008, face à queda das exportações devido aos problemas econômicos internacionais, a região foi responsável por 35,2% do valor obtido pelo país com as exportações de produtos madeireiros. Só no Estado do Pará, o setor florestal gerou uma renda em torno de R\$ 631 milhões, ou aproximadamente, 5,9% da renda bruta total do setor primário. A exportação de produtos florestais madeireiros do Estado do Pará representou 14,1% do valor total das exportações brasileiras de madeira e 65,0% da região amazônica (AIMEX-Circular nº011/09, 2009).

A maior característica da exploração florestal na Amazônia é a vinculação da produção de madeira à evolução da fronteira agropecuária. Isto não acontecia, anteriormente, há cerca de cinquenta anos quando a norma era “ocupar para não entregar”. Durante a década de 1960 e início da década de 1970, muitas florestas foram simplesmente queimadas sem qualquer utilização da madeira. Atualmente, a extração seletiva é o primeiro passo dentro de uma nova realidade. Isto conduz ao uso temporário das terras que, sem o devido manejo do solo, causa seu empobrecimento, resultando em áreas degradadas.

Assim, o esmagador volume de matéria prima na Amazônia é retirado da mata nativa através de cortes seletivos realizados, nem sempre, com baixa intensidade de exploração por hectare. Efetua-se uma exploração extrativista que, na ausência de qualquer programa de reposição dos recursos florestais, não deixa de provocar um empobrecimento econômico da mata assistindo-se, muitas vezes, ao desaparecimento das espécies de grande valor comercial nas áreas afetadas por este tipo de exploração (DUBOIS, 1972).

Apesar de na Amazônia ainda não existir a tradição de plantios de espécies nativas, as florestas plantadas¹ vem ganhando espaço, sendo

¹ Para Scarpinella (2002), são assim conhecidas as florestas que recebem a intervenção do homem no seu plantio e que geralmente tem finalidade de aproveitamento posterior na forma

uma das soluções alternativas para a recuperação econômica de áreas degradadas, com espécies de rápido crescimento. Esta atividade vem se apresentando como uma excelente alternativa de produção e comercialização de madeira nos últimos vinte anos, na região Amazônica.

Diversas espécies estão sendo plantadas em regime de consórcio (Figura 1) e de povoamento puro, sendo as principais: mogno, ipê, jatobá, cedro, sumaumeira, freijó e paricá.



Figura 1 - Floresta plantada pela Tramontina no Estado do Pará (paricá com 1,5 anos, consorciado com mogno).

Na região amazônica, os desbastes a que são submetidos os povoamentos artificiais geram uma biomassa que não tem, atualmente, uma destinação nobre devido à inexistência de fábricas de celulose, cavacos e produtos acabados próximos à maioria das áreas de plantio.

Há fábricas de compensados e laminados que possuem plantios próprios e estão localizadas em áreas onde a infra-estrutura criada pelas mesmas facilita o escoamento para o mercado externo. É o caso das indústrias localizadas na Bahia, Minas Gerais, São Paulo e região sul do

de lenha, madeira serrada, celulose, papel, carvão vegetal, entre outras. Já o conceito de reflorestamento, segundo Scarpinella (2002), é a recomposição de uma área já degradada com espécies florestais. O reflorestamento pode ser misto ou homogêneo, com espécies exóticas ou nativas e sem fins comerciais.

país. Desta forma, o destino da maioria dos desbastes das florestas plantadas na região amazônica é para o setor de carvão. Uma exceção é feita ao paricá em desbastes aos 8 anos de idade, que é utilizado por indústrias produtoras de laminados, compensados, aglomerados e painéis. Sua laminação dá-se a partir de 13 cm de diâmetro (Figura 2). Devendo-se tal prática à tecnologia de processamento mecânico desenvolvida para madeiras de florestas plantadas.



Figura 2 - Desbaste com 8 anos de idade para laminação.

Torna-se, então, de grande importância conhecer o desempenho destas espécies em regime de plantios florestais, visando à diminuição de perdas, ao melhoramento genético e ao manejo florestal, criando-se condições para o desenvolvimento de novos produtos nos quais se utilizem desbastes silviculturais.

1.1. Contextualização do problema

Até bem recentemente, as madeiras de paricá comercializadas eram provenientes de árvores centenárias extraídas da mata nativa. No entanto, uma nova realidade se apresenta com o plantio de florestas, que para serem comercialmente viáveis, é preciso explorá-la em diferentes idades (desbastes) e as madeiras dessas novas árvores, provavelmente, não apresentam as mesmas características de tecido lenhoso, de propriedades de comportamento físico e mecânico daquelas já conhecidas árvores nativas. Logo, um novo estudo faz-se necessário visando o emprego dessas madeiras. Isto porque o plantio de espécies nativas, de rápido crescimento na região amazônica, tem sido utilizado como uma alternativa pelo setor madeireiro para buscar uma maior produtividade de madeira, bem como diminuir pressões ambientalistas e não perder o mercado centenário de exportação de madeira tropical brasileira. Diante de tal cenário, problemas fundamentais sobre o emprego alternativo, que não seja o carvão e a lenha, para as madeiras de desbaste destas florestas plantadas emergem com as seguintes perguntas: (1) quais são as características anatômicas que a espécie paricá assume em diferentes idades? (2) quais são suas propriedades físicas e mecânicas em tais idades? (3) é possível a sua aplicação em vigas de madeira laminada colada?

A pesquisa desenvolvida demonstra a aplicação da madeira de paricá em produtos alternativos como vigas laminadas coladas para uso estrutural. Por meio dos resultados dos estudos de anatomia, das propriedades físicas e mecânicas, esta espécie será sugerida como matéria prima para a fabricação desse produto.

1.2. Justificativa

Atualmente, o volume de emissão de gases tem sido maior do que aquele que o planeta Terra pode suportar em seus ciclos naturais. Pesquisas desenvolvidas por cientistas de todo o mundo, como o “Intergovernmental Panel on Climate Change” – IPCC, têm demonstrado que o acúmulo desses gases traz conseqüências danosas ao meio ambiente e ao homem (Scarpinella, 2002).

Desde a Revolução Industrial, houve um salto na concentração do dióxido de carbono na atmosfera. Entre 1850 e 1998, foram liberados para a atmosfera aproximadamente 405±60 Gt de carbono, sendo 67% provenientes da queima de combustíveis fósseis e 33% provenientes de terras agriculturadas ou modificadas pelo homem. Isso significou um acréscimo de 28% de dióxido de carbono na atmosfera (IPCC, 2000).

A partir da década de 1980, houve um aumento significativo de discussões relacionadas às mudanças climáticas. Essas discussões levaram à criação de alguns tratados. Dentre vários tratados lançados, merece destaque o Protocolo de Quioto (de 1997) cujo objetivo é convocar todos os países do mundo, em especial os desenvolvidos, a reduzirem a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), sobretudo o dióxido de carbono.

Uma das maneiras de se controlar as emissões de GEE é através da comercialização de créditos de carbono. Sua comercialização se dá na forma de certificados de redução de emissões provenientes de projetos desenvolvidos sobre a regulamentação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL.

Neste cenário, o Brasil, com sua vocação florestal, pode ser inserido no mercado de créditos ambientais através de suas florestas plantadas. Isto garante uma nova fonte de renda aos agricultores do setor florestal.

O potencial mínimo de geração de madeira de uma floresta plantada é 20 vezes maior do que de uma floresta nativa. A floresta nativa se recupera à base de 1 m³/ha/ano, enquanto que uma floresta plantada pode oferecer, no mínimo, 20 m³/ha/ano. Isto significa que cada hectare plantado garante a proteção de 20 hectares de mata nativa. Desta forma e diante das pressões nacionais e internacionais para a preservação da floresta amazônica, a floresta plantada torna-se uma solução ambientalmente e economicamente viável. Assim, podem-se conservar faunas e floras brasileiras para que futuras gerações possam delas desfrutar. Além disto, esta atividade consegue fixar o homem ao campo, empregando mão-de-obra pouco qualificada. (TEREZO et al., 2006).

A utilização do paricá para madeira serrada é uma contribuição dos projetos de florestas plantadas ao meio ambiente, onde o produto final tem um emprego mais nobre, ao ser usado pelo setor da construção civil ou moveleira. O carbono ficará retido na madeira por um período maior de tempo, se comparado ao produto final destinado a setores de celulose e papel. No caso do setor de carvão vegetal, o tempo de seqüestro é ainda menor, pois este carvão logo será queimado devolvendo à atmosfera o carbono antes capturado.

Portanto, conhecer melhor as propriedades da madeira de paricá oriunda de florestas plantadas e sua possível aptidão para novos produtos do setor da construção civil é uma necessidade. Sendo possível a sua transformação num bem durável, neste trabalho sob a forma de vigas em madeira laminada colada (MLC), a pesquisa ganha importância concreta para a melhoria do meio ambiente, da economia regional e da difusão de conhecimentos tecnológicos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Avaliar a possibilidade de emprego de madeiras de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) oriundas de plantios do estado do Pará, com diferentes idades de crescimento, para aplicação no setor da construção civil em vigas de madeira laminada colada.

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Determinar as dimensões das fibras constituintes do lenho, em diferentes idades;
- b) Determinar a resistência dessa espécie ao ataque de cupins de madeira seca;
- c) Determinar as características físicas e mecânicas do paricá, em diferentes idades;
- d) Fazer uma análise múltipla entre médias nas diferentes idades através dos resultados dos testes mecânicos;
- e) Realizar testes não destrutivos e correlacionar estes resultados com os dos testes destrutivos (estáticos);
- f) Avaliar o desempenho do ultrassom para estimar as propriedades físicas e mecânicas da espécie;
- g) Elaborar e avaliar o potencial da espécie sob a forma de vigas estruturais de MLC;
- h) Determinar os valores de propriedades mecânicas das linhas de cola.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Situação das florestas no mundo

A área de florestas existentes nos diversos países em 2007, incluindo-se as florestas naturais e as plantadas, foi estimada em 4 bilhões de hectares. Ou seja, 30% da área do planeta. Essas florestas estão distribuídas em 229 países, sendo que em 43 países, as florestas cobrem cerca de 50% de seu território e 64 países possuem menos que 10% de áreas florestais. Quatro países (República Federativa da Rússia, Brasil, Canadá e Estados Unidos da América) juntos concentram mais da metade das áreas florestais do mundo (FAO, 2007).

O desmatamento ainda possui índices alarmantes, nos quais são computadas perdas de 13 milhões de hectares a cada ano. Ao mesmo tempo, a expansão dos remanescentes florestais naturais e de plantações comerciais diminuiu nessas áreas já devastadas. Entre 1990 e 2005, cerca de 3% do total de áreas florestais foram perdidas em 15 anos. O planeta perde 7,3 milhões de hectares por ano de mata nativa, ou seja, 20.000 hectares por dia (FAO, 2007).

No mesmo sentido, a captura de carbono pela biomassa florestal diminuiu em 5,5% entre os anos de 1990 e 2005. Somente os países da Europa e Estados Unidos da América obtiveram aumento no nível de captura de carbono, sendo que nos países tropicais, com vocação natural para o desenvolvimento de florestas, foram detectadas perdas do seu potencial de captura do carbono. Por outro lado, houve um aumento de 32%, no mesmo período, de áreas florestais destinadas à conservação (96 milhões de hectares) e, neste caso, os países da América Latina e Caribe são líderes com 75% do total da área mundial (FAO, 2007).

Desde 1993 há um declínio acentuado do consumo de madeiras no mundo em cerca de 2% por ano, caso se leve em consideração o pico de 1,7 bilhões de metros cúbicos em 1990. Os problemas econômicos mundiais, o ganho em eficiência em processamento nos países industrializados e o deslocamento de áreas florestais da produção para a preservação ambiental, podem ser considerados como as principais razões para este declínio, embora a baixa taxa de eficiência na conversão industrial continue sendo um problema nos países em desenvolvimento.

2.2. Florestas plantadas no mundo

Pesquisas realizadas sobre a produção de madeiras pela Organização Internacional de Madeiras Tropicais – OIMT, entre 1980 e 1988, não consideravam dados sobre a produtividade de florestas plantadas. Entretanto, desde o início da década de 1990 até os dias

atuais, as florestas plantadas passaram a ser importantes fontes para o fornecimento de madeira no mercado mundial. Segundo a ITTO (2006), em seu relatório sobre o estado de ordenação das florestas mundiais, nos últimos 15 anos houve um aumento significativo da área de florestas tropicais plantadas. As áreas de florestas plantadas nos trópicos cresceram de 18 milhões (1990), para 106 milhões de hectares (2005).

Estima-se que as florestas plantadas contribuam com 50% da demanda mundial de madeira em toras. A espécie *Pinus* corresponde com 54% do total de áreas reflorestadas, sendo que nas florestas plantadas para fins comerciais a espécie *Pinus* contribui com 32% da produção total (FAO, 2007). A Tabela 1 mostra a distribuição dessas florestas entre os dez países que mais plantam

Tabela 1 - Países com maior área em florestas plantadas em 2005 (1.000 ha). Adaptado de FAO, 2007.

PAÍS	TOTAL	COMERCIAL	PRESERVAÇÃO
China	71.326	54.102	17.224
Índia	30.028	17.134	12.894
USA	17.061	17.061	0
Rússia	16.963	11.888	5.075
Japão	10.321	0	10.321
Suíça	9.964	9.964	0
Polônia	8.757	5.616	3.141
Sudão	6.619	5.677	943
Brazil	5.384	5.384	0
Finlândia	5.270	5.270	0
TOTAL GERAL	181.693	132.096	49.598

2.2.1. A situação brasileira

Segundo estimativa feita pela Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, o consumo de madeira no Brasil, para todos os usos, é de 350 milhões de metros cúbicos por ano, sendo que 28%, ou seja, 100 milhões de metros cúbicos, provêm de plantações, enquanto que 250 milhões provêm de fitofisionomias (paisagem característica) arbóreas (72%) (SBS, 2005).

O Projeto Processamento e Comercialização da Madeira e Produtos da Madeira, BRA/96/024/D/99, gerenciado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA,

estudou o fluxo dos produtos da floresta nativa da Amazônia para os anos de 1999 a 2001 (Tabela 2).

Tabela 2 - Fluxo de produtos de floresta nativa da Região Amazônica. Adaptado de Terezo e De Oliveira (2002).

DISCRIMINAÇÃO CATEGORIA	VOLUME (1.000 m ³)			VALOR (1.000.000 R\$)			VARIACÃO (%) 2000/2001	
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	Volume	Valor
Tora	24.120,7	24.537,9	25.835,7	798,90	812,37	1.078,12	5,3	32,7
Serrada	8.840,3	7.559,5	9.922,2	1.806,79	1.124,29	2.538,62	31,3	125,8
Compensada	1.980,4	1.651,1	819,6	786,89	508,14	341,79	(50,4)	(32,7)
Laminada	1.778,6	1.319,4	530,1	388,57	339,74	900,19	(59,8)	165,0
Aproveitamento	485,6	368,2	395,9	112,98	98,06	58,99	7,5	(39,8)
Beneficiado	395,5	187,2	479,4	424,82	209,54	295,47	56,1	41,0
Dormente	14,1	20,0	5,8	5,28	7,15	58,78	(70,8)	722,0
Lenha	8,5	105,1	101,2	0,14	1,04	0,33	(3,7)	(68,1)
TOTAL				4.318,95	3.092,14	5.213,18		68,6

Na Tabela 2 é possível observar um aumento tímido dos volumes de madeira em tora, serrada e beneficiada, quando comparado com o potencial de uso racional da região amazônica. Nas demais categorias, houve um declínio na produção.

Hoje, as regiões mais dependentes das florestas plantadas são o sul e o sudeste, as quais, também, são as maiores consumidoras de produtos das florestas nativas da Amazônia (TEREZO, e DE OLIVEIRA, 2002).

2.2.2. Reflorestamento no Brasil

O primeiro reflorestamento de que se tem notícia no Brasil, por sinal em área degradada, foi realizado pelo Major da Guarda Nacional, Manuel Gomes Archer, em 4 de janeiro de 1862, nomeado administrador da Tijuca, em área anteriormente cultivada com café e cana-de-açúcar, onde, se situa, o Parque Nacional da Tijuca, ou Floresta da Tijuca, no Rio de Janeiro, depois da área ter sido desapropriada pelo Barão do Bom Retiro, Ministro de D. Pedro II.

Foram os assistentes do major Archer, Manoel Moçambique, Preta Maria, Leopoldo, Constantino, Eleutério e Mateus que mesmo considerando inapropriados para a lavoura, realizaram o reflorestamento na Tijuca (ARCHER et al., 2001).

As mudas de palmeiras, jacarandá, canela, pau-brasil, ipê, jabuticabeira, entre outras, eram trazidas em lombo de mula, da fazenda

do Major Archer, localizada a cerca de 60 km, e de vizinhanças. Archer plantou 61.852 árvores até 1884. Deste ano até 1888 foram plantadas mais 40.000 mudas. O major faleceu em 5 de março de 1907, deixando um núcleo de floresta ao qual se agregariam outras áreas remanescentes da Mata Atlântica.

Na década de 1950, o extinto Instituto Nacional do Pinho - INP, com sede em Curitiba, Estado do Paraná, utilizou os recursos financeiros captados via um percentual incidente sobre as exportações do pinheiro-do-paraná, para incentivar o plantio de florestas com pinho americano (*Pinus elliottii* e *Pinus taeda*), em áreas compradas pelo próprio INP.

Posteriormente, no início da década de 1960, o Governo Brasileiro decidiu estimular a produção de papel e celulose, até então dependente de importações, através de incentivos fiscais baseados no Imposto de Renda, sendo aplicáveis inclusive à pessoa física.

No entanto, esta política teve pouca repercussão, considerando que as despesas efetivas com o plantio de florestas só eram passíveis de serem debitadas no Imposto de Renda do exercício seguinte, e, apenas um teto prefixado.

Esta política foi modificada em 1966, com os incentivos fiscais recolhidos ao Fundo de Investimento Setorial - Fiset - Reflorestamento, e aplicados mediante a aprovação de Projeto de Reflorestamento apresentado ao então Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF.

Este foi, sem dúvida, um dos maiores programas de plantações de florestas do planeta, atingindo em 1983, 5,2 milhões de hectares plantados. Nele foram empregados cerca de 2,7 bilhões de dólares americanos que resultaram na geração de 400.000 empregos diretos e ajudaram a fixar o homem no meio rural. Ressalta-se que até 1965 as florestas plantadas no Brasil não excediam 500 mil hectares. Os Estados que mais se beneficiaram foram: Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso (atual Mato Grosso do Sul).

Com o fim dos incentivos fiscais para o plantio de florestas, as empresas tiveram que arcar com os custos de seus empreendimentos, com prazos inadequados, mesmo para as espécies de rápido crescimento, pagando juros incompatíveis com a atividade e, assim mesmo, sujeitando-se a níveis de garantias e carências que agiram como desestímulo às florestas plantadas. O subsetor de Celulose e Papel é atualmente o que mais planta, e tem mantido sua média histórica de 80 mil ha/ano.

As previsões atuais do Programa Nacional de Florestas, criado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA em 20 de abril de 2000, - indicam que o Brasil deverá importar madeira para atendimento das indústrias estabelecidas nas regiões sul e sudeste, se não forem investidos de US\$ 200 milhões a US\$ 300 milhões, para se atingir a marca de plantios florestais de 630.000 hectares/ano (SCARPINELLA, 2002). Deve-se isto ao decréscimo de investimentos de 15% nas áreas de plantios florestais, a partir do fim dos incentivos fiscais em 1987, e à demanda interna crescente de 5% ao ano.

Não é difícil se prever que ainda exista a exploração das matas nativas, hoje ainda mais ameaçadas por madeireiros e movimentos sociais irregulares que buscam o financiamento de suas atividades agrícolas na madeira existente nas matas invadidas.

2.2.3. Produtividade

Embora o preço de mercado, a resistência à pragas e doenças e a contribuição à manutenção da biodiversidade sejam fatores extremamente importantes a serem considerados, a predominância dos índices de produtividade é que tem marcado a preferência dos investimentos, com especial ênfase aos subsetores de celulose e papel e siderurgia.

O gênero *Eucalyptus*, que é o mais plantado, apresentava no início da década de 1970 uma produtividade média de 11 m³/ha/ano, passando para 22 m³/ha/ano em 1980, evoluindo para 27 m³/ha/ano em 1990, chegando a 45 m³/ha/ano em 1998 e 60 m³/ha/ano em 2002 (DOSSA et al., 2002).

Segue-se o gênero *Pinus*, que apresentou inicialmente uma produtividade de 10 m³/ha/ano, e hoje atinge 30 m³/ha/ano. A diferença principal em produtividade refere-se aos investimentos menores feitos no melhoramento genético deste gênero, quando comparado ao *Eucalyptus*.

No caso da teca (*Tectona grandis*), há uma variação de 10 a 20 m³/ha/ano na produção, e o paricá (*Schizolobium amazonicum*) a variação é de 13 a 35 m³/ha/ano, até o momento. Ressalte-se que pouco foi feito em termos de melhoramento genético das espécies amazônicas no Brasil, embora as técnicas de micropropagação já estejam dominadas. Apenas duas empresas trabalham nesta direção, segundo informações disponíveis (TEREZO et al., 2006).

2.2.4. Aspectos sociais das florestas plantadas

O cálculo da mão-de-obra empregada em florestas plantadas, geralmente aceita, considera um emprego mobilizado para cada 10 ha em implantação, 1 emprego permanente para 20 ha em manutenção e 1 emprego na fábrica para cada 2 empregos na floresta. Com estes números, é fácil calcular esse significativo nível de emprego gerado no meio rural (TEREZO et al., 2006).

Tendo em vista que os empreendimentos estão sempre localizados na zona rural, é possível perceber o seu papel como mantenedor das populações rurais diminuindo a migração para os grandes centros, cuja infra estrutura social é sempre precária, pois, em boa parte, são pessoas semi-analfabetas e, portanto, sem condições de competir no mercado de trabalho. O trabalho eleva a auto-estima destas pessoas.

2.3. O paricá

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) é considerado uma árvore de grande porte (de 20 a 30 m de altura). Segundo Ducke (1949), esta espécie ocorre em mata primária e secundária de terra-firme e várzea. Pertencente a família *Leguminosae*, ocorre em todo o Brasil, com exceção da Região Sul (CARVALHO e VIÉGAS, 2004). Quisen et al. (1999) descrevem que o paricá possui crescimento inicial vigoroso, chegando aos quinze anos com 55 cm de Diâmetro à Altura do Peito (DAP), e aproximadamente 150 a 340 m³/hectare, dependendo da densidade do plantio.

Os indígenas chamam de paricá o pó extraído das sementes ou da casca de árvores da família das *Leguminosae* que é utilizado em rituais de xamanismo. O pó é preparado a partir de sementes da espécie acácia (*Anadenanthera peregrina*) ou da casaca das espécies virola (*Virola theiodora*) e ucuuba (*Virola surinamensis*) que contém dimetiltriptamina, substância que acrescida com outras, provoca alterações pronunciadas no campo visual (LABATE, 2004). Estas espécies de árvores possuem aspectos semelhantes ao *Schizolobium amazonicum*, sendo, também popularmente chamado de paricá.

Esta espécie tem grande importância econômica para o setor de madeira processada (CARVALHO e VIÉGAS, 2004). Sua madeira é matéria-prima para a obtenção de lâminas para chapas de compensados.

Árvore de rápido crescimento, o paricá tornou-se, em meados da década de 1990, uma alternativa viável para a implantação de novas florestas plantadas na Região Norte e Centro-Oeste. Carvalho e Viégas (2004) lembram que a maioria destes plantios com paricá foi realizada

com recursos próprios e sem nenhuma garantia de sucesso, pois as informações para o cultivo dessa espécie eram muito escassas, dentre as quais as referentes às suas necessidades nutricionais. Rondon (2002) também descreve que o paricá, em comparação com outras 30 espécies, se destacou como uma das mais promissoras quanto ao crescimento e forma no Estado do Mato Grosso.

Para Silva e Leão (2006), o paricá é uma espécie que possui um tempo de vida curto a médio, quando comparadas às espécies clímax.

2.3.1. O plantio

Para Lima (1999), o plantio de espécies florestais constitui-se em uma das alternativas mais eficientes para a recuperação de áreas degradadas em regiões tropicais de alta precipitação, como é o caso da região Amazônica. Com a crescente escassez de madeira proveniente de florestas nativas, principalmente das espécies mais comercializadas, como a virola (*Virola surinamensis*), a samaúma (*Ceiba pentandra*) e o mogno (*Swietenia macrophylla* King.) e com a publicação da portaria do IBAMA nº 114/95, que normatiza a reposição florestal obrigatória, fez com que empresas florestais desenvolvessem plantações com espécies nativas, em especial o paricá. Costa et al. (1998) relatam que as empresas florestais desenvolveram plantações de paricá em monocultura ou em sistemas consorciados com outras espécies com a finalidade de testar vários espaçamentos. Seus resultados servem de base para os atuais plantios da referida espécie. Entretanto, há contradições quanto ao espaçamento ótimo entre as mudas. Quisen et al. (1999) recomendam em plantios puros, espaçamentos de 2 m x 2,5 m; 2 m x 3 m ou 3 m x 3 m, e em sistemas agroflorestais em distâncias maiores como 3 m x 3 m; 3 m x 4 m; ou 6 m x 6 m, dependendo das características das demais espécies consorciadas. Costa et al. (1998) e Rondon (2002) descrevem que as empresas não recomendam espaçamentos inferiores que 3 m x 3 m, por dificultar a limpeza mecânica da área e restringir o crescimento rápido das árvores. Na Tabela 3, são mostrados informações sobre alguns experimentos de três espaçamentos conduzidos por instituições de pesquisa da Região Norte.

Tabela 3 - Espaçamento do paricá em diferentes sistemas de plantio avaliado por instituições de pesquisa da Região Norte.

Local	Idade (meses)	Sistema de plantio	Espaçamento (m)
Paragominas (PA)	36	Monocultura	3 x 3
Paragominas (PA)	36	Consórcio*	3 x 3
Ouro Preto D'Oeste (RO)	-	Consórcio (paricá x cacau)	-
Altamira (PA)	-	Consórcio (paricá x cacau)	-
Santa Inês (MA)	-	Consórcio (paricá x cacau)	-
Barcarena (PA)	32	Sistemas agroflorestais**	10 x 10
Bragança (PA)	36	Monocultura	2,5 x 2,5
Rio Branco (AC)	108	Monocultura	2,5 x 2,5

Fonte: Basa - Banco da Amazônia (1998) *apud* Costa (1998).

Nota: * Consórcio de paricá, capim marandu e milho;

** Cupuaçuzeiro + paricá + banana prata-anã.

Meneses Filho² et al. (1995) *apud* Costa et al. (1998) esclarecem que em plantios de paricá com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m ocorre intensa competição entre árvores por luz e nutrientes, afetando o desempenho de plantas menos favorecidas e, conseqüentemente, ocasionando a sua morte. Portanto, não se recomenda espaçamentos iguais e inferiores a 2,5 m x 2,5m. Leles³ (1998) *apud* Rondon (2002) declara que um espaçamento inadequado em plantios com árvores de rápido crescimento pode acentuar os efeitos de deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta.

Costa et al. (1998) salientam que são imprescindíveis os estudos que definam o espaçamento das plantações de paricá conforme o uso da madeira. Para Carvalho (1996), o espaçamento adotado atua diretamente no crescimento das árvores e na qualidade da madeira.

De acordo com Balloni e Simões (1980), o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, dentre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, posto que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como práticas de implantação, manejo e colheita. Portanto,

² MENESES FILHO, L. C. *et al.* **Comportamento de 24 espécies arbóreas tropicais madeireiras introduzidas no Parque Zoobotânico, Rio Branco-Acre.** Rio Branco: Universidade Federal do Acre. Parque Zoobotânico, 1995, v1. p. 77-81.

³ LELES, P. S. S. **Crescimento alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 133p. Dissertação de mestrado.

para Oda⁴ et al. (1990) *apud* Jesus (2004), a formação da árvore, que é constituída por camadas sobrepostas de madeira ou anéis de crescimento, pode ter sua espessura controlada por meio do espaçamento. O estreitamento precoce dessas camadas que geralmente ocorrem em espaços mais fechados, pode caracterizar numa maior ou menor densidade básica da madeira. Esse pesquisador encontrou para clones de *Eucalyptus grandis*, a 50% da altura comercial, uma densidade maior para os espaçamentos mais amplos.

Montagna⁵ (1973) *apud* Jesus (2004) concluiu que a qualidade da madeira de *Pinus elliottii* difere conforme seu espaçamento. Há uma pequena redução da densidade básica nos espaçamentos 1,5 m x 1 m e 3 m x 3 m em relação ao espaçamento 2 m x 1,5 m.

Já Carvalho (1996), ao pesquisar a espécie tatajuba (*Bagassa guianensis* Abl.) em florestas plantadas com 16 anos de idade, sugeriu plantios com espaçamento maiores de 4 m x 4 m para a obtenção de madeira resistente para a construção civil e plantios com espaçamentos inferiores a 3 m x 3 m para a obtenção de madeira para lâminas ou móveis finos. Entretanto, o pesquisador não obteve variações significativas da densidade básica desta espécie entre os espaçamentos 2 m x 3 m, 3 m x 3 m, 3 m x 4 m, e 4 m x 4m. Porém, foi detectado um aumento da densidade em espaçamentos mais amplos que 4 m x 4 m, o que justifica a sua indicação da madeira para móveis finos.

Jesus (2004) pesquisou a variação da densidade básica, contração volumétrica, longitudinal, tangencial e radial da madeira de paricá em dois espaçamentos diferentes (4 m x 2 m e 4 m x 3 m) com árvores de 7 anos de idade. A pesquisadora não encontrou diferenças significativas das propriedades físicas do paricá entre os espaçamentos.

Além do espaçamento, adubação e cuidados com o viveiro de mudas, outros fatores externos podem afetar a qualidade da madeira, como solo inadequado, chuva escassa ou em demasia, e a ocorrência de pragas que danificam a formação da planta.

⁴ ODA, S. et al. Variação da densidade básica da madeira de clones de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes espaçamentos, com 6 anos de idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990. Campos do Jordão, SP. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p. 701-705.

⁵ MONTAGNA, R. G. et al. Estudo sobre crescimento e a densidade da madeira de *Pinus elliottii* Englem, var *elliottii* em função do espaçamento. **Silvicultura em São Paulo**, 1973. V.8, p. 33-52.

2.3.2. Pragas

Algumas das pragas mais conhecidas, segundo Quisen et al. (1999) são: a mosca da madeira, que escava galerias no tronco, e a broca dos ponteiros que danifica os brotos das plantas. O pesquisador esclarece que até o momento não existe controle eficiente para estes insetos. Zanuncio et al. (2004) identificaram um ataque de cigarras da espécie *Quesada gigas* Oliver (*Hemiptera: Cicadidae*) em plantios de paricá nos municípios de Itinga, Estado do Maranhão e no município de Paragominas, Estado do Pará. Os pesquisadores observaram a presença de ninfas nas raízes e de adultos nos troncos da árvore. Os adultos abrem orifícios no tronco reduzindo o crescimento da planta. Os autores alertam a necessidade de serem desenvolvidas novas pesquisas sobre o combate a esta praga e alertam que a monocultura pode ter criado um ambiente desequilibrado, tornando o paricá a única fonte de alimento para os insetos na região.

Também há relatos de ataques de larvas em plantios realizados em áreas, antes destinadas ao cultivo de arroz, no município de Paragominas. Nestes locais foram encontrados ataques de larvas, que frequentemente atacavam os arrozais, nos brotos de paricá. Estas larvas foram combatidas com os mesmos herbicidas aplicados nos plantios de arroz.

2.3.3. Características gerais da espécie

De acordo com Coradin et al. (1993), analisando madeira de árvores nativas, o paricá é pertencente à família *Leguminosae* e sub-família *Caesalpinioideae*, com cerne e alburno pouco distintos, cor branca e camadas de crescimento indistintas. Sua grã foi considerada ondulada, de textura média e com brilho acentuado. Seu cheiro é imperceptível e macia quanto ao corte transversal manual. É indicada para embarcação, embalagens, paletes, brinquedos, artigos de esporte e palitos de fósforo. Sua densidade básica é de 490 kg/m³. Esta madeira é comumente conhecida também como: bacurubu, bacuruva, biroasca, bandarra, caixeta, ficheiro, pinho cuiabano, guapiruvu, guapuruvu e guapuruva.

Quanto à descrição macroscópica tem-se:

- Poros: visíveis a olho nu; predominantemente solitários; múltiplos de dois e três, em arranjos radiais e diagonais; poucos; médios; distribuição difusa uniforme; seção transversal circular; vazios (Figura 3). Placa de perfuração simples.

- Parênquima axial: visível a olho nu; abundante; paratraqueal aliforme losangular; às vezes, paratraqueal confluyente, abrangendo de dois a quatro poros; apotraqueal difuso.
- Parênquima radial (raios): visíveis a olho nu no plano transversal e visíveis somente sob lente de 10x no plano tangencial; finos; baixos; poucos; não estratificados; pouco contrastados na face radial.
- Linhas vasculares: irregulares, algumas com presença de substância escura de aspecto oleoso.
- Camadas de crescimento: indistintas.

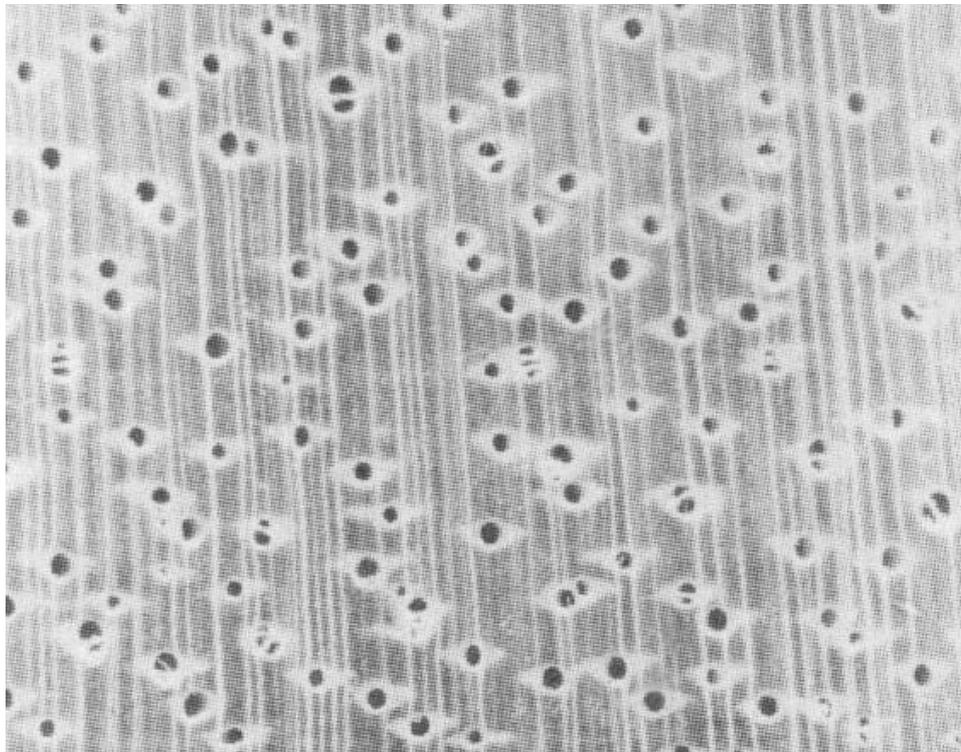


Figura 3 - Seção transversal do lenho de paricá nativo. Adaptado de Coradin et al. (1991).

Pesquisas desenvolvidas por institutos brasileiros sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá de floresta nativa foram reunidas e seus dados são mostrados na Tabela 5. É possível perceber que há diferença entre os valores determinados entre os gêneros, e principalmente entre as duas procedências da mesma espécie. O paricá da reserva florestal de Carajás apresentou densidade básica de 240 kg/m^3 e para o paricá da floresta nacional do Tapajós encontrou-se um valor de 490 kg/m^3 . Uma diferença de 102%. A disparidade entre

valores da espécie *Schizolobium amazonicum* pode ter sido causada devido a cargas genéticas diferentes e por seu desenvolvimento em regiões com microclima e solo distintos. Já as diferenças entre valores das duas espécies, guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) e o paricá (*Schizolobium amazonicum*), podem ser atribuídas não só às mesmas condições descritas, como também aos procedimentos e às normas técnicas de ensaio desiguais. O guapuruvu não é nativo da região da floresta amazônica, tendo sua faixa de ocorrência na Mata Atlântica, que se estende desde a região sul até o sul da Bahia (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas do gênero *Schizolobium*.

Espécie	Nome Comum / Nome Botânico	Cor	Procedência	Fonte	Procedimento	PROPRIEDADES FÍSICAS				Condição	PROPRIEDADES MECÂNICAS								
						Peso Específico (peso seco estufa/vol. verde)	Contração				Razão Tang/Rad	Flexão Estática	Compressão Paralela às Fibras	Tração Perpendic. às Fibras	Cisalhamento	Dureza Janka			
							Tangencial	Radial	Volumétrica								Módulo de Elasticidade	Máxima resistência	Perpendic. às Fibras
		%	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	kg	kg					
Guapuruvu <i>Schizolobium parahyba</i>	Branco-palha	São Paulo-SP	IPT-1988		NBR-6230/85	0,32*	5,50	1,80	8,40	0,32	V	30,5	5,1	13,8	10,5	2,9	4,7	151	-
Paricá grande <i>Schizolobium amazonicum</i>	Castanha muito pálida	Carajás-PA	LPF-1983		COPANT	0,24	6,10	2,40	-	1,50	V	29,4	6,1	18,0	1,9	1,6	4,2	209	97
Paricá <i>Schizolobium amazonicum</i>	Branco	Tapajós-PA	LPF-1989		COPANT	0,49	4,80	4,60	11,10	1,00	V	54,3	9,3	23,6	4,4	3,4	7,4	387	331
											S	56,2	8,2	34,7	4,6	2,7	11,1	466	274

Observação: *O teor de umidade seco considerado pela NBR-6230/85 é de 15%.

2.4. Relações entre estrutura anatômica e propriedades físico-mecânicas

As mais importantes características do material madeira são a sua heterogeneidade, ortotropia e variabilidade. Nem mesmo dois pedaços de madeira da mesma espécie são absolutamente iguais. Para Burger e Richter (1991) estas diferenças podem ser atribuídas às condições ecológicas do local onde o vegetal cresce, à localização da amostra no tronco (altura, distância da medula, posição do anel de crescimento), aos defeitos da madeira entre outros. Esau⁶ (1959) *apud* Burger e Richter (1991) afirma que a composição do lenho, a estrutura e a organização de seus elementos constituintes são os fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e a sua aptidão para o uso comercial.

Talvez a característica tecnológica mais importante da madeira seja a massa específica, pois ela reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por massa. Ela está estritamente ligada a propriedades de resistência mecânica e à instabilidade dimensional. Dentre os elementos anatômicos, pode-se afirmar que as fibras e fibrotraqueídios são os elementos com maior relação à resistência mecânica de madeiras de dicotiledôneas. Segundo Burger e Richter (1991), esta correlação entre volume de fibras, massa específica e resistência mecânica é um fato experimentalmente comprovado.

Vários pesquisadores, citados por Alzate (2004), afirmam existir uma relação positiva entre a densidade e as dimensões dos componentes anatômicos da madeira das espécies de eucaliptos. Shimoyama⁷ (1990) *apud* Alzate (2004) descreve que o comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lume de fibras da madeira de eucaliptos apresentam diferentes estágios em seu desenvolvimento (idade da árvore) sendo influenciados também por processos ambientais e fatores genéticos. Para o autor a largura e a espessura da parede das fibras mostram uma clara relação com a densidade básica da madeira. Para as fibras de maiores diâmetros e paredes espessas observa-se uma correlação positiva com a densidade básica. Já para as fibras largas de paredes finas, obtém-se uma correlação negativa com a densidade básica. Entretanto, Alzate (2004), caracterizando clones de diferentes

⁶ ESAU, E. **Anatomia vegetal**. Barcelona, Omega, 1959. 729p.

⁷ SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1990. 93p. Dissertação de Mestrado.

eucaliptos, determinou que as fibras de maior comprimento, largura e espessura de parede pertenciam ao clone da espécie *Eucalyptus grandis* com 0,46 g/cm³ de densidade aparente, seguido do híbrido *Eucalyptus grandis x urophylla* com 540 kg/m³ de densidade aparente e por fim, o *Eucalyptus saligna* com também 540 kg/m³ de densidade aparente. Esta inversão de correlação se deu devido a modificações genéticas, implicando em características anatômicas e propriedades físicas compatíveis com o uso final da madeira.

Os vasos, devido a sua grande dimensão e às paredes delgadas, são estruturas fracas, e sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica do lenho. A madeira com porosidade elevada e poros distribuídos em forma de anel, acumulados devido ao período vegetativo inicial, é menos resistente a determinados esforços do que a madeira com porosidade difusa, ou seja, poros distribuídos de forma uniforme ao longo do anel de crescimento. O parênquima axial é também um tecido fraco cuja abundância e distribuição, especialmente quando apresentado em forma de vastas faixas contínuas, podem diminuir consideravelmente a resistência mecânica da madeira. No mesmo sentido, a grã também influencia na sua resistência. Por exemplo, peças com grã oblíqua rompem-se facilmente ao longo da direção da inclinação quando submetidas a esforços (BURGER e RICHTER, 1991).

2.5. Propriedades físicas e mecânicas

A elevada resistência mecânica frente a sua baixa densidade, torna a madeira um excelente material estrutural quando comparado a outros materiais, tais como o concreto e o aço. Neste sentido, é importante conhecer suas características por meio de ensaios adequados. Determinar suas propriedades e sua respectiva variabilidade conduzirá o engenheiro a empregar a madeira em uma obra de maneira segura e econômica.

Para Bauer⁸ (1979) *apud* Rodrigues (2002) é importante qualificar a madeira levando em consideração os fatores que alteram e tem relação com suas propriedades físicas e mecânicas, tais como: a estrutura anatômica e a constituição do tecido lenhoso; a densidade do material e a localização da amostra na árvore. Na determinação dos valores de resistência mecânica é salientado que cuidados com a

⁸ BAUER, L. A. F. Materiais de construção: a madeira como material de construção. Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos**, 1985. cap. 14, p. 36-34.

dimensão dos corpos de prova, a orientação das solicitações em relação à direção das fibras, a velocidade de aplicação de cargas e as condições de vinculação, devem ser rigorosamente fiéis às normas técnicas. Cada centro de pesquisa utiliza sua norma técnica específica: “American Society for Testing and Materials” - ASTM, Código Europeu - EUROCODE, Comissão Panamericana de Normas Técnicas - COPANT e Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

A norma técnica vigente no Brasil é a NBR-7190/97, Projeto de Estruturas em Madeira, da ABNT e, em seu anexo B, são tratados os métodos de ensaio e apresentam-se as dimensões dos corpos de prova para a determinação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras. Pode-se optar por três métodos de caracterização de acordo com a espécie a ser estudada, sendo elas a: caracterização completa, caracterização mínima e caracterização simplificada. Esta norma técnica encontra-se em revisão e novos textos serão complementados.

A versão anterior NBR-7190/82 (antiga NB-11) tinha como método de cálculo estrutural o modelo determinístico e, a atual, em modelo probabilístico, onde valores característicos da propriedade de um lote ou de uma espécie de madeira determinam a sua classe de resistência.

As propriedades mecânicas que servem de parâmetro de cálculo para estruturas em madeira são as de resistência às tensões e deformações, adquiridas por meio de ensaios de compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento. Segundo a NBR-7190/97, a resistência deve ser estimada com base na máxima tensão que pode ser aplicada em corpos de prova isentos de defeitos, até a sua ruptura ou quando a deformação específica seja excessiva. Já a resistência à deformação do material é expressa pelo módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade é medido pelos ensaios de compressão paralela às fibras (E_{w0}) e compressão normal às fibras (E_{w90}).

A propriedade física densidade é importante para um projeto de estrutura em madeira, não só por permitir a quantificação do peso total da estrutura, mas também por sua correlação com outros parâmetros de resistência mecânica. Winady (1994) descreve que além da densidade, outros parâmetros físicos da madeira, tais como, teor de umidade, estabilidade dimensional, propriedades térmicas e de resistência ao fogo são importantes também, pois podem influenciar significativamente o desempenho e a resistência de elementos estruturais de madeira.

A resistência à compressão paralela, o módulo de elasticidade e a densidade servem de indicadores para a determinação da classe de resistência, sendo possível ao projetista utilizar madeiras disponíveis na região para a construção da estrutura. A NBR-7190/97 adota três classes de resistência para coníferas e quatro classes para dicotiledôneas. O EUROCODE EN-518 (1995) apresenta nove classes para coníferas e seis classes para dicotiledôneas. A atual prática de comercialização das madeiras brasileiras no mercado interno, ou seja, com pouco e às vezes nenhum critério de classificação, impede a elaboração e emprego de critérios refinados de qualificação.

2.6. Variabilidade das propriedades da madeira em relação à idade

Devido a novas exigências do mercado, a procura por material de melhor qualidade tem sido visada por indústrias moveleiras e setores da construção civil. Há um grande esforço de pesquisadores brasileiros em adequar novas tecnologias de processamento às espécies já empregadas e inserir melhores critérios de classificação e melhoramento genético, visando a obtenção de material adequado. A madeira proveniente de florestas plantadas de rápido crescimento deve ser considerada de maneira diferenciada quando comparada àquela de longo ciclo de crescimento.

O fator tempo não pode ser considerado de menor importância, pois ele está intimamente ligado à heterogeneidade da madeira de uma mesma árvore. Segundo Pulkki⁹ (1991) *apud* Silva (2002), este fator agindo em concomitância com a qualidade genética e o nível de melhoramento da árvore, a variação entre procedências, as condições ambientais, os tratamentos silviculturais, o sítio e o controle de pragas e doenças, acarreta na variabilidade das características da estrutura e propriedade do lenho. Klock (2000) destaca que os estudos sobre a qualidade da madeira devem levar em consideração as variações da idade da mesma. Estas variações implicam na existência de grandes diferenças nas propriedades da madeira, cujas causas são difíceis de serem identificadas, isoladamente, devido à multiplicidade de fatores e à grande interação entre eles. Calori et al. (1995) realizaram estudos comparativos da madeira de *Eucalyptus grandis* com idade entre 11 e 21 anos para uso em serraria. Verificaram que a madeira de maior idade

⁹ PULKKI, R. Literature synthesis on the effects of wood quality in the manufacture of pulp and paper. New York, **Fabric Technical Note**, n. 171, p. 1-8, 1981.

apresentou rendimentos significativos e maior qualidade após secagem. Baseado nas características físicas e mecânicas desejáveis para um bom retorno econômico do investimento florestal, os autores concluíram que a idade ideal para seu uso em serraria era de 20 anos.

Silva (2002) ao pesquisar também a madeira de *Eucalyptus grandis* com idades de 10, 14, 20 e 25 anos, visando sua utilização pela indústria moveleira, concluiu que as propriedades de resistência mecânica (MOE e MOR) apresentam uma correlação positiva com a densidade e a idade. O pesquisador destaca que a idade não pode ser considerada como fator exclusivo para qualificar a madeira, pois as árvores de 25 anos apresentaram valores de resistência inferiores daquelas árvores de 20 anos. Ele explica que este fato se deu devido à diferença entre as condições edáficas, bases genéticas e tratos silviculturais. Silva (2002), citando vários autores, descreve em seu trabalho que as diferenças anatômicas, e por consequência as das propriedades físicas e mecânicas, são em muitos casos mais acentuadas entre as madeiras da mesma espécie, mas de diferentes idades, do que entre madeiras de mesma idade, mas de diferentes espécies.

Ferreira (1972), ao estudar a densidade básica de *E. grandis* nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos, observou que houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre as idades de 11 anos com as demais idades, porém entre as idades 12, 13, e 16 anos não houve diferenças significativas. No entanto, houveram diferenças entre as idades 12 e 14 anos, 13 e 14 anos e entre 16 e 14 anos. Neste estudo também se verificou uma estabilização das dimensões das fibras a partir dos 12 anos de idade.

Higa et al. (1973), ao determinarem os valores de densidade básica entre *Pinus elliottii* com idades de 7 e 9 anos e *Pinus taeda* com idades de 6, 7 e 13 anos, verificaram que houve diferenças entre os valores médios. Para a primeira espécie, obtiveram-se os seguintes resultados: 319 kg/m³ (7 anos) e 326 kg/m³ (9 anos). Já para a segunda espécie os valores foram: 311 kg/m³ (6 anos), 331 kg/m³ (7 anos) e 366 kg/m³ (13) anos.

Trugilho (1996) verificou em sua pesquisa com *E. saligna* em idades de um, dois, três e quatro anos, uma dependência direta entre a idade da árvore e sua densidade básica. O coeficiente de determinação (r^2) encontrado foi de 87,81% e coeficiente de variação (CV) de 4,91% a um nível de 1% de probabilidade. Ribeiro e Zani Filho (1993), ao estudarem o *E. grandis* e *E. dunnii*, verificaram que houve um incremento de 9,8% e 8,0% da densidade básica, respectivamente. As

idades estudadas foram 63 e 100 meses. Vital et al. (1984), estudando a madeira de *E. grandis*, confirmaram o aumento sistemático da densidade básica com a idade da árvore.

Szücs (2004), pesquisando as propriedades físicas, mecânicas e de constituição do lenho para *P. elliottii* com 10 e 20 anos de idade e para *P. taeda* com 10 e 25 anos de idade, constatou diferenças significativas entre as madeiras, bem como uma estabilização da estrutura anatômica a partir dos 10 anos de idade. O autor descreve em seu relatório que haveria um crescimento expressivo da qualidade dos produtos em madeira de *Pinus* caso fosse realizada uma classificação por espécie e idade da árvore. Neste trabalho também foi analisado o emprego do ultrassom como instrumento classificador. Para as duas espécies foram obtidas correlações entre a velocidade de propagação da onda com a resistência à compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade, sendo $r^2 = 0,85$ e $r^2 = 0,97$ respectivamente.

2.7. Classificação de madeiras

A madeira é empregada na construção civil de diferentes formas, quer seja de maneira estrutural, ou não estrutural, exposta a ambientes variados em termos de umidade e temperatura, com situações diferentes de risco de degradação. Estes condicionantes exigem da madeira uma resistência mecânica, durabilidade, estabilidade dimensional e natureza estética distintas. Portanto, quando um elemento em madeira, com certas especificidades, é utilizado para determinados fins que não condizem com sua especificação, acarreta insatisfação e perda de confiabilidade sobre o material.

Machado (2004), em seu artigo sobre os desafios da qualidade para produtos de madeira maciça, explica que a aplicação de parâmetros técnicos de classificação contribui para uma utilização correta da madeira. O pesquisador cita o caso do Pinho Bravo, que mesmo classificado como madeira para fins estruturais de classe baixa nível E (Norma Portuguesa) e na classe C18 do EUROCODE, esta espécie ainda é utilizada de maneira limitada devido à falsa percepção de madeira de qualidade inferior. Entretanto, o pesquisador alerta que devido à consolidação de normas diretivas sobre qualidade de produtos para a construção civil, haverá o emprego de garantias sobre a aplicação do material madeira. A utilização de madeiras na construção deverá ser promovida segundo uma lógica do produto, baseada em suas características físicas, mecânicas e de durabilidade, definida em face do

seu uso final. Isto implica em uso de normas técnicas de classificação que forneçam a garantia do produto.

A norma de classificação visual é atualmente a mais empregada pela indústria de produtos em madeira. Ela consiste em classificar visualmente as peças de madeira quanto aos seus defeitos na sua preparação (serragem e destopamento, tratamento preventivo, proteção das extremidades, empilhamento, secagem, aplainamento e marcação da madeira) e nas suas dimensões (espessura, largura e comprimento). Os defeitos a serem identificados e mensurados são: fissuras, podridão, presença de medula, cerne quebradiço, furos de insetos, rachaduras, fendilhamento, inclinação da grã e empenamento. Porém, cada mercado consumidor (europeu, norte americano, brasileiro entre outros) possui sua própria regulamentação.

No Brasil as normas disponíveis são: NBR 9487 – Classificação de madeira serrada de folhosas e a NBR 12498 – Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento para uso geral: dimensões e lotes. Estas normas brasileiras tiveram como base a “Norma para classificação de madeira serrada de folhosas” desenvolvida pelo extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF em 1984, já para madeiras coníferas teve-se o “Manual prático de normas reguladoras de qualidade das madeiras de pinho no mercado nacional”, da Associação Brasileira de Produtores de Madeira - ABPM como referência.

Atualmente encontra-se em processo de revisão o projeto do anexo G da NBR-7190/97, que trata da classificação visual de madeiras serradas de coníferas, e do anexo H, que rege a classificação visual de madeiras serradas de folhosas.

Já na Europa, o documento que regula a classificação visual é a EN 518 (1995) – “Grading requirements for visual strength grading standards”.

O emprego de peças estruturais de madeira deve ter como parâmetro de qualidade, além de uma classificação visual, uma classificação quanto ao seu desempenho mecânico. A NBR-7190/97 define classes de resistência das madeiras como um orientador na escolha do material para elaboração de projetos estruturais por meio do emprego de madeiras com propriedades padronizadas. A NBR-7190/97 estabelece três classes de resistência para coníferas, conforme demonstra Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de resistência das coníferas. Adaptada da NBR-7190/97.

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m³)	$\rho_{aparente}$(kg/m³)
C20	20	4	3.500	400	500
C25	25	5	8.500	450	550
C30	30	6	14.500	500	600

f_{c0k} = resistência característica de compressão paralela às fibras; f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade médio à compressão paralela às fibras; $\rho_{bas,m}$ = densidade básica da madeira, valor médio; $\rho_{aparente}$ = densidade aparente;

Para a classificação de madeiras folhosas tem-se, pela NBR-7190/97, quatro categorias como ilustra a Tabela 6.

Tabela 6 - Classes de resistência das dicotiledôneas, Adaptada da NBR-7190/97.

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m³)	$\rho_{aparente}$(kg/m³)
C20	20	4	9.500	500	650
C30	30	5	14.500	650	800
C40	40	6	19.500	750	950
C60	60	8	24.500	800	1.000

f_{c0k} = resistência característica de compressão paralela às fibras; f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade médio à compressão paralela às fibras; $\rho_{bas,m}$ = densidade básica da madeira, valor médio; $\rho_{aparente}$ = densidade aparente;

Estes valores têm como referência um teor de umidade de 12% da madeira, que é o teor aceito e padronizado em vários países. Vale ressaltar que as classes de resistência especificadas para as dicotiledôneas são, em parte, produto da tese de doutorado realizada por Sales (1996).

O enquadramento de uma espécie de madeira numa destas classes de resistência deve, segundo a NBR-7190/97 em seu item 10.6, respeitar os seguintes critérios: (1) as peças de madeira deverão ser classificadas visualmente e mecanicamente; (2) a utilização de máquinas automáticas de classificação mecânica não permite o enquadramento da madeira em classes de resistência; (3) para as madeiras de primeira ou segunda categoria deve ser feita pelo menos a caracterização simplificada cujo teste a ser realizado é somente o de compressão paralela às fibras; e (4) a aceitação de um lote de madeira, como pertencente a uma das classes de resistência, é feita a partir da resistência à compressão paralela às fibras efetivo, a qual deve ser maior

ou igual à resistência à compressão paralela às fibras especificada ($f_{c0k,ef} \geq f_{c0k,esp}$).

Há espécies que seriam enquadradas numa determinada classe de resistência com valor adequado para a $f_{c0k,ef}$, porém com valor $E_{c0,m}$ inferior ao referido pela classe. Por exemplo, a espécie ipê (*Tabebuia serratifolia*) com $f_{c0k,ef} \approx 53$ MPa seria classificada como C40, porém teria seu valor de $E_{c0,m} \approx 18.000$ MPa, mostra-se inferior ao valor estipulado pela classe, que é de $E_{c0,m} = 19.500$ MPa.

Uma dificuldade encontrada pelos exportadores de produtos em madeira é a adequação da classe de resistência brasileira com as demais classes utilizadas em outros países compradores de madeiras tropicais. É possível que uma mesma espécie, que se enquadra numa determinada classe de resistência no Brasil, em outro país possa se enquadrar em mais de uma ou, às vezes, em nenhuma classe de resistência. Isto dificulta a negociação de cotações e valores de compra e venda do produto. Uma empresa de consultoria em mercado internacional de madeira, sediada na África do Sul, a “Crickmay and Associates” (2006), correlacionou as classes de resistência para coníferas de seu país, as quais são regidas pela norma sul-africana SABS 563 e SABS 1245, com as normas australiana, neozelandesa, europeia, Organização Internacional de Normas (“International Standards Organization” – ISO) e a britânica. Os resultados podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 7 - Correlações entre classes de resistência da norma sul-africana com diferentes normas técnicas. Adaptada de Crickmay and Associates, 2006.

Norma Africana versus Norma Australiana										
Classes										
"F" australiana	F4	F5	F7	F8	F11	F14				
"S" equivalente sul-africana	S5		S7	S10		Sem equivalência (S. E.)				
Norma Africana versus Norma Neozelandesa										
Classes										
Estruturais neozelandesa	Nº 2			Nº 1			Estrutural			
"S" equivalente sul-africana	S5			S7			S10			
Norma Africana versus Européia										
Classes										
Resistência (EN338)	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	
"S" equivalente sul-africana	S5		S7			S10		S.E.		
Norma Africana versus ISSO										
Classes										
Resistência ISSO	S10	S12	S14	S16	S18	S20				
"S" equivalente sul-africana	S5		S7			S10				
Resistência ISSO	S22	S24	S27	S30	S35	S40	S45	S50		
"S" equivalente sul-africana	S10			Sem equivalência						
Norma Africana versus Britânica										
Classes										
Norma Britânica de Resistência	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	
"S" equivalente sul-africana	Sem equivalência					S7		S10		

Nota-se que há classes com mais de uma correspondência e outras sem correlação. A empresa descreve que é possível associar grupos de madeiras de diferentes países com propriedades similares e, assim, adequar os índices de preços dos produtos em madeira.

2.8. Durabilidade da madeira

Mesmo desconhecendo o que causava o apodrecimento da madeira, várias medidas foram adotadas na antiguidade. Há 1.000 anos a.C os gregos apoiavam pilares de madeira sobre pedras, evitando, assim, o contato direto com o solo. Antigas civilizações de Burma, China, Egito, Grécia e Itália protegiam a madeira com óleos vegetais, animais e minerais e os gregos e romanos chegaram até a injetá-los no interior da madeira por meio de orifícios previamente feitos. Alexandre, O Grande, ordenava a aplicação de óleo de oliva no madeiramento de pontes para retardar o apodrecimento e Plínio, O Velho, descreveu 48 tipos de óleos para preservar madeira. Os bálticos e romanos carbonizavam a superfície da madeira e os egípcios preservavam seus

sarcófagos simplesmente mantendo-os em local isento de umidade no interior das pirâmides. Inúmeros produtos químicos e/ou barreiras físicas foram experimentados, mas a maioria fracassava. Os primeiros sucessos vieram após o desenvolvimento científico e industrial, pois técnicas e equipamentos permitiram a compreensão da estrutura e a alteração da composição química da madeira retardando o seu processo de deterioração. O microscópio, a máquina a vapor e o creosoto foram os responsáveis pela transformação que a preservação de madeira sofreu no século XIX. (CAVALCANTE¹⁰ *apud* LEPAGE, 1989).

Segurado (1919) descreveu que o Governo de Portugal, em novembro de 1912, publicou uma série de regras para a utilização da madeira como material de construção nos edifícios do Estado. Uma das regras era a de dar duas demãos de alcatrão de hulha nas peças de madeira. Segurado (1919) também recomendava, não só este tipo de preservação da madeira, mas outras técnicas de conservação tais como: injeção de substâncias anti-sépticas por meio da gravidade, choque térmico ou pressão e a carbonização superficial da madeira. Este último é um processo usado desde a mais remota antiguidade. No início do século XIX foram encontradas muitas estacas de carvalho no leito do rio Tâmis, no próprio local em que Tácito cita que os Bretões fizeram um grande estaqueamento para deter o exército de Julio César, na sua invasão à Britânia; as estacas estavam fortemente carbonizadas, apresentavam sua forma primitiva e estavam ainda muito duras. Esta operação de carbonização torna a superfície da madeira mais compacta e menos permeável.

A busca pelo aumento da durabilidade do material madeira é antiga. Mesmo assim, é um grande problema a ser enfrentado, uma vez que, a maioria dos produtos empregados é tóxica e danosa à natureza, colocando por terra toda a sua cadeia sustentável e ambientalmente correta que um produto em madeira detém.

Prata (2000) elaborou a equação do apodrecimento da madeira para explicar a sua degradação e justificar o emprego de métodos de preservação. Os componentes desta equação são: madeira não tratada; umidade; ar; ausência de luz e; temperatura entre 10 °C e 60 °C. A eliminação de um destes componentes promove um aumento na durabilidade da madeira.

¹⁰ CAVALCANTE, M. S. Métodos para aumentar a durabilidade da madeira. In: Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo. Boletim, n. 36, ABPM. São Paulo, 1985. p. 159-186.

A NBR-7190/97 no seu item 10.7 exige que estruturas em madeira devem ser executadas com espécies que apresentem boa resistência natural à biodeterioração ou que apresentem boa permeabilidade aos líquidos preservativos e que sejam submetidas a tratamentos preservativos adequados. Esta norma também apresenta, em seu anexo D, recomendações sobre a durabilidade das madeiras. É descrito em seu item D. 3. 3 que, na falta de informações a respeito da durabilidade da espécie e devido a grande variabilidade de incidência de agentes biológicos de deterioração da madeira no Brasil, devem ser realizados procedimentos mínimos de preservação: para dicotiledôneas – pincelamento; e para coníferas – impregnação em autoclave.

Silva e Leão (2006) descrevem em seu livro, que a madeira paricá é de baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque de organismos xilófagos. Portanto, um tratamento preservativo é necessário para que esta madeira possa ser empregada como elemento não temporário. Não se pode afirmar que o processo de pincelamento seja eficaz. Somente estudos mais avançados poderão revelar seu potencial de absorção de produtos preservantes frente aos diversos processos de tratamento.

No caso em que se deseja empregar madeiras laminadas coladas tratadas, como elementos estruturais, o Instituto Americano de Construtores em Madeira (AITC), por meio de sua norma técnica “Standard for preservative treatment of structural glued laminated timber” – AITC 109-98, informa que é recomendável imunizar as lâminas que compõem as vigas de madeira laminada colada antes de sua colagem, pois é mais simples e mais eficiente preservar peças com menor dimensão do que as vigas laminadas coladas, que em muitos casos possuem grandes dimensões. Esta norma também recomenda o uso de tratamento em cilindros de pressão. Caso opte-se pela preservação após colagem das lâminas, estas vigas deverão estar em conformidade com as normas de índices de impregnação e retenção C28 da Associação Americana de Preservadores de Madeira (AWPA). A norma AITC 109-98 descreve também que imunizantes hidrossolúveis podem ser empregados desde que as peças estruturais em serviço não tenham seu teor de umidade de equilíbrio igual ou maior que 16%, pois a composição química deste produto poderá acarretar uma corrosão dos elementos metálicos de ligação.

2.9. Resistência ao fogo

As edificações em madeira no Brasil, em grande parte, sempre foram subavaliadas e consideradas como construções temporárias. Esta opinião se deve ao fato de que a madeira é suscetível ao ataque de agentes biológicos e por ser também um material combustível. Para Alvarez (2000) *apud* Figueroa (2008), na maioria dos casos de incêndios em edificações de madeira, a causa se deu pela combustão acidental de materiais altamente inflamáveis como, tecidos à base de poliéster, gás de cozinha, plásticos, entre outros derivados do petróleo, e não por componentes estruturais em madeira.

Pinto (2001), em seu trabalho sobre “proteção contra incêndio para habitações em madeira”, relata que os códigos construtivos brasileiros ainda encontram-se distantes dos critérios exigidos em países como Canadá, Suíça, Japão e Austrália. Entretanto, este cenário começa a mudar, uma vez que o setor da construção civil está adotando padrões normativos da ISO que levam em consideração critérios mínimos de desempenho com relação ao fogo.

Após a participação do Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira – GIEM em várias reuniões com a Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina - COHAB/SC, cujo objetivo foi mostrar os requisitos necessários para um bom desempenho de uma edificação em madeira, encontra-se em fase final o processo para a aquisição de casas de madeira com financiamento da Caixa Econômica Federal no Estado de Santa Catarina. Mas, na maioria dos estados brasileiros não se tem planos de financiamento e nem pré-disposição para que isso ocorra. No mesmo sentido, as seguradoras de imóveis cobram um alto valor para salvaguardar edificações com estrutura em madeira e algumas até não realizam seguros para esses imóveis.

As pesquisas sobre o comportamento das madeiras brasileiras em situação de incêndio estão em expansão no Brasil. Graças à dedicação e persistência de alguns pesquisadores, que mesmo com pouco aporte financeiro porém com apoio das instituições ligadas à indústria da construção civil, têm consigo caracterizar o desempenho de algumas madeiras quando submetidas à alta temperatura.

Em seu trabalho de mestrado, Figueroa (2008) pesquisou o comportamento mecânico da madeira de paricá, quando submetida a diferentes temperatura. Esta linha de pesquisa é importante, uma vez que o conhecimento sobre esse material estrutural promove o desenvolvimento de projetos mais seguros, onde se torna capaz estimar

a resistência necessária dos elementos estruturais para o tempo de evacuação da edificação em caso de incêndio.

As propriedades mecânicas pesquisadas foram compressão, tração e cisalhamento paralelo às fibras, embutimento paralelo e perpendicular às fibras. Foram empregadas 15 faixas de temperatura entre 20 e 230 °C. Observou-se que a resistência mecânica do paricá diminui em função do aumento da temperatura. Para 230 °C, esta redução atingiu: 35,07% na resistência à compressão, 19,86% na resistência à tração, 35,31% na resistência ao cisalhamento, 60,69% na resistência ao embutimento paralelo às fibras e 43,38% na resistência ao embutimento perpendicular às fibras.

Pescador et al. (2008), ao pesquisarem a resistência ao arrancamento de pregos na madeira de paricá, nas mesmas faixas de temperatura, verificaram que houve uma perda significativa de resistência na temperatura de 150 °C.

Tais experimentos ilustram a importância de se empregar coeficientes de modificação para levar em consideração a influência da temperatura nas propriedades mecânicas de cálculo. Além dos excelentes resultados com esta espécie, ainda são necessárias pesquisas com as demais madeiras utilizadas pela construção civil, abrindo assim, um amplo campo de estudos importantes para construção segura de edificações em madeira.

2.10. Madeira laminada colada

Szücs (1992) denominou "Madeira Laminada Colada" – MLC, como sendo peças de madeira reconstituídas a partir de lâminas de madeira (tábuas), que apresentam dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. Essas lâminas, que são unidas por colagem, ficam dispostas de tal maneira que as suas fibras ficam paralelas entre si. Essa técnica, que de alguma maneira surgiu também da necessidade de utilização da madeira de reflorestamento, utilizou basicamente o *Pinus*, que se apresentava em abundância nos países europeus.

Nestes países do hemisfério norte, a aplicação da MLC pode ser vista sob as mais variadas formas estruturais. O seu emprego vai desde pequenas passarelas, escadas e abrigos, até grandes estruturas concebidas que cobrem vãos livres de até 100 m. Como exemplo, pode-se citar a obra do "Hall de Tours", na França, com 98 m de vão livre; o "Palais d'Exposition d'Avignon", também na França, que tem mais de 100 m de vão livre. Outra estrutura arrojada em MLC é o Parlamento

Europeu construído em Strasburgo na França. Uma estrutura em arcos, formando por um conjunto quase circular, abriga os parlamentares representantes dos países da Comunidade Econômica Européia (SZÜCS, 1992).

A escolha da MLC para as estruturas pode ser de fundamental importância, principalmente quando se tratar de estruturas que ficarão expostas a um meio corrosivo, ou então, quando existir o risco de incêndio.

Para Szücs (1992), além das vantagens naturais da madeira, como baixo peso próprio em relação à capacidade de carga, a técnica do laminado-colado confere ainda às estruturas de madeira, as seguintes vantagens:

- Em comparação com as estruturas de madeira feitas com peças maciças, os elementos concebidos em MLC exigem um número bem menor de ligações, uma vez que são previstos para grandes dimensões;
- A possibilidade de realizar secções de peças, não limitadas pelas dimensões e geometria do tronco das árvores;
- A possibilidade de fabricar peças de comprimento limitado apenas pelas circunstâncias de transporte;
- A possibilidade de obter peças com raio de curvatura reduzido, variável e até mesmo em planos diferentes;
- A possibilidade de vencer grandes vãos livres;
- A eliminação inicial de defeitos naturais, o que permite uma reconstituição que conduz a uma distribuição aleatória dos defeitos residuais no interior do produto final;
- Sob o ponto de vista "normalização" permite ainda a atribuição aos elementos estruturais de MLC, de uma tensão admissível ligeiramente superior às da madeira maciça de qualidade equivalente (cerca de 10%);
- A vantagem da pré-fabricação, o que pode ser traduzido em racionalização da construção e ganho de tempo na montagem e entrega da obra;
- É de uma qualidade estética indiscutível, o que pode ser largamente explorado pelos arquitetos e engenheiros, na composição de um conjunto agradável e perfeitamente integrado ao ambiente;

- A leveza dessas estruturas oferece também maior facilidade de montagem, desmontagem e possibilidade de ampliação. Além disso, o peso sendo menor, se comparado com outros materiais, pode significar economia nas fundações.

O pesquisador também relata os requisitos básicos necessários para a fabricação de elementos estruturais em MLC.

A escolha da espécie de madeira é o início do processo. Atualmente, é possível utilizar qualquer espécie, posto que os adesivos podem colar a maioria das espécies de madeira. Entretanto, com base no desenvolvimento tecnológico europeu e americano, é aconselhável o uso de coníferas com densidade entre 400 kg/m³ e 750 kg/m³, sendo evitadas madeiras com alto teor de resina. As dicotiledôneas de baixa massa volumétrica também são aconselháveis, uma vez que são fáceis de colar. Recomenda-se o uso da mesma espécie para a composição das lâminas das vigas em MLC, a fim de se evitar tensões adicionais nas linhas de cola causadas pela diferença entre os índices de contração volumétrica das madeiras.

Em paralelo à escolha da madeira, deve-se também selecionar o adesivo mais adequado. Nesta seleção deve-se levar em conta o tempo de duração da estrutura, a temperatura e o teor de umidade do ambiente em que a estrutura ficará exposta. As condições de exposição à luz do sol e chuva também devem ser levados em consideração. Os adesivos comercializados atualmente para uso em vigas MLC são à base de caseína, resorcina, resorcina-fenol-formol, uréia-formol, isocianato entre outras. Entretanto, falta no Brasil a relação entre essas colas comercializadas com as condições de uso das estruturas em MLC.

Antes da preparação das lâminas de madeira, deve-se realizar uma classificação do material para a eliminação dos defeitos e para o emprego das melhores peças nas zonas de maior solicitação.

Para vigas retas, a espessura das lâminas deve obedecer a um valor máximo. A norma européia (EN-386, 2001), que regulamenta a fabricação de elementos estruturais em MLC, recomenda uma espessura máxima de 50 mm, desde que se observe simultaneamente uma área máxima de 60 cm² para a seção transversal da lâmina de madeira de baixa densidade e de 40 cm² no caso de madeira com densidade mais elevada. O Conselho Canadense de Madeira, recomenda também a espessura máxima de 50 mm e, para lâminas com largura maior que 365 mm, deve-se utilizar o valor máximo. Já a AITC, em sua norma AITC 113-2001, determina uma espessura máxima de 25 mm e o mínimo de

20 mm. Esses valores máximos são necessários para que se tenham lâminas com poucos defeitos após a secagem em estufa. No caso de vigas curvas, há uma relação entre o raio de curvatura e a espessura da lâmina.

Para se obter elementos com grande comprimento, é necessária a união de topo entre as lâminas, que atualmente são feitas por emendas em entalhes múltiplos (“Finger-jointing”). A norma alemã DIN 68140 define as características geométricas dos entalhes. A Figura 4 mostra esse modelo de emenda.

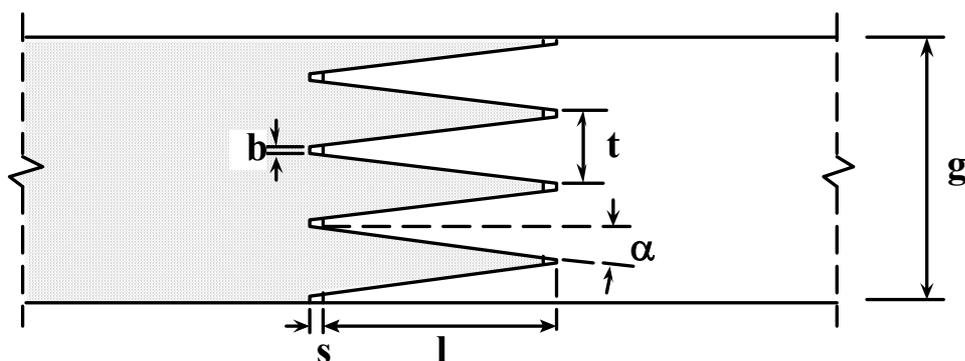


Figura 4 – Emenda por entalhes múltiplos: b – espessura da extremidade de um dente; g – largura total da emenda; l – comprimento dos entalhes; s – folga do fundo da emenda; t – passo dos dentes; e α – inclinação da fase do dente. Adaptado de Szücs (1992).

Para a norma DIN 68140, admite-se, para o caso de peças estruturais submetidas a grandes esforços, uma perda de resistência de 18% quando se utiliza este modelo de emenda em elementos de MLC. Esta perda é estimada pelo quociente entre a espessura da extremidade de um dente (b) e o passo dos dentes (t), também denominado como grau de enfraquecimento (v).

No Brasil têm sido desenvolvidas várias pesquisas sobre vigas em MLC empregando madeiras nativas de florestas brasileiras e espécies exóticas de florestas plantadas. Carrasco (1989) pesquisou em sua tese de doutorado a distribuição de tensões longitudinais, de tensões de cisalhamento ao longo da viga, e de constantes elásticas em vigas retas de madeira laminada colada de 860 cm de comprimento. Utilizando 120 extensômetros elétricos, o pesquisador pôde verificar a validade do princípio de St. Venant para a distribuição das tensões longitudinais e de cisalhamento. O autor não encontrou variações significativas do cisalhamento próximo dos pontos de aplicação das cargas. Porém, encontrou uma perturbação de até 1,87 vezes das tensões

longitudinais no ponto de reação de apoio em relação à altura da viga que era de 39,05 cm. Foi determinado experimentalmente o valor de 2,387 para o coeficiente de cisalhamento. A madeira empregada em seu trabalho foi o pinheiro do paraná (*Araucaria angustifolia*).

Graeff (1995), em sua dissertação de mestrado, analisou o desempenho de reforços com fibra de vidro nas duas últimas linhas de colagem de vigas em madeira laminada colada. Estas vigas eram compostas por madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. O autor concluiu que o reforço com fibra de vidro melhorou a resistência das vigas em média 20%, além de que vigas compostas com lâminas unidas por entalhes múltiplos e lâminas unidas de topo com reforço em fibra de vidro apresentaram a mesma resistência a um nível de 95% de significância.

Bez (2001) realizou em seu mestrado um estudo comparativo entre: (1) vigas maciças de Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*); (2) vigas em madeira laminada colada; e (3) vigas de madeira laminada colada multidirecional¹¹ com e sem reforço de fibra de vidro, ambas com madeira eucalipto (*Eucalyptus grandis*) de floresta plantada. O autor verificou que as vigas do caso (2) foram mais resistentes do que as demais vigas e que não houve diferenças significativas entre as vigas de madeira laminada colada multidirecional com e sem reforço em fibra de vidro. As vigas laminadas coladas multidirecionais foram inspiradas no modelo concebido por Sandoz (1998), e consiste em dispor as lâminas mais solicitadas num sistema paralelo e não o serial consagrado em modelos convencionais. Isto implica num número maior de lâminas nas camadas mais solicitadas, ao invés de uma, passível de falha, no modelo tradicional.

Chaves (2006) comparou a resistência e rigidez de vigas em madeira laminada colada do gênero *Pinus*. Foram concebidas vigas de madeira laminada colada multidirecional com e sem reforço de fibra de vidro. Ele verificou que não houve ganho de desempenho ao utilizar a fibra de vidro, porém estas vigas não romperam bruscamente. Nelas ocorreu uma redistribuição dos esforços entre as lâminas não rompidas, tornando a ganhar resistência até ocorrer a ruptura completa.

Andrigueto, Andrade e Szücs (2006) comparam vigas em MLC de *Pinus* composta por doze lâminas, sendo testadas vigas com três lâminas superiores e três lâminas inferiores de rigidez elevada (MLC

¹¹ Madeira laminada colada multidirecional é um termo adotado por Bez (2001) para a denominação em francês de “bois lamellé-multicolle” que em português tem-se madeira laminada multicolada e não esclarece exatamente o que caracteriza.

1/6), vigas com apenas duas lâminas superiores e duas lâminas inferiores de rigidez elevada (MLC 1/4) e vigas de madeira laminada colada multidirecional (MLCM). Os autores concluíram que as vigas MLC 1/6 tiveram rigidez 20% superior à das vigas MLC 1/4. Também concluíram que vigas MLCM apresentaram rigidez 8% menor do que aquelas apresentadas pelas vigas MLC 1/6.

Fiorelli (2005), ao pesquisar vigas em MLC de *Pinus* reforçadas com fibra de vidro, sugeriu que a porcentagem máxima do uso desse reforço devesse ser de 3,3% em relação à altura do elemento estrutural, pois a partir deste valor o ganho proporcionado pelo reforço não se mostra significativo.

Em quase toda a literatura pesquisada, os autores lembram que para um bom desempenho de vigas MLC são necessárias a classificação visual e a classificação mecânica das lâminas. Esta classificação permite que lâminas de melhor qualidade sejam posicionadas nas regiões onde haja as maiores tensões, e as de qualidade inferior nas regiões sujeitas a menores tensões. Bodig e Jayne (1993) verificaram que através da composição racional da seção de vigas torna-se possível obter uma rigidez efetiva da peça bem maior do que a rigidez das lâminas menos rígidas e, ainda, menor do que aquelas colocadas nas regiões mais solicitadas. Na maioria dos casos, a ruptura de uma viga em MLC ocorre devido a algum tipo de defeito, tais como, nós, fibras inclinadas em relação ao eixo dentre outros. As normas para esta classificação já foram mostradas anteriormente e devem ser utilizadas ao serem selecionadas lâminas para vigas em MLC. Já a classificação mecânica pode ser realizada por diversos equipamentos. Esta classificação consiste em determinar o módulo de elasticidade longitudinal (E) das lâminas através de um método não destrutivo. Dentre os métodos mais utilizados por empresas e laboratórios de pesquisa merecem destaque: (1) flexão estática; (2) “Machine Stress Rating” – MSR; (3) ondas de baixa frequência; e (4) ultrassom.

O método (1) consiste num ensaio estático de flexão com carga concentrada aplicada no meio do vão, entre dois apoios simples, e a medida do deslocamento também é realizada no meio do vão, com medições no regime elástico. O método (2) a deflexão é determinada por meio de um carregamento leve, geralmente aplicado por cilindro de pressão acoplado a uma célula de carga, sendo a deformação medida por um sensor. Os dados são computados e, então, o módulo de elasticidade aproximado da peça é estimado (MACHADO, 2000 e TEREZO, 2004). Já o método (3) é mais usado em madeiras e compósitos de madeira.

Este tipo de onda é gerado através de um impacto ou por uma força de vibração. Bodig (2000) explicou que existem duas maneiras de mensuração: uma utilizando a velocidade do som e outra pelo espectro de vibração. No método (4) são utilizadas ondas de alta frequência, as quais são empregadas com eficiência em processos de controle de qualidade na produção de laminados e compósitos permitindo, assim, uma classificação desses produtos.

Atualmente encontra-se em processo de revisão os itens referentes à MLC da NBR – 7190/97. Nela serão definidas com mais detalhes regras para a elaboração de vigas em MLC, exigindo o emprego da classificação visual e mecânica.

2.11. Ultrassom.

Pesquisadores brasileiros estão desenvolvendo estudos no campo da estimativa das propriedades físicas e mecânicas de madeiras nativas e de florestas plantadas por métodos não-destrutivos. A validação desta técnica é dada pela comparação de resultados obtidos em ensaios destrutivos, dos quais são gerados índices de correlação significativos.

O ultrassom são ondas mecânicas (de choque) inaudíveis pelo homem, apresentando a capacidade de propagar-se através de corpos gasosos, líquidos ou sólidos. A frequência de oscilação das partículas é superior a 20.000 ciclos por segundo (0,02 MHz) e inferior a 100.000.000 ciclos por segundo (100 MHz). Esta banda de frequência é classificada como ultrassom. Segundo Machado (2000), as frequências mais utilizadas em ensaios de madeira se estendem de 20 kHz até 1 MHz.

A técnica de velocidade de pulso ultrassônico envolve a determinação da velocidade de um pulso ultrassônico através de um material sólido (SHAJI et al., 2000). Dois tipos de onda podem ser reconhecidos nos sólidos: ondas de volume e ondas de superfície. As ondas de volume podem ainda se subdividir em ondas de compressão ou longitudinais, ondas de cisalhamento e ondas de torção. Quando o movimento da partícula se dá ao longo da direção de propagação da onda, diz-se que esta é longitudinal. Quando o movimento da partícula se dá perpendicularmente à direção de propagação, a onda é denominada transversal ou de cisalhamento (GONÇALVES e PUCCINI, 2000).

Gonçalves e Puccini (2000) explicam que as ondas são caracterizadas pelas direções de propagação e de polarização. Para as ondas longitudinais, a direção de propagação coincide com a direção de

polarização e, para as ondas transversais, estas são perpendiculares. Os autores relatam que no caso das ondas de superfície a polarização ocorre de maneira elíptica no plano perpendicular à superfície ensaiada e paralela à direção de propagação, podendo também se propagar em qualquer direção e em qualquer tipo de material (isotrópico ou anisotrópico).

O tempo de percurso de um pulso ou a velocidade de um pulso ultrassônico dependem da densidade e das propriedades elásticas do material (SHAJI et al., 2000). O equipamento consiste basicamente de um emissor (transdutor gerador), onde são gerados e transmitidos os pulsos ultrassônicos; um receptor (transdutor de recepção), onde os pulsos são recebidos; e um dispositivo para indicar o tempo de propagação da onda desde o transdutor emissor ao receptor. Shaji et al., (2000) explicam que o pulso ultrassônico é gerado pela aplicação de uma rápida mudança de potencial de uma placa transdutora para um elemento transformador piezelétrico que causa sua vibração em frequência conhecida. O transdutor é colocado em contato com o material e este passa a receber as vibrações. As vibrações percorrem através do material e são captadas pelo receptor. A velocidade da onda é calculada usando o tempo de propagação do pulso e a distância entre os transdutores.

Para facilitar a leitura e interpretação dos resultados, a velocidade pode ser escrita como segue:

$$V = \Delta L / \Delta t \dots \dots \dots (1)$$

Onde V = velocidade do pulso (m/s); ΔL = distância percorrida (m); e Δt = tempo de propagação (s).

O sucesso desta técnica está relacionado, primeiramente, com o entendimento dos fenômenos de propagação da onda na madeira e, por conseguinte, a definição de como usar os resultados das pesquisas básicas para desenvolver esta tecnologia (BUCUR, 1995).

Puccini (2002), ao pesquisar o emprego do ultrassom para a classificação de defeitos em peças de madeira de *Pinus taeda* sp., observou relações significativas entre a velocidade de propagação da onda e a presença de defeitos, tais como, nó, medula e inclinação da grã. Verificou também que os valores da constante elástica dinâmica das peças ficaram 28% acima do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras descrita pela NBR-7190/97.

Bartholomeu (2001), em sua tese de doutorado, pesquisou a possibilidade de emprego do ultrassom na classificação mecânica de peças em madeira. Tendo as espécies cupiúba (*Goupia glabra*), o eucalipto citriodora (*Eucalyptus citriodora*) e o pinus elliottii (*Pinus elliottii*) como fontes do trabalho, o autor verificou que tanto para os corpos de prova de compressão paralela às fibras, como para as vigas estruturais submetidas à esforços de flexão, houve uma correlação significativa. Esses resultados foram determinados para madeira secas com teor de 12% de umidade e também para madeiras saturadas. Com esses resultados, o pesquisador propôs um método de classificação que teve como base as faixas de velocidades de propagação da onda.

Este estudo foi ampliado e aperfeiçoado com o objetivo de elaborar um projeto de norma para a utilização do ultrassom como método de classificação mecânica de peças de madeira. O projeto de norma PNBR 58:00.10-001 deu lugar a atual norma brasileira NBR: 15.521/2007 - Ensaio Não-Destrutivo – Ultrassom aplicado à madeira de dicotiledônea. Um considerável avanço para o processo de qualificação dos produtos em madeira, bem como para as pesquisas com ensaios não destrutivos em madeira no Brasil.

2.12. Considerações

A bibliografia pesquisada demonstra que o paricá possui um grande potencial para o uso em MLC, pois para Macedo et al. (2000), o processo de produção de MLC permite o emprego, no âmbito estrutural, de madeiras de baixa e média densidade. Segundo Szücs (1992), as espécies mais aconselhadas para o emprego em MLC são as das coníferas com densidade básica entre 400 kg/m³ e 750 kg/m³. No entanto, as dicotiledôneas de baixa densidade básica também podem ser consideradas para a aplicação em MLC, pois são facilmente coláveis. O pesquisador também afirma que:

[...em todo caso, como o processo da MLC é pouco utilizado no Brasil, é evidente que estudos devem ser realizados no sentido de se proceder em cada região ou estado, uma investigação botânica, física e mecânica para a caracterização das madeiras que melhor possam se adaptar a essa técnica. Devem ter destaque nessa investigação, principalmente as madeiras de reflorestamento] (SZÜCS, 1992).

Observa-se que a espécie paricá, a princípio, possui todos os pré-requisitos para ser amplamente utilizada em vigas de MLC. Apesar

de sua durabilidade natural ser limitada, ela apresenta a vantagem de ser uma espécie que pode ser tratada quimicamente.

Vale ressaltar, que os requisitos descritos para a confecção de elementos em MLC são baseados em normas estrangeiras, as quais utilizam madeiras oriundas de suas florestas plantadas, os quais, por sua vez, são compostas basicamente por coníferas de crescimento lento. Nesse caso, tais recomendações podem não ser aplicáveis para as madeiras brasileiras nativas e exóticas oriundas de florestas plantadas e de rápido crescimento, como é o caso do paricá. Os fatores de espessura das lâminas e geometria das emendas por entalhes múltiplos devem ser pesquisados profundamente no Brasil. Portanto, a divulgação dos resultados das pesquisas brasileiras nesta área deve ser ampliada e massivamente citada entre os trabalhos científicos. Deste modo, podem-se propor fatores de fabricação e dimensionamento estruturais mais apropriados para a realidade brasileira.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material desta pesquisa foi a madeira de paricá proveniente de florestas plantadas do Estado do Pará. As madeiras de árvores com idades de 6 e 10 anos foram doadas por plantios pertencentes à empresa Tramontina S/A, no município de Aurora do Pará. Já as árvores de idade de 19 e 28 anos foram também doadas de plantações particulares pertencentes ao Sr. João Francisco de Deus Neto, do município de Tomé-açu. Para o alcance dos objetivos descritos serão relacionados a seguir os métodos adotados nesta pesquisa.

3.1. Amostragem no plantio de Aurora do Pará

Nesta fase, optou-se por uma amostragem aleatória do material utilizado na pesquisa, sendo mencionados os fatores principais da amostragem e descritos os procedimentos de seleção, os quais seguiram as recomendações de Espinosa et al. (2000) além de outras consignações que foram consideradas adequadas para o trabalho.

3.1.1. Localização da área

A área do plantio de paricá da empresa Tramontina S/A está localizada no Município de Aurora do Pará. Segundo informações fornecidas pela empresa, o campo experimental está situado no paralelo 2°10' de latitude Sul e 47°34' de longitude Oeste. Seu acesso principal é feito pela BR 010, km 63, distante em linha reta 200 km da capital do estado (Belém). Esta área abrange 735 ha com mais de 450.000 árvores plantadas de 16 espécies, entre as quais, além do paricá, merecem destaque o ipê (*Tabebuia* sp.), o freijó (*Cordia goeldiana*), o jatobá (*Hymenaea courbaril*) e o mogno (*Swietenia macrophylla*).

3.1.2. Clima e solo

O clima da região é classificado, conforme as classes de Köppen, como pertencente ao grupo A. Este grupo é caracterizado por apresentar clima tropical quente e úmido, sem estação fria, com chuvas periódicas. A temperatura média anual é entre 25 e 27 °C. Apresenta uma precipitação anual que varia entre 2.250 mm e 2.500 mm, distribuída de maneira a caracterizar duas épocas distintas: a mais chuvosa e a menos chuvosa, sendo que a sua maior concentração (cerca de 80%) se dá entre os meses de janeiro e junho (JESUS, 2004).

Segundo pesquisas realizadas pela empresa, o solo é do tipo Latossolo Amarelo, de textura variável, possuindo baixo teor de matéria orgânica e alta lixiviação.

3.1.3. Coleta do material

Ferreira (1972), avaliando a variação da densidade entre árvores de *Eucalyptus grandis* em idades entre 11, 12, 13, 14 e 16 anos, concluiu que 35 árvores de cada idade eram suficientes para determinar o valor da densidade básica a um nível exato com significância de 20%. Nesta pesquisa foram escolhidas duas áreas de reflorestamento: Plantio 1995 – 400 árvores de 10 anos de idade e Plantio 1998 – 400 árvores de paricá com 6 anos de idade. Destas populações, foram sorteadas 8 árvores em cada uma das 5 amostras em cada plantio, perfazendo 40 árvores por plantio, numa população total de 800 árvores para os dois plantios. A coleta deste material se deu em novembro de 2005 (Figura 5).



Figura 5 - (a) medição do diâmetro - DAP, (b) derrubada e (c) medição do comprimento.

Em termos de volume bruto em metros cúbicos, em toras, por plantio e amostra, tem-se a seguinte distribuição, conforme pode ser visto nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Volume bruto em m³ de madeira em tora do Plantio de 1995.

AMOSTRA 34		AMOSTRA 33		AMOSTRA 32		AMOSTRA 31		AMOSTRA 30	
ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME
19 *	0,000	9	0,503	5	0,273	20	0,161	21	0,121
28	0,155	41	0,281	11	0,412	25	0,054	27	0,045
29	0,145	53	0,281	14	0,126	28	0,369	40	0,041
38	0,153	61	0,638	41	0,369	40	0,171	43	0,047
41	0,188	63	0,393	45	0,217	51	0,199	48	0,042
50	0,441	65	0,402	69	0,148	53	0,055	61	0,070
55	0,136	67	0,157	72	0,265	55	0,199	71	0,331
57	0,267	73	0,375	74	0,229	59	0,535	74	0,084
TOTAL	1,485		3,029		2,039		1,742		0,781

Nota: (*) A árvore 19 não foi utilizada.

Tabela 9 - Volume bruto em m³ de madeira em tora do Plantio de 1998.

AMOSTRA A		AMOSTRA B		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3	
ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME
5	0,289	67	0,188	3	0,235	81	0,183	1	0,330
6	0,155	71	0,140	6	0,188	80	0,357	23	0,274
13	0,141	60	0,150	11	0,201	83	0,288	25	0,348
22	0,166	58	0,141	20	0,375	74	0,153	27	0,316
24	0,072	60	FAVEIRA	25	0,068	77	0,248	42	0,402
33	0,084	69	0,133	40	0,133	74	0,153	51	0,330
43	0,075	61	0,155	47	0,193	73	0,223	55	0,461
44	0,084	60	0,100	63	0,412	76	0,161	62	0,091
TOTAL	1,067		1,007		1,804		1,763		2,554

Os volumes úteis para a serraria foram de 9,076 m³ para o Plantio 1995 e, 8,195 m³ para o Plantio 1998. Estes valores servirão de base para a validação da amostragem frente às medições realizadas pela empresa para toda a população.

3.1.4. Produtividade

Foram utilizados um serrador, dois ajudantes, um tratorista, um medidor e um supervisor, sendo o serviço executado em quatro dias.

As toras foram divididas em pequenas toras (Toretas) de 2,5 m de comprimento para facilitar o transporte da madeira (Figura 6).



Figura 6 - Cortes das toras em toretes de 2,5 m de comprimento.

Os toretes de 2,5 m podiam ser transportados por três e dois homens. Isto diminui custos e acelera o trabalho em campo (Figura 7).



Figura 7 - Transporte dos toretes até o trator.

O carregamento dos toretes no reboque do trator pôde ser feito sem o auxílio de equipamentos hidráulicos (Figura 8).



Figura 8 - Carregamento das amostras no reboque do trator.

Todos os toretes receberam uma marcação com o código da árvore e posição do torete na árvore antes de serem serrados (Figura 9).



Figura 9 - (a) Toretos codificados e armazenados conforme idade e (b) toretos codificados sendo transportados para desdobro.

O código guarda a seguinte sequência lógica: número da árvore – posição do torete na árvore – número do talhão. Cada árvore em seu talhão recebeu um número. Este número foi dado na época do plantio e seu desenvolvimento foi acompanhado, medindo-se altura e diâmetro. Na sequência, tem-se uma marcação que se refere à posição do torete na árvore, sendo o símbolo I – torete próximo à base da árvore; II – torete seguinte ao I; III- subsequente ao torete II; e IV- próximo à copa da árvore. Ao final, o número do talhão ao qual pertenciam a árvore.

Sabendo-se o número do talhão, sabe-se o ano do plantio. Estes números foram atribuídos ao talhão na época do plantio.

3.1.5. Processamento da madeira

São descritos a seguir as etapas de desdobro, armazenamento, secagem e reserragem das amostras coletadas na floresta da Tramontina Belém S/A.

3.1.5.1. Desdobro

O desdobro dos toretes foi realizado numa serraria próxima ao plantio. Esta serraria não dispunha de equipamento adequado para trabalhar com árvores de pequeno diâmetro. Quase a totalidade dessas empresas trabalha exclusivamente com toras de floresta nativa. Isto dificultou a pesquisa, uma vez que foi necessário carregar várias vezes ao dia o carro de tora, tornando lento o processo de esquadrejamento e cortes das pranchas (Figura 10 a).



Figura 10 - (a) serragem dos toretes em serra fita com carro e (b) torete esquadrejado.

Inicialmente, foi retirada a casca do torete (costaneira) e, posteriormente, foram sendo retiradas pranchas com espessuras entre 5 e 16 cm de maneira que fosse possível o aproveitamento máximo do torete (Figura 10 b). Estas espessuras são medidas comerciais empregadas para madeira de reflorestamento de eucalipto e pinus no mercado de São Paulo: prancha – 5 cm x 30 cm ; viga – 6 cm x 12 cm e 6 cm x 16 cm; sarrafo - 2,5 cm x 5cm, 2,5 cm x 7,5 cm, 2,5 cm x 10 cm e 2,5 cm x 15cm. A primeira medida refere-se à espessura e, a segunda, à largura. (CEPEA, 2004).

A industrialização da madeira forneceu, conforme Tabela 10, a seguinte volumetria e rendimento por amostra, considerando que as peças não tinham sido reserradas.

Tabela 10 - Volume de madeira após a serragem.

PLANTIO 1995		PLANTIO 1998	
AMOSTRA	VOLUME (m ³)	AMOSTRA	VOLUME (m ³)
30	1,314	A	0,837
31	2,351	B	0,841
32	1,855	1	1,592
33	1,420	2	1,632
34	0,588	3	2,359
TOTAL	7,528	TOTAL	7,261
RENDIMENTO	82,9 %	RENDIMENTO	88,6 %

3.1.5.2. Armazenamento

As pranchas foram empilhadas de forma que houvesse circulação de ar entre elas. Todas foram abrigadas num pequeno galpão aberto, dentro da propriedade da Tramontina S/A (Figura 11).



Figura 11 - Esquema de armazenagem das pranchas de paricá dos plantios 1998 e 1995.

Antes do empilhamento das pranchas, foi realizada uma classificação (Figura 12) das pranchas quanto à sua tortuosidade e rachaduras, para minimizar as perdas por secagem e para otimizar o

transporte do lote até as estufas da fábrica de utensílios em madeira, da empresa Tramontina S/A na capital Belém.



Figura 12 - Armazenamento das pranchas de paricá de 6 e 10 anos aptas à secagem em estufa.

3.1.5.3. Secagem

Foram despendidos 20 dias para secagem até 10 % de umidade. Após essa etapa, notou-se que as madeiras sem defeitos não sofreram empenamento e/ou rachaduras. Pequenas rachaduras em algumas peças foram notadas somente durante a secagem ao ar livre (tempo em que ficaram armazenadas no pequeno galpão à espera da autorização de transporte pelo IBAMA), sendo que algumas rachaduras se prolongaram durante a secagem.

Acredita-se que o não empenamento das peças se deu em função do programa de secagem adotado pela empresa, pela espessura das peças e ao bom espaçamento de calços entre as peças (gradeamento ou tabicamento).

A secagem foi realizada em estufa automatizada com sensores de controle para determinação da umidade (Figura 13).



Figura 13 – Secagem da madeira: (a) determinação do teor de umidade com higrômetro resistivo portátil e (b) higrômetro resistivo do sistema controlador da estufa.

As toras, que foram somente esquadrejadas, tiveram poucas peças com fissuras e rachaduras, e as que foram cortadas em prancha que incluíam a medula mostraram grandes rachaduras.

Com esta experiência, a recomendação para trabalhos futuros é que as toras sejam serradas excluindo-se a madeira da área de abrangência da medula. Recomenda-se também que a casca seja eliminada completamente e que a secagem seja feita com as peças já na medida em que se deseja trabalhar.

3.1.5.4. Resserragem.

De modo a facilitar a retirada dos corpos de prova para os testes de laboratório a madeira já seca em estufa foi serrada novamente.

Foram excluídas as peças com rachadura, e retiradas a medula e as partes atingidas por fungos e que contivessem costaneiras.

Nesta etapa de resserragem houve uma perda de cerca de 5 m³ do total de 12 m³ e utilizou-se 3 operários especializados: um romaneador; um serrador e um auxiliar, durante quatro dias integrais de trabalho.

3.1.6. Seleção e classificação do material.

Foram selecionadas 13 árvores de cada idade para a confecção dos corpos de prova. As pranchas escolhidas tinham espessura maior ou igual a 60 mm. A posição de retirada dos corpos de prova (CP's) foi demarcada em cada prancha. Estas posições foram classificadas como isentas de defeitos. Além das 13 árvores, foram também selecionadas mais pranchas provenientes de 4 árvores para uma possível substituição de um CP danificado.

A Figura 14 mostra a organização e armazenamento das peças no Laboratório de Experimentação em Estruturas - LEE.

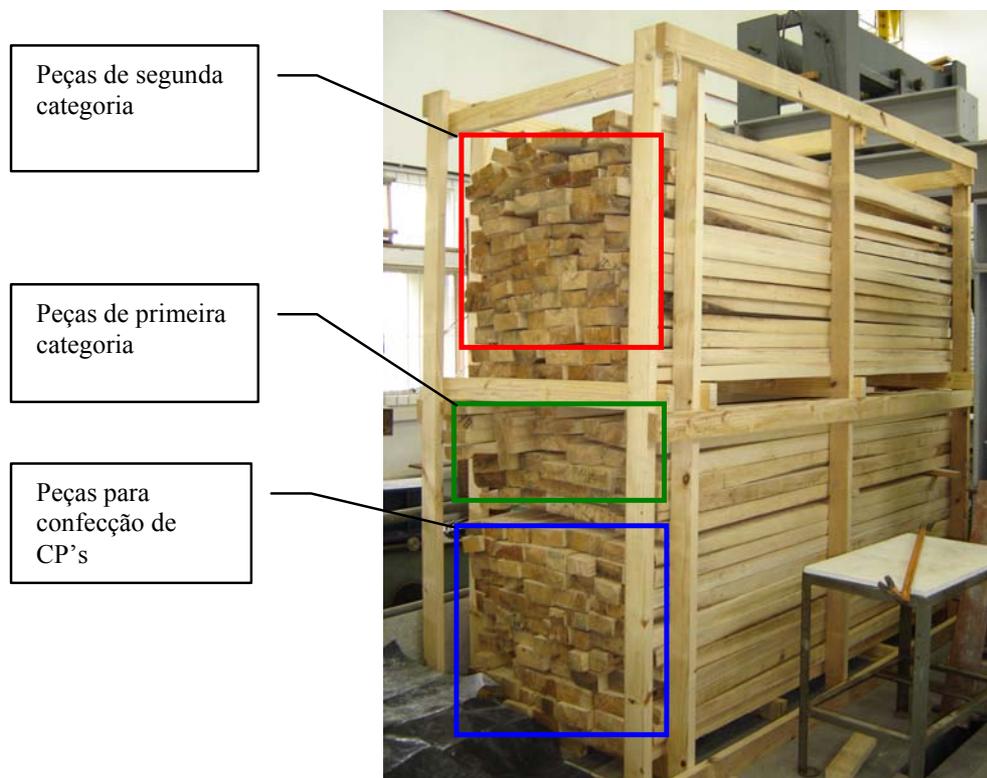


Figura 14 - Esquema de armazenamento das peças de paricá.

A Figura 15 mostra as peças desclassificadas pela presença de medula, fungo, casca, broca, torcimento e encurvamento excessivo.



Figura 15 - Peças desclassificadas devido aos defeitos e ao pouco aproveitamento.

A classificação das peças foi baseada na “Norma para classificação de madeira serrada de folhosas”, desenvolvida pelo extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF (1984).

3.2. Amostragem no plantio de Tomé-Açu

Nesta etapa também foi realizado uma amostragem aleatória do material pesquisado. Os procedimentos de seleção adotados foram também executados conforme as recomendações de Espinosa et al. (2000) e outros fatores que foram considerados adequados para a pesquisa.

3.2.1. Localização da área

A área do plantio de paricá pertencente ao Sr. João Francisco de Deus Neto está localizada no município de Tomé-Açu. Esta floresta plantada está situada no paralelo 02°40’ de latitude Sul e 48°16’ de longitude Oeste (BAENA e FALESI, 1999). Seu acesso principal é feito pela estrada PA-140, distante a 208 km da capital do estado (Belém). Devido ao rápido crescimento do paricá, este plantio foi realizado com o objetivo de proteger as árvores de cacau contra a incidência dos raios solares.

Segundo informações fornecidas pelo proprietário e pela empresa Tramontina S/A, as sementes utilizadas nos dois plantios, Aurora do Pará e Tomé-Açu, são oriundas da mesma região. Foram

coletadas na Estação Experimental de Curuauna, localizada na região norte do Estado do Pará, e distribuídas para a cooperativa agrícola de Tomé-Açu em 1968 e também vendidas à Tramontina em 1995.

3.2.2. Clima e solo

O clima da região é classificado conforme as classes de Köppen como pertencente ao grupo Am. Clima mesotérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada em torno de 25 °C. O período mais quente com médias mensais em torno de 27,9 °C, o seu regime pluviométrico é próximo a 2.500 mm. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo de novembro a junho sua maior concentração (BAENA e FALESI, 1999).

Segundo pesquisas realizadas por Baena e Falesi (1999), o solo é do tipo latossolo amarelo distrófico, textura argilosa média e concrecionário laterítico.

3.2.3. Coleta do material

Devido ao grande porte das árvores de 19 e 28 anos, foram selecionadas cinco árvores de cada idade. Esta seleção e derrubada das árvores se deu em novembro e dezembro de 2007.



Figura 16 - (a) Porte da árvore com 28 anos, (b) marcação das amostras, e (c) detalhe do tronco com apodrecimento interno.

As árvores de 28 anos de idade foram identificadas pelas letras que seguem de A até E (Figura 16 b); e as árvores de 19 anos de idade foram marcadas com as letras que seguem de F até J.

No campo, observou-se que na primeira árvore derrubada, com 30 anos de idade em média, o cerne se apresentava comprometido

(Figura 16 c). A partir de então, foram realizadas batidas no tronco das demais árvores para a detecção de uma provável degradação interna por meio da auscultação. Em várias árvores foram observados sons que indicavam podridão interna.

3.2.4. Produtividade

A equipe de coleta do material era composta por um serrador, dois ajudantes, um motorista e um supervisor, sendo o serviço executado em três dias. Esta equipe treinada procedeu a derrubada das árvores e o enlace com cabos de aço dos troncos para facilitar o transporte até o ponto de embarque no caminhão (Figura 17 e Figura 18).



Figura 17 - Derrubada da primeira árvore de paricá com 30 anos.



Figura 18 - (a) Retirada dos galhos para enlace da tora, e (b) carregamento das toras no caminhão.

Para evitar o ataque de fungos procedeu-se a aplicação de fungicidas nos topos das toras e nos locais onde a casca foi acidentalmente retirada.

A manutenção da casca evita a drástica perda de umidade, que ocasiona rachaduras inadequadas na madeira.

3.2.5. Processamento da madeira

São descritas a seguir as etapas de desdobro, preservação, secagem e reserragem das amostras coletadas na floresta de Tomé-Açu.

3.2.5.1. Desdobro

As toras, transportadas para a serraria da empresa ARCA Madeireira, foram cortadas em toretes de 2,5 m e também serradas no mesmo dia (Figura 19).

O código das toras guarda a seguinte sequência lógica: idade da árvore – posição da tora na árvore. Exemplo: A2 – letra A corresponde a árvore de 28 anos e o número 2 corresponde a segunda tora posterior à primeira tora ao nível do DAP. Deste modo identifica-se as diversas toras com as árvores matrizes em sequência de comprimento até o início dos galhos das árvores, ou seja, A1; A2; A3; A4; e A5. As pontas que excediam o múltiplo de 2,5 m foram descartadas.



Figura 19 – Processamento da madeira: (a) corte da tora em toretes e; (b) torete sendo serrado em pranchas.

As toras bem alinhadas tiveram uma boa produtividade na serra fita, sendo as dimensões finais das peças as seguintes: 8 cm x 8 cm, 8 cm x 16 cm e 8 cm x 24 cm.

O estabelecimento de 8 cm de sobre espessura deu-se pelo fato da contração das células ao longo do período de secagem, o que permitiu o seu processamento final em peças com 6 cm de espessura. Esta sobre espessura também teve que ser considerada, uma vez que o maquinário de serra de fita não garantiu uma espessura uniforme ao longo das peças.

3.2.5.2. Preservação com imunizante químico

Devido ao ambiente altamente favorável ao ataque de fungos e brocas, todas as pranchas, após a retirada das costaneiras, foram imunizadas em tanques por meio de banho frio (Figura 20).



Figura 20 – Imunização das pranchas de paricá das árvores de 19 e 28 anos.

O imunizante utilizado foi da marca ISOGAMA, a base de piretróide, na proporção de 3 litros do produto para 100 litros d'água (3%). Este produto é indicado para a preservação da madeira contra fungos manchadores e apodrecedores.

Antes da embalagem das pranchas, foi realizada uma classificação das mesmas quanto a sua tortuosidade e rachaduras para minimizar as perdas por secagem e para otimizar o transporte do lote até as estufas da empresa DALMASO Madeiras, no município de Paragominas/PA.

As peças foram identificadas pelas letras e números sequenciais das toras e armazenadas em um galpão em número de seis lotes, utilizando-se uma ripa de paricá entre as peças para evitar manchas e permitir uma melhor ventilação entre as mesmas (Figura 21).



(a)

(b)

Figura 21 – (a) Empilhamento com tabiques mais grossos e (b) lotes prontos para secagem.

Não foram observadas manchas provenientes de ataque de fungos ou perfurações de brocas. Somente foram encontradas manchas escuras nos topos das peças provocadas devido ao óleo das motosserras.

3.2.5.3. Secagem

O tempo para secagem foi de quinze dias e sendo realizada em conjunto com madeiras mais densas como o Tauarí (*Couratari* sp). Os lotes de paricá foram posicionados na parte central da secadora, cuja capacidade era para 100 m³ (Figura 22). Por não existirem secadores neste município, esta secagem foi realizada no município de Paragominas, no Estado do Pará, cerca de 300km de Tomé-Açu. A secagem foi realizada também em estufa automatizada.

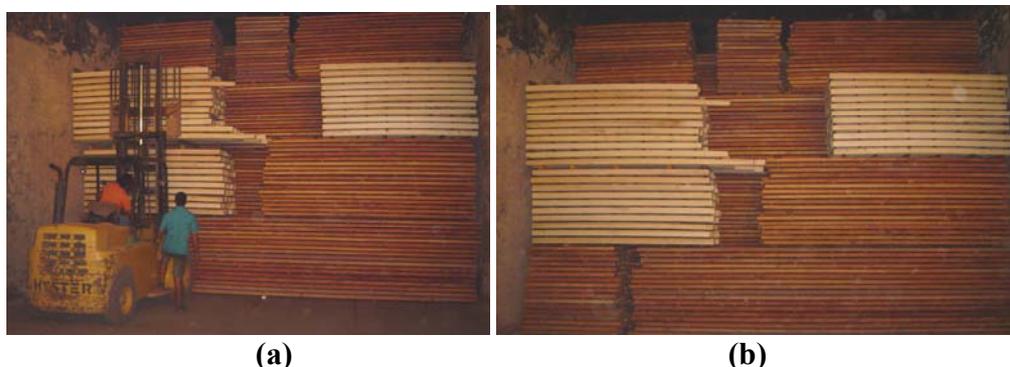


Figura 22 – (a) Empilhamento na secadora e (b) lotes posicionados no meio da secadora.

Foram observados poucos defeitos após a secagem. Isso se deu pelo fato de que as peças tinham uma grande espessura e não apresentavam defeitos como nós e presença de medula. Os defeitos observados foram empenamentos e rachaduras no topo de algumas peças.

3.2.5.4. Resserragem.

As peças de madeira, após terem sido serradas em serra fita e posteriormente secadas, apresentaram uma grande variação nas dimensões finais. Estas imperfeições não permitiram que as peças fossem imediatamente aplainadas. Neste caso, todas foram novamente serradas numa máquina desengrossadeira.

Após o desengrosso, todas as peças foram aplainadas numa máquina multilâmina com quatro faces (Figura 23). As dimensões finais das peças foram: 6 cm x 22 cm; 6 cm x 14 cm; e 6 cm x 6 cm. A dimensão variou de acordo com a peça com comprimento médio de 2,45 m, máximo de 2,67 m e mínimo 2,41 m, sendo que poucas peças apresentaram dimensões inferiores.



(a)



(b)

Figura 23 – (a) Peças desengrossadas sendo aplainadas nas 4 faces e (b) plaina S4S em funcionamento.



(a)



(b)

Figura 24 – (a) Topos das peças sendo retirados e (b) marcação das peças e registro das dimensões.



(a)



(b)

Figura 25 – (a) Aspecto final das peças após aplainamento e (b) peças sendo embaladas para transporte.

Para as peças com idade de 28 anos, depois do descarte, obteve-se 32 peças de 6 cm x 22 cm ; 70 peças de 6 cm x 14 cm; e 39 peças de 6 cm x 6 cm. Para as peças com idade de 19 anos, depois do descarte, foram obtidas 4 peças de 6 cm x 22 cm ; 57 peças de 6 cm x 14 cm; e 33 peças de 6 cm x 6 cm.

Do total de 150 peças com idade de 28 anos e 97 peças com idade de 19 anos, registradas em Paragominas/PA, e o descarte de 9 e 3 peças nas respectivas idades, obtiveram-se 141 e 94 peças finais para 28 e 19 anos, respectivamente, após o aplainamento.

3.2.6. Sugestões para trabalhos futuros

Houve problemas com a marcação na casca das árvores. Estas se desprenderam em alguns locais e tiveram que ser refeitas.

A identificação das árvores poderia ser feita por tintas de cores diferentes. Depois de derrubada a árvore, a pintura poderia ser feita nos topos das toras integralmente, ou seja em toda a face.

Deve se ressaltar que a fixação da pintura logo após a derrubada é complicada pela seiva que escorre na madeira cortada. É necessário esperar, talvez uma hora, até que a seiva pare de correr sobre o topo.

Os toretes também poderiam ser marcados com tinta nos topos, o que definiria a posição do torete em relação ao tronco da árvore. Com isso a marcação somente seria refeita no momento da retirada de defeitos no topo, após aplainamento.

3.2.7. Seleção e classificação do material.

O material proveniente de Tomé-Açu foi classificado como sendo de primeira categoria, pois em cada etapa de usinagem da madeira, foram selecionadas sempre as peças isentas de defeitos. Com o conhecimento adquirido durante a preparação do material de Aurora do Pará, foi possível obter uma amostra de qualidade muito superior, sendo posteriormente, todo material entregue ao LEE na UFSC.

3.3. Caracterização por testes não destrutivos.

Foram realizadas leituras da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas em todas as peças de madeira. O equipamento empregado foi o Sylvatest® adquirido pelo GIEM. Este equipamento utiliza energia elétrica que é armazenada em baterias. Pesa 5,7 kg e suas dimensões são 29 cm x 20 cm x 12 cm, foi produzido por Sandez S/A na Suíça. Possui transdutores de onda logitudinal de formato cônico e frequência de 30 kHz. Calcula automaticamente, para madeiras exóticas, o módulo de

elasticidade desde que informações sobre a espécie, comprimento e geometria (seção quadrada ou cilíndrica) sejam adicionadas ao sistema via teclado (SANDEZ S/A, 1991). Tal função não foi utilizada nesta pesquisa. Este equipamento e sua aplicação podem ser visualizados pela Figura 26.



Figura 26 – Leitura da propagação de onda ultrassônica com equipamento Sylvatest®.

Neste ensaio, os transdutores foram, primeiramente, posicionados de topo um contra o outro para conferir a calibração do equipamento. Posteriormente os transdutores foram colocados na superfície e nos topos das peças. Foram realizadas quatro medidas na superfície com distância entre transdutores de 1,50 m. Esta medida foi adotada para que prováveis defeitos nos topos das peças não pudessem atrapalhar a leitura, bem como manter uma distância padrão a ser avaliada entre as amostras. Vale ressaltar que o fabricante recomenda que seja feito um orifício na madeira para o posicionamento da ponta dos transdutores. Porém, conforme pesquisa realizada por Terezo (2004), este orifício não muda, de maneira significativa, a leitura da velocidade de propagação da onda pelo equipamento.

Para as medidas no topo também foram feitas quatro leituras, entretanto, somente nas peças dos lotes de 19 e 28 anos, cujos topos

encontravam-se sem defeitos. A propagação da onda se deu sempre na direção longitudinal da peça. A Figura 27, ilustra os pontos de medida na superfície e o sentido de propagação da onda.

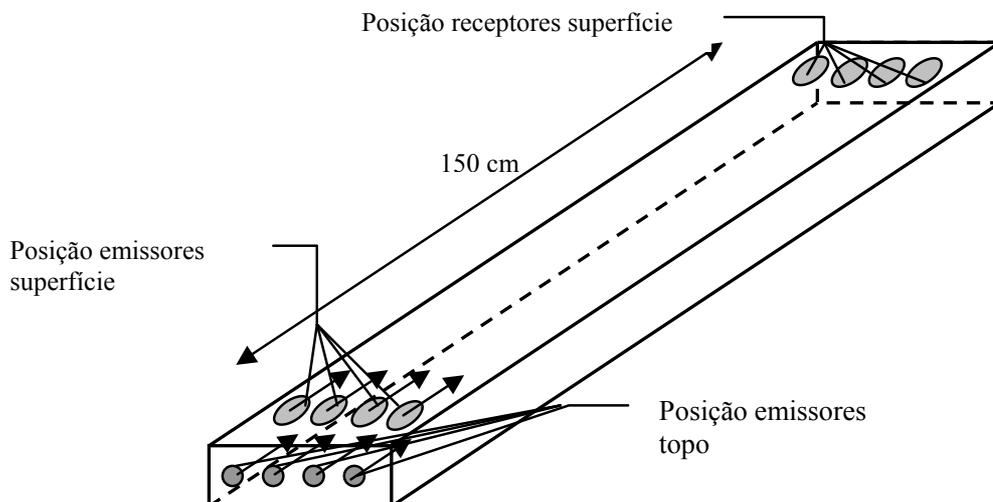


Figura 27 – Esquema do posicionamento dos transdutores emissores e receptores de ultrassom.

O padrão de leitura seguiu as recomendações do ainda projeto de norma PNBR 58:00.10-001 – Ensaio Não-Destrutivo – Ultrassom aplicado à madeira de dicotiledônea. Posteriormente, os dados das velocidades foram corrigidas para a condição saturada e a classificação das peças se deu conforme as recomendações da atual norma brasileira NBR- 15.521/2007 - Ensaio Não-Destrutivo – Ultrassom aplicado à madeira de dicotiledônea.

Também foram realizadas medições para se determinar o teor de umidade de cada peça de madeira. Esta medição se deu por meio da aplicação de um higrômetro resistivo. O critério de leitura também seguiu padrões recomendados pela NBR- 15.521/2007.

Para determinação do valor do tempo de propagação médio de cada peça foram identificados e retirados, quando necessário, o valor espúrio do total de leituras realizadas em cada amostra. Para isto, foi utilizada a tabela “One-sided Test”. A velocidade de propagação foi determinada através da Equação 1.

No que se refere à saturação da peça, as umidades encontradas nas pranchas em estudo utilizando-se um higrômetro resistivo foi em

média de 15%, ao passo que, os intervalos de velocidade correspondente às classes de resistência foram elaborados com base na condição saturada (umidade superior a 30%), portanto, é imprescindível que se realize correção dos valores encontrados. Segundo a NBR - 15.521/2007, deve-se aplicar a Equação 2.

$$V_{LLSATURADA} = -1745 + V_{LL} + 16xU + \rho_{ap} \dots\dots\dots(2)$$

Onde $V_{LL\text{ saturada}}$ = velocidade longitudinal na peça saturada com umidade acima de 30% (m/s); V_{LL} = velocidade longitudinal na peça com umidade entre 12% e 30% (m/s); U = umidade da madeira (%); ρ_{ap} densidade aparente da madeira (kg/m^3).

3.3.1. Faixas de classificação.

De posse dos valores médios das velocidades de propagação das ondas na direção longitudinal, determinadas pela Equação 2 para as peças de madeira na condição saturada, utilizou-se a tabela de classificação (Tabela 11) contida no NBR - 15.521/2007. Sabendo-se que estas faixas de classificação correspondem aos valores de elasticidade e de resistência esperados para a madeira na umidade de referência (12%), definiram-se os valores médios para os lotes de paricá das quatro idades.

Tabela 11 - Faixas de classificação baseada nas Classes de Velocidade na peça estrutural saturada (V_{vsat}). Adaptado da NBR - 15.521/2007.

Classe	V _{LLsat} (m/s)	E _M 12% (MPa)	f _{c0,k} 12% (MPa)	E _{c0,m} 12% (MPa)
UD - 20	V _{LLsat} < 3040	> 6750	20	8000
UD - 25	3040 - 3690	6750 – 10420	25	12000
UD - 30	3690 - 3950	10420 – 13020	30	14000
UD - 35	3950 - 4140	13020 – 14920	35	15000
UD - 40	4140 - 4300	14920 – 16520	40	16500
UD - 45	4300 - 4390	16520 – 17420	45	18500
UD - 50	4390 - 4490	17420 – 18420	50	19500
UD - 55	4490 - 4600	18420 – 19120	55	20500
UD - 60	V _{LLsat} > 4600	E _M > 19120	60	21200

3.4. Características do lenho

Neste tópico, são apresentadas a amostragem e a metodologia empregadas para o estudo sobre as características do lenho das árvores de paricá nas diferentes idades.

3.4.1. Árvores de 6 e 10 anos de idade

Em cada amostragem foi derrubada uma árvore e dela foi retirado um disco ao nível do DAP, totalizando 10 discos, sendo 5 discos de cada idade. De posse deste material, foram realizados dois estudos: determinação do percentual de cerne e albarno para cada idade e análise da estrutura anatômica das árvores.

No primeiro estudo, foram realizadas três medidas do diâmetro total dos discos, contabilizando a área total de superfície de lenho. Depois foram realizadas três medidas do diâmetro da região central mais escura do disco, que representa o cerne (Figura 28).



Figura 28 - (a) Aparência típica do lenho e (b) medição do diâmetro do disco.

Pela diferença das medidas entre a área total, menos a área de cerne, pôde-se estimar a porcentagem de madeira de albarno e de cerne em cada idade.

Com a orientação do botânico pesquisador Prof^o João de Deus Medeiros, do Laboratório de Anatomia do Centro de Ciências Biológicas – CCB da UFSC, para o segundo estudo, foram escolhidos dois discos, um de cada idade, e deles foram retirados seis pequenos cubos, perfazendo um total de 12 corpos de prova. Suas dimensões eram de 15 mm x 15 mm x 20 mm. Todos tiveram marcações para orientar quanto à sua posição no disco. As posições correspondiam em: próximo à medula, transição entre cerne/albarno, e albarno (Figura 29).



Figura 29 - Posição dos corpos de prova em relação ao disco de madeira.

Estes corpos de prova foram imersos em água e depois foram amolecidos com água e glicerina em ebulição. Posteriormente foram fixados em micrótomo de deslize, para a obtenção de cortes finos dos planos transversal, longitudinal radial e tangencial. Os cortes finos foram clarificados com hipoclorito de sódio e depois lavados com água destilada. Após esta etapa, todos foram corados (safranina e azul de astra), sendo em seguida desidratados em série alcoólica (de 30% a 100 %) e depois lavados com xilol. Na seqüência foram montadas as lâminas. As amostras foram analisadas e fotografadas com auxílio de um microscópio com máquina fotográfica acoplada.



Figura 30 - Esquema de preparação de lâminas com cortes de madeira de paricá.

A Figura 30 mostra parte desta sequência de preparação das lâminas, onde se vê os cortes finos não clarificados, os produtos químicos e a sequência de vidros relógio para a desidratação com série alcoólica.

3.4.2. Árvores de 19 e 28 anos de idade

Foi retirado um disco à altura do peito - DAP de cada árvore selecionada, totalizando 10 discos, ou seja, 5 discos por idade. Entretanto, a primeira árvore derrubada tinha uma podridão interna muito avançada, que impossibilitou uma avaliação mais acurada sobre as propriedades do seu lenho. De posse deste material, além da determinação do percentual de cerne e alburno para cada idade e da análise da estrutura anatômica das árvores, foi realizada a contagem dos anéis de crescimento em 5 direções radiais diferentes.

A contagem dos anéis de crescimento dos discos ao DAP se deu na direção radial no sentido da medula para casca. Foram feitas 4 leituras em regiões diferentes do disco obtendo-se, posteriormente, uma média em cada lote. Deste modo, estimaram-se as idades das árvores destes lotes. Os valores da contagem dos anéis são representados pela Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 – Contagem dos anéis de crescimento das árvores de Tomé-Açu.

Amostra	Anéis				Média
A	26	37	26	28	29,25
B	32	31	33	31	31,75
C	27	22	27	27	25,75
E	23	26	22	24	23,75
				Média	28
F	19	19	21	22	20,25
G	21	21	21	21	21
H	18	19	20	21	19,5
I	18	17	21	20	19
J	18	18	17	16	17,25
				Média	19

Também foi empregada a mesma metodologia dos lotes da Tramontina S/A para a determinação da proporção entre cerne e alburno.

Pela diferença das medidas das áreas totais, menos as áreas de cerne, pôde-se estimar também a porcentagem de madeira de alburno e cerne em cada idade.

Seguindo as mesmas orientações adotadas para as amostras de Aurora do Pará, foram preparadas as lâminas para observação do material lenhoso em microscópio. As amostras foram analisadas e fotografadas com auxílio de um microscópio com câmera de filmagem acoplada, e esta por sua vez era conectada com uma placa de vídeo que capturava as imagens de forma digital.

3.4.3. Dimensões de fibras da madeira

A determinação das dimensões de fibras da madeira de paricá nas diferentes idades foi realizado pelo Laboratório de Madeira e Produtos Derivados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. A norma empregada para este estudo foi a NBR 15.066/2004 – Madeira e pasta celulósica – Determinação das dimensões de fibras – Método de microscopia óptica.

De cada disco, foi retirada uma faixa de material ao longo do diâmetro passando pela medula (região central). Dessa faixa central foram retirados 4 corpos de prova, sendo dois mais próximos da casca e dois na região intermediária, conforme pode ser visto pela Figura 31.



Figura 31 - Esquema de amostragem dos corpos de prova para determinação do comprimento de fibra e espessura do lume.

No caso deste disco, cuja identificação é a letra C que corresponde a árvore de 28 anos, tem-se a seguinte codificação dos corpos de prova: o primeiro número indica a idade da árvore; o segundo número indica qual região do disco; e a letra indica a posição do CP no disco.

A Tabela 13 mostra o código de todos os CP's e suas respectivas árvores, idade e região de amostragem no disco. Esta codificação se faz necessária para que seja possível rastrear a origem do CP e também para a retirada de uma eventual contraprova.

Tabela 13 - Códigos dos corpos de prova para caracterização anatômica.

ID	Idade	Amostra	Região 1		Região 2	
			Casca	Intermediária	Casca	Intermediária
1	6 anos	74-30	11-C	11-I	12-C	12-I
2		48-33	21-C	21-I	22-C	22-I
3		77-32	31-C	31-I	32-C	32-I
4		59-34	41-C	41-I	42-C	42-I
5		42-31	51-C	51-I	52-C	52-I
6		34-30	61-C	61-I	62-C	62-I
7		51-34	71-C	91-I	72-C	72-I
8	10 anos	60-1	81-C	81-I	82-C	82-I
9		44-2	91-C	91-I	92-C	92-I
10		2-3	101-C	101-I	102-C	102-I
11		40-B	111-C	111-I	112-C	112-I
12		51-A	121-C	121-I	122-C	122-I
13	4-3	131-C	131-I	132-C	132-I	
14	19 anos	A	201-C	201-I	202-C	202-I
15		B	211-C	211-I	212-C	212-I
16		C	221-C	221-I	222-C	222-I
17		E	231-C	231-I	232-C	232-I
18	28 anos	F	301-C	301-I	302-C	302-I
19		H	311-C	311-I	312-C	312-I
20		I	321-C	321-I	322-C	322-I
21		J	331-C	331-I	332-C	332-I

Os CP's tinham as dimensões de 1,0 cm x 1,5 cm x 2,0 cm, sendo a maior dimensão na direção longitudinal às fibras da madeira. A Figura 32 mostra os CP's utilizados nesta etapa da pesquisa.

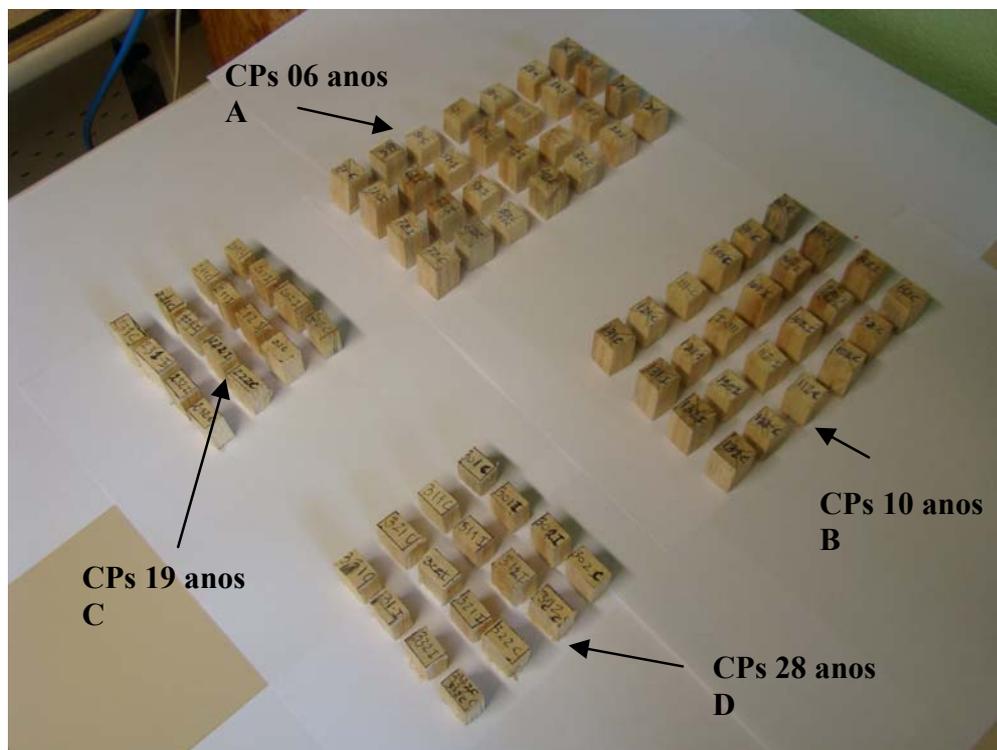


Figura 32 – Corpos de prova para a caracterização anatômica.

Foram preparados cavacos de todos os corpos de prova os quais foram agrupados por idade para efetuar-se a maceração. A determinação do comprimento de fibras foi feita medindo-se, aleatoriamente, 100 fibras em cinco lâminas. A determinação da largura de fibras e o diâmetro do lume foram feitos medindo-se, aleatoriamente, a porção central de 50 fibras em cinco lâminas. A espessura da parede celular da fibra foi calculada utilizando-se a seguinte expressão:

$$E = \frac{L - D}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Onde: L = largura da fibra em micrômetros; e D = diâmetro do lume em micrometros.

Para cada amostra foram calculados os valores médios, máximos e mínimos.

3.5. Resistência ao ataque de cupins de madeira seca.

O ensaio de cupins de madeira seca, da espécie *Cryptotermes brevis*, foi realizado no Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais do IPT. O ensaio foi implementado com amostras de paricá provenientes de diferentes regiões do lenho. As

amostras foram divididas em: corpos de prova da região próxima à casca – albarno; corpos de prova da região entre casca e medula – cerne; e corpos de prova da região do cerne, tratados com imunizantes em autoclave.

A preservação química foi realizada pela empresa Refloreste em sua usina de tratamento no Estado de Santa Catarina. As amostras foram tratadas em autoclave através do processo de célula-cheia com produto a base de Cobre Cromo e Arsênio. Neste processo a câmara de tratamento, contendo as peças de madeira, passa pela etapa de retirada do ar interno. Após a retirada do ar, é liberada a solução química preservante para o interior da câmara. Com a câmara cheia de preservante é imposto uma pressão para que se garanta uma boa penetração do produto na madeira. Ao final, é retirado todo o produto químico por meio de bombas hidráulicas e a madeira é retirada da câmara por meio de vagonetes. Em nenhum momento ocorre contato humano no processo de tratamento.

A resistência das amostras tratadas e não tratadas foram comparadas com amostras de madeira de reconhecida susceptibilidade ao ataque de cupins (série testemunha de *Pinus elliottii*). As amostras tinham dimensões recomendadas pelo laboratório, as quais eram: 70 mm de comprimento, 23 mm de largura e 6 mm de espessura.

As amostras das colunas A, B e C, são originárias da região do cerne; as amostras das colunas D, E e F, da região do albarno e as amostras das colunas G, H e I, da região do cerne, porém que foram tratadas em autoclave (Figura 33).



Figura 33 – Amostras para a determinação da resistência ao ataque de cupins de madeira seca.

No laboratório de preservação do IPT, as amostras receberam novos códigos, conforme pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 14 – Denominação dos níveis (amostras) para a determinação da resistência.

Amostras	Código IPT
Alburno de paricá	A
Cerne de paricá	B
Cerne tratado de paricá	C
Testemunho de <i>Pinus elliottii</i>	T

O método adotado foi com base na publicação do IPT N° 1157. Os corpos de prova foram montados aos pares, ao longo de sua maior aresta, e sobre eles adaptadas, com parafina, mangas de vidro abertas nas extremidades, medindo 4,0 cm de altura e 3,5 cm de diâmetro interno.

Em cada cilindro foram colocados 40 cupins da espécie *Cryptotermes brevis*, ou sendo de 39 operários para 1 soldado. Para cada ensaio foram montadas 8 repetições desses conjuntos.

Os conjuntos assim montados foram mantidos em câmara climática durante 45 dias.

3.5.1. Avaliação do material.

A avaliação foi feita comparativamente com corpos de prova de madeira susceptível ao ataque por cupins (série testemunha) testados sob idênticas condições. Foi usada como testemunha a madeira de *Pinus elliottii*. Ao término do ensaio foram registrados: a percentagem de cupins mortos, a duração (100% de mortalidade que pode ocorrer antes dos 45 dias) e foram atribuídas notas para o desgaste produzido pelos cupins. As notas variaram de 0 (zero) a 4 (quatro), com a seguinte correspondência: 0 – nenhum desgaste; 1 – desgaste superficial; 2 – desgaste moderado; 3 – desgaste acentuado; 4 – desgaste profundo – corresponde àquele produzido na série Testemunha.

3.6. Caracterização física e mecânica

Os testes de caracterização física e mecânica dos quatro lotes de madeira seguiram o critério de amostragem e metodologia de ensaio conforme a NBR-7190/97. Os testes realizados foram: densidade básica; compressão paralela às fibras, flexão, tração paralela às fibras, compressão normal às fibras, tração normal às fibras, fendilhamento e embutimento paralelo às fibras.

Também foram realizados testes de cisalhamento seguindo os padrões de velocidade de carregamento segundo a NBR-7190/97. Porém, nos corpos de prova de cisalhamento paralelo às fibras (Figura 35) adotou-se sua geometria similar àquela do teste de cisalhamento da Norma Francesa NF B 5-32 – “*Essai de cisaillement*”. Pesquisas realizadas por Santos Neto, Szücs e La Rovere (1998) revelaram que este modelo de corpo de prova simula com eficiência a ruptura da madeira por cisalhamento puro, já que o sistema de forças atua sobre o eixo longitudinal da peça. Para o corpo de prova sugerido pela NBR-7190/97, tem-se um sistema de forças que não atua sobre o seu eixo longitudinal, produzindo um binário de forças e conseqüentemente, produz-se um esforço de segunda ordem sobre o corpo de prova (Figura 34).

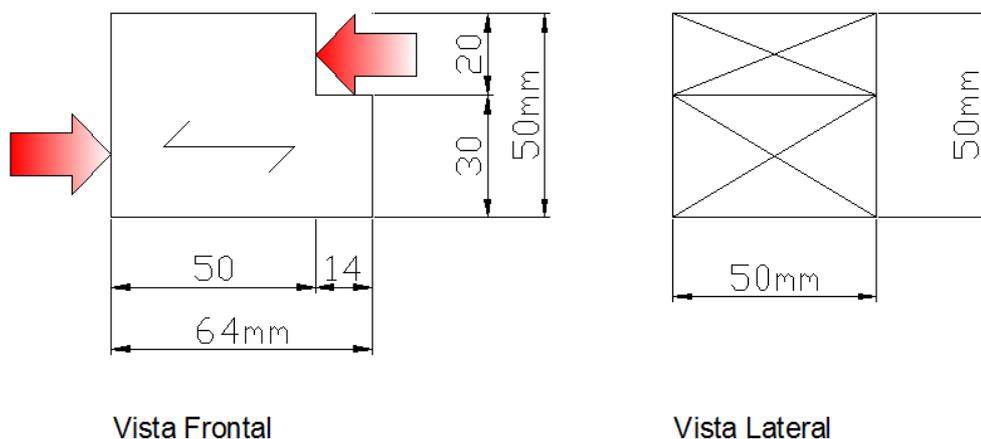


Figura 34 – Sistema de forças e dimensões do corpo de prova do teste de cisalhamento da NBR-7190/97.

Outra característica do modelo de corpo de prova adaptado no presente trabalho é de que são produzidas duas áreas (zona A e zona B), por meio de três sulcos dispostos transversalmente, para que se possa ocorrer a ruptura por cisalhamento na área mais fraca entre as duas. A

Figura 35 ilustra as dimensões do corpo de prova adotado nesta pesquisa, bem como o sistema de esforço aplicado no ensaio.

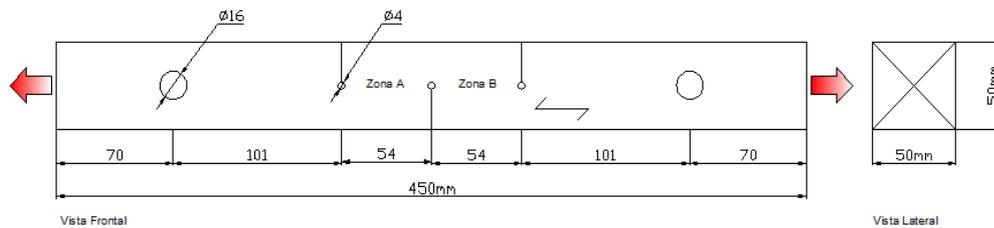


Figura 35 - Sistema de forças e dimensões do corpo de prova para o teste de cisalhamento adaptado.

O corpo de prova adotado possui dimensões maiores do que o da NF B 5-32. Esta nova geometria foi concebida para que a área de ruptura de cisalhamento fosse igual ao da NBR-7190/97. Devido ao aumento dessa área, as distâncias entre os pontos de aplicação da carga, em relação à área de cisalhamento e também em relação à extremidade do corpo de prova, foram aumentadas proporcionalmente para que se evitassem rompimentos por cisalhamento fora da zona determinada ou por fendilhamento. A Figura 36 mostra exemplos de rupturas não desejadas.

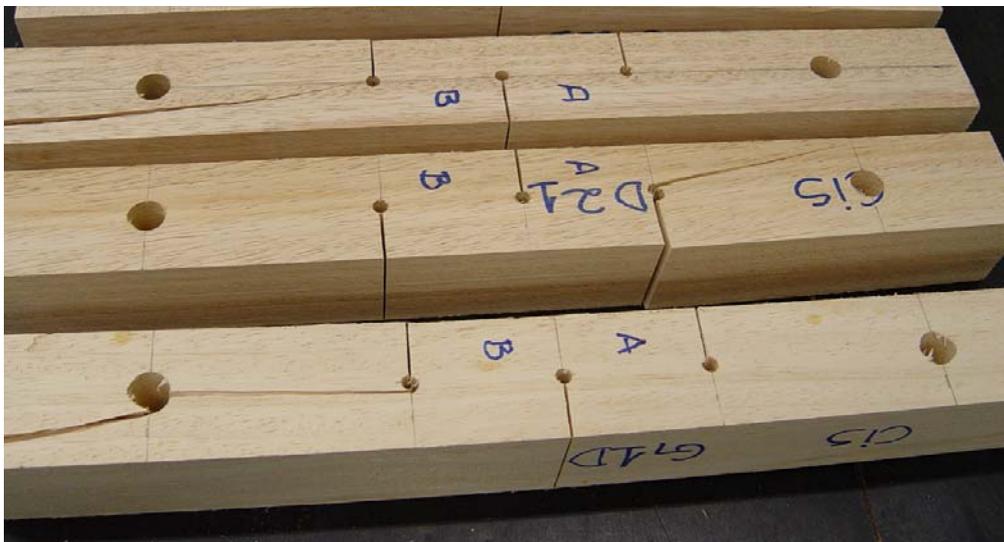


Figura 36 - Modos de ruptura não desejada em corpos de prova de cisalhamento adaptados da NF B 5-32.

Foram também introduzidos pequenos orifícios de 4 mm de diâmetro entre os sulcos, sugeridos por Santos Neto, Szücs e La Rovere

(1998) para minimizar a concentração de tensões e evitar uma ruptura prematura do corpo de prova.

Todos os corpos de prova foram confeccionados a partir de peças de 250 cm de comprimento, isentas de defeitos. Foram eliminados 30 cm dos topos das peças para evitar a influência de defeitos de fissuras e rachaduras sobre os corpos de prova, sendo somente utilizada a parte central restante das peças com 190 cm de comprimento.

Foram elaborados desenhos esquemáticos para a extração dos corpos de prova para cada bitola de peça. Desta maneira se pode contabilizar o número total de peças necessárias para a confecção dos corpos de prova. A Figura 37 mostra um dos desenhos esquemáticos empregados nesta pesquisa.

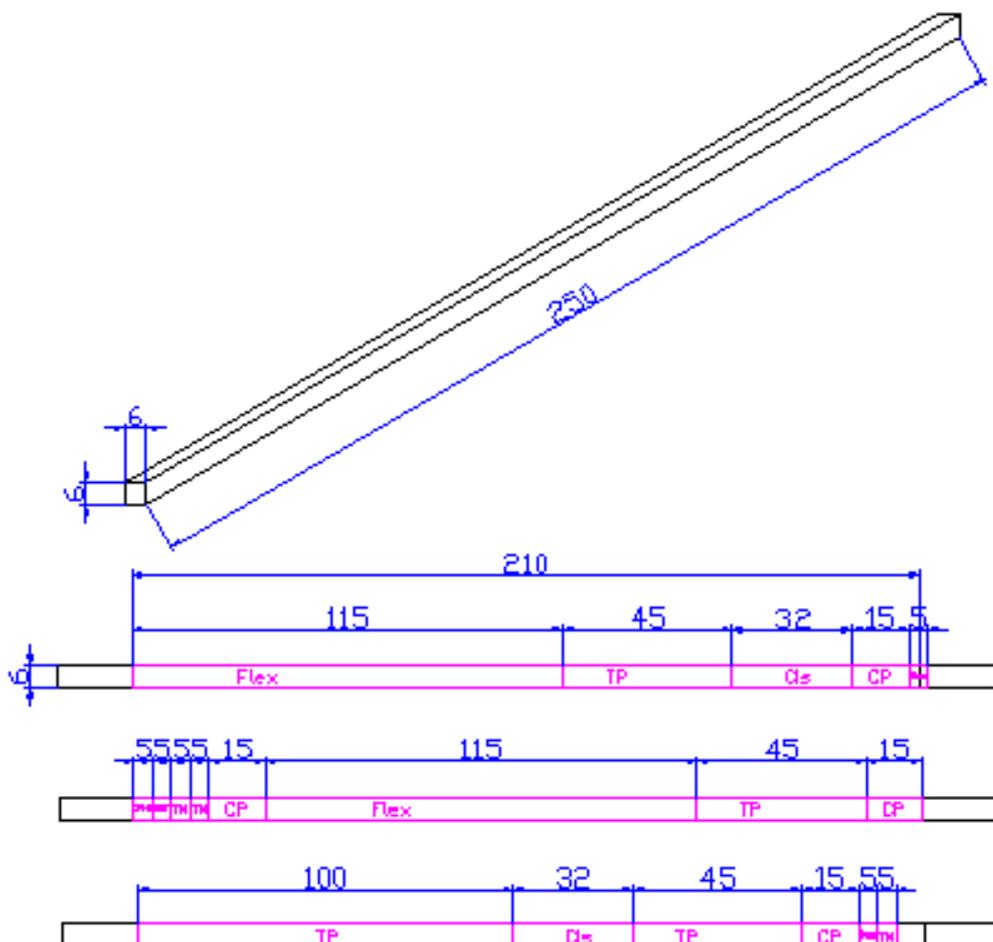


Figura 37 - Desenho esquemático para retirada de corpos de prova de peças de 6 cm x 6 cm x 250 cm: Flex-Flexão; TP-Tração Paralela; Cis-Cisalhamento; CP-Compressão Paralela; TN-Tração Normal; Den-Densidade.

Os corpos de prova receberam a mesma identificação das peças de origem, de modo que se soubesse de que peça se originava. Essa codificação foi necessária e realizada de maneira meticulosa para que, ao final, se pudesse correlacionar os valores dos ensaios de todos os corpos de prova com a velocidade de propagação da onda ultrassônica obtida nas peças de origem.

3.6.1. Equipamentos

O equipamento de ensaio empregado para os testes de cisalhamento, tração normal às fibras, embutimento paralelo às fibras, tração paralela às fibras e fendilhamento foi a Máquina Universal de Ensaios Kratos® (Figura 38). Esta máquina universal é eletromecânica e operada com auxílio de um programa computacional. Neste programa computacional são inseridos os dados referentes à velocidade de aplicação da carga para cada ensaio, dimensões dos corpos de prova, carga máxima a ser aplicada e deslocamento máximo permitido. Os dados são armazenados em arquivos compatíveis com o programa de planilha eletrônica, de forma que é possível produzir o gráfico de tensão x deformação de cada ensaio. A determinação da carga máxima de ruptura é feita automaticamente.

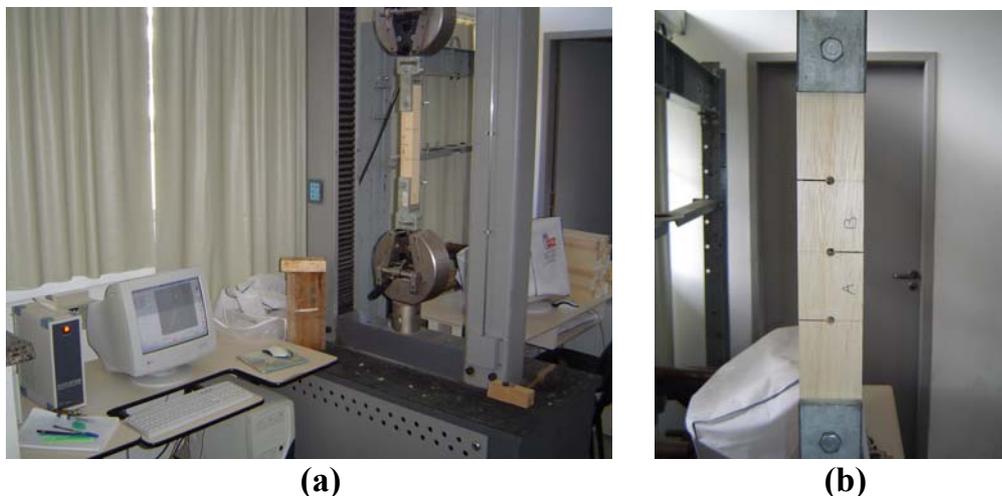


Figura 38 - Máquina Universal de Ensaios Kratos®: (a) ensaio de cisalhamento; e (b) detalhe do corpo de prova de cisalhamento.

Já para os testes de compressão paralela às fibras, flexão e compressão normal às fibras foi utilizada a Máquina Universal de Ensaios Mohr & Federhaff®. É um equipamento servo-hidráulico em

que são acoplados, além dos dispositivos metálicos para ensaios, transdutores de deslocamentos eletrônicos e célula de carga. Estes sensores eletrônicos são conectados a um equipamento de aquisição de dados, chamado “Spider”®, todos fabricados pela empresa HBM (Figura 39). Este equipamento de aquisição é controlado por um programa computacional fornecido pelo fabricante, onde se determina o ciclo de tempo de leitura dos sensores, a unidade de leitura, execução em tempo real do gráfico força x deslocamento. Os dados de cada ensaio também são armazenados em arquivos compatíveis com o programa de planilha eletrônica. Deste modo, é possível reproduzir também o gráfico de tensão x deformação de cada ensaio e determinar os valores de tensão de ruptura, tensão no limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade.



Figura 39 - Máquina Universal de Ensaios Mohr & Federhaff®: (a) ensaio de compressão paralela; e (b) em detalhe, transdutores de deslocamento acoplados e célula da carga embaixo do corpo de prova.

Após todos os dados serem armazenados em arquivos digitais, foram gerados os gráficos de tensão x deformação e determinados os valores máximos de resistência, bem como os valores de módulo de elasticidade para os ensaios de compressão paralela às fibras e de flexão. A confecção dos gráficos e a determinação desses valores seguiram as recomendações da NBR-7190/97.

A NBR-7190/97 exige o emprego do valor característico de resistência da madeira para o cálculo de elementos estruturais. O valor característico de resistência é determinado com a aplicação da Equação 4, onde são utilizados os resultados dos ensaios de resistência de pelo menos 6 corpos de prova. Esses resultados ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$) são ordenados de forma crescente.

$$x_{wk} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \dots \dots \dots (4)$$

Onde: X_{wk} = valor característico; X_n = valor da amostra; n = tamanho da amostra.

3.7. Caracterização das vigas em MLC

Esta fase da pesquisa foi subdividida em quatro etapas: (1) elaboração do experimento; (2) confecção das vigas em MLC; (3) ensaio de resistência à flexão das vigas em MLC; e (4) ensaio de resistência da linha de cola.

A pesquisa procurou, além de empregar a espécie paricá em vigas de MLC, analisar também o desempenho de dois adesivos, para madeira, comercializados no Brasil.

3.7.1. Elaboração do experimento

Para que fossem pesquisados os desempenhos das vigas em MLC de paricá e dos dois adesivos para madeira, foram confeccionadas 18 vigas em MLC, sendo 9 vigas com cada adesivo.

Os adesivos utilizados foram: (1) o bi-componente Wonderbond® EPI EL-70 juntamente com o endurecedor Wonderbond® EPI WS 742; e (2) o bi-componente Cascophen® RS-216-M, com o endurecedor Cascophen® FM-60-M. Ambos são pertencentes e comercializados pela empresa Hexion®.

O primeiro adesivo é uma Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI) e foi gentilmente doada pela empresa Refloreste e o segundo adesivo feito à base de Resorcinol-Formol foi doada pela empresa Hexion. Os dois adesivos foram compostos na proporção de 100 partes/massa do adesivo e 20 partes/massa do endurecedor, conforme recomendado pelo fabricante. A gramatura, o tempo de montagem e a prensagem das lâminas à temperatura ambiente de 26 °C, também foram realizados com base nas recomendações do fabricante.

As peças de madeira empregadas para a confecção das vigas em MLC pertenciam aos lotes de 19 e 28 anos. Essas peças foram classificadas visualmente sendo como de primeira categoria e, portanto, isenta de defeitos. A opção por esses lotes se deu pelo fato de que, todas as peças estavam aplainadas e esquadrejadas, prontas para a produção de lâminas, bem como pelos diâmetros dessas árvores, as quais permitem

um maior rendimento em seu beneficiamento e produzem um maior volume de madeira serrada.

As peças foram selecionadas e classificadas conforme a resultados dos ensaios dinâmicos realizada com o ultrassom em etapa anterior. As peças selecionadas com o melhor desempenho foram A41; B11; B12; B33; B3; B5; B52; E12; G12; J52; H26 e I23, classe F (35 MPa – NBR: 15.521/2007). As peças de pior desempenho foram: B42; C42; G11; J12, classe I de resistência à compressão paralela às fibras (20 MPa 35 MPa – NBR: 15.521/2007).

Nesta etapa da pesquisa foram selecionados, de maneira aleatória e ao acaso, 7 peças de madeira dos mesmos lotes. Dessas peças foram confeccionadas 7 vigas serradas que serviram de base para a comparação do desempenho das vigas em MLC com vigas de madeira serrada.

3.7.2. Confeção das vigas em MLC

As pranchas de menor módulo de elasticidade receberam uma pintura verde no topo para que as lâminas retiradas dessas pranchas pudessem ser identificadas após sua confecção. Baseada nas recomendações de Szücs (1992), cada lâmina tinha uma espessura de 2 cm e 6,5 cm de largura e todas foram produzidas na carpintaria do GIEM, na UFSC.

Quatro lâminas de maior módulo (Classe F) de elasticidade foram posicionadas nas faces externas da viga em MLC, sendo duas na capa superior e duas na capa inferior. Outras duas lâminas, de menor qualidade (Classe I) mecânica, foram posicionadas no meio da viga MLC. As dimensões da viga em MLC eram de 6,5 cm x 12 cm x 250 cm.

Todas as lâminas foram transportadas para a empresa Refloreste onde foram fabricadas as vigas em MLC. Após a aplicação das colas sobre as lâminas, estas foram posicionadas dentro da prensa, sendo respeitada a ordem de colocação das lâminas de maior e menor elasticidade (Figura 40). Foram dispostas três vigas MLC uma sobre as outras para melhor aproveitar a abertura da prensa. A prensagem foi realizada de forma manual, por meio de tornos espaçados a cada 20 cm. O tempo de prensagem foi de 24 h (Figura 41).



(a)

(b)

Figura 40 – Montagem das vigas em MLC: (a) aplicação da cola e (b) posicionamento das lâminas.

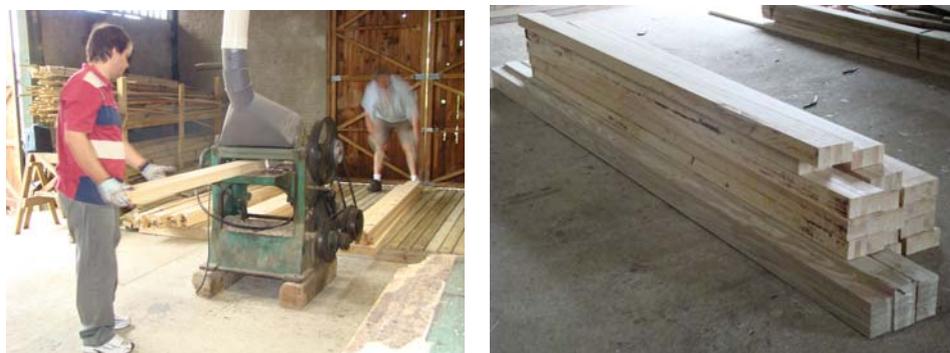


(a)

(b)

Figura 41 – Prensagem das vigas em MLC: (a) pressão manual e (b) disposição das vigas na prensa.

Decorrido dois dias de prensagem, as vigas em MLC foram aplainadas nas faces laterais e destopadas, com dimensões finais de 6 cm x 12 cm x 240 cm (Figura 42).



(a)

(b)

Figura 42 – Aplainamento das vigas em MLC: (a) plaina de uma face e (b) aspecto final das vigas.

Nas vigas em MLC não foram utilizadas emendas dentadas para a união das lâminas, uma vez que as peças de madeira foram classificadas como sendo de primeira categoria. Neste caso, as emendas dentadas não seriam úteis para a remoção de defeitos, como nós, e apenas para obter vigas com maior comprimento.

A Norma Alemã DIN 68-140 descreve, que ao serem empregadas emendas dentadas em lâminas que serão submetidas a elevado grau de esforços (elementos estruturais de grande porte), admite-se uma perda de resistência de 18%, devido ao grau de enfraquecimento que esse modelo de emenda promove em vigas de MLC.

3.7.3. Ensaio de resistência à flexão

O ensaio de flexão adotado foi baseado nos critérios de avaliação de vigas estruturais sugeridos por Santos Neto, Grohmann e Szücs (1998) e também pela ASTM 4761-96 – “Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material. Esta avaliação é feita através do ensaio de flexão “a quatro pontos”, onde o carregamento aplicado é distribuídos em dois pontos sobre a viga. A distância entre os pontos de aplicação de carga deve ser equivalente à distância entre o apoio da viga e o ponto de aplicação do carregamento (Figura 43).

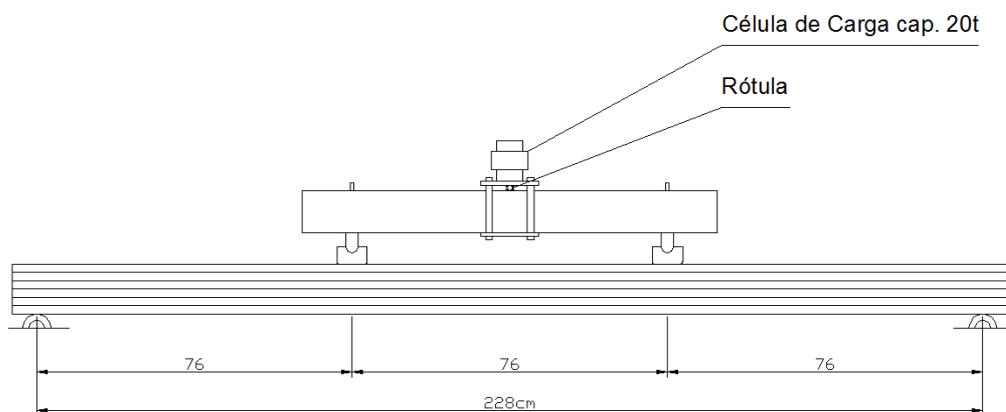


Figura 43 - Desenho esquemático do sistema de teste de flexão a quatro pontos para as vigas MLC.

O sistema de teste foi montado sob uma laje de reação. Os elementos do sistema de teste (Figura 44a) foram: pórtico de reação em aço, atuador hidráulico com capacidade de 20 tf e sistema de pressão de óleo elétrico, sistema de distribuição de carga para dois pontos

rotulados, célula de carga Kratos® com capacidade de 20 tf, transdutores de deslocamento e equipamento de aquisição de dados HBM.

Entre os dois pontos de aplicação do carregamento, foram posicionados os transdutores de deslocamento (Figura 44b).



Figura 44 – Teste de flexão das vigas MLC: (a) esquema de ensaio a quatro pontos; (b) e posicionamento dos transdutores de deslocamento entre os pontos de aplicação de carga.

Foram testadas 7 vigas de cada tratamento (vigas MLC com cola EPI, vigas MLC com cola RS e vigas de madeira serrada). Dois ensaios de vigas MLC com cola EPI foram descartados. Após a ruptura da viga verificou-se que houve falha na colagem de uma das lâminas e, em outra viga, houve perda de aquisição dos dados durante o ensaio devido à falta de energia. Das 7 vigas de madeira serrada, uma foi utilizada preliminarmente para determinar os patamares do ciclo de carga e descarga para o ensaio das outras seis vigas.

3.7.4. Ensaio de resistência da linha de colagem

Os ensaios empregados para a avaliação do desempenho das linhas de colagem foram os de tração normal e de cisalhamento. Os ensaios seguiram as recomendações do Anexo B da NBR - 7190/07, porém o corpo de prova de cisalhamento foi o mesmo utilizado para o ensaio de caracterização dos lotes, ou seja, o corpo de prova adaptado da NF B 5-32.

Os corpos de prova foram retirados de 4 vigas, sendo duas com cola EPI EL-70 e duas com cola RS 216-M. Os procedimentos de confecção e de ensaio dos corpos de prova foram realizados conforme recomendações descritas no trabalho de Szücs, Bohn e Valle (1998).

Foram descartadas as extremidades das vigas MLC e os corpos de prova foram extraídos em linhas de colagem alternadas (Figura 45).

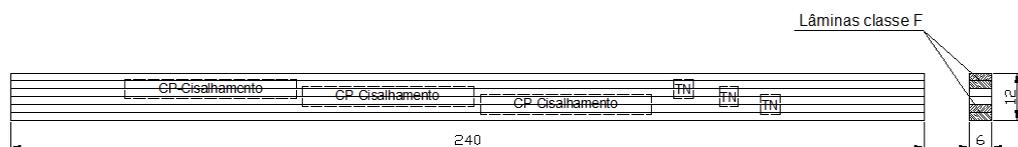


Figura 45 - Desenho esquemático da posição de retirada dos corpos de prova (CP) de cisalhamento e tração normal (TN).

A Figura 46 a seguir mostra as dimensões e a disposição das linhas de colagem nos corpos de prova de cisalhamento e de tração normal.

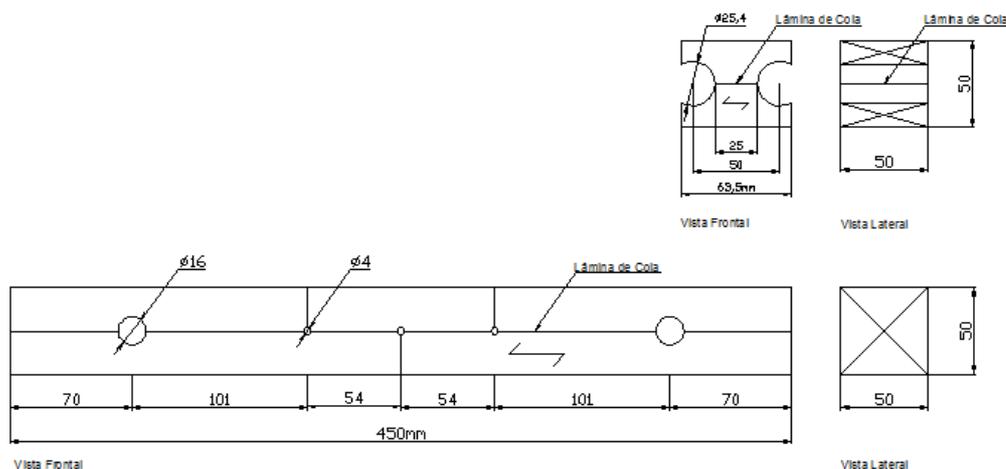


Figura 46 – Corpos de prova de tração normal à linha de cola e de cisalhamento paralelo à linha de cola.

Os equipamentos e dispositivos (Figura 47) também foram os mesmos empregados nos ensaios de caracterização mecânica dos lotes.

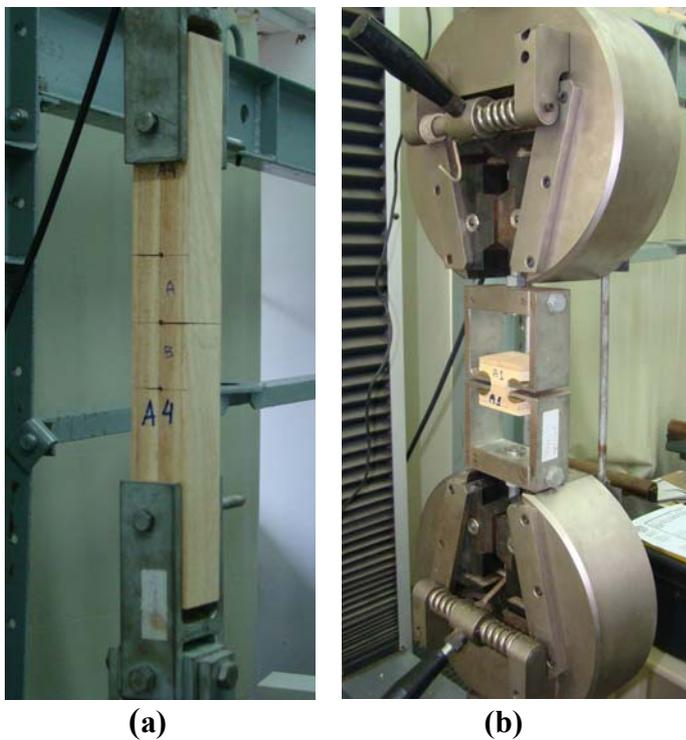


Figura 47 – Testes de resistência da linha de cola (a) teste de cisalhamento e (b) teste de tração normal.

4. TRATAMENTO DOS DADOS

Neste capítulo serão abordados os testes estatísticos empregados em cada experimento realizado. Os testes empregados com maior frequência foram: verificação da distribuição normal dos dados, distribuição Weibull dos dados, análise de variância não-paramétrica (*Analisis of Variance* - ANOVA), análise múltipla de médias (Duncan) e correlação.

4.1. Tratamento Estatístico 1 – Amostragem Simples ao Acaso

O tratamento estatístico 1 se refere ao processo de amostragem utilizado na pesquisa, que consiste na escolha das árvores e da quantidade de árvores a serem derrubadas, sendo tradicionalmente empregado em inventários florestais. O método adotado foi o de Amostra Simples ao Acaso ou Inteiramente Casualizado. A amostragem é conduzida através de um sorteio, assumindo-se evidentemente o pressuposto da permanência de igual probabilidade para as unidades remanescentes de cada sorteio, respaldando-se no fato de que, geralmente as populações florestais são consideradas estatisticamente infinitas, assim como a inclusão de uma unidade amostral, mais de uma vez na amostra, refletirá numa homogeneização da variância entre as unidades da amostra (LOETSCH e HALLER, 1964).

A Amostra Simples ao Acaso é um processo congruente, e recomendado para pequenas áreas florestais, com características homogêneas com respeito às variáveis de interesse, e com fácil estrutura de acessibilidade.

As equações utilizadas foram:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n - 1} \dots\dots\dots(5)$$

Desvio padrão (s)

$$s = (s^2)^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

Coefficiente de variação (CV)

$$CV\% = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \dots\dots\dots(7)$$

Variância da média ($s_{\bar{x}}^2$)

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right) \dots\dots\dots(8)$$

N = é o número total de unidades em que a população foi dividida.

Erro padrão ($s_{\bar{x}}$)

$$s_{\bar{x}} = \left(s_{\bar{x}}^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots(9)$$

Erro da amostragem em porcentagem

$$s_{\bar{x}}\% = \left(\frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \right) * 100 \dots\dots\dots(10)$$

O processo de amostragem utilizado também para as pesquisas com as árvores de 19 e 28 anos de Tomé-Açu, foi o de amostragem ao acaso. Portanto, o método adotado foi o mesmo empregado na Tramontina S/A em Aurora do Pará, porém com um número menor de amostras no total de 5 árvores para cada idade. No entanto, não se pôde calcular o erro amostral para as amostras do município de Tomé-Açu, uma vez que o proprietário do plantio não sabia o número total de unidades da população de 19 anos e de 28 anos.

4.2. Tratamento Estatístico 2 – Kolmogorov-Smirnov

O tratamento estatístico 2 foi empregado para a análise dos dados dos ensaios de: dimensões de fibras; propriedades físicas e mecânicas; flexão das vigas em MLC; e resistência da linha de colagem.

Neste estudo foi empregada a análise múltipla de variância e das médias, tendo como base a distribuição normal dos dados. Foram aplicados os Testes de Cochran, Teste de Normalidade dos Resíduos por Kolmogorov-Smirnov (K-S), a ANOVA e Duncan. Somente para os dados dos ensaios de dimensões de fibras, o nível de confiabilidade empregado foi o de 99%, uma vez que alguns parâmetros anatômicos analisados não passaram no teste de normalidade dos resíduos K-S com

95% de confiabilidade. Os parâmetros analisados foram as médias das propriedades anatômicas das fibras dos quatro lotes.

O Teste Não-Paramétrico de Cochran consiste em verificar se os grupos possuem desvios-padrão equivalentes de modo que se possa considerá-los semelhantes. Determina-se um valor, por meio da Equação 11, que é comparado a outro valor tabelado de Cochran. Este valor tabelado é determinado através do nível de significância, o número total de grupos e o número total de amostras (COSTA NETO, 1977). Os grupos são considerados semelhantes se $g < g_{\alpha}(n, \nu)$.

$$g_{\alpha}(n, \nu) = \frac{S^2}{\sum_{j=1}^{\nu} s_{.j}^2} \dots\dots\dots(11)$$

Onde α = significância; n = número de amostras; ν = número de grupos; S = maior desvio padrão entre os grupos e; $s_{.j}$ = desvio padrão de cada grupo.

No Teste de Normalidade dos Resíduos K-S, avalia-se se o erro do modelo segue uma distribuição normal. Isto é feito comparando o maior valor (D) em módulo, determinado através da subtração da distribuição normal acumulada (calculada com a média e desvio padrão conhecidos da amostra de tamanho n) pela distribuição acumulada da amostra, com o valor crítico ($D_{\alpha(n)}$) da tabela de Nanni. A hipótese de normalidade é aceita se $D < D_{\alpha(n)}$.

O uso da análise de variância não paramétrica (ANOVA) na comparação de V grupos está baseado na relação da variabilidade das médias entre os grupos. Primeiramente, determinam-se a soma dos quadrados dos resíduos das médias de cada grupo com respeito à média total (SQG) e a soma dos quadrados dos resíduos com respeito à média de cada grupo (SQR). Posteriormente, são calculadas as médias quadradas do grupo (MQG) e dos resíduos (MQR). Ao final é determinado o valor F , dado pelo quociente entre MQG e MQR, o qual é comparado ao valor tabelado (Tabela ANOVA) definido pela significância desejada, número de grupos menos os graus de liberdade e o número total de amostras menos o número de grupos ($F_{\alpha}(V-1, N-V)$).

$$SQG = \sum_j n_j (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2 \dots\dots\dots(12)$$

Onde n_j = número total de amostras; $\bar{x}_{.j}$ = média do grupo; e $\bar{x}_{..}$ = média total.

$$SQR = \sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 \dots\dots\dots(13)$$

Onde $x_{i,j}$ = amostra; e $\bar{x}_{.j}$ = média do grupo.

$$MQG = \frac{SQR}{(V - 1)} \dots\dots\dots(14)$$

Onde V= número de grupos.

$$MQR = \frac{SQR}{(N - V)} \dots\dots\dots(15)$$

Onde V= número de grupos; e N = número total de amostras.

Ao final são analisadas as variabilidades das médias e a diferença significativa das médias entre os lotes. Esta análise é conhecida como Teste de Duncan. Este teste consiste na diferença entre os valores dos desvios padrão das médias com os valores referentes na Tabela de Nanni (“Studentized Range”). Este valor tabelado também é ordenado conforme o grau de confiabilidade que se deseja para a pesquisa.

4.3. Tratamento Estatístico 3 – Mann-Whitney

Para o tratamento estatístico 3 foram empregadas duas ferramentas: uma para a análise do desgaste das amostras ao ataque de cupins de madeira seca e outra para a comparação entre os níveis de desgaste entre essas amostras. Este tratamento somente foi empregado para o ensaio de resistência da madeira de paricá ao ataque de cupins de madeira seca.

A primeira ferramenta utilizada foi a de análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis. A variável resposta analisada foi o desgaste, expressa segundo um critério de notas, ao nível de 5% de significância.

O teste de Kruskal-Wallis é aplicado quando estão em comparação três ou mais grupos independentes e a variável deve ser de mensuração ordinal (SPIEGEL, 1970 e SIEGEL, 1975).

Procedimentos para a realização do teste:

- Dispor, em postos, as observações de todos os grupos em uma única série, atribuindo de 1 a N;

- Determinar o valor de R (soma do resultado das matrizes dos postos) para cada um dos grupos de postos;
- Determinar H_{cal} (valor real do teste) através da Equação 16.

$$H_{Cal} = \frac{\frac{12}{N \cdot (N + 1)} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3 \cdot (N + 1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}} \dots\dots\dots(16)$$

Onde n_j = número de amostras por grupo; R_j = soma dos postos de cada grupo; T = somatória dos dados por grupo; e N = número total de amostras.

- O valor teórico Qui_{tab} é obtido através de uma tabela da distribuição de Qui-quadrado;
- Por último, comparar o valor real H com o valor teórico de Qui_{tab} . Se H calculado for menor que Qui_{tab} tabelado não se pode rejeitar a hipótese nula.

A segunda ferramenta aplicada foi o Teste não paramétrico de Mann-Whitney para a comparação entre os níveis de degradação de cada grupo. O teste de Mann-Whitney é aplicado quando estão em comparação dois grupos independentes e a variável deve ser de mensuração ordinal.

Procedimentos para a realização do teste são:

- Determinar os valores de n_1 e n_2 . Em que n_1 é o número de casos no grupo menor e n_2 é o número de casos no grupo maior;
- Dispor em conjunto os valores dos dois grupos, atribuindo o posto 1 ao valor que for menor algebricamente. Os postos variarão de 1 a N onde $N = n_1 + n_2$. Às observações empatadas atribuir a média dos postos correspondentes;
- Determinar o valor de U pela Equação 17:

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - R_1 \dots\dots\dots(17)$$

Onde n = número de amostras por grupo; e R_1 = soma dos postos do menor grupo.

- Obter a média e o desvio padrão dos postos para então obter o valor de z calculado.

$$\mu_U = \frac{n_1 \cdot n_2}{2} \dots\dots\dots(18)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\left(\frac{n_1 \cdot n_2}{N \cdot (N-1)}\right) \cdot \left(\frac{N^3 - N}{12} - \sum T\right)} \dots\dots\dots(19)$$

Onde n = número de amostras por grupo; e $\sum T$ = fator de correção obtido através de:

$$T = \frac{t^3 - t}{12} \dots\dots\dots(20)$$

Onde t = distribuição de “Student”.

$$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \dots\dots\dots(21)$$

- Por último, comparar o valor real com o valor teórico de z . Se z calculado for menor que z tabelado não se pode rejeitar a hipótese nula.

Este tratamento estatístico foi utilizado pelo Laboratório de Preservação de Madeiras e Biodeterioração de Materiais do IPT-SP que forneceu os resultados desta etapa da pesquisa.

4.4. Tratamento Estatístico 4 – Weibull

O tratamento estatístico 4 foi utilizado para a análise dos ensaios de classificação dos lotes por meio do ultrassom. As peças de madeira de paricá de cada lote foram classificadas e ordenadas de forma crescente conforme as classes da NBR-15.521/2007. As frequências encontradas em cada classe mostraram que os dados tendiam a se agruparem de forma assimétrica (anexo). Deste modo, ao serem realizados os testes de distribuição normal dos dados (Teste de Komolgorov-Smirnoff) estes eram rejeitados e, portanto, não validada a hipótese de normalidade.

Neste caso, foi empregado o método de Weibull para a determinação dos valores médios e dos desvios padrão. Segundo Bodig e Jayne (1993), este método tem sido utilizado consideravelmente nas últimas décadas em pesquisas sobre as propriedades das madeiras. Isto porque é um método que leva em consideração a forma assimétrica da distribuição dos dados para a determinação dos valores de média e

desvio padrão da amostra. É uma distribuição que leva em consideração três parâmetros: escala, forma e locação. Este último é comumente empregado como valor nulo ao serem estudadas propriedades da madeira. Este parâmetro só não é nulo, quando os dados desenhados no papel Weibull se distribuem de forma não linear. A equação da curva tri-paramétrica de distribuição das frequências de Weibull é:

$$f(x) = \frac{\beta(x - \gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta} \exp\left\{-\left[\frac{(x - \gamma)}{\eta}\right]^\beta\right\} \dots\dots\dots(22)$$

Onde x=valor para qual a frequência é calculada; γ = parâmetro de locação; η = parâmetro de escala e; β = parâmetro de forma.

Os valores de η e de β são obtidos por meio de papéis de desenho em escala logarítmica adaptados para a determinação desses parâmetros.

Para a obtenção da média na distribuição de Weibull deve-se empregar a seguinte equação:

$$\bar{U} = \eta \Gamma\left[1 + \left(1/\beta\right)\right] \dots\dots\dots(23)$$

Onde Γ = função gamma, valor determinado pelo fatorial do inverso de β .

O valor da variância para a distribuição Weibull é determinado por meio da equação:

$$s^2 = \eta^2 \left\{ \Gamma\left[1 + \left(2/\beta\right)\right] - \Gamma^2\left[1 + \left(1/\beta\right)\right] \right\} \dots\dots\dots(24)$$

A Figura 48 ilustra, de maneira hipotética, a curva de uma distribuição normal e a posição de seu valor médio. Na mesma figura, é também desenhada a forma da curva da distribuição Weibull, a qual se ajusta e se desloca, fazendo com que os valores da média e da variância sejam mais próximos da distribuição real dos dados.

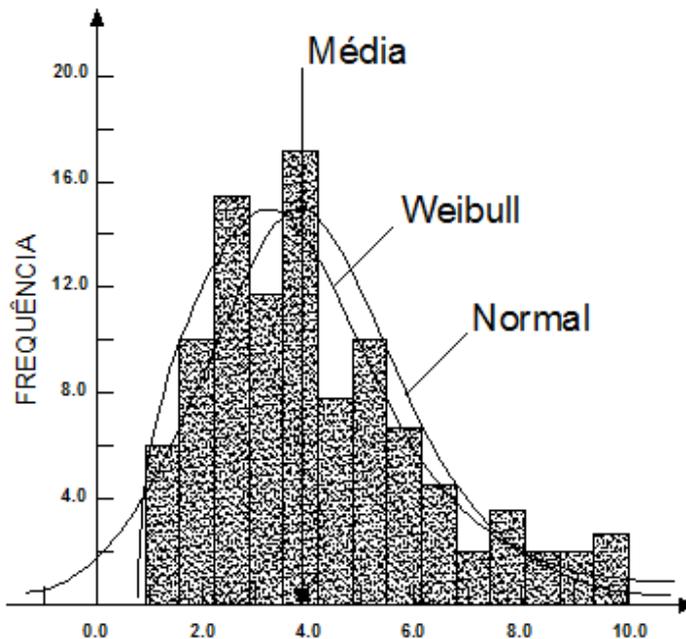


Figura 48 - Distribuição Normal e de Weibull para um conjunto de dados hipotético. Adaptado de Bodig e Jayne, 1993.

Observa-se, assim, a importância em selecionar a distribuição mais apropriada para um conjunto de dados.

Determinados os valores médios e as variâncias, foram feitas a classificação de cada lote de madeira conforme a Tabela 23. Posteriormente, foram aplicados os testes de igualdade entre as médias. Para este estudo foi necessário verificar se os lotes possuíam seus desvios padrão equivalentes. Para isto empregou-se também o Teste de Cochran.

Posteriormente, verificou-se a existência significativa entre os lotes através da variabilidade das observações entre grupos. Para isto, determinaram-se os valores de MQR e MQG de cada lote com respeito à média total. Este valor foi então comparado com o valor tabelado de análise de variância (ANOVA).

Ao final foram analisadas as variabilidades das médias e a diferença significativa das médias entre os lotes por meio do Teste de Duncan. Este teste consiste na diferença entre os valores dos desvios padrão das médias com os valores referentes na Tabela de Nanni (“Studentized Range”). Este valor tabelado também é ordenado conforme o grau de confiabilidade que se deseja para a pesquisa.

O nível de significância empregada em todas as análises desta fase da pesquisa foi de 5%.

4.5. Tratamento Estatístico 5 – Correlações

O Tratamento Estatístico 5 refere-se à análise de correlação realizada entre os valores dos ensaios de classificação das peças de madeira por ultrassom, com os valores dos ensaios físico-mecânicos. A correlação entre duas variáveis (Y, X) é uma medida numérica, não dimensional, da relação linear entre duas variáveis aleatórias. Isto é, X e Y são ambas aleatórias, geralmente distribuídas de acordo com uma distribuição normal de duas dimensões.

Os testes de relação, normalidade dos resíduos dos dados e de linearidade foram aplicados ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O primeiro teste demonstra se há ou não relação significativa entre as propriedades mecânicas das amostras e as velocidades de propagação da onda. Isto se dá através da comparação entre o valor (t1) resultante da diferença do coeficiente angular da reta e o erro padrão da estimativa dos valores do coeficiente angular, com o valor tabelado da Distribuição de “Student” ($t_{\alpha/2}(n-2)$). Somente é aceita a relação se $t1 > t_{\alpha/2}(n-2)$. No segundo teste, avalia-se se o erro do modelo segue uma distribuição normal. Isto foi feito através do teste de normalidade “K-S”, já descrito anteriormente no Tratamento Estatístico 2. Já o teste de linearidade demonstra se o fenômeno pode ser relacionado pela equação da reta linear ajustada. Este teste é realizado comparando-se o valor (F), obtido pela diferença entre a média quadrada do erro devido aos desvios das médias com respeito à reta ajustada e a média quadrada do erro puro, com o valor ($F_{\alpha}(k-2, n-k)$) da tabela ANOVA. Caso $F < F_{\alpha}(k-2, n-k)$, então a equação representa de forma linear o fenômeno (PRUDÊNCIO JUNIOR, 2002).

Ao final foram determinados os coeficientes de determinação (R^2) para cada tratamento. O coeficiente de correlação é uma medida amostral da correlação que existe entre duas variáveis aleatórias X e Y. Segundo Prudêncio Junior (2002), teoricamente se deveria calcular R^2 somente no caso em que X e Y são aleatórias, como no caso de se medir altura e peso de uma pessoa escolhida aleatoriamente. Mesmo assim, o valor de R^2 se calcula em quase todos os casos, com X aleatória ou não, mas deve-se ter cuidado quanto à sua interpretação.

Deve-se ter em conta que R^2 é uma medida de relação linear entre duas variáveis e que não tem sentido sua utilização quando essa relação não é linear. Este parâmetro não informa a forma da equação entre X e Y, bem como a estimação e previsão de Y para um dado valor de X.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apontados e discutidos, de forma qualitativa e quantitativa, os resultados alcançados pela pesquisa. Estes resultados referem-se a: amostragem; classificação das peças por meio de ensaios não destrutivos; estudos de caracterização do lenho; resistência ao ataque de cupins de madeira seca; características físico-mecânicas, assim como, suas relações com os ensaios não destrutivos; e caracterização de vigas em madeira laminada colada.

5.1. Amostragem

A amostragem realizada no plantio de 400 árvores de 6 anos e de mais 400 árvores de 10 anos, pertencente à empresa Tramontina, mostrou-se significativa com um erro estimado abaixo de 20%. Esta estimativa só foi possível de ser calculada, uma vez que neste plantio foram feitas medições anuais sobre o desenvolvimento do mesmo.

A seguir, são demonstrados pelas Tabela 15 e Tabela 16, o erro do volume médio das médias de cada amostra em relação ao plantio a que pertence e o erro do volume médio total de madeira dos talhões para o seu respectivo plantio.

Tabela 15 - Médias do volume de madeira de cada amostra do plantio de 1995 e seus erros de amostragem.

AMOSTRA 34		AMOSTRA 33		AMOSTRA 32		AMOSTRA 31		AMOSTRA 30	
ARV	VOL m ³	ARV	VOL m ³	ARV	VOL m ³	ARV	VOL m ³	ARV	VOL m ³
19 *	0	9	0,503	5	0,273	20	0,161	21	0,121
28	0,155	41	0,281	11	0,412	25	0,054	27	0,045
29	0,145	53	0,281	14	0,126	28	0,369	40	0,041
38	0,153	61	0,638	41	0,369	40	0,171	43	0,047
41	0,188	63	0,393	45	0,217	51	0,199	48	0,042
50	0,441	65	0,402	69	0,148	53	0,055	61	0,07
55	0,136	67	0,157	72	0,265	55	0,199	71	0,331
57	0,267	73	0,375	74	0,229	59	0,535	74	0,084
TOTAL	1,485		3,029		2,039		1,742		0,781
MÉDIA	0,212		0,379		0,255		0,218		0,098

Nota(*): Esqueceram a árvore 19 no plantio.

AMOSTRAS: 5 40 ARVORES

MÉDIA DAS MÉDIAS: **0,232**
 TOTAL ÁRVORES: 400
 VARIÂNCIA: **0,010**
 DESVIO PADRÃO: 0,101
 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: **43,4 %**
 VARIÂNCIA DA MÉDIA: 0,002
 ERRO PADRÃO: 0,043
 ERRO DE AMOSTRAGEM: **18,4 %**

MÉDIA GEOMÉTRICA **0,182**
 TOTAL ÁRVORES: 400
 VARIÂNCIA: **0,023**
 DESVIO PADRÃO: 0,151
 COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: **83,1 %**
 VARIÂNCIA DA MÉDIA: 0,001
 ERRO PADRÃO: 0,023
 ERRO DE AMOSTRAGEM: **12,5 %**

Tabela 16 - Médias do volume de madeira de cada amostra do plantio de 1998 e seus erros de amostragem.

AMOSTRA A		AMOSTRA B		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3	
ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME	ARV	VOLUME
5	0,289	67	0,188	3	0,235	81	0,183	1	0,33
6	0,155	71	0,14	6	0,188	80	0,357	23	0,274
13	0,141	60	0,15	11	0,201	83	0,288	25	0,348
22	0,166	58	0,141	20	0,375	74	0,153	27	0,316
24	0,072	60	FAVEIRA	25	0,068	77	0,248	42	0,402
33	0,084	69	0,133	40	0,133	74	0,153	51	0,33
43	0,075	61	0,155	47	0,193	73	0,223	55	0,461
44	0,084	60	0,1	63	0,412	76	0,161	62	0,091
TOTAL	1,067		1,007		1,804		1,763		2,554
MÉDIA	0,133		0,144		0,226		0,221		0,319

AMOSTRAS: 5 40 ÁRVORES

MÉDIA DAS MÉDIAS:	0,208	MÉDIA GEOMÉTRICA	0,185
TOTAL ÁRVORES:	400	TOTAL ÁRVORES:	400
VARIÂNCIA:	0,006	VARIÂNCIA:	0,011
DESVIO PADRÃO:	0,075	DESVIO PADRÃO:	0,107
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO:	36,0 %	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO:	58,1 %
VARIÂNCIA DA MÉDIA:	0,001	VARIÂNCIA DA MÉDIA:	0,000
ERRO PADRÃO:	0,032	ERRO PADRÃO:	0,016
ERRO DE AMOSTRAGEM:	15,3 %	ERRO DE AMOSTRAGEM:	8,9 %

Para a amostragem de 6 anos, obteve-se um erro amostral entre a média das médias de 18,4% e um coeficiente de variação de 43,3%. Já para a amostragem de 10 anos, observa-se uma pequena queda desses valores. O erro amostral foi de 15,3% e o coeficiente de variação de 36,0%. Isso mostra uma pequena tendência de homogeneização do plantio. Para a média geométrica das médias observa-se também uma queda nos valores. Para o plantio de 6 anos o erro amostral foi de 12,5% e o coeficiente de variação de 83,1%. Para o plantio de 10 anos observou-se um erro amostral de 8,9% e um coeficiente de variação de 58,1%. Com base nesses valores, observa-se também a tendência de heterogeneidade das árvores.

A não execução do desbaste nas áreas escolhidas pode ter contribuído para os altos valores dos coeficientes de variação, principalmente para as árvores de 10 anos (Plantio 1995). Entretanto, pesquisas aprofundadas sobre a relação entre variabilidade volumétrica e tratamentos silviculturais dessas árvores necessita ainda ser realizado para corroborar essa hipótese.

Para a amostragem de 19 e 28 anos não foi possível efetuar-se a determinação dos erros amostrais e dos coeficientes de variação, uma vez que não havia um controle sobre o desenvolvimento das árvores e nem quanto a quantidade total de árvores no plantio.

Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada

Neste caso, somente foi possível determinar o volume bruto, em metros cúbicos, das toras retiradas das árvores escolhidas como amostras. A Tabela 17 e Tabela 18 mostram a distribuição desses volumes.

Tabela 17 - Volume em m³ de madeira em tora de árvores de 19 anos.

TORA	CIR.MÉDIA m	COMPRIM. m	0,14 DESC.CASCA	COMP.LÍQUIDO 10cm menos	A. BASAL m ²	VOL GEOM m ³	V.Francon m ³	CUBADOR ARCA	
								BRUTO	LÍQUIDO
F 1-2	1,30	5,0	1,16	4,9	0,1345	0,672	0,528	0,528	0,412
F 3-4	1,08	5,8	0,94	5,7	0,0928	0,538	0,423	0,422	0,315
G 1-3	1,38	7,0	1,24	6,9	0,1515	1,061	0,833	0,833	0,663
G 4-5	0,94	5,4	0,8	5,3	0,0703	0,380	0,298	0,298	0,212
H 1-4	1,26	10,7	1,12	10,6	0,1263	1,352	1,061	1,061	0,831
I 1-4	1,17	10,3	1,03	10,2	0,1089	1,122	0,881	0,881	0,676
J 1-3	1,22	7,5	1,08	7,4	0,1184	0,888	0,697	0,697	0,539
J 4-5	0,92	5,3	0,78	5,2	0,0674	0,357	0,280	0,280	0,198
TOTAL						6,370	5,001	5,000	3,845

Tabela 18 - Volume em m³ de madeira em tora de árvores de 28 anos.

TORA	CIR.MÉDIA m	COMPRIM. m	0,14 DESC.CASCA	COMP.LÍQUIDO 10cm menos	A. BASAL m ²	VOL GEOM m ³	V.Francon m ³	CUBADOR ARCA	
								BRUTO	LÍQUIDO
A 1-2	1,58	5	1,44	4,9	0,1987	0,993	0,780	0,780	0,635
A 3-5	1,34	7,9	1,20	7,8	0,1429	1,129	0,886	0,886	0,702
B 1-2	1,74	4,9	1,60	4,8	0,2409	1,181	0,927	0,927	0,768
B 3-5	1,45	7,4	1,31	7,3	0,1673	1,238	0,972	0,972	0,783
B 6-7	1,13	5,6	0,99	5,5	0,1016	0,569	0,447	0,446	0,337
C 1-2	1,50	5,0	1,36	4,9	0,1790	0,895	0,703	0,703	0,566
C 3-5	1,25	6,9	1,11	6,8	0,1243	0,858	0,673	0,673	0,523
D 1-2	2,00	5,0	1,86	4,9	0,3183	1,592	1,249	1,250	1,059
D 3-4	1,60	6,7	1,46	6,6	0,2037	1,365	1,071	1,072	0,879
E 1-4	1,44	10,3	1,30	10,2	0,1650	1,700	1,334	1,334	1,077
TOTAL						11,519	9,042	9,043	7,327

Ressalta-se, que o responsável da equipe pela cubagem da madeira ARCA, adotava o sistema Francon¹² sem descontar os defeitos na tora.

Nesta etapa da pesquisa, após a retirada das toras, manteve-se a casca para que a madeira perdesse umidade de forma mais lenta, evitando-se assim o surgimento de rachaduras. Após 15 dias, notou-se a presença de brocas na região do câmbio, próximo à casca, nas amostras de 6 e 10 anos (Figura 49).

¹² Volume Frankon considera uma redução de 25% do volume geométrico, pois considerada a tora esquadrejada, como era utilizado na era medieval, sendo na prática 21,5%.



Figura 49 - (a) Ataque de brocas próximo à casca e (b) broca em ação.

Apesar do desdobro com a retirada da casca, do descarte dessas peças atacadas e da secagem em estufa das demais peças, ainda foram observados ataques dessas brocas durante as demais etapas da pesquisa no laboratório de estruturas da UFSC.

Com base nessa observação, para as amostras de 19 e 28 anos que foram fornecidas posteriormente, os topos das toras foram imunizados com produto preservativo (ISOGAMA) imediatamente após a derrubada das árvores.

Estes fatos foram um aprendizado com relação à madeira de paricá e que não são citados na literatura disponível sobre a espécie.

5.2. Caracterização do lenho

Com o estudo da proporção entre cerne e albúrnio dos lotes, realizados nos discos retirados no nível do DAP, obtiveram-se os seguintes resultados, conforme mostra a Tabela 19.

Tabela 19 - Valores de diâmetro e área de cerne e albúrnio.

LOTES	DIÂMETRO (cm)				ÁREA (cm ²)			
	EXTERNO	Incremento (%)	INTERNO Cerne	Incremento (%)	CERNE	Incremento (%)	ALBURNO	Incremento (%)
6 anos	19,78	-	9,47	-	70,46	-	243,63	-
10 anos	20,77	5,00	9,88	4,33	76,59	8,70	273,71	12,34
19 anos	40,24	93,74	21,72	119,84	430,76	462,43	860,16	214,26
28 anos	50,84	26,34	36,04	65,93	1055,69	145,07	994,35	15,60

Observa-se que para as árvores de 6 e 10 anos de idade há um incremento dos valores de diâmetro e área de cerne de 4,33% e 8,70% respectivamente. Para as árvores de 19 e 28 anos há um incremento

desses parâmetros que variaram entre 65,93% a 145,07%. Para a diferença entre as duas primeiras idades, que é de 4 anos, obtiveram-se incrementos menores do que entre as árvores de Tomé-Açu, cuja diferença entre idades é de 9 anos. Ao se analisar os valores entre as árvores da Tramontina, com 10 anos e daqueles de Tomé-Açu, com 19 anos, percebe-se um alto incremento. Para Burger e Richter (1991), a proporção entre cerne e alburno varia dentro da própria árvore e também em função da espécie, da idade, sítio, solo e clima. É possível que esse incremento demasiado se deva pelo fato que essas árvores tenham se desenvolvido com tratamentos silviculturais e sítios diferentes. As árvores de Tomé-Açu foram plantadas num espaçamento de 8 m x 8 m, enquanto que as demais cresceram num espaçamento de 4 m x 3m. Verifica-se também que há uma diminuição da proporção do alburno em relação ao cerne, ao longo do desenvolvimento da espécie, ou seja, da idade. A madeira de cerne é importante para a sustentação da árvore, sendo sua área aumentada à medida que se desenvolve.

Quanto à característica microscópica dos lenhos de 6 e 10 anos, é possível observar que a descrição da literatura desta espécie é similar aos das amostras pesquisadas. A Figura 50 ilustra os elementos anatômicos nessas idades.

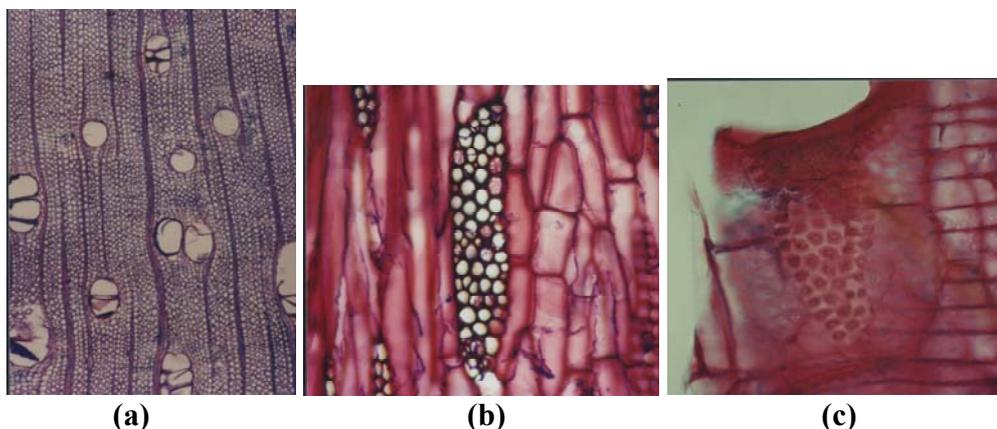


Figura 50 - (a) Disposição dos elementos de vaso e raios – 5X, (b) composição celular dos raios e (c) arranjo das pontuações nos elementos de vaso – 10X (10 anos).

É possível verificar também que as fibras do cerne possuem espessura de sua parede maior do que as das fibras do alburno. A Figura 51 mostra a transição do lenho de alburno para cerne. Os elementos mais densos pertencem ao cerne.

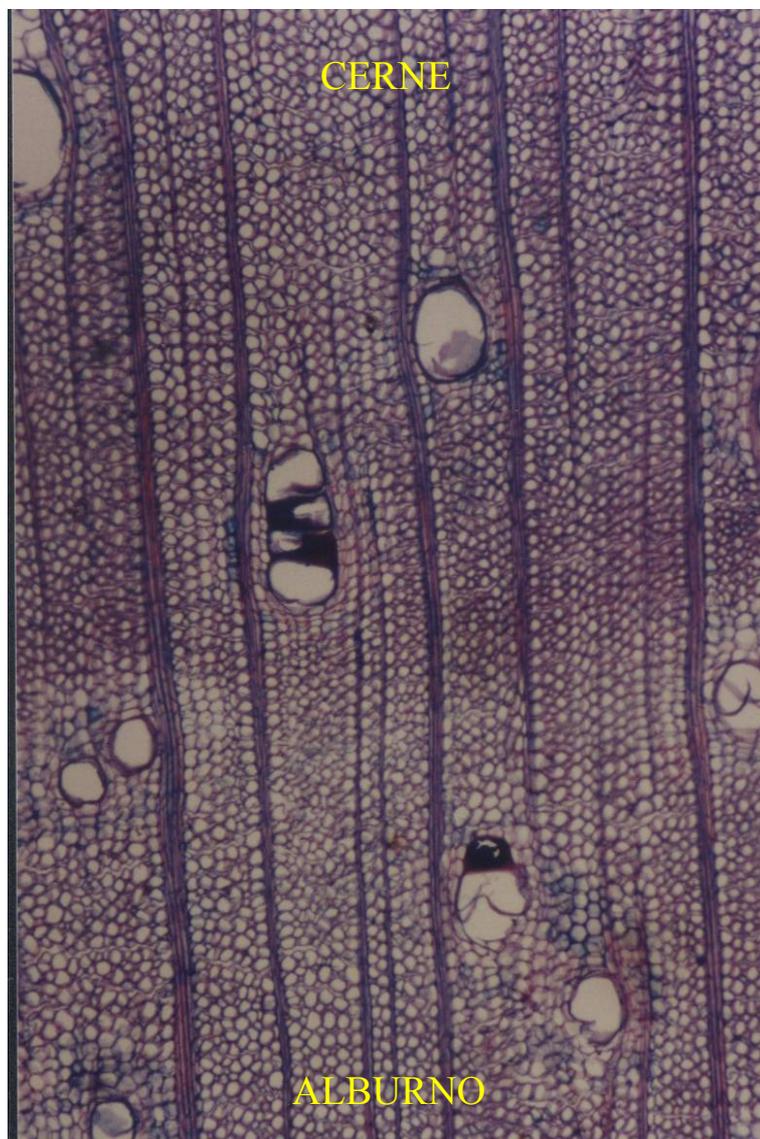


Figura 51 - Zona de transição entre alburno e cerne – 10 anos.

Isto demonstra que, para estas plantações, a partir da idade de 6 anos, já se tem a formação de madeira de cerne, a qual também é possível de ser observada a olho nu. Este fato se contrapõe ao que é descrito na literatura, pois, para Coradin et al (1993), o alburno e o cerne para as árvores nativas desta espécie são indistintos a olho nu.

Para as árvores de 19 e 28 anos, também se notou uma similaridade entre as características anatômicas descritas pela literatura. Entretanto a quantidade de vasos múltiplos é menor do que nas idades de 6 e 10 anos (Figura 52).

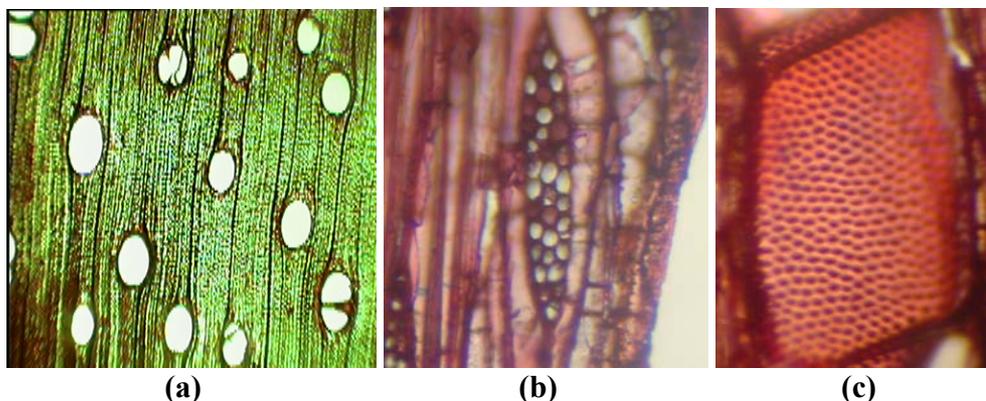


Figura 52 - (a) Disposição dos elementos de vaso e raios – 5X, (b) composição celular dos raios e (c) arranjo das pontuações nos elementos de vaso – 10X.

Foi possível observar também uma diferença sutil entre as espessuras das paredes das fibras. No caso das árvores de 19 e 28 anos, estas possuem uma espessura um pouco menor do que as árvores de 6 e 10 anos de idade de Aurora do Pará. Talvez isso ocorra pelo fato delas terem crescido em sítios com condições de solo, clima e espaçamentos diferentes. A Figura 53 mostra a transição do lenho de alburno para cerne na idade de 28 anos.

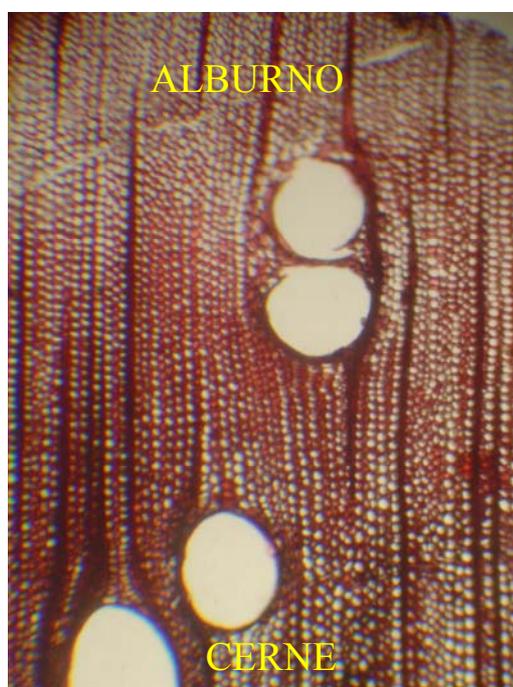


Figura 53 - Zona de transição entre alburno e cerne – 28 anos.

Notou-se também que a quantidade e a disposição de células de parênquima, em torno dos elementos de vaso, são similares com aquelas encontradas em Aurora do Pará. Entretanto, na madeira de 19 e 28 anos os parênquimas tangentes ao vaso são menores dos que os das outras idades, conforme pode ser observado nas imagens da Figura 54.

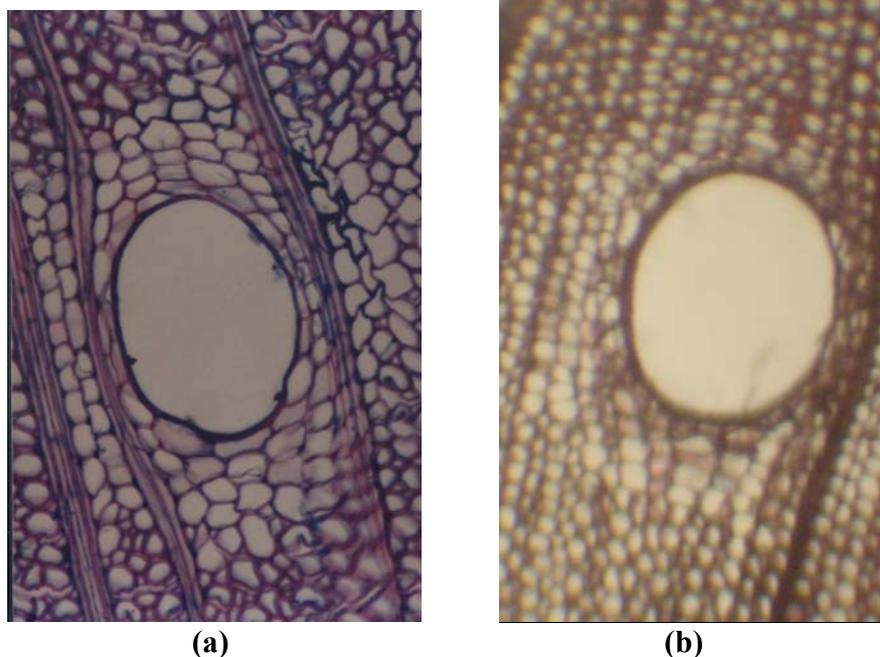


Figura 54 – (a) Parênquima do paricá aos 10 anos e (b) parênquima do paricá aos 29 anos – 10X.

Ao serem analisadas essas imagens, descreve-se de forma qualitativa, que as características anatômicas das árvores nas quatro diferentes idades pesquisadas são:

- Poros: visíveis a olho nu; predominantemente solitários; múltiplos de dois até cinco (para Coradini et al. (1993) de dois até três), em arranjos radiais e diagonais; poucos; médios; distribuição difusa uniforme; seção transversal circular; placa de perfuração simples.
- Parênquima axial: pouco visível a olho nu; paratraqueal aliforme losangular; apotraqueal difuso (para Coradini et al. (1993) observa-se a olho nu e a sua distribuição às vezes pode ocorrer de forma confluyente).
- Parênquima radial (raios): pouco visíveis a olho nu no plano transversal e visíveis somente sob lente de 10x no plano

tangencial; finos; baixos; poucos; não estratificados; pouco contrastados na face radial.

- Linhas vasculares: irregulares, algumas com presença de substância escura de aspecto oleoso.
- Camadas de crescimento: distintas (para Coradini et al. (1993) são indistintas).

Com relação à determinação das dimensões de fibras, o resultado das amostras de madeira é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Determinação das dimensões das fibras para cada idade.

Amostra	Valores	Comprimento (mm)	Largura (μm)	Diâmetro do lume (μm)	Espessura da parede (μm)
6 anos	Mínimo	0,614	20,182	11,886	2,993
	Média	1,080	30,368	23,276	7,093
	Máximo	1,597	41,787	36,421	13,415
	Desvio padrão	0,225	5,289	6,122	2,015
10 anos	Mínimo	0,565	21,466	11,777	4,016
	Média	1,160	32,233	24,138	8,095
	Máximo	1,635	44,381	36,152	13,845
	Desvio padrão	0,223	4,570	5,114	2,253
19 anos	Mínimo	0,733	25,872	19,529	3,008
	Média	1,319	35,172	29,226	5,946
	Máximo	1,717	54,767	49,110	9,294
	Desvio padrão	0,212	5,401	5,318	1,343
28 anos	Mínimo	0,656	19,027	13,102	3,984
	Média	1,281	35,854	29,904	5,950
	Máximo	1,790	50,435	44,132	8,256
	Desvio padrão	0,215	6,909	6,539	1,002

As Figura 55 a,b,c e d mostram fibras típicas identificadas nesta pesquisa e as escalas de referência para a medição de suas dimensões.

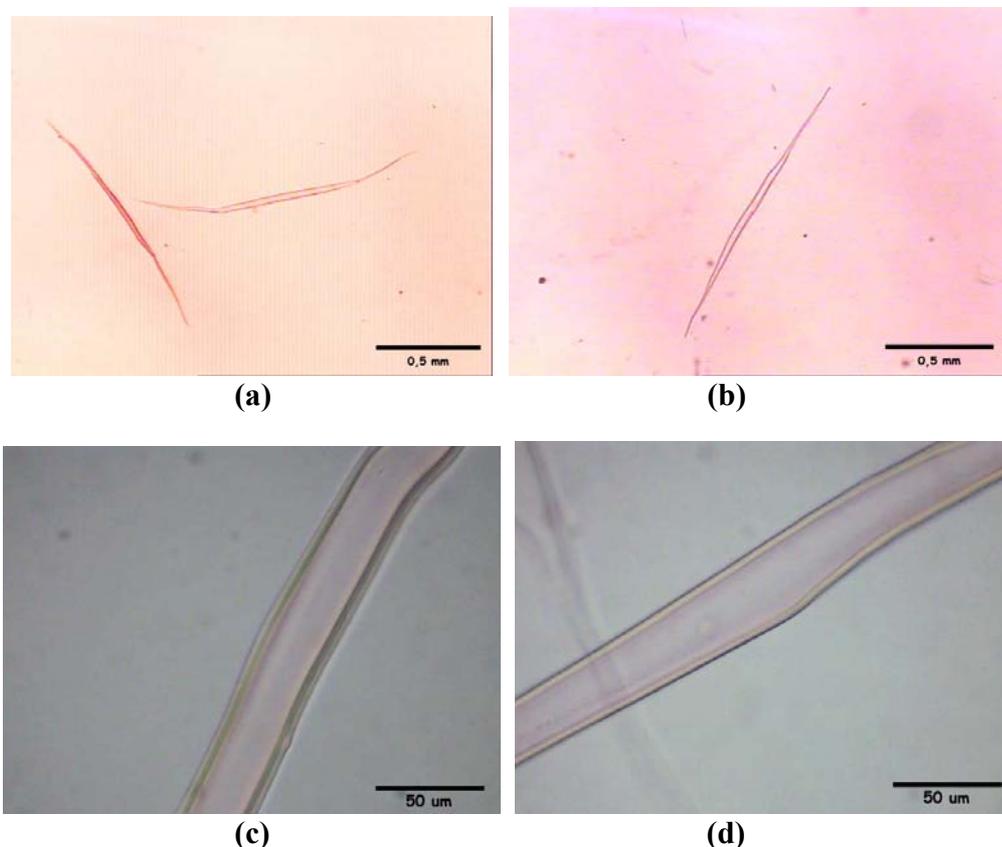


Figura 55 – (a) e (b) Exemplo de fibras com 10 anos para determinação do comprimento; (c) e (d) em detalhe para determinação do diâmetro. Autor: Raphael Pigozzo.

A Tabela 21 mostra a comparação múltipla entre as médias dos comprimentos das fibras, para as quatro idades, e do diâmetro do lume, para três idades, a um nível de 1% de significância.

Tabela 21 - Comparação entre as médias das dimensões anatômicas das fibras.

Amostras	CAMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS									
	Comprimento das fibras				Largura das fibras			Diâmetro do lume		
	A	B	C	D-28 anos	A	B	C	A	B	C
A – 6 anos		=	≠	≠		=	≠		=	≠
B – 10 anos			≠	=			=			≠
C – 19 anos				=						

A amostra A-6 anos mostrou-se significativamente diferente em relação às amostras C-19 anos para as dimensões descritas na Tabela 21, bem como em relação à amostra D-28 anos para o comprimento médio das fibras. A amostra B-10 anos mostrou-se significativamente igual somente para a largura das fibras, se diferenciando nas demais dimensões. A amostra D-28 anos mostrou-se significativamente igual às amostras B-10 anos e C-19 anos com relação ao comprimento das fibras.

Não foi possível comparar a largura das fibras e o diâmetro do lume das amostras de 28 anos, pois a variabilidade desses dados diferenciou-se significativamente em relação às demais amostras. Para a espessura do lume, não foi possível comparar as médias, uma vez que a distribuição dos dados da amostra de 6 anos não era normal e as demais amostras possuíam desvios padrão diferentes, impossibilitando a comparação de variância e média entre grupos.

Esses resultados mostram que a idade influencia no comprimento e na largura das fibras, bem como no diâmetro do lume do lenho de paricá. Observa-se uma tendência de estabilização das dimensões das fibras após a idade de 10 anos. Essas características também foram observadas por outros pesquisadores em outras espécies (FERREIRA e BRASIL, 1972, SZÜCS, 2004). Entretanto, estudos mais aprofundados como determinação do volume de parênquima e inclinação de microfibrilas devem ser realizados para que se possa também relacionar tais propriedades com o comportamento tecnológico da madeira de paricá.

Jesus (2004), ao pesquisar as propriedades anatômicas da madeira de paricá com 7 anos de idade, encontrou valores semelhantes sendo: o comprimento médio das fibras igual a 1,118 mm; largura das fibras igual a 26,52 μm ; e espessura da parede igual a 4,58 μm .

Ao serem comparados os diâmetros médios do lume, observa-se que Melo et al. (1989) descrevem valores para o paricá nativo entre 11 μm a 20 μm , os quais são menores do que os encontrados na madeira de paricá em todas as idades pesquisadas. É possível que a procedência, o sítio e os tratamentos silviculturais, os quais visam um desenvolvimento rápido da árvore, possam ter influenciado para valores maiores do que os encontrados na literatura para a madeira nativa dessa espécie.

5.3. Resistência ao ataque de cupins de madeira seca.

Os resultados do ensaio foram analisados estatisticamente para cada amostra ensaiada, ao nível de significância de 5%. A variável

resposta analisada foi o desgaste, expressa segundo critério de notas. A análise de variância não paramétrica (ANOVA) de Kruskal-Wallis, foi utilizada para avaliar o fator amostra nos níveis de desgaste.

As tabelas, que mostram o resultado das avaliações do desgaste das amostras ensaiadas, podem ser visualizadas no anexo.

A comparação entre estes níveis foi feita pelo Teste não paramétrico de Mann-Whitney, tendo como resultado a Tabela 22.

Tabela 22 – Comparação entre os resultados de alburno, cerne, cerne tratado de paricá e testemuho.

Tratamento	B	C	T - Pinus
A – Alburno	=	≠	=
B – Cerne		≠	=
C – Cerne Tratado			≠

A análise de variância, realizada para todas as amostras, detectou diferença significativa para o fator amostra quanto ao ataque dos cupins de madeira seca. O fator cerne tratado de paricá da amostra C mostrou-se diferente significativamente em relação às demais amostras, com maior resistência ao ataque de cupins de madeira seca.

As peças de madeira de paricá imunizadas com produto à base de CCA e em processo de alta pressão (Autoclave) mostraram-se protegidas. Entretanto, independentemente da posição ocupada no tronco e mesmo com banho frio com fungicida ISOGAMA, a madeira de paricá foi significativamente suscetível ao ataque de cupins de madeira seca. Coradin et al (1993) e Silva e Leão (2006) também classificaram esta espécie como suscetível ao ataque de agentes degradadores. Ressaltando, a madeira de paricá deve receber tratamentos preservativos com produtos e processos adequados.

Nesta etapa da pesquisa, realizada no IPT em São Paulo, não foram aplicados testes de resistência ao ataque de cupins com diferentes produtos e diferentes métodos de preservação, sendo necessária a obtenção desse conhecimento para que se possa aumentar a durabilidade da madeira de paricá para utilização estrutural.

5.4. Caracterização física e mecânica.

Utilizando-se as recomendações da NBR-7190/97 para a determinação das propriedades físicas e mecânicas em lotes de madeira, foram obtidos os resultados para a espécie paricá nas quatro idades, conforme ilustra a Tabela 23.

Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada

Ressalta-se que para os ensaios de cisalhamento foram preferidos ajustes sendo sido adotado o critério de ensaio da norma francesa NF B 5-32, conforme descrito no item 6.6 do capítulo de Materiais e Métodos.

Tabela 23 - Valores de propriedades físicas e mecânicas do paricá em diferentes idades.

Propriedade Física			6 anos		10 anos		19 anos		28 anos	
			Valor	-	Valor	-	Valor	-	Valor	-
Densidade básica	Media		327,99 kg/m ³		347,47 kg/m ³		272,87 kg/m ³		296,26 kg/m ³	
	D.P.		45,75		39,94		32,21		48,24	
	C.V		13,95 %		11,49 %		11,81 %		16,28 %	
	N		27		27		13		18	
Propriedades Mecânicas			6 anos		10 anos		19 anos		28 anos	
			Resistência	Módulo E						
Compressão Paralela	Caract		22,90 MPa		20,05 MPa		21,40 MPa		22,08 MPa	
	Media		30,84 MPa	11.418,09 MPa	30,03 MPa	10.479,19 MPa	26,96 MPa	11.751,65 MPa	29,46 MPa	10.582,63 MPa
	D.P.		4,66	2.309,00	5,53	1.869,49	4,72	2.100,83	5,02	2.222,20
	C.V		15,11 %	19,64 %	18,42 %	17,29 %	17,51 %	17,56 %	17,04 %	20,60 %
N		17		17		23		22		
Flexão	Caract		44,13 MPa		41,95 MPa		33,12 MPa		31,19 MPa	
	Media		57,50 MPa	9.293,41 MPa	61,11 MPa	9.332,38 MPa	44,63 MPa	8.190,51 MPa	45,88 MPa	8.137,64 MPa
	D.P.		9,61	1.140,02	11,08	1.656,58	9,72	1.652,11	9,90	1.418,18
	C.V		16,72 %	11,91 %	18,14 %	17,20 %	21,78 %	19,82 %	21,59 %	17,09 %
N		17		13		19		18		
Compressão Normal	Caract		2,45 MPa		1,88 MPa		1,54 MPa		1,65 MPa	
	Media		3,15 MPa		2,78 MPa		2,00 MPa		2,24 MPa	
	D.P.		0,59		0,61		0,34		0,46	
	C.V		18,76 %		21,79 %		17,22 %		20,52 %	
N		14		23		20		18		
Tração Paralela	Caract		58,86 MPa		51,65 MPa		33,68 MPa		41,96 MPa	
	Media		60,83 MPa		63,52 MPa		46,73 MPa		54,94 MPa	
	D.P.		15,05		11,58		9,18		10,76	
	C.V		18,62 %		18,22 %		19,64 %		19,59 %	
N		12		15		24		21		
Tração Normal	Caract		3,88 MPa		2,97 MPa		2,88 MPa		2,39 MPa	
	Media		3,23 MPa		2,86 MPa		2,68 MPa		2,56 MPa	
	D.P.		0,58		0,57		0,51		0,51	
	C.V		17,85 %		19,94 %		19,20 %		19,94 %	
N		10		12		25		22		
*Cisalhamento	Caract		2,06 MPa		2,03 MPa		1,80 MPa		2,12 MPa	
	Media		2,72 MPa		2,62 MPa		2,35 MPa		2,99 MPa	
	D.P.		0,46		0,53		0,37		0,69	
	C.V		17,02 %		20,19 %		15,82 %		23,08 %	
N		13		15		19		21		
Fendilhamento	Caract		0,35 MPa		0,35 MPa		0,34 MPa		0,36 MPa	
	Media		0,48 MPa		0,50 MPa		0,47 MPa		0,52 MPa	
	D.P.		0,10		0,09		0,08		0,11	
	C.V		20,58 %		18,85 %		18,20 %		20,32 %	
N		15		16		19		22		
Embutimento Paralelo	Caract		6,45 MPa		7,68 MPa		6,00 MPa		6,80 MPa	
	Media		8,75 MPa		9,92 MPa		8,85 MPa		10,14 MPa	
	D.P.		1,52		1,77		1,65		1,53	
	C.V		17,32 %		17,83 %		18,64 %		15,13 %	
N		15		33		20		21		

Caract – Valores característicos a 12% umidade; Média – Valores médios a 12% de umidade; D.P. – Desvio padrão; C.V – Coeficiente de Variação; N – número de corpos de prova. * Corpo de prova adaptado da NF B 5-32.

Os resultados da Tabela 23 mostram que a madeira de paricá, independentemente da idade, pode ser denominada como dicotiledônea de classe C-20, pois atende aos quesitos especificados no item 10.6 da NBR-7190/97, onde se deve levar em consideração o valor característico de resistência à compressão paralela às fibras e o seu respectivo módulo de elasticidade médio, ambos a 12% de teor de umidade. Assim, torna-se possível a sua utilização como elemento estrutural.

Para os testes de cisalhamento, os valores dos coeficientes de variação obtidos foram inferiores àqueles apresentados no anexo E da NBR-7190/97 para outras espécies. A NBR-7190/97 admite um coeficiente de variação de 28% para resistências a solicitações tangenciais. Assim, o modelo proposto de corpo de prova mostrou-se adequado e possível de ser empregado em testes de cisalhamento.

Com base na Tabela 23 e com os dados provenientes das fichas de caracterização mecânica do IPT, do LPF e do anexo E da NBR-7190/97, foram produzidos os gráficos das Figuras 57 e 60, onde se torna possível observar o desempenho da madeira de paricá, nas diferentes idades, em comparação com sua madeira originária de árvore nativa e com outras espécies exóticas plantadas no Brasil.

Pela Figura 56, percebe-se que a madeira de paricá, independentemente da idade, apresenta resistência à compressão paralela às fibras semelhante àquela da madeira de árvore nativa pesquisada pelo IPT, porém inferior àquela da madeira nativa estudada pelo LPF e àquelas das demais espécies exóticas de floresta plantada. Observa-se um equilíbrio na resistência à compressão ao longo da idade, diferente das dimensões das fibras pesquisadas que tendem a aumentar conforme a idade da árvore. Este aumento não influenciou significativamente nesta propriedade mecânica.

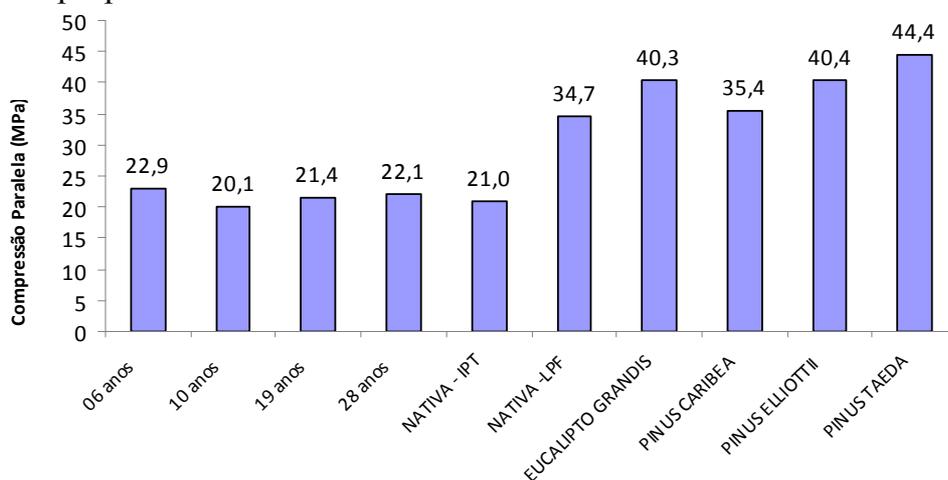


Figura 56 - Valores de resistência de compressão paralela às fibras.

A Figura 57 mostra que o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras varia entre as espécies plantadas, porém com uma variação não acentuada e com valores próximos a 11.000 MPa. Isso revela que a madeira de paricá possui desempenho equivalente a estas espécies exóticas de florestas plantadas no Brasil.

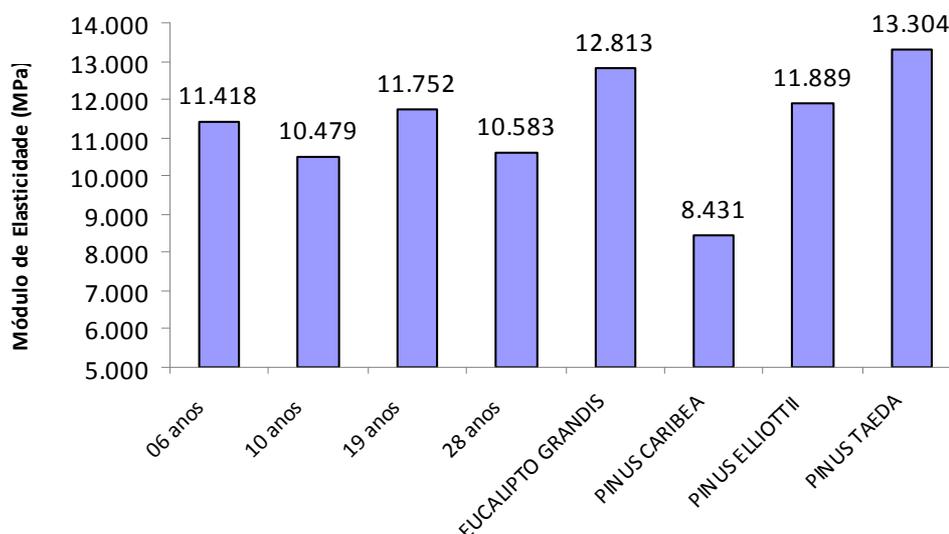


Figura 57 - Valores de módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras.

Pela Figura 58 observa-se uma perda de resistência à tração paralela às fibras ao longo da idade, obtendo-se valores médios inferiores aqueles das espécies exóticas plantadas.

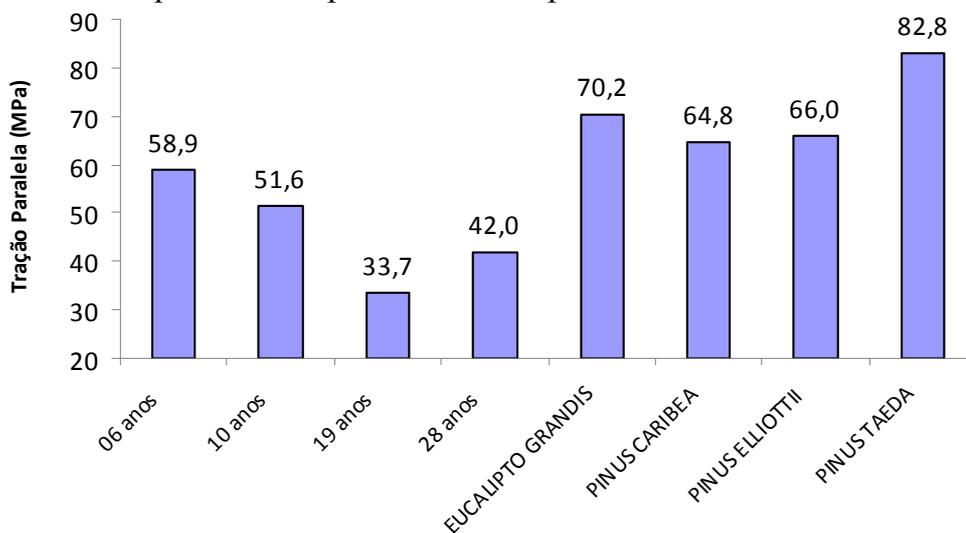


Figura 58 - Valores de resistência à tração paralela às fibras.

A Figura 59 revela que a madeira jovem de paricá apresenta resistência à tração normal às fibras superior às demais idades e às espécies exóticas. Para Burger e Richter (1991), a inclinação das microfibrilas reflete na resistência à tração, o que pode esclarecer tal perda de resistência à tração perpendicular às fibras ao longo da idade.

Os pesquisadores afirmam que quanto mais vertical for a orientação das microfibrilas, maior será a resistência à tração da madeira. Esta inclinação para o paricá não foi determinada e portanto não pode ser argumentada.

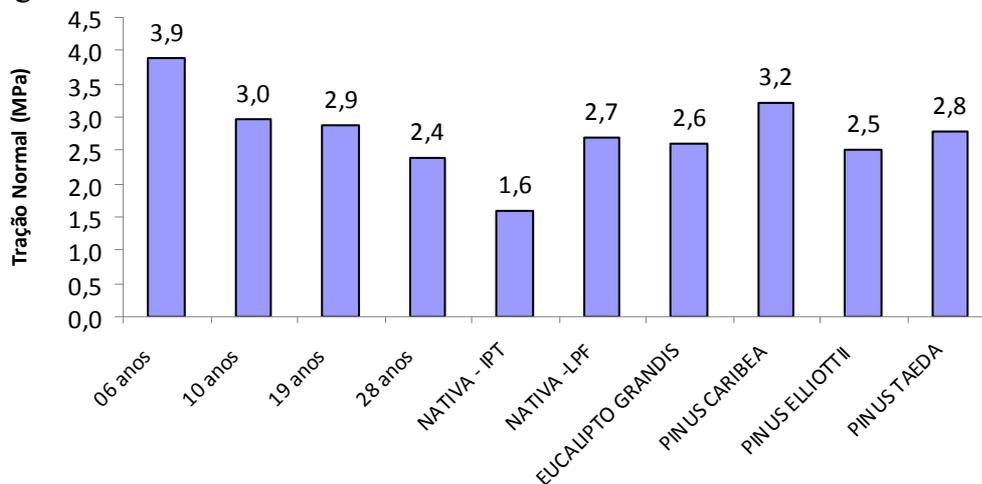


Figura 59 - Valores de resistência à tração normal às fibras.

Pela Figura 60, pode-se observar que a resistência ao cisalhamento é equivalente entre as idades, porém inferior à resistência das demais espécies exóticas e da nativa estudada pelo IPT. Por outro lado, mostrou-se superior à nativa pesquisada pelo LPF, revelando a influência do sítio e do trato silvicultural em relação a esta propriedade para o paricá.

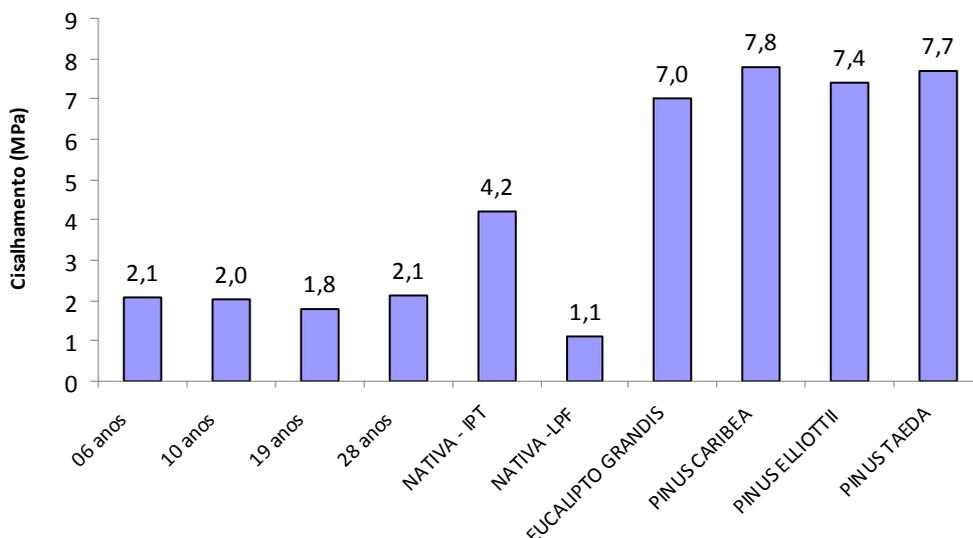


Figura 60 - Valores de resistência de cisalhamento.

A Tabela 24 mostra a comparação estatística entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá nas idades de 6, 10, 19 e 28 anos.

Tabela 24 - Comparação entre médias das propriedades do paricá em diferentes idades.

Propriedade	Idade	Tratamentos		
		B	C	D - 28 anos
Densidade	A - 6 anos	≠	≠	≠
	B - 10 anos		≠	≠
	C - 19 anos			≠
Compressão //	A - 6 anos	=	=	=
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			=
Flexão	A - 6 anos	=	≠	≠
	B - 10 anos		≠	≠
	C - 19 anos			=
Compressão ⊥	A - 6 anos	≠	≠	≠
	B - 10 anos		≠	≠
	C - 19 anos			=
Tração //	A - 6 anos	≠	≠	≠
	B - 10 anos		≠	≠
	C - 19 anos			≠
Tração ⊥	A - 6 anos	=	≠	≠
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			=
Cisalhamento	A - 6 anos	=	=	=
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			≠
Fendilhamento	A - 6 anos	=	=	=
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			=
Embutimento	A - 6 anos	=	=	=
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			=

Observa-se que para as propriedades de densidade básica e tração paralela, houve diferença significativa entre todas as idades. Há um aumento da densidade básica da madeira ao longo das idades iniciais e entre as idades finais, entretanto, os valores nas idades de 19 e 28 anos foram inferiores aos valores das árvores de 6 e 10 anos de idade. Na tração paralela há uma tendência de perda de resistência ao longo da idade, com valores das duas idades iniciais superiores aos valores das duas idades finais. Nestas propriedades, tanto a idade como o sítio e tratos silviculturais influenciaram nos resultados. Para a compressão normal, as idades iniciais de 6 e 10 anos se diferenciaram significativamente das demais idades, havendo uma igualdade entre as idades de 19 e 28 anos. Porém, para a propriedade de cisalhamento paralelo às fibras houve somente diferença entre as idades finais de 19 e 28 anos.

Conforme a Tabela 24 e a Tabela 25, os valores médios de resistência e de módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, a resistência ao fendilhamento, e a resistência ao embutimento paralelo às fibras foram equivalentes em todas as idades. Já os valores médios de resistência e módulo de elasticidade à flexão, revelam uma diferença entre as duas idades mais jovens em relação às duas idades mais adultas, as quais podem estar relacionadas tanto com a idade como com o sítio e trato silvicultural.

Tabela 25 - Comparação entre médias do módulo de elasticidade do paricá em diferentes idades.

Módulo de Elasticidade (E)	Idade	Tratamentos		
		B	C	D - 28 anos
Compressão //	A - 6 anos	=	=	=
	B - 10 anos		=	=
	C - 19 anos			=
Flexão	A - 6 anos	=	≠	≠
	B - 10 anos		≠	≠
	C - 19 anos			=

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que há uma diferença significativa entre os valores médios na maioria das propriedades da madeira de paricá. Isso se deve ao fato das árvores apresentarem idades distintas e em alguns casos, por também terem se desenvolvido com tratos silviculturais e sítios diferentes. Vale ressaltar, que com base nessas diferenças apresentadas entre a maioria das propriedades, torna-se importante uma classificação, mesmo que simplificada, dos lotes de madeira de floresta plantada. Essas características poderão ser utilizadas como referência para a concepção de produtos com melhor desempenho e maior confiabilidade.

5.5. Caracterização por testes não destrutivos.

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através do emprego do ultrassom como instrumento para a classificação de peças de madeira de paricá serrado. A Tabela 26 mostra os valores médios da velocidade de propagação da onda ultrassônica para a condição saturada de cada lote de madeira e sua respectiva classe de resistência conforme a NBR 15521/07.

Tabela 26 - Valores médios da velocidade de propagação da onda ultrassônica e classes de resistência dos lotes de paricá conforme NBR-15.521/07.

Leitura	Idade	Média Weibull (m/s)	Classe Resistência	f_{c0} (MPa)	$E_{c0,m}$ 12% (MPa)
Superfície	06 anos	4073	UD-35	35	15000
	10 anos	3881	UD-30	30	14000
	19 anos	4051	UD-35	35	15000
	28 anos	3626	UD-25	25	12000
Topo	19 anos	4137	UD-35	35	15000
	28 anos	4073	UD-35	35	15000

f_{c0} = resistência a compressão paralela às fibras; $E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras

Observa-se que as resistências determinadas para a compressão paralela às fibras foram superiores aos valores característicos e médios encontrados nos testes de caracterização destrutiva (Tabela 23). Com base nesses resultados, somente o lote de madeiras de 28 anos, com leitura aferida na superfície, seria enquadrada na classe C-20 da NBR-7190/97, sendo as demais, independentemente

da posição de leitura do ultrassom, pertencentes à classe C-30 da NBR 7190/97. Porém, esses resultados são inferiores aos valores de resistência característica à flexão (Tabela 23), com exceção do valor topo a topo para as madeiras de 28 anos.

Sugere-se, para a madeira de paricá, o emprego de uma nova constante na equação da velocidade longitudinal saturada da NBR-15521/07 (Equação 2) de modo que se tenham valores mais próximos aos testes de caracterização destrutiva.

Tabela 27 - Valores da constante empregada na determinação da V_{LLsat} para a madeira de paricá.

Leitura	Idade	V_{LL} médio (m/s)	ρ_{bas} kg/m ³	Umidade %	Constante
Superfície	06 anos	5314	328	15,49	2849,84
	10 anos	5102	347	14,93	2647,88
	19 anos	5347	273	16,93	2850,88
	28 anos	4898	296	16,58	2419,28
	Média				
Topo	19 anos	5433	273	16,93	2936,88
	28 anos	5345	296	16,58	2866,28
	Média				

V_{LL} médio = velocidade média de propagação na direção longitudinal; ρ_{bas} = densidade básica.

A Tabela 27 mostra os valores das constantes para cada lote e para cada posição de leitura da velocidade de propagação da onda. Esses valores foram obtidos com base nos valores médios determinados nos ensaios não-destrutivos e na determinação das propriedades físicas dos lotes. Nesse caso, sugere-se o emprego da densidade básica, ao invés da densidade aparente, na equação da velocidade longitudinal saturada (Equação 2), posto que este é de simples determinação. Sugere-se também a aplicação da constante com valor igual a 2.690 (Equação 25) para leituras realizadas na superfície, e de 2.900 para leituras feitas no topo das peças de paricá (Equação 26).

$$V_{LLSATURADA} = -2.690 + V_{LL} + 16U + \rho_{bas} \dots\dots\dots(25)$$

$$V_{LL_{SATURADA}} = -2.900 + V_{LL} + 16U + \rho_{bas} \dots\dots\dots(26)$$

Onde $V_{LL_{SATURADA}}$ = velocidade na peça saturada com umidade acima de 30% (m/s); V_{LL} = velocidade na peça com umidade entre 12% e 30% (m/s); U = umidade da madeira (%); ρ_{bas} = densidade básica da madeira (kg/m^3).

Apesar de alguns lotes terem se enquadrado em classes distintas, ao serem analisadas as diferenças entre os valores médios de velocidade longitudinal saturadas, observou-se uma igualdade entre os lotes com 95% de confiabilidade, tanto para as leituras na superfície como para as leituras de topo. Isso revela uma homogeneidade nas leituras da velocidade de propagação independentemente da idade das árvores.

Esta homogeneidade do tempo de propagação da onda na superfície resultou em correlações muito fracas com as propriedades físicas e mecânicas, as quais foram determinadas através de ensaios destrutivos. A Tabela 28 ilustra os coeficientes de correlação (r^2) e os coeficientes de análise de variância (F) obtidos entre as velocidades longitudinais saturadas e as propriedades pesquisadas.

Tabela 28 - Correlações entre V_{LL} saturada e as propriedades do paricá em todas as idades.

Propriedade	Equação	r^2	Erro (%)	F	n
ρ_{bas}	$\rho_{bas} = 0,0282x + 209,6$	0,0290	10,7	11,50	85
f_{c0}	$f_{c0} = -0,0032x + 41,139$	0,0731	93,4	2,35	79
E_{c0}	$E_{c0} = 0,1952x + 10611$	0,0015	9.447,8	4,90	78
f_M	$f_M = 0,0054x + 30,128$	0,0109	55,9	10,89	67
E_M	$E_M = 1,0104x + 4904,8$	0,0223	3.086,7	4,16	67
f_{c90}	$f_{c90} = 0,0002x + 1,7829$	0,0104	81,2	17,97	75
f_{t0}	$f_{t0} = 0,0102x + 19,201$	0,0576	86,3	26,16	72
f_{t90}	$f_{t90} = 5E-05x + 2,5569$	0,0015	102,3	3,95	69
f_v	$f_v = -2E-05x + 2,7443$	0,0001	91,9	4,69	68
f_{s0}	$f_{s0} = 2E-05x + 0,4022$	0,0072	80,3	1,07	72
$f_{e,0}$	$f_{e,0} = -0,0006x + 11,816$	0,0099	64,8	13,68	89

r^2 = coeficiente de determinação; F = coeficiente de análise de variância; n = número de amostras; ρ_{bas} = densidade básica; f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras; f_M = resistência à flexão; E_M = módulo de elasticidade à flexão; f_{c90} = resistência à compressão normal às fibras; f_{t0} = resistência à

tração paralela às fibras; f_{t90} = resistência à tração normal às fibras; f_v = resistência ao cisalhamento; f_{s0} = resistência ao fendilhamento; e $f_{e,0}$ = resistência ao embutimento paralelo às fibras.

A Figura 61 exemplifica de maneira gráfica a nuvem de valores típica que foi obtida na maioria das correlações. As demais nuvens e correlações são mostradas no anexo.

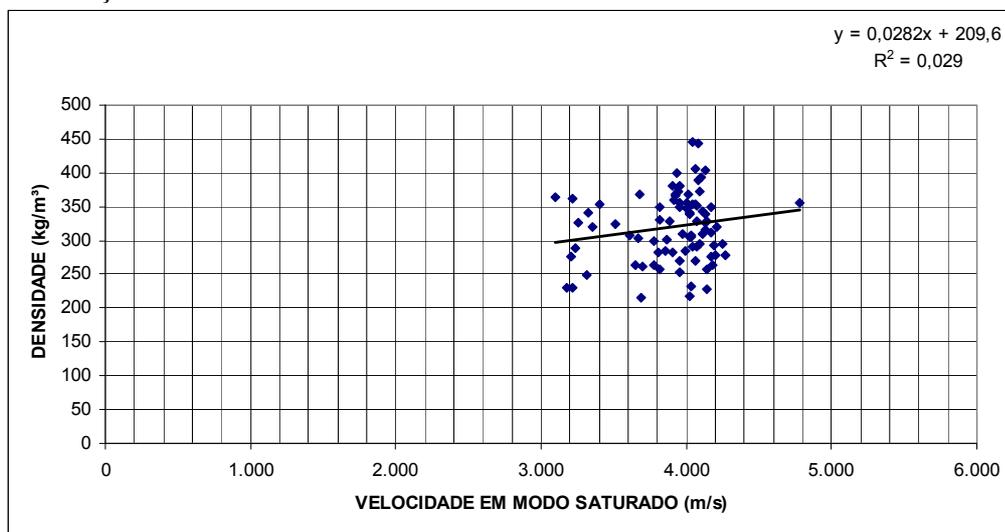


Figura 61 - Gráfico de correlação entre densidade e velocidade de propagação em na madeira saturada.

Apesar de existir uma variação significativa entre as densidades básicas nas diferentes idades, houve uma concentração dos valores da velocidade de propagação. O ultrassom empregado (frequência de 33 kHz) não foi sensível à variação significativa dos valores das propriedades físicas e mecânicas determinadas por ensaios destrutivos e em diferentes idades para a madeira de paricá.

Estas fracas correlações não correspondem aos valores encontrados por Szücs (2004) para madeiras de pinus com idades entre 10 e 25 anos e r^2 entre 0,85 e 0,97, nem com os valores encontrados por Bartholomeu (2001) que obteve r^2 entre 0,13 e 0,84 para madeiras de cupiúba, eucalipto e pinus. Porém, a estrutura do lenho de paricá é diferente das demais espécies pesquisadas, bem como a idade média das árvores estudadas para a elaboração da NBR 15521/07 que era de 45 anos, portanto, são necessários outros estudos como o emprego de ondas com maior frequência. Para Bucur (1995), as velocidades das ondas com frequências próximas de 100 kHz podem sofrer dispersão e, um aumento na frequência, produz também um aumento na velocidade de propagação significativa na direção longitudinal.

Vale ressaltar que o banco de dados de ensaios de ultrassom da NBR 15521/07 foi realizado com uso de ondas longitudinais puras, ou seja, propagação de ondas obtidas de topo a topo. No caso desta tese, apesar de serem feitas leituras superficiais, estas leituras podem ser consideradas longitudinais, uma vez que o percurso de 1,5 m foi de aproximadamente 11 vezes o comprimento de onda. Adicionalmente os transdutores foram colocados a 45 graus.

Verifica-se que para a classificação mecânica do paricá por meio do ultrassom estimou-se as resistências em classes menores (de 25 MPa a 35 MPa). Isto é um bom indicativo de tendência. Neste sentido, recomenda-se a alteração da constante da Equação 2 da NBR 15521/07 quando do uso do ultrassom e do higrômetro resistivo para esta espécie, bem como para a frequência de 33 kHz. Desta maneira, podem-se obter valores mais próximos da classe de resistência determinada por meio dos ensaios da NBR 7190/97, os quais são empregados nos critérios de dimensionamento de elementos estruturais em madeira.

Empregando-se o teor de umidade determinado para os lotes (10,55% - 6 anos, 10,46% - 10 anos, 11,12% - 19 anos e 11,04% - 28 anos) ao invés do teor obtido pelo higrômetro (15,49% - 6 anos, 14,93% - 10 anos, 16,93% - 19 anos e 16,58% - 28 anos), a densidade aparente ao invés da densidade básica, e a Constante Elástica ($C_{LL} = \rho V_{LL}^2$) para a classificação das peças pela NBR 15521/07 é provável que a maioria fosse classificada como pertencente à classe C20 e classe UD20.

Estudos vêm sendo conduzidos no sentido de se avaliar e acrescentar novas faixas para madeiras mais jovens e para madeiras de florestas plantadas na NBR 15521/07. Os resultados dessa tese podem servir de base para essa avaliação.

5.6. Caracterização das vigas em MLC.

Os resultados obtidos com os ensaios de flexão das vigas foram: a resistência à tensão normal às fibras, a resistência à tensão de cisalhamento e o módulo de elasticidade. A Tabela 29 mostra estes valores obtidos para as vigas em MLC de paricá com o adesivo RS 216-M e com o adesivo EPI EL-70, bem como os valores obtidos para as vigas de madeira serrada de paricá.

Tabela 29 - Propriedades de resistência à flexão das vigas em MLC de paricá.

Parâmetros e Resistência	Tensão de Ruptura (MPa)						Módulo (MPa)		
	Axial			Cisalhamento			RS 216-M	EPI EL-70	Serrada
	RS 216-M	EPI EL-70	Serrada	RS 216-M	EPI EL-70	Serrada			
Média	40,40	39,80	42,37	1,59	1,75	1,69	19.343,43	16.697,41	19.695,10
Desvio padrão	5,58	3,16	5,55	0,22	0,14	0,23	2392,70	1372,62	2376,12
Coef. de Var. (%)	13,82	7,93	13,10	13,82	7,93	13,62	12,37	8,22	12,06
$f_{m,k}$ (12%)	33,04	37,06	31,30	MPa					
$f_{v0,k}$ (12%)	1,30	1,63	1,21	MPa					

Os valores de ensaio da viga B1 com adesivo EPI EL-70 foram perdidos devido à falta de energia durante o ensaio, o que impossibilitou o armazenamento das informações pelo sistema de aquisição de dados. A viga B7 apresentou falha durante o processo de colagem, pois uma das lâminas foi inserida sem a gramatura necessária.

Os lotes de paricá com 19 e 28 anos de idade foram classificados como sendo madeiras de classe C-20, em que o valor característico de resistência à compressão paralela é de 20 MPa. Este valor é inferior ao determinado no ensaio das vigas em MLC, cujo resultado mínimo foi de 31,30 MPa (Tabela 29) e equivalente ao valor característico de resistência à flexão dos lotes (33,12 MPa para 19 anos e 31,19 MPa para 28 anos). Portanto, pode-se empregar os critérios de dimensionamento da classe C-20 para o uso da madeira de paricá em vigas de MLC.

Fagundes e Szücs (1998) e Grohmann e Szücs (1998) ao confeccionarem vigas em MLC para *Pinus* sp e *Eucalyptus grandis*, respectivamente, com o mesmo adesivo (RS 216-M), aplicando também uma classificação das lâminas e sua ordenação entre os terços superiores e inferiores, obtiveram resistência normal à secção transversal média de 22,30 MPa (*Pinus* sp) e 104,10 MPa (*Eucalyptus grandis*) e módulo de elasticidade médio de 9.460,40 MPa (*Pinus* sp) e 22.987,86 MPa (*Eucalyptus grandis*). Comparando estes valores médios com os da Tabela 29, observa-se que as vigas em MLC de paricá, mesmo considerando uma perda de 18% devido ao uso de emendas dentadas, mostraram desempenho superior em relação às vigas MLC de *Pinus* sp, porém inferior em relação às vigas MLC de *Eucalyptus grandis*. Apesar de o módulo de elasticidade ser inferior ao do *Eucalyptus grandis*, estes valores foram próximos e deve-se levar em consideração que a densidade aparente do paricá em média (490 kg/m³) é menor do que a das duas espécies (590 kg/m³ - *Pinus* e 640 kg/m³ - *Eucalyptus*).

Os resultados dos testes de resistência de linha de cola para os dois adesivos são mostrados nas Tabelas 30 e 31.

Tabela 30 - Resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola.

Parâmetros e Resistência	Tensão Ruptura	Tensão Ruptura
	RS 216M (MPa)	EPI EL-70 (MPa)
Média	2,97	2,91
Desvio-Padrão	0,58	0,51
Coef. de Variação	19,58	17,63
$f_{v0,k}$ (12%) RS 216-M	2,02	MPa
$f_{v0,k}$ (12%) EPI EL-70	2,34	MPa

Tabela 31 - Resistência característica à tração normal à linha de cola.

Parâmetros e Resistência	Tensão Ruptura	Tensão Ruptura
	RS 216M (MPa)	EPI EL-70 (MPa)
Média	3,81	1,77
Desvio-Padrão	0,34	0,33
Coef. de Variação	8,85	18,94
$f_{t90,k}$ (12%) RS 216-M	3,47	MPa
$f_{t90,k}$ (12%) EPI EL-70	1,34	MPa

Comparando os valores característicos de cisalhamento da Tabela 29 com os valores de ruptura de cisalhamento da Tabelas 30, observa-se que as vigas em MLC tiveram seus valores estimados de ruptura de cisalhamento abaixo do valor característico de resistência ao cisalhamento da linha de cola. Isso demonstra que as vigas não se romperam por tensões de cisalhamento, e sim por tensões normais à secção transversal, conforme foi observado durante os ensaios de flexão a quatro pontos. Portanto, o método de colagem e os adesivos apresentaram um desempenho satisfatório para a produção de vigas MLC de paricá.

Quanto ao modo de ruptura no cisalhamento, observou-se que tanto para o adesivo RS 216-M quanto para o adesivo EPI EL-70, houve

sempre a ruptura na madeira e não na linha de cola. As Figuras 62a e 62b ilustram o modo de ruptura.

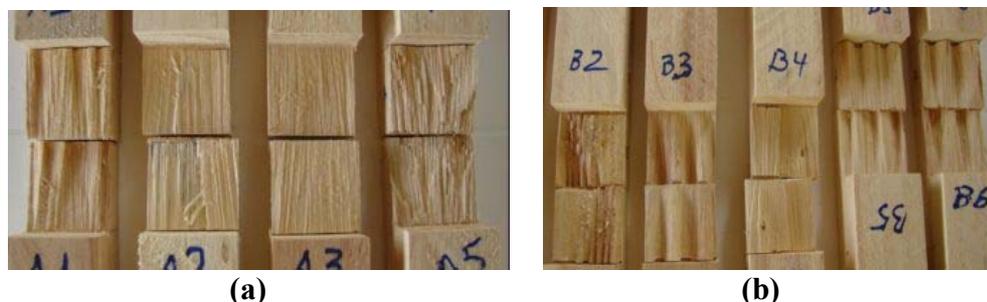


Figura 62 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de cisalhamento: (a) adesivo RS 216-M e (b) adesivo EPI EL-70.

Para os modos de ruptura após o ensaio de tração normal às fibras, observa-se que para a cola RS 216-M houve uma ruptura padrão na madeira e não na linha de cola; já para a cola EPI EL-70 a ruptura padrão se deu na cola com área próxima a 50%, conforme se pode observar nas Figuras 63a e 63b.

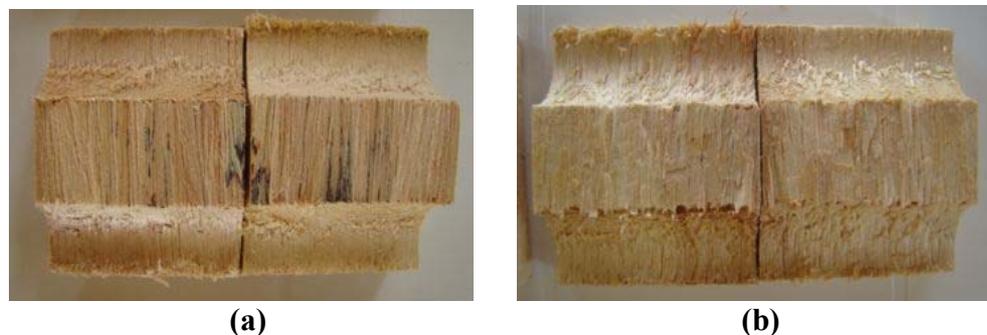


Figura 63 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaio de tração normal às fibras: (a) cola RS 216-M e (b) cola EPI EL-70.

As Tabelas 32 e 33 mostram os valores determinados para a validação das hipóteses de igualdade entre os desvios padrão (Teste de Cochran) e entre as variâncias de cada experimento (ANOVA).

Tabela 32 - Valores dos testes estatísticos para as propriedades das vigas MLC de paricá.

Resistência Mecânica	Parâmetros Estimados			Parâmetros Tabelados		
	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)
Axial	0,175	0,503	0,185	0,300	0,597	3,680
Cisalhamento	0,221	0,546	0,715	0,337	0,597	3,680
MOE	0,115	0,565	1,880	0,319	0,597	3,680

MOE – Módulo de Elasticidade

Entre as vigas de paricá observou-se a igualdade entre todos os valores médios dos três experimentos (MLC RS 216-M, MLC EPI EL-70 e Vigas de madeira serrada).

Verificou-se também a igualdade entre os valores de resistência ao cisalhamento das linhas de cola para ambos os adesivos. Porém, houve uma diferença significativa entre os valores de resistência à tração normal entre as linhas cola.

Tabela 33 - Valores dos testes estatísticos para a resistência à tração normal e ao cisalhamento na linha de cola.

Resistência Mecânica	Parâmetros Estimados			Parâmetros Tabelados		
	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)	Normalidade	Cochran	ANOVA (F)
Tração Normal	0,183	0,504	57,341	0,319	0,853	4,750
Cisalhamento	0,244	0,562	0,014	0,319	0,853	4,750

O adesivo RS 216-M mostrou-se superior e diferente estatisticamente ao esforço de tração normal do que o adesivo EPI EL-70. Já ao cisalhamento, ambos os adesivos não se diferem estatisticamente, mostrando desempenhos similares.

Os resultados demonstram que ambos os adesivos podem ser utilizados para a confecção de vigas em MLC de paricá, pois a ruptura não se deu na linha de colagem. Porém, o adesivo EPI EL-70 apresentou resistência à tração normal à linha de cola inferior àquela do adesivo RS 216-M.

A madeira de paricá também pode ser empregada em vigas de MLC utilizando os critérios de cálculo para a classe de resistência C-20 da NBR - 7190/97, mostrando desempenho satisfatório quanto à resistência e quanto ao módulo de elasticidade.

6. CONCLUSÕES FINAIS

6.1. Conclusões e Recomendações

Neste trabalho foram elaborados e executados vários estudos, cujo objetivo final foi avaliar a possibilidade de emprego da madeira de paricá, proveniente de florestas plantadas na região Amazônica. Tendo como base, os testes de flexão a quatro pontos de vigas de madeira laminada colada de paricá, estimou-se o módulo de elasticidade e a tensão axial de ruptura à flexão. Estes parâmetros foram comparados aos obtidos por meio da caracterização dos lotes de madeira.

Na etapa de amostragem, em que foram selecionadas as árvores e desdobradas em peças para os ensaios, diversos aspectos foram identificados e alguns não descritos pela literatura, os quais merecem destaque no conjunto das conclusões, sendo os seguintes:

- As quarenta árvores selecionadas de cada idade (6 e 10 anos) dos plantios da empresa Tramontina S/A, mostraram-se representativas quanto ao volume de madeira, se comparadas às medições realizadas pela empresa em outros plantios com as mesmas características. Com base nesta pesquisa, nos próximos trabalhos poderão ser estimadas, de maneira simplificada, as características tecnológicas da madeira para essas populações.
- Após a derrubada da árvore de paricá, esta deve ter seu topo imediatamente imunizado para que os esporos de fungos não se desenvolvam e proliferem ao longo do interior do tronco, manchando, assim, a madeira.
- As toras devem ser processadas na mesma semana da derrubada para evitar o ataque de brocas que se alimentam da região do câmbio.

Foram retirados discos dos troncos de cada árvore, na altura do peito, para serem analisadas as dimensões dos elementos de fibra que constituem o lenho de paricá. Observou-se que a partir dos 10 anos de idade, tanto o comprimento, quanto a largura das fibras começam a se estabilizar de maneira significativa.

Para avaliar a resistência ao ataque de cupins de madeira seca, foram realizados ensaios sobre pequenos corpos de prova retirados da região próxima à casca, da região intermediária do tronco e de peças tratadas com imunizante à base de CCA. Os resultados mostram que as amostras não imunizadas foram significativamente suscetíveis ao ataque dos cupins; no entanto, a amostra imunizada mostrou-se eficaz, apresentando uma alta mortalidade de cupins.

Na caracterização dos lotes de paricá, com madeiras de diferentes idades, foram determinadas a densidade básica e as resistências: à compressão paralela às fibras; à flexão; compressão normal às fibras; à tração paralela às fibras; à tração normal às fibras; ao cisalhamento paralelo às fibras; ao fendilhamento; e ao embutimento paralelo às fibras. Das análises de comparação de médias entre os lotes, conclui-se que:

- Não houve diferença significativa entre os lotes para o módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras. Isto também aconteceu para a resistência ao fendilhamento e ao embutimento paralelo às fibras. Neste caso, tais propriedades não sofreram a ação da idade, dos tratamentos silviculturais e nem do sítio em que se desenvolveram.
- Os valores médios de resistência e de módulo de elasticidade à flexão revelam uma diferença entre as duas idades mais jovens em relação às duas idades mais adultas, as quais podem estar relacionadas tanto com a idade como com o sítio e o tratamento silvicultural.
- Para a compressão normal, as idades iniciais de 6 e 10 anos se diferenciaram significativamente das demais idades, havendo uma igualdade entre as idades de 19 e 28 anos. Isto revela uma provável estabilidade dessa propriedade após os 10 anos de idade.
- Para as propriedades de densidade básica e tração paralela, houve diferença significativa entre todas as idades, revelando assim uma possível influência da idade, dos tratamentos silviculturais e do sítio em que se desenvolveram.
- Na tração paralela houve uma tendência de perda de resistência ao longo da idade, com valores das duas idades iniciais superiores aos valores das duas idades finais.
- Com base no que preconiza a norma brasileira NBR-7190/97, classificam-se todos os lotes de paricá pesquisados como pertencentes à classe C-20 de resistência.
- Torna-se importante uma caracterização e classificação, mesmo que simplificada, dos lotes de madeira de floresta plantada, posto que a maioria das propriedades apresentaram diferenças significativas. Essas características poderão ser utilizadas como referência para a concepção de produtos de paricá com melhor desempenho e maior confiabilidade.

No modelo de classificação não destrutiva, a qual teve como referência a NBR 15521/07, foi utilizado o equipamento de emissão acústica Sylvatest®, com frequência de 33 kHz, e higrômetro resistivo para a determinação do teor de umidade. Foram avaliadas todas as peças dos lotes. Do conjunto de resultados, retiram-se as seguintes conclusões:

- Observa-se que as resistências determinadas para a compressão paralela às fibras foram superiores aos valores característicos e médios encontrados nos testes de caracterização destrutiva.
- Com base nesses resultados, somente o lote de madeiras de 28 anos, com leitura aferida na superfície, seria enquadrada na classe C-20 da NBR-7190/97, sendo que as demais, independentemente da posição de leitura do ultrassom, pertencentes à classe C-30 da NBR 7190/97. Porém, esses resultados mostraram-se inferiores aos valores de resistência característica à flexão.
- Sugere-se, para a madeira de paricá, o emprego de uma nova constante na equação da velocidade longitudinal saturada da NBR 15521/07, com valor igual a -2.690, para leituras realizadas na superfície, e de -2.900, para leituras feitas no topo das peças de madeira de paricá, de modo que se tenham valores mais próximos aos testes de caracterização destrutiva.
- Observou-se uma igualdade entre os lotes com 95% de confiabilidade, tanto para as leituras na superfície como para as leituras de topo. Isso revela uma homogeneidade nas leituras da velocidade de propagação independentemente da idade das árvores. Esta tendência também foi verificada nos ensaios destrutivos de compressão paralela às fibras, a qual serviu de base para a classificação da madeira.
- Esta homogeneidade da velocidade de propagação da onda na superfície resultou em correlações muito fracas com as propriedades físicas e mecânicas, as quais foram determinadas através de ensaios destrutivos.

Para o estudo de vigas de madeira laminada colada de paricá, foram utilizadas lâminas sem emenda dentada e todas as peças de madeiras com 19 e 28 anos, de onde foram produzidas as lâminas, as quais foram classificadas por meio de ensaio não destrutivo. Uma vez selecionadas as melhores lâminas, estas foram utilizadas nos terços mais solicitados das vigas. As características de módulo de elasticidade e de tensão axial de ruptura foram determinadas por meio do ensaio destrutivo de flexão a quatro pontos. Nesse mesmo estudo, empregaram-

se dois diferentes adesivos comercializados no Brasil, e também foram ensaiadas vigas de madeira serrada de paricá com as mesmas dimensões das MLC. Estas variáveis serviram de parâmetros de comparação de desempenho entre as vigas. Destes ensaios, finalmente, foram retiradas as seguintes conclusões:

- Dos adesivos, verificou-se a igualdade entre os valores de resistência ao cisalhamento das linhas de cola para ambos. Porém, houve uma diferença significativa entre os valores de resistência à tração normal entre as linhas cola, tendo a RS 216-M revelado um desempenho superior à EPI EL-70.
- As vigas não se romperam por tensões de cisalhamento, e sim por tensões normais à secção transversal, conforme foi observado durante os ensaios de flexão a quatro pontos. Portanto, o método de colagem e os adesivos apresentaram um desempenho satisfatório para a produção de vigas MLC de paricá
- O valor mínimo determinado no ensaio das vigas em MLC foi de 31,30 MPa, sendo equivalente ao valor característico de resistência à flexão normal à secção transversal para os lotes (33,12 MPa para 19 anos e 31,19 MPa para 28 anos). Portanto, tomando-se os devidos cuidados de seleção e classificação, pode-se empregar os critérios de dimensionamento da classe C-20 para o uso da madeira de paricá em vigas de MLC. Entretanto, segundo a norma alemã DIN 68140, deve-se levar em consideração um decréscimo de 18% nestes valores, para que se tenha uma estimativa de resistência para as vigas com emendas dentadas.
- Levando-se em consideração que a densidade aparente do paricá em média (490 kg/m^3) é menor do que a das espécies *Pinus* e *Eucalyptus* (590 kg/m^3 e 640 kg/m^3) e que também, apesar do módulo de elasticidade ser inferior ao do *Eucalyptus grandis*, os valores aqui determinados neste trabalho para esta propriedade foram superiores ao *Pinus* e próximo ao do *Eucalyptus*, revelando seu grande potencial frente a relação peso/resistência.

Salienta-se, por fim, a possibilidade de utilização do ultrassom como ferramenta de classificação, sendo necessário um ajuste na equação de determinação da velocidade de propagação para a madeira de paricá. Caso a madeira encontra-se seca, com teor de umidade abaixo de 13%, é recomendado o uso da velocidade longitudinal sem correção

para a determinação da constante elástica (C_{LL}) e o emprego desse parâmetro como índice de classificação. Esta metodologia permite, ainda, estimar as propriedades mecânicas de forma localizada e adaptável a diferentes dimensões de ensaio.

Finalmente, pode-se concluir ser possível o emprego da madeira de paricá, proveniente de florestas plantadas da região Amazônica, em elementos estruturais para a construção civil. Por serem obtidas de plantios com árvores de pequeno e médio porte, as vigas de madeira laminada colada de paricá tornam-se uma real opção de emprego e comercialização no mercado brasileiro. Mostrou-se apropriado o uso de árvores com idade acima de 10 anos, uma vez que as características das fibras, como a espessura da parede, tendem a se estabilizar.

6.2. Pesquisas Futuras

Com o presente trabalho, permitiu-se validar a hipótese de utilização da madeira de paricá em elementos estruturais, principalmente em vigas de madeira laminada colada. Tendo como base os resultados alcançados neste trabalho, considera-se que futuros trabalhos de pesquisa poderão ser desenvolvidos como:

- a) Estudos de correlação entre as propriedades anatômicas e as propriedades mecânicas da madeira de paricá, para que se possa avaliar de forma quantitativa a variabilidade dos resultados encontrados.
- b) Estudos sobre diferentes métodos de preservação e imunizantes para conferir resistência à fungos e insetos na madeira de paricá.
- c) Pesquisas sobre classificação e avaliação de defeitos por meio de ultrassom em lâminas de paricá para vigas de madeira laminada colada.
- d) Utilização da velocidade longitudinal sem correção e da constante elástica (C_{LL}) para a classificação das madeiras de paricá seca, conforme recomenda a NBR 15.521/07.
- e) Determinação da correlação entre a constante elástica e as demais propriedades mecânicas.
- f) Avaliação de emendas dentadas e lâminas de cola por meio de aplicação de ensaios não destrutivos.
- g) Estudos sobre a resistência à delaminação da linha de cola para MLC de paricá.
- h) Pesquisas sobre o desempenho de vigas MLC de paricá reforçadas com fibras de vidro.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALFENAS, A. C. et al. **Tombamento de mudas causado por *Furasirum solani***: uma nova doença do paricá no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, v. 28, n. 4, 2003.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. 102 p.
- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC 113-2001**: Standard for dimensions of structural glued laminated timber. AITC. Englewood, 2001.
- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC 109-98**: Standard for preservative treatment of structural glued laminated timber. AITC. Englewood, 1998.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM 4761-96. Mechanical properties of lumber and Wood-base structural material. West Conshohocken, 1996.
- ANDRIGHETO, R.; ANDRADE, D. M.; SZÜCS, C. A. **Estudo comparativo de madeira laminada colada e madeira laminada multi-colada**. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 2006, São Pedro. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2006. 1 CD-ROM.
- ARCHER, E. M.; CONSTANTINO, L.; MARIA, M. O coração da Floresta da Tijuca tem nome. **Almanaque Brasil de cultura popular**. 2001. Ano 2, n° 24. p. 6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Anexo H**: Classificação visual de madeira serrada de folhosas. Projeto de revisão da NBR-7190/97. Rio de Janeiro, 2006. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9487**: Classificação de madeira serrada de folhosas. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.498**: Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento para uso geral: dimensões e lotes. ABNT. Rio de Janeiro, 1991. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.066**: Madeira de pasta celulósica – Determinação das dimensões de fibras – Método de microscopia óptica. ABNT. Rio de Janeiro, 2004. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.521**: Ensaio não destrutivo - Ultrassom aplicado à madeira de dicotiledônea. ABNT. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORES DE MADEIRA DO ESTADO DO PARÁ. **AIMEX** circular n. 011/09. Estatísticas do setor. Belém, 2009.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. **NF B5 – 32**: Essai de cisaillement. AFNOR. Paris, 1942.

BAENA, A. R.C., FALESI, I. C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na colônia agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 18).

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento do plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF Série Técnica** n. 3. Piracicaba, 1980. 16 p.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. 136 p.

BEZ, R. M. **Análise do desempenho de vigas maciças de angelim pedra e vigas de eucalipto grandis em MLC multidirecional: um estudo comparativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. 176 p.

BODIG, Jozsef. **The process of NDE research for wood and wood composites**. In: 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 2000, Colorado. **Proceedings...** Colorado: CSU, 2000. Disponível em: <<http://www.ndt.net/articles/v06n03/bodig/bodig.htm>>. Acesso em: 23 dez. 2002.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Krieger Publishing. ISBN 0-89464-777-6. Nova York, 1993. 712 p.

BUCUR, Voichita. **Acoustics of wood**. Florida: CRC Press, 1995. 271 p. ISBN: 0-8493-4801-3.

BURGER, Luiza M.; RICHTER, Hans G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 155 p.

CALORI, J. W.; FIER, I. S. N.; KIKUTI, P. **Estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. In: V ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EBRAMEM-EESC/USP, 1995. 116 p.

- CONSEIL CANADIEN DU BOIS. **Glulam**. Disponível em [<http://www.cwc.ca/products/glulam>]. Acessado em março de 2006.
- CARRASCO, E. V. M. **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada (MLC)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989. 178 p.
- CARVALHO, J. G. DE; VIÉGAS, I. DE J. M. Caracterização de sintomas de deficiências de nutrientes em paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). Embrapa. **Circular Técnica**, n. 37, Belém, 2004. 6 p.
- CARVALHO, M. S. P. de. **Influência do espaçamento nas propriedades físico-mecânicas da madeira de Bagassa guianensis Aubl. (tatajuba), no planalto de Belterra, PA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Belém, 1996. 176 p.
- CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Bitolas comerciais do Estado de São Paulo. Universidade de São Paulo, **Informativo do setor florestal**, nº 32, Piracicaba, 2004.
- CHAVES, P. F. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada convencional e multidireccional com e sem reforço de fibra de vidro**. Dissertação de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Convênio Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade do Minho, Florianópolis, 2006. 137 p.
- CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A.; MARQUES, M. H.; **Caracterização tecnológica de madeiras denominadas fava e/ ou faveira**. IBAMA. Brasília, 1993. 90p. ISSN 0104.1975.
- COSTA, D. H. M. et al. Alguns aspectos silviculturais sobre o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber). Banco da Amazônia. **Série Rural** n. 2. Belém, 1998. 18 p.
- COSTA NETO, P. L. De O. **Estatística**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1977. 264 p.
- CRICKMAY & ASSOCIATES. **International grading comparison: South África vs. the World**. Disponível em [<http://www.timbersa.co.za/ICD/GradingComparison>]. Acessado em março de 2006.
- DEUTSCHE NORMEN - DIN 68140. **Wood Finger-Jointing**. DIN. Berlin, 1971.
- DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Cultivo do Eucalipto**. Embrapa Florestas. Colombo, 2002. 28 p.

DUBOIS, Jean. **Considerações sobre o reflorestamento na Amazônia.** SUDAM (doc. Amaz.), v. 1. Belém, 1972. 73 p.

DUCKE, A. **Notas sobre a flona neotropical – II: as leguminosas da Amazônia brasileira.** Instituto Agrônomo do Norte (Boletim Técnico n. 18). Belém, 1949. 247 p.

ESPINOSA, M. M.; CALIL JR, Carlito; SALES, Almir. **Um método de amostragem para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.** In: VII Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas em Madeira – EBRAMEM, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. 1CD-ROM.

EUROPEAN NORM. **EN 518:** Grading requirements for visual strength standards. 1995. 20 p.

EUROPEAN NORM. **EN 386:** Glued laminated timber. Performance requirements and minimum production requirements. 2001. 18 p.

FAGUNDES, G. S. R.; SZÜCS, C. A. **Composição racional de vigas de madeira laminada colada.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol 1.

FAO Forestry Paper. **State of the World's Forest.** Main Report, 2007.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, n. 4, 1972. p. 65-89.

FERREIRA, M.; BRASIL, M. A. M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, n. 5, 1972. p. 81-90.

FIGUEROA, M. M. **Influência da temperatura sobre a resistência mecânica do paricá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. 112 p.

FIGORELLI, J. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro.** Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. 137 p.

FIGORELLI, J. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. 137 p.

GONÇALVES, R.; PUCCINI, C. T. **Utilização do ultrassom na avaliação de aspectos de qualidade da madeira.** In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. 1 CD-ROM.

GRAEFF, A. **Estudo da madeira laminada colada com emendas de topo reforçadas com fibra de vidro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. 129 p.

GROHMANN, S. Z.; SZÜCS, C. A. **Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré-classificadas de *Eucalyptus grandis*.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol 1.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. taeda*. **IPEF**, n. 7, 1973. p. 79-91.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA, Organização Internacional de Madeiras Tropicais – OIMT, Fundação Pró-natureza – FUNATURA. **Diagnóstico e Avaliação do Setor Florestal Brasileiro.** Brasília, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF. **Norma para classificação de madeira serrada de folhosas.** Brasília, 1984. 67 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Métodos de ensaios e análise em preservação de madeiras: ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. *Kalotermitidae*).** Publicação IPT, n. 1157. São Paulo, 1980. 1 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers – Land Use, Land-Use Change and Forestry. Canadá, 2000.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. Status of tropical forest management 2005. **ITTO** technical serie n. 24. Yokohama, 2006. 305 p. ISBN

JESUS, R. C. S. DE. **Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), plantadas em diferentes espaçamentos e condições ambientais no município de Aurora do Pará – PA.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004. 127 p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. 257 p.

LELES, P. S. DOS S. et al. **Crescimento e qualidade de fuste de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) em diferentes consórcios florestais na região amazônica.** In: VI CONGRESSO BRASILEIRO FLORESTAL, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS, 2003. p. 1-8.

LABATE, B. Uma antropologia que floresce fora da academia: Anthony Hernman e *el cactus San Pedrito*. Revista de Estudos da Religião. **REVER**, n. 1, 2004. ISSN 1677-1222. Disponível em [http://www.pucsp.br/rever/rv1_2004/t_labate.htm]. Acessado em abril de 2010.

LEPAGE, E. S. (coord.) et al. **Manual de preservação de madeiras.** IPT, v. 1. São Paulo, 1989. p. 330.

LIMA, R. M. B. DE. **Zoneamento edafo-climático para plantio de espécies florestais de rápido crescimento na Amazônia.** Embrapa, 1999. p. 309-332.

LOETSH, F.; HALLER, K.E. **Statistics of forest inventory and informations from aerial photographs.** München, Vol 1. Verlag, 1964. 436 pg.

MACEDO, A. N.; DIAS, A. A.; BARATA, T. Q. F. **Madeiras tropicais da Amazônia.** In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. 1 CD-ROM.

MACHADO, José Maria S. R. S. **Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (*pinus pinaster* Ait.) por meio de ultra-sons. 2000.** 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

MACHADO, J. S. Produtos de madeira maciça para a construção: desafios da qualidade. **Silva Lusitana**, v. 12, n. 2, Lisboa, 2004. p. 203-212.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989. 417 p.

MELO, J. E.; DE CARVALHO, G.M.; MARTINS, V. A. **Espécies de madeira substitutivas do mogno.** Brasília: IBAMA. DIRPED, Laboratório de Produtos Florestais, 1989. 16p. (IBAMA. DIRPED. LPF. Série Técnica, 6).

PESCADOR, W.; FIGUEROA, M. M.; DE MORAES, P. D. **Influência da temperatura sobre a resistência ao arrancamento do paricá.** In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA

DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2008. 1 CD-ROM.

PINTO, E. M. **Proteção contra incêndio para habitações em madeira.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 2001. 143 p.

PRATA, D. G. **Grandes coberturas em estruturas de madeira: estado de conservação.** In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. 1 CD-ROM.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Métodos estatísticos.** Notas de aula da disciplina Métodos Estatísticos do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis: 2002. 82 p.

PUCCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando ultra-som.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 158 p.

QUISEN, R. C.; ROSSI, L. M. B.; VIEIRA, A. H.; TEIXEIRA, C. A. D. **Bandarra: essência florestal de rápido crescimento.** (Embrapa – Boletim técnico). Brasília, 1999.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, v. 46, p. 76-85, Piracicaba, 1993.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. 75 p.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, 2002. p. 573-576.

SALES, A. **Proposição de classes de resistência para madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 1996. 223 p.

SANDEZ S/A. **Mode d'emploi Sylvatest.** Veveyse, França, 1991, 17 p.

SANDOZ, J. L. **Bois lamellé-collé: fiabilité et hautes performances.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, vol 2. 1998. 3-11 p.

SANTOS NETO, Almir. B. S.; GROHMANN, S. Z.; SZÜCS, C. A. **Ensaio de caracterização de vigas de madeira laminada colada (MLC) por flexão a quatro pontos.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE

- MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol. 3. 283-293 p.
- SANTOS NETO, Almir B. da S.; SZÜCS, C. A.; LA ROVERE, H. L. **Proposta de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras da madeira.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol 1.
- SEGURADO, J. E. DOS S. **Edificações.** Biblioteca de Instrução Profissional. Lisboa, 1919. 255 p.
- SCARPINELLA, G. D'A. **Reflorestamento no Brasil e o protocolo de Quioto.** Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 182 p.
- SHAJI, T.; SOMAYAJI, S.; MATHEWS, M. S. Ultrasonic pulse velocity technique for inspection and evaluation of timber. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 12, n. 2, maio 2000.
- SIEGEL, S. **Estatística Não-paramétrica para as ciências do comportamento.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- SILVA, J. DE C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 160 p.
- SILVA, S.; LEÃO, N. V. M. **Árvores da Amazônia.** Empresa das Artes. São Paulo, 2006. 243 p.
- SPIEGEL, M. R. **Estatística.** Rio de Janeiro: McGraw-Hill do Brasil, 1970.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. **Setor Florestal.** Disponível em: [<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>]. Acessado em 21/11/2005.
- SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARTS. **SABS 563:** Stress-graded softwood: general structural timber. 1978. 23 p.
- SOUTH AFRICAN BUREAU OF STANDARTS. **SABS 1245:** Stress-graded softwood engineering timber. 1978. 16 p.
- SZÜCS, C. A. **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado.** Apostila. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 1992. 22 p.
- SZÜCS, C. A. (Coord.). **Móveis e madeiras em Santa Catarina.** Projeto Arranjos Produtivos Locais – APL. Relatório Técnico, vol 1. Florianópolis, 2004. 92 p.
- SZÜCS, C. A.; BOHN, A. R.; DO VALLE, A. **Corpos de prova para a caracterização de elementos produzidos em madeira laminada**

colada. VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM. **Anais...** Vol 1. Florianópolis, 1998.

TEREZO, Evaristo F. De M.; DE OLIVEIRA, M. V. M. **Comercialização de produtos madeireiros da Amazônia, 1999-2000.** Edições IBAMA. Brasília, 2002.

TEREZO, R. F. **O Ultrassom na estimação de propriedades mecânicas de madeiras utilizadas em estruturas históricas e contemporâneas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TEREZO, R. F.; TEREZO, E. F. DE M.; SZÜCS, C. A. **Reflorestamento no Brasil: sua história e seus aspectos econômico-sociais.** In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 2006, São Pedro. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2006. 1 CD-ROM.

TRUGILHO, P. F. Influência da idade e das características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111. Lavras, 1996.

VITAL, B. R. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais.** IBDF (Boletim técnico, 8), p. 49-52. Brasília, 1987.

ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, F. F.; ZANUNCIO, T. V.; MARTINELLI, N. M.; PINON, T. B. M.; GUIMARÃES, E. M. Occurrence of *Quesada gifas* on *Schizolobium amazonicum* trees in Maranhão and Pará states, Brazil. **Embrapa, Notas Científicas**, v. 39, n. 9. Brasília, 2004. p. 943-945.

WINANDY, J. E. **Wood properties.** Encyclopedia of Agricultural Science, v. 4, Orlando, 1994. p. 549-561.

8. ANEXOS

Tabela 34 - Volumetria das árvores da amostra A com idade de 6 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL			
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	Nº	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
5	72	0,23	14,2	0,0413	0,410	5	12,5	0,361	5	4	10	0,289
6	61	0,19	11,3	0,0296	0,233	4	10	0,207	6	3	7,5	0,155
13	58	0,18	14,7	0,0268	0,275	5	12,5	0,234	13	3	7,5	0,141
22	63	0,20	10,9	0,0316	0,241	4	10	0,221	22	3	7,5	0,166
24	51	0,16	10,2	0,0207	0,148	4	10	0,145	24	2	5	0,072
33	55	0,18	12,2	0,0241	0,206	4	10	0,169	33	2	5	0,084
43	52	0,17	12	0,0215	0,181	4	10	0,151	43	2	5	0,075
44	55	0,18	10,8	0,0241	0,182	4	10	0,169	44	2	5	0,084
TOTAL					0,2196	1,876	34		1,656	21		1,067
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 88,3			% ÚTIL 64,4			
ÁRVORE MÉDIA												
0,19 12,03 0,0274 0,234 4,3 10,6 0,204 2,6 6,6 0,126												

Tabela 35 - Volumetria das árvores da amostra B com idade de 6 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL			
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	
7	67	0,21	13,7	0,03572	0,343	5	12,5	0,313	3	7,5	0,188	
13	71	0,23	6,2	0,04011	0,174	2	5	0,140	2	5	0,140	
15	60	0,19	13,1	0,02865	0,263	5	12,5	0,251	3	7,5	0,150	
16	58	0,18	11,3	0,02677	0,212	4	10	0,187	3	7,5	0,141	
23	60	0,19	14,7	0,02865	0,295	5	12,5	0,251	FAVEIRA			
28	69	0,22	9,6	0,03789	0,255	3	7,5	0,199	2	5	0,133	
29	61	0,19	11,5	0,02961	0,238	4	10	0,207	3	7,5	0,155	
50	60	0,19	12,2	0,02865	0,245	4	10	0,201	2	5	0,100	
TOTAL					0,25605	2,024	32		1,748	18		1,007
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 86,4			% ÚTIL 57,6			
ÁRVORE MÉDIA												
0,20 11,5 0,0320 0,253 4 10,0 0,224 2,6 5,6 0,126												

Tabela 36 - Volumetria das árvores da amostra 1 com idade de 6 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL			
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	Nº	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
3	75	0,24	9	0,0448	0,282	3	7,5	0,235	3	3	7,5	0,235
6	67	0,21	15,6	0,0357	0,390	6	15	0,375	6	3	7,5	0,188
11	85	0,27	7,8	0,0575	0,314	3	7,5	0,302	11	2	5	0,201
20	82	0,26	13,8	0,0535	0,517	5	12,5	0,468	20	4	10	0,375
25	70	0,22	9	0,039	0,246	3	7,5	0,205	25	1	2,5	0,068
40	69	0,22	7,1	0,0379	0,188	2	5	0,133	40	2	5	0,133
47	68	0,22	8	0,0368	0,206	3	7,5	0,193	47	3	7,5	0,193
63	86	0,27	13	0,0589	0,536	5	12,5	0,515	63	4	10	0,412
TOTAL					0,364	2,678	30		2,426	22		1,804
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 90,6			% ÚTIL 74,4			
ÁRVORE MÉDIA												
0,24 10,41 0,0455 0,335 3,8 9,4 0,299 2,8 6,9 0,219												

Tabela 37 - Volumetria das árvores da amostra 2 com idade de 6 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL										
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL								
1	81	0,26	7,5	0,05221	0,274	3	7,5	0,274	2	5	0,183								
15	80	0,25	18,2	0,05093	0,649	7	17,5	0,624	4	10	0,357								
17	83	0,26	10	0,05482	0,384	4	10	0,384	3	7,5	0,288								
20	74	0,24	11,2	0,04358	0,342	4	10	0,305	2	5	0,153								
41	77	0,25	10,4	0,04718	0,343	4	10	0,330	3	7,5	0,248								
46	74	0,24	10	0,04358	0,305	4	10	0,305	2	5	0,153								
62	73	0,23	11	0,04241	0,327	4	10	0,297	3	7,5	0,223								
75	76	0,24	10,2	0,04596	0,328	4	10	0,322	2	5	0,161								
TOTAL				0,38067	2,952	34		2,841	21		1,763								
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 96,2			% ÚTIL 62,1										
ÁRVORE MÉDIA																			
0,25		11,1		0,0476		0,369		4,3		10,6		0,354		2,6		6,6		0,219	

Tabela 38 - Volumetria das árvores da amostra 3 com idade de 6 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL										
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	Nº	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL							
1	77	0,25	10,8	0,0472	0,357	4	10	0,330	1	4	10	0,330							
23	81	0,26	10	0,0522	0,365	4	10	0,365	23	3	7,5	0,274							
25	79	0,25	10,7	0,0497	0,372	4	10	0,348	25	4	10	0,348							
27	87	0,28	11,8	0,0602	0,498	4	10	0,422	27	3	7,5	0,316							
42	85	0,27	13	0,0575	0,523	5	12,5	0,503	42	4	10	0,402							
51	77	0,25	11,2	0,0472	0,370	4	10	0,330	51	4	10	0,330							
55	91	0,29	11,4	0,0659	0,526	4	10	0,461	55	4	10	0,461							
62	81	0,26	4,3	0,0522	0,157	1	2,5	0,091	62	1	2,5	0,091							
TOTAL				0,4321	3,168	30		2,851	27		2,554								
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 90,0			% ÚTIL 89,6										
ÁRVORE MÉDIA																			
0,26		10,40		0,0540		0,396		3,8		9,4		0,354		3,4		8,4		0,319	

Tabela 39 - Volumetria das árvores da amostra 30 com idade de 10 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL										
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL								
21	66	0,21	7	0,03466	0,170	2	5	0,121	2	5	0,121								
27	57	0,18	3,4	0,02585	0,062	1	2,5	0,045	1	2,5	0,045								
40	54	0,17	5,1	0,0232	0,083	2	5	0,081	1	2,5	0,041								
43	58	0,18	6,9	0,02677	0,129	2	5	0,094	1	2,5	0,047								
48	55	0,18	4,9	0,02407	0,083	1	2,5	0,042	1	2,5	0,042								
61	50	0,16	8	0,01989	0,111	3	7,5	0,104	2	5	0,070								
71	89	0,28	9,4	0,06303	0,415	3	7,5	0,331	3	7,5	0,331								
74	55	0,18	10	0,02407	0,175	4	10	0,169	2	5	0,084								
TOTAL				0,24156	1,228	18		0,987	13		0,781								
Coeficiente de forma = 0,7						% ÚTIL 80,4			% ÚTIL 79,1										
ÁRVORE MÉDIA																			
0,19		6,9		0,0302		0,153		2,3		5,6		0,119		1,6		4,1		0,086	

Tabela 40 - Volumetria das árvores da amostra 31 com idade de 10 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL		
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
20	62	0,20	8,8	0,03059	0,188	3	7,5	0,161	3	7,5	0,161
25	62	0,20	5	0,03059	0,107	2	5	0,107	1	2,5	0,054
28	94	0,30	9,2	0,070314	0,453	3	7,5	0,369	3	7,5	0,369
40	64	0,20	15,6	0,032595	0,356	6	15	0,342	3	7,5	0,171
51	69	0,22	8,3	0,037887	0,220	3	7,5	0,199	3	7,5	0,199
53	63	0,20	9	0,031584	0,199	3	7,5	0,166	1	2,5	0,055
55	69	0,22	7,6	0,037887	0,202	3	7,5	0,199	3	7,5	0,199
59	98	0,31	11	0,076426	0,588	4	10	0,535	4	10	0,535
TOTAL				0,347872	2,313	27		2,078	21		1,742

Coeficiente de forma = 0,7

% ÚTIL 89,8

% ÚTIL 83,9

ÁRVORE MÉDIA

0,23	9,3	0,0435	0,289	3,4	8,4	0,257	2,6	6,6	0,200
-------------	------------	---------------	--------------	------------	------------	--------------	------------	------------	--------------

Tabela 41 - Volumetria das árvores da amostra 32 com idade de 10 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL		
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
5	70	0,22	11,0	0,03899	0,299	4	10	0,273	4	10	0,273
11	86	0,27	10,3	0,05886	0,424	4	10	0,412	4	10	0,412
14	55	0,18	14,3	0,02407	0,240	5	12,5	0,211	3	7,5	0,126
41	94	0,30	10,2	0,07031	0,504	4	10	0,492	3	7,5	0,369
45	72	0,23	9,2	0,04125	0,264	3	7,5	0,217	3	7,5	0,217
69	73	0,23	7,0	0,04241	0,208	2	5	0,148	2	5	0,148
72	69	0,22	13,5	0,03789	0,358	5	12,5	0,332	4	10	0,265
74	74	0,24	13,0	0,04358	0,397	5	12,5	0,381	3	7,5	0,229
TOTAL				0,35736	2,694	32		2,466	26		2,039

Coeficiente de forma = 0,7

% ÚTIL 91,5

% ÚTIL 82,7

ÁRVORE MÉDIA

0,24	11,0	0,0447	0,337	4	10,0	0,313	3,25	8,1	0,254
-------------	-------------	---------------	--------------	----------	-------------	--------------	-------------	------------	--------------

Tabela 42 - Volumetria das árvores da amostra 33 com idade de 10 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL		
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
9	95	0,30	10,6	0,071819	0,530	4	10	0,503	4	10	0,503
41	82	0,26	9,6	0,053508	0,360	3	7,5	0,281	3	7,5	0,281
53	71	0,23	10,9	0,040115	0,306	4	10	0,281	4	10	0,281
61	107	0,34	11,6	0,091108	0,740	4	10	0,638	4	10	0,638
63	97	0,31	9,4	0,074874	0,493	3	7,5	0,393	3	7,5	0,393
65	85	0,27	10,7	0,057495	0,431	4	10	0,402	4	10	0,402
67	75	0,24	9	0,044762	0,282	3	7,5	0,235	2	5	0,157
73	82	0,26	10,4	0,053508	0,390	4	10	0,375	4	10	0,375
TOTAL				0,487188	3,531	29		3,107	28		3,029

Coeficiente de forma = 0,7

% ÚTIL 88,0

% ÚTIL 97,5

ÁRVORE MÉDIA

0,28	10,3	0,0609	0,441	3,625	9,1	0,386	3,5	8,8	0,373
-------------	-------------	---------------	--------------	--------------	------------	--------------	------------	------------	--------------

Tabela 43 - Volumetria das árvores da amostra 34 com idade de 10 anos.

VOLUME TOTAL (m³)						ESTIMATIVA TORETES			REAL		
Nº	CAP	DAP	ALT	A. Basal	VOLUME	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL	TORAS	ALT ÚTIL	VOL. ÚTIL
19	79	0,25	11	0,04966	0,388	4	10	0,348		0	0,000
28	61	0,19	10	0,02961	0,213	4	10	0,207	3	7,5	0,155
29	59	0,19	13	0,0277	0,256	5	12,5	0,242	3	0	0,000
38	74	0,24	11	0,04358	0,336	4	10	0,305	3	5	0,153
41	67	0,21	8,8	0,03572	0,220	3	7,5	0,188	2	7,5	0,188
50	89	0,28	12	0,06303	0,538	4	10	0,441	4	10	0,441
55	57	0,18	9,3	0,02585	0,168	3	7,5	0,136	3	7,5	0,136
57	80	0,25	10	0,05093	0,364	4	10	0,357	3	7,5	0,267
TOTAL				0,32609	2,483	31		2,223	21		1,340

Coeficiente de forma = 0,7

% ÚTIL 89,5

% ÚTIL 60,3

ÁRVORE MÉDIA

0,23	10,8	0,0408	0,310	3,875	9,7	0,276	2,6	5,6	0,160
-------------	-------------	---------------	--------------	--------------	------------	--------------	------------	------------	--------------

Tabela 44 - Volumetria das árvores com idade de 19 anos.

ÁRVORE	IDADE	CIRC m	ALTURA m	CIRC PONTA m	FUSTE m	Nº TORAS		A. BASAL m²	VOL GEOM m³	V.FRANKON m³
						ESTIMADO	REAL			
F	19	1,38	11	0,98	11,1	4	3	0,1515	1,184	0,929
G	19	1,51	7,5	1,30	12,6	5	6	0,1814	0,966	0,758
H	19	1,50	10	1,01	10,9	4	3	0,1790	1,271	0,998
I	19	1,30	11	0,97	10,5	4	4	0,1345	1,050	0,825
J	19	1,33	14	0,50	13	4	3	0,1408	1,399	1,098

Média 1,174 0,922

Coeficiente de forma 0,7

Árvore

Tora

VOLUME TOTAL (m³) 4,471 3,510

Tabela 45 - Volumetria das árvores com idade de 28 anos.

ÁRVORE	IDADE	CIRC m	ALTURA m	CIRC PONTA m	FUSTE m	Nº TORAS		A. BASAL m²	VOL GEOM m³	V.FRANKON m³
						ESTIMADO	REAL			
A	28	1,64	12	1,23	13	5	5	0,2140	1,824	1,431
B	28	1,99	16	1,37	18,3	6	7	0,3151	3,580	2,810
C	28	1,56	11	1,01	12	4	4	0,1937	1,512	1,187
D	28	2,15	12	1,50	11,7	4	4	0,3678	3,134	2,460
E	28	1,6	10	1,20	10,5	4	3	0,2037	1,446	1,135

Média 2,299 1,805

Coeficiente de forma 0,7

Árvore

Tora

VOLUME TOTAL (m³) 11,496 9,025

Tabela 46 – Proporção de cerne e albúrnio para árvores de 6 anos.

Amostra	Diâmetro externo (cm)		Média (cm²)	Área (cm²)	Diâmetro interno (cm)		Média (cm²)	Área Cerce (cm²)	Área Albúrnio (cm²)
40-B	28,00	26,50	27,25	583,21	13,50	12,50	13,00	132,73	450,48
51-A	21,70	21,40	21,55	364,74	12,00	11,40	11,70	107,51	257,23
60-1	21,00	20,30	20,65	334,91	9,00	8,00	8,50	56,75	278,17
44-2	14,00	14,50	14,25	159,49	10,30	12,50	11,40	102,07	57,41
2-3	17,00	17,20	17,10	229,66	7,00	6,50	6,75	35,78	193,87
32-2	19,30	19,00	19,15	288,02	7,00	6,50	6,75	35,78	252,24
19-1	19,00	18,00	18,50	268,80	8,20	8,20	8,20	52,81	215,99
Média			19,78		Média		9,47	70,46	243,63

Tabela 47 – Proporção de cerne e albúrnio para árvores de 10 anos.

Amostra	Diâmetro externo (cm)		Média (cm ²)	Área (cm ²)	Diâmetro interno (cm)		Média (cm ²)	Área Cerne (cm ²)	Área Albúrnio (cm ²)
51-34	16,60	15,60	16,10	203,58	7,30	6,50	6,90	37,39	166,19
59-34	15,20	14,90	15,05	177,90	5,80	5,50	5,65	25,07	152,82
48-33	18,40	20,50	19,45	297,12	10,00	11,00	10,50	86,59	210,53
74-30	20,20	21,30	20,75	338,16	9,40	9,00	9,20	66,48	271,69
42-31	23,00	22,50	22,75	406,49	11,50	10,50	11,00	95,03	311,46
	29,50	31,50	30,50	730,62	15,50	16,50	16,00	201,06	529,56
	Média		20,77		Média		9,88	76,59	273,71

Tabela 48 – Proporção de cerne e albúrnio para árvores de 19 anos.

AMOSTRA	D (maior) - cm				MÉDIA (cm)	ÁREA TOTAL (cm ²)	d (menor) - cm				MÉDIA (cm)	ÁREA CERNE (cm ²)	ÁREA ALBÚRNIO (cm ²)
F	42,2	39,5	39,2	41,8	40,675	1299,41	29,6	28,5	27,6	29,3	28,75	649,18	650,23
G	45,4	43,6	46,8	45,2	45,25	1608,15	25,8	25	24,8	25,8	25,35	504,71	1103,44
H	44,2	45,2	45,6	42	44,25	1537,86	22,8	22,9	24,1	22,8	23,15	420,91	1116,95
I	10,6	39	39	36,5	31,275	768,22	17,8	17,8	20	18,5	18,525	269,53	498,69
J	41	39,4	38,4	40,2	39,75	1240,98	21,2	19,1	19,7	19,4	19,85	309,46	931,51
	Média				40,24		Média				21,71875	430,76	860,16

Tabela 49 – Proporção de cerne e albúrnio para árvores de 28 anos.

AMOSTRA	D (maior) - cm				MÉDIA (cm)	ÁREA TOTAL (cm ²)	d (menor) - cm				MÉDIA (cm)	ÁREA CERNE (cm ²)	ÁREA ALBÚRNIO (cm ²)
A	50,1	47,7	49,5	44,8	48,025	1811,44	37,5	35,5	35	38,3	36,575	1050,65	760,79
B	59	59,8	64,4	55,2	59,6	2789,86	43,9	46,9	48,9	46,5	46,55	1701,88	1087,98
C	47,6	45,9	46,4	49,4	47,325	1759,02	31,2	32,3	33,6	33,2	32,575	833,41	925,61
E	50,3	48,1	45,6	49,6	48,4	1839,84	26,3	29,8	29,3	28,5	28,475	636,82	1203,02
	Média				50,8375		Média				36,04375	1055,691	994,35

Tabela 50 – Determinação dos anéis de crescimento para árvores de 19 anos.

Amostra	Número de Anéis				Média
F	19	19	21	22	20,25
G	21	21	21	21	21
H	18	19	20	21	19,5
I	18	17	21	20	19
J	18	18	17	16	17,25
	Média Geral				19

Tabela 51 – Determinação dos anéis de crescimento para árvores de 28 anos.

Amostra	Número de Anéis				Média
A	26	37	26	28	29,25
B	32	31	33	31	31,75
C	27	22	27	27	25,75
E	23	26	22	24	23,75
	Média Geral				28

Tabela 52 – Comprimento das fibras do lenho de paricá em diferentes idades de crescimento.

Amostras 6 anos	comprimento (mm)	Amostras 10 anos	comprimento (mm)	Amostras 19 anos	comprimento (mm)	Amostras 28 anos	comprimento (mm)
1	0,983	1	1,324	1	1,322	1	1,503
2	0,614	2	0,847	2	1,447	2	1,424
3	0,673	3	1,244	3	1,528	3	1,082
4	1,172	4	1,364	4	1,502	4	1,216
5	0,805	5	1,411	5	1,498	5	0,738
6	1,098	6	1,248	6	1,013	6	1,232
7	0,987	7	0,87	7	1,481	7	1,481
8	0,946	8	1,553	8	1,138	8	1,188
9	0,933	9	1,15	9	1,075	9	1,584
10	1,317	10	1,076	10	1,407	10	1,275
11	0,928	11	1,23	11	1,311	11	1,274
12	1,145	12	0,943	12	1,074	12	1,342
13	1,256	13	0,732	13	0,956	13	1,466
14	0,729	14	1,411	14	1,358	14	1,246
15	1,058	15	1,387	15	1,354	15	1,292
16	1,307	16	1,383	16	1,295	16	1,259
17	1,112	17	1,076	17	0,748	17	1,267
18	1,078	18	1,062	18	1,341	18	1,372
19	0,622	19	0,843	19	1,428	19	1,282
20	1,017	20	1,023	20	1,302	20	1,443
21	1,383	21	1,143	21	1,654	21	1,474
22	1,542	22	1,27	22	1,41	22	1,115
23	1,079	23	1,412	23	0,918	23	1,688
24	0,995	24	1,098	24	1,264	24	1,453
25	1,005	25	0,651	25	1,382	25	1,313
26	0,964	26	1,007	26	1,488	26	1,449
27	0,688	27	1,007	27	1,333	27	0,777
28	0,937	28	1,181	28	1,167	28	1,428
29	0,974	29	1,021	29	0,987	29	1,188
30	1,597	30	1,131	30	1,456	30	1,422
31	1,308	31	0,865	31	1,5	31	1,401
32	1,153	32	1,176	32	1,336	32	1,236
33	1,048	33	0,717	33	1,481	33	1,256
34	0,902	34	1,237	34	1,288	34	1,232
35	0,678	35	0,742	35	1,373	35	1,271
36	0,864	36	1,002	36	1,231	36	1,321
37	1,148	37	1,245	37	1,393	37	1,506
38	0,725	38	1,573	38	1,008	38	1,593
39	0,872	39	1,297	39	1,178	39	0,901
40	1,081	40	1,096	40	1,346	40	1,45
41	0,92	41	1,061	41	1,514	41	1,256
42	1,355	42	1,303	42	1,187	42	1,68
43	0,84	43	1,342	43	1,467	43	1,272
44	0,809	44	1,365	44	0,934	44	1,117
45	1,298	45	1,342	45	0,894	45	1,294
46	1,127	46	1,025	46	1,474	46	1,304
47	1,218	47	1,037	47	1,11	47	1,116
48	1,323	48	1,134	48	1,332	48	1,511
49	1,409	49	0,692	49	1,593	49	1,465
50	1,214	50	1,428	50	1,538	50	1,058
51	1,437	51	1,298	51	1,542	51	1,24
52	1,449	52	1,312	52	1,176	52	0,941
53	1,229	53	1,046	53	1,198	53	0,919
54	0,699	54	1,206	54	1,323	54	1,414
55	0,982	55	1,143	55	0,921	55	1,488
56	0,993	56	1,282	56	1,465	56	0,984
57	1,082	57	1,44	57	0,941	57	1,3
58	1,083	58	1,061	58	1,313	58	1,456
59	1,134	59	1,129	59	1,11	59	1,303
60	0,832	60	1,418	60	1,478	60	1,077
61	0,867	61	1,101	61	1,551	61	1,306
62	1,363	62	1,011	62	1,076	62	1,301
63	0,883	63	0,723	63	1,36	63	1,358
64	1,43	64	1,549	64	1,332	64	1,397
65	1,024	65	0,975	65	1,283	65	1,522
66	1,221	66	1,22	66	1,422	66	1,196
67	1,039	67	0,965	67	1,615	67	1,139
68	1,156	68	1,16	68	0,733	68	1,118
69	1,245	69	1,269	69	1,426	69	1,517
70	1,21	70	1,301	70	1,358	70	0,656
71	1,494	71	1,105	71	1,397	71	1,368
72	0,87	72	0,968	72	1,509	72	1,55
73	0,78	73	0,849	73	1,628	73	1,472
74	1,394	74	0,858	74	1,717	74	0,85
75	1,166	75	1,156	75	1,462	75	1,09
76	0,978	76	0,89	76	1,467	76	1,186
77	1,185	77	1,154	77	1,146	77	1,156
78	1,042	78	1,512	78	1,652	78	1,132
79	0,99	79	1,157	79	1,052	79	1,131
80	1,367	80	1,217	80	1,335	80	1,01
81	0,671	81	1,124	81	1,359	81	1,073
82	1,143	82	1,12	82	1,489	82	1,518
83	1,314	83	1,353	83	1,635	83	0,993
84	1,216	84	0,849	84	1,102	84	1,584
85	1,239	85	1,252	85	1,237	85	1,336
86	1,204	86	0,915	86	1,431	86	1,05
87	1,336	87	1,232	87	1,444	87	1,377
88	1,14	88	1,422	88	1,66	88	1,103
89	1,065	89	1,432	89	1,313	89	0,96
90	0,806	90	1,224	90	1,193	90	1,237
91	1,225	91	1,167	91	1,489	91	1,127
92	1,03	92	1,179	92	1,142	92	1,13
93	1,209	93	1,559	93	1,098	93	1,79
94	1,011	94	1,635	94	1,114	94	1,319
95	0,936	95	1,353	95	1,559	95	1,588
96	1,237	96	1,031	96	1,441	96	1,283
97	0,788	97	1,28	97	1,128	97	1,533
98	1,418	98	1,264	98	1,351	98	1,094
99	0,802	99	1,515	99	1,665	99	1,108
100	1,28	100	1,142	100	1,307	100	1,687
Média	1,080	Média	1,160	Média	1,319	Média	1,281
Desv-pad	0,225	Desv-pad	0,223	Desv-pad	0,212	Desv-pad	0,215
Coef Var	20,84	Coef Var	19,24	Coef Var	16,09	Coef Var	16,77

Tabela 53 – Largura das fibras do lenho de paricá em diferentes idades de crescimento.

Amostras 6 anos	comprimento (mm)	Amostras 10 anos	comprimento (mm)	Amostras 19 anos	comprimento (mm)	Amostras 28 anos	comprimento (mm)
1	32,032	1	36,691	1	31,179	1	27,002
2	20,182	2	32,849	2	46,085	2	37,946
3	33,434	3	37,999	3	34,925	3	27,721
4	37,325	4	35,198	4	36,769	4	37,033
5	30,692	5	32,744	5	38,231	5	48,777
6	28,6	6	30,762	6	37,733	6	37,061
7	26,662	7	32,968	7	41,39	7	49,367
8	31,834	8	26,244	8	37,571	8	33,518
9	32,549	9	37,029	9	36,316	9	22,744
10	29,372	10	27,584	10	33,536	10	19,027
11	35,146	11	30,357	11	31,621	11	36,987
12	35,517	12	21,466	12	34,616	12	38,991
13	30,344	13	30,406	13	34,367	13	42,99
14	25,84	14	40,193	14	45,672	14	32,553
15	20,776	15	39,61	15	37,257	15	41,325
16	32,815	16	33,296	16	28,707	16	45,849
17	40,151	17	31,634	17	31,962	17	31,73
18	21,203	18	33,098	18	30,52	18	24,525
19	28,573	19	31,306	19	36,512	19	35,124
20	38,359	20	22,58	20	29,677	20	31,154
21	33,351	21	33,177	21	32,144	21	23,33
22	34,336	22	30,558	22	31,094	22	41,04
23	27,429	23	34,167	23	38,21	23	44,09
24	38,111	24	29,434	24	33,303	24	30,736
25	37,033	25	25,785	25	28,133	25	33,662
26	22,911	26	28,337	26	32,533	26	37,818
27	32,313	27	26,671	27	40,82	27	40,552
28	22,889	28	26,942	28	28,097	28	41,682
29	20,221	29	37,511	29	38,124	29	38,833
30	32,657	30	33,453	30	27,931	30	28,337
31	34,232	31	33,965	31	39,581	31	36,167
32	30,854	32	36,743	32	41,142	32	43,729
33	21,855	33	29,509	33	34,174	33	34,673
34	29,954	34	32,685	34	30,259	34	43,66
35	30,76	35	36,283	35	30,298	35	43,66
36	25,785	36	41,306	36	25,872	36	39,453
37	34,393	37	35,883	37	37,043	37	31,154
38	33,524	38	32,37	38	54,767	38	36,717
39	36,408	39	33,635	39	30,092	39	50,435
40	30,624	40	28,753	40	36,369	40	36,868
41	30,962	41	27,845	41	32,205	41	33,94
42	41,787	42	31,954	42	35,762	42	32,205
43	23,347	43	35,104	43	35,953	43	40,328
44	31,162	44	30,817	44	36,055	44	27,781
45	27,173	45	32,46	45	37,354	45	31,684
46	26,671	46	29,434	46	31,009	46	32,523
47	24,941	47	31,319	47	31,399	47	34,159
48	32,05	48	26,278	48	32,434	48	33,921
49	30,268	49	30,882	49	44,779	49	30,881
50	29,004	50	44,381	50	37,026	50	37,242
Média	30,368	Média	32,233	Média	35,172	Média	35,854
Desv-pad	5,298	Desv-pad	4,570	Desv-pad	5,401	Desv-pad	6,909
Coef Var	17,45	Coef Var	14,18	Coef Var	15,36	Coef Var	19,27

Tabela 54 – Diâmetro do lume das fibras do lenho de paricá em diferentes idades de crescimento.

Amostras 6 anos	comprimento (mm)	Amostras 10 anos	comprimento (mm)	Amostras 19 anos	comprimento (mm)	Amostras 20 anos	comprimento (mm)
1	25,816	1	28,238	1	26,547	1	21,227
2	17,189	2	25,576	2	38,304	2	32,803
3	23,444	3	32,1	3	28,372	3	22,842
4	33,55	4	29,821	4	31,37	4	30,841
5	19,644	5	20,567	5	32,02	5	40,611
6	20,675	6	18,851	6	30,985	6	30,686
7	18,657	7	27,623	7	36,997	7	43,704
8	25,199	8	16,316	8	30,344	8	28,315
9	27,818	9	29,139	9	32,312	9	18,234
10	22,489	10	18,859	10	26,183	10	13,102
11	29,035	11	26,333	11	26,909	11	31,051
12	27,314	12	11,777	12	26,567	12	32,925
13	23,398	13	21,655	13	30,437	13	37,524
14	18,564	14	31,964	14	36,378	14	28,142
15	14,708	15	31,395	15	32,542	15	35,495
16	19,4	16	24,373	16	23,154	16	37,593
17	35,259	17	25,615	17	26,727	17	26,384
18	13,333	18	26,842	18	25,02	18	18,103
19	17,851	19	24,068	19	31,163	19	28,984
20	33,199	20	18,564	20	25,821	20	25,726
21	27,028	21	25,466	21	26,488	21	18,368
22	27,789	22	16,713	22	24,05	22	33,899
23	19,933	23	22,885	23	31,892	23	38,993
24	30,043	24	20,082	24	26,442	24	26,752
25	32,92	25	18,261	25	22,363	25	27,221
26	15,091	26	20,685	26	27,086	26	31,452
27	25,646	27	15,76	27	35,456	27	34,433
28	16,458	28	19,008	28	20,989	28	35,767
29	11,886	29	31,318	29	32,755	29	32,467
30	25,77	30	23,272	30	24,923	30	21,366
31	28,382	31	23,825	31	33,948	31	30,197
32	24,941	32	32,493	32	36,255	32	36,29
33	12,258	33	23,317	33	27,359	33	29,298
34	23,651	34	22,31	34	24,207	34	37,367
35	24,942	35	27,163	35	23,89	35	36,448
36	16,19	36	33,055	36	19,529	36	33,437
37	27,376	37	24,265	37	31,804	37	26,834
38	27,163	38	26,567	38	49,11	38	30,059
39	31,496	39	23,902	39	23,934	39	44,132
40	22,762	40	19,203	40	28,383	40	28,961
41	24,378	41	17,552	41	28,214	41	25,814
42	36,421	42	26,246	42	29,795	42	27,491
43	12,856	43	25,401	43	30,911	43	34,413
44	25,164	44	23,714	44	31,15	44	22,699
45	18,328	45	24,475	45	32,053	45	26,856
46	19,84	46	22,575	46	22,936	46	26,015
47	20,366	47	26,608	47	25,531	47	28,709
48	25,702	48	20,21	48	23,836	48	27,318
49	20,029	49	24,749	49	36,451	49	25,589
50	22,43	50	36,152	50	31,409	50	32,265
Média	23,276	Média	24,138	Média	29,226	Média	29,904
Desv-pad	6,122	Desv-pad	5,114	Desv-pad	5,318	Desv-pad	6,539
Coef Var	26,30	Coef Var	21,18	Coef Var	18,20	Coef Var	21,87

Tabela 55 – Espessura da parede das fibras do lenho de paricá em diferentes idades de crescimento.

Amostras 6 anos	comprimento (mm)	Amostras 10 anos	comprimento (mm)	Amostras 19 anos	comprimento (mm)	Amostras 28 anos	comprimento (mm)
1	6,216	1	8,453	1	4,632	1	5,775
2	2,993	2	7,273	2	7,781	2	5,143
3	9,99	3	5,899	3	6,553	3	4,879
4	3,775	4	5,377	4	5,399	4	6,192
5	11,048	5	12,177	5	6,211	5	8,166
6	7,925	6	11,911	6	6,748	6	6,375
7	8,005	7	5,345	7	4,393	7	5,663
8	6,635	8	9,928	8	7,227	8	5,203
9	4,731	9	7,89	9	4,004	9	4,51
10	6,883	10	8,725	10	7,353	10	5,925
11	6,111	11	4,024	11	4,712	11	5,936
12	8,203	12	9,689	12	8,049	12	6,066
13	6,946	13	8,751	13	3,93	13	5,466
14	7,276	14	8,229	14	9,294	14	4,411
15	6,068	15	8,215	15	4,715	15	5,83
16	13,415	16	8,923	16	5,553	16	8,256
17	4,892	17	6,019	17	5,235	17	5,346
18	7,87	18	6,256	18	5,5	18	6,422
19	10,722	19	7,238	19	5,349	19	6,14
20	5,16	20	4,016	20	3,856	20	5,428
21	6,323	21	7,711	21	5,656	21	4,962
22	6,547	22	13,845	22	7,044	22	7,141
23	7,496	23	11,282	23	6,318	23	5,097
24	8,068	24	9,352	24	6,861	24	3,984
25	4,113	25	7,524	25	5,77	25	6,441
26	7,82	26	7,652	26	5,447	26	6,366
27	6,667	27	10,911	27	5,364	27	6,119
28	6,431	28	7,934	28	7,108	28	5,915
29	8,335	29	6,193	29	5,369	29	6,366
30	6,887	30	10,181	30	3,008	30	6,971
31	5,85	31	10,14	31	5,633	31	5,97
32	5,913	32	4,25	32	4,887	32	7,439
33	9,597	33	6,192	33	6,815	33	5,375
34	6,303	34	10,375	34	6,052	34	6,293
35	5,818	35	9,12	35	6,408	35	7,212
36	9,595	36	8,251	36	6,343	36	6,016
37	7,017	37	11,618	37	5,239	37	4,32
38	6,361	38	5,803	38	5,657	38	6,658
39	4,912	39	9,733	39	6,158	39	6,303
40	7,862	40	9,55	40	7,986	40	7,907
41	6,584	41	10,293	41	3,991	41	8,126
42	5,366	42	5,708	42	5,967	42	4,714
43	10,491	43	9,703	43	5,042	43	5,915
44	5,998	44	7,103	44	4,905	44	5,082
45	8,845	45	7,985	45	5,301	45	4,828
46	6,831	46	6,859	46	8,073	46	6,508
47	4,575	47	4,711	47	5,868	47	5,45
48	6,348	48	6,068	48	8,598	48	6,603
49	10,239	49	6,133	49	8,328	49	5,292
50	6,574	50	8,229	50	5,617	50	4,977
Média	7,038	Média	8,095	Média	5,946	Média	5,950
Desv-pad	2,004	Desv-pad	2,253	Desv-pad	1,343	Desv-pad	1,002
Coef Var	28,47	Coef Var	27,83	Coef Var	22,59	Coef Var	16,84

Tabela 56 – Nível de desgaste da amostra A – alburno de paricá.

Conjunto de Corpos de prova	Cupins Mortos (%)	Desgaste	Furos	Dias
01	30	4	1	45
02	25	4	1	45
03	30	4	1	45
04	32,5	4	2	45
05	35	4	1	45
06	37,5	4	1	45
07	32,5	4	1	45
08	42,5	4	1	45

Tabela 57 – Nível de desgaste da amostra B – cerne de paricá.

Conjunto de Corpos de prova	Cupins Mortos (%)	Desgaste	Furos	Dias
01	35	3	0	45
02	50	3	0	45
03	25	4	0	45
04	32,5	4	1	45
05	30	4	0	45
06	37,5	4	0	45
07	32,5	4	1	45
08	27,5	4	1	45

Tabela 58 – Nível de desgaste da amostra C – cerne tratado de paricá.

Conjunto de Corpos de prova	Cupins Mortos (%)	Desgaste	Furos	Dias
01	72,5	1	0	45
02	75	0	0	45
03	72,5	1	0	45
04	70	1	0	45
05	85	1	0	45
06	75	0	0	45
07	82,5	1	0	45
08	72,5	1	0	45

Tabela 59 – Nível de desgaste da amostra T – *pinus elliotti* sem tratamento.

Conjunto de Corpos de prova	Cupins Mortos (%)	Desgaste	Furos	Dias
01	25	4	1	45
02	35	4	1	45
03	40	4	0	45
04	35	4	0	45
05	25	4	1	45
06	20	4	1	45

Tabela 61 – Velocidade de propagação longitudinal do ultrassom no lenho de paricá, direção topo a topo.

n	Amostra	Veloc (m/s)	n	Amostra	Veloc (m/s)
1	F21	3289,252122	1	A2	3256,51338
2	F22	4057,048334	2	A22	4217,804382
3	F4	4159,555416	3	A11	3984,34256
4	G1	4124,241947	4	A32	3703,245348
5	G21	4162,046132	5	A33	4151,95866
6	G22	4113,401044	6	A5	3222,488262
7	G4	4048,757421	7	B21	3884,201113
8	G51	4159,040693	8	B22	3526,456815
9	G52	4045,075129	9	B23	4016,769661
10	G53	3990,301823	10	B31	3550,739764
11	H1	4304,16614	11	B32	4329,633076
12	H21	4189,493931	12	B41	3989,925901
13	H22	4461,913841	13	B42	3787,256017
14	H23	4124,124862	14	B51	3875,245521
15	H3	4154,916698	15	B52	3987,826181
16	H31	4159,432488	16	B6	3759,881387
17	H32	3922,186326	17	B7	3691,598425
18	H33	4241,976037	18	B72	3895,428707
19	H4	4048,64236	19	B73	3713,756449
20	H11	4030,401691	20	C11	4008,470551
21	H2	3903,947398	21	C12	4157,736667
22	H12	3950,78907	22	C2	4182,249553
23	H2	3950,147076	23	C31	3984,396947
24	H3	4047,265823	24	C32	4078,547165
25	F1	4083,600147	25	C33	4149,628524
26	F11	4050,48172	26	C4	3941,707246
27	F12	4107,188477	27	D21	3372,431169
28	F13	4095,01304	28	D22	3943,396929
29	F2	4040,456236	29	D3	3874,125744
30	F21	4104,506847	30	D41	3987,608972
31	F22	3959,45572	31	D42	3781,13804
32	F23	4042,523817	32	E11	3648,294832
33	F24	4094,250014	33	E12	3907,853263
34	F5	4053,406368	34	E13	4046,820413
35	F26	4038,981385	35	E2	4228,415168
36	F4	4055,275311	36	E31	4321,619833
37	F42	4059,874044	37	E32	4298,212568
38	G1	4130,537577	38	E4	3990,878046
39	G11	3874,360289	39	A1	4147,759959
40	G12	4189,423987	40	A12	4116,746428
41	G13	4201,716572	41	A13	4197,541958
42	G14	3994,337833	42	A2	4129,336967
43	G2	3972,445365	43	A22	4170,544453
44	G21	3982,485897	44	A23	4239,607584
45	G22	4112,573123	45	A3	4143,79251
46	G31	3943,447634	46	A3	4095,53426
47	G32	3981,466749	47	A32	3990,445569
48	G33	3984,172864	48	A33	4201,538967
49	G4	3990,368096	49	A34	4224,736875
50	G5	3718,617216	50	A4	4136,974584
51	G52	3912,943333	51	A41	4017,033437
52	G53	4109,611777	52	A42	4017,061000
53	H1	4130,130244	53	A43	3831,877138
54	H12	4100,876987	54	A5	4004,219226
55	H2	3950,06122	55	A52	3843,945716
56	H23	4333,366969	56	B1	4240,623194
57	H24	4220,222676	57	B11	4106,384807
58	H25	4312,445103	58	B12	4103,234338
59	H3	4223,02527	59	B13	4000,89886
60	H4	4264,921436	60	B2	4122,865080
61	H41	4220,766806	61	B21	3987,392344
62	H42	4026,826158	62	B22	4022,324883
63	H5	3513,926251	63	B23	4017,824408
64	H	4466,297126	64	B3	4279,781349
65	H2	4139,869608	65	B32	4201,105461
66	H2	4245,562759	66	B33	4133,427062
67	H21	4363,958323	67	B34	4188,886932
68	H22	4226,995143	68	B35	3978,104594
69	H3	4535,54908	69	B4	4222,856669
70	J1	4169,85924	70	B41	4016,497596
71	J2	4080,064268	71	B42	3947,594111
72	J21	3978,739514	72	B43	3519,884493
73	J22	3988,834065	73	B5	3983,11522
74	J5	3945,166302	74	B51	3993,68624
75	J52	3960,106864	75	B52	3879,336667
76	G1	3913,168408	76	B53	4111,944817
77	G2	3759,481819	77	B6	3845,034228
78	H1	4264,871353	78	B61	3748,910395
79	H12	4150,807493	79	C11	4113,801669
80	Média	4086,049167	80	C12	4185,209602
81	Desvio-padrão	171,8567476	81	C2	4474,855543
			82	C21	4006,450307
			83	C3	3984,888624
			84	C31	4399,611001
			85	C32	3970,327368
			86	C4	3873,049156
			87	C41	3984,34256
			88	C42	3947,594111
			89	C5	3731,110183
			90	D1	3843,427368
			91	D22	3959,767093
			92	D31	3813,443483
			93	D32	3938,151428
			94	D4	3782,921862
			95	E1	4063,875993
			96	E12	4010,829761
			97	E2	4261,120624
			98	E22	3970,970724
			99	E23	4120,92656
			100	E3	4106,512769
			101	E32	4151,924971
			102	E33	4047,038644
			103	E34	3977,850638
			104	E4	3992,973249
			105	E41	4010,829769
			106	E42	4035,804426
			107	E43	4084,522514
			108	A1	3950,39329
			109	A12	4084,448096
			110	A2	4023,472098
			111	B1	4010,37171
			112	B12	4088,041864
			113	B13	4103,946428
			114	B2	4187,43129
			115	B22	4031,625947
			116	B3	3987,242526
			117	B32	4006,438149
			118	B33	4026,891762
			119	C1	3884,134189
			120	C12	4142,907183
			121	C13	3972,401045
			122	C2	3938,586268
			123	C22	3983,010633
			124	C23	3902,862632
			125	C3	4120,881721
			126	D1	3959,849147
			127	D12	3920,311466
			128	D13	3678,81306
			129	D2	3475,507107
			130	D22	3646,76251
			131	D3	3505,930841
			132	D32	3999,338677
			133	D4	3887,861203
			134	E1	3955,304146
			135	E12	3950,871402
			136	E13	4043,733151
			137	E2	4087,123561
			138	E22	4040,836038
			139	E23	4138,304795
			Média	3987,178102	
			Desvio-padrão	217,2646969	

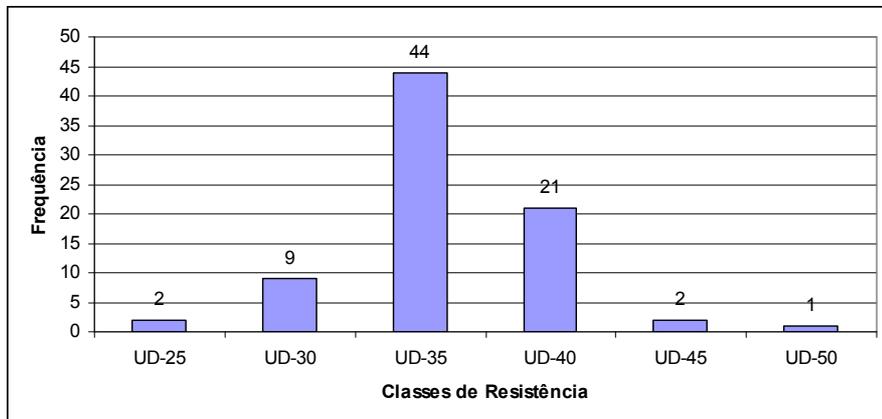


Figura 64 - Frequência da velocidade de propagação na superfície das peças de paricá do lote de 6 anos.

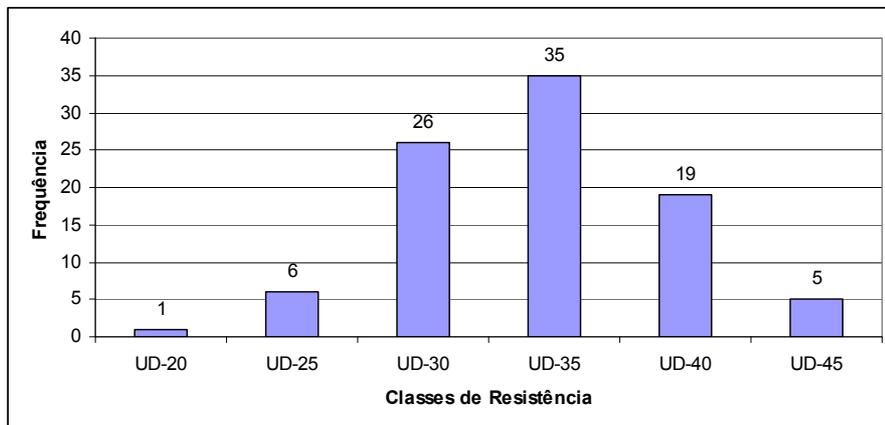


Figura 65 - Frequência da velocidade de propagação na superfície das peças de paricá do lote de 10 anos.

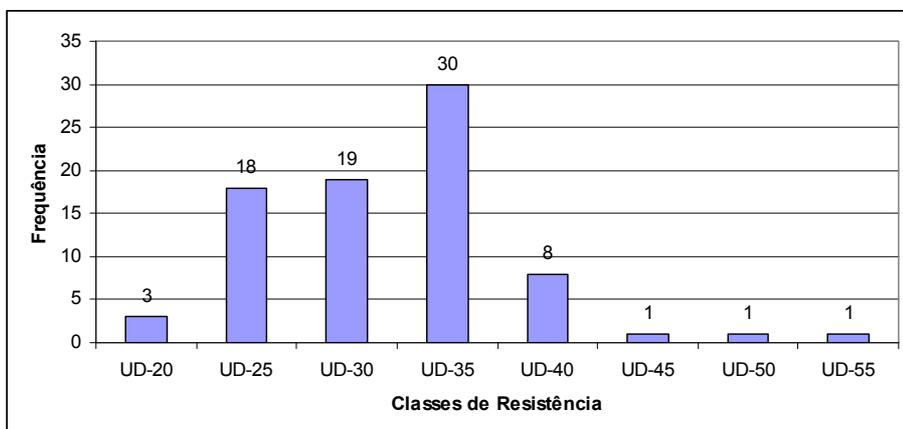


Figura 66 - Frequência da velocidade de propagação na superfície das peças de paricá do lote de 19 anos.

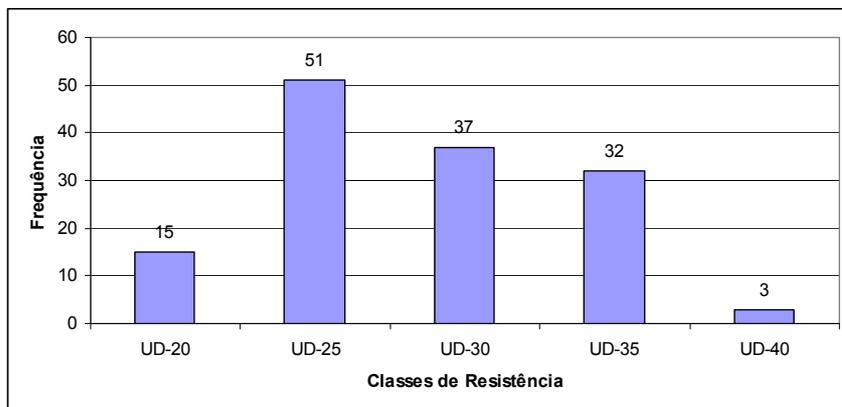


Figura 67 - Frequência da velocidade de propagação na superfície das peças de paricá do lote de 28 anos.

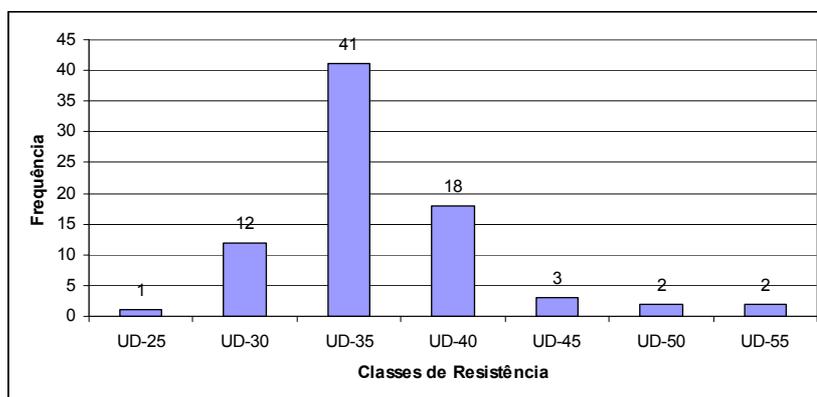


Figura 68 - Frequência da velocidade de propagação no topo das peças de paricá do lote de 19 anos.

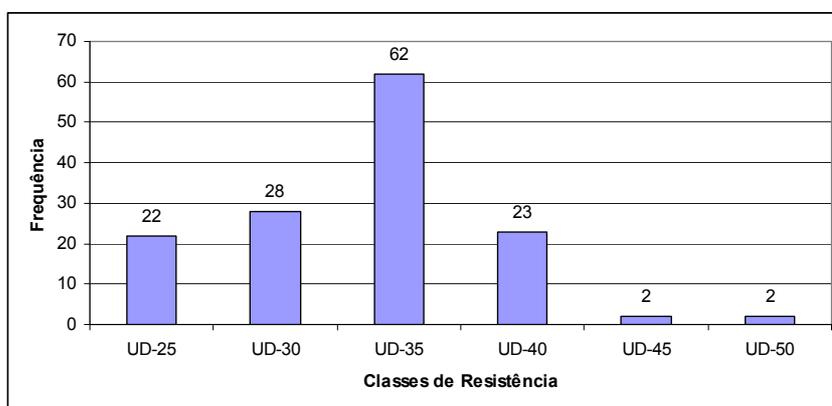


Figura 69 - Frequência da velocidade de propagação no topo das peças de paricá do lote de 19 anos.

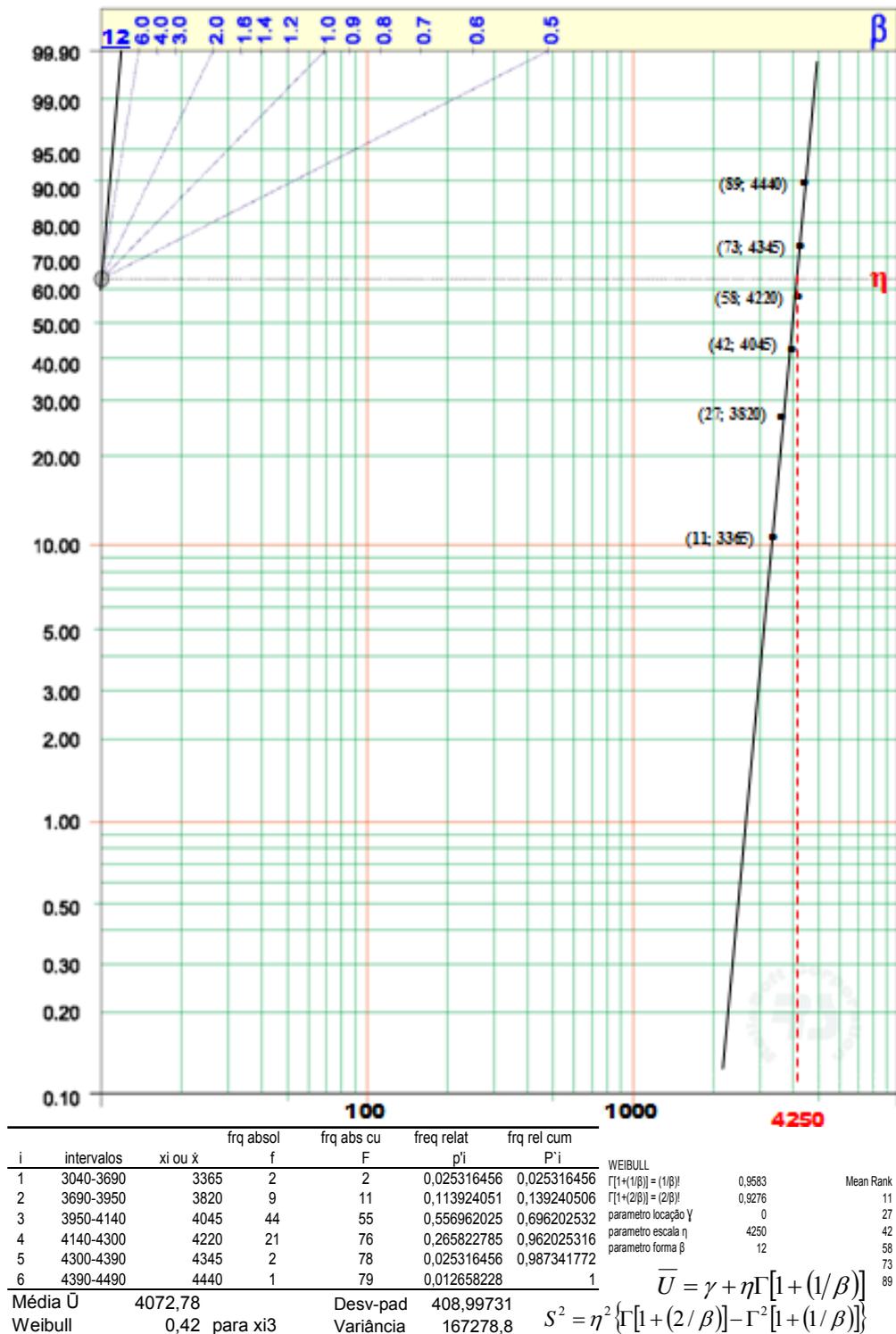
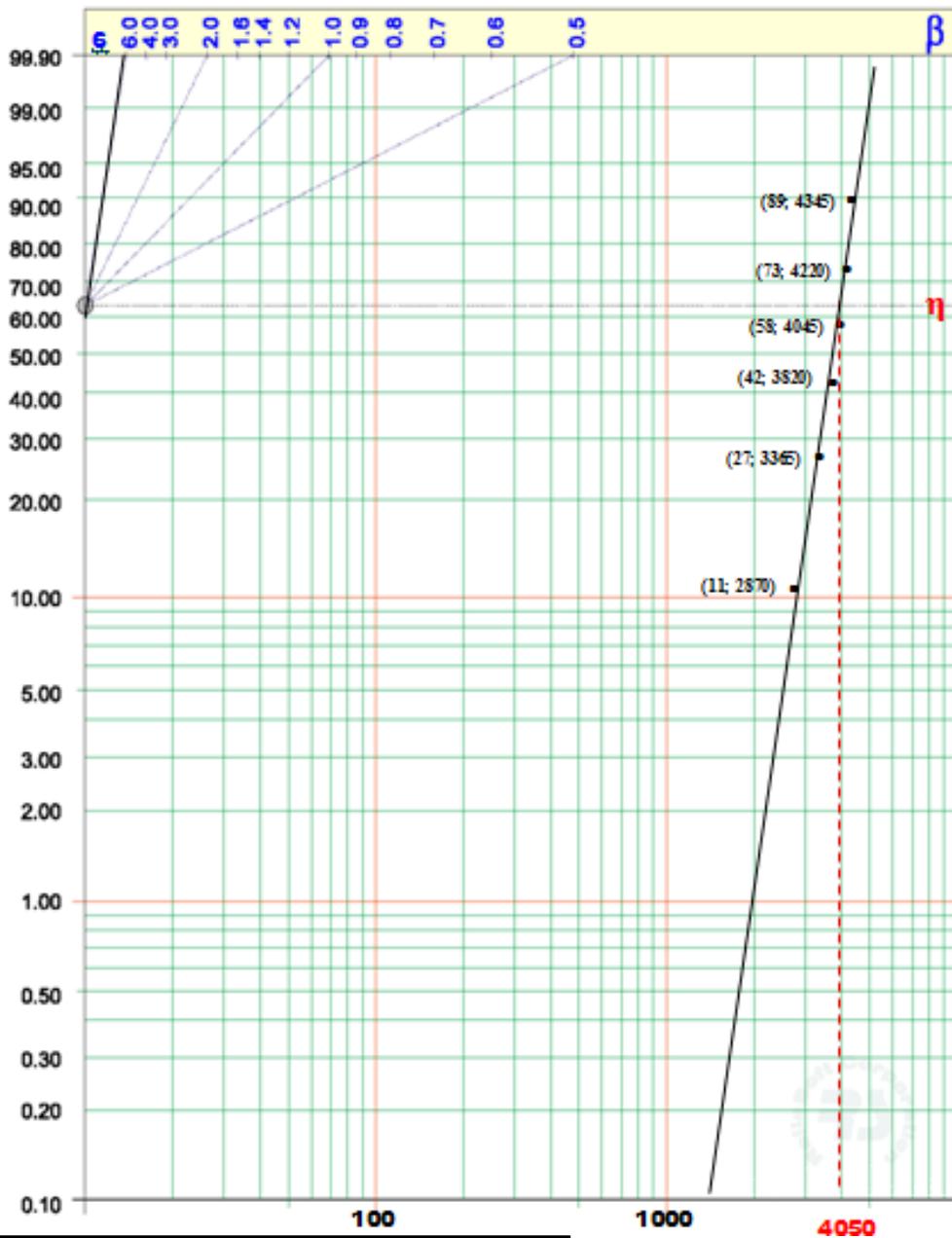


Figura 70 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação na superfície pelo método de Weibull – lote de 6 anos de idade.



i	intervalos	xi ou x̄	frq absol f	frq abs cu F	freq relat p'i	frq rel cum P'i	WEIBULL		Mean Rank
1	2700 - 3040	2870	1	1	0,0108696	0,0108696	$\Gamma[1+(1/\beta)] = (1/\beta)!$	0,9583	11
2	3040-3690	3365	6	7	0,0652174	0,076087	$\Gamma[1+(2/\beta)] = (2/\beta)!$	0,9276	27
3	3690-3950	3820	26	33	0,2826087	0,3586957	parametro locação γ	0	42
4	3950-4140	4045	35	68	0,3804348	0,7391304	parametro escala η	4050	58
5	4140-4300	4220	19	87	0,2065217	0,9456522	parametro forma β	6	73
6	4300-4390	4345	5	92	0,0543478	1			89
Média \bar{U}		3881,12							
Weibull		0,28 para xi2	Desv-pad		389,7503775				
			Variância		151905,3568				

$$\bar{U} = \gamma + \eta \Gamma[1 + (1/\beta)]$$

$$S^2 = \eta^2 \{ \Gamma[1 + (2/\beta)] - \Gamma^2[1 + (1/\beta)] \}$$

Figura 71 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação na superfície pelo método de Weibull – lote de 10 anos de idade.

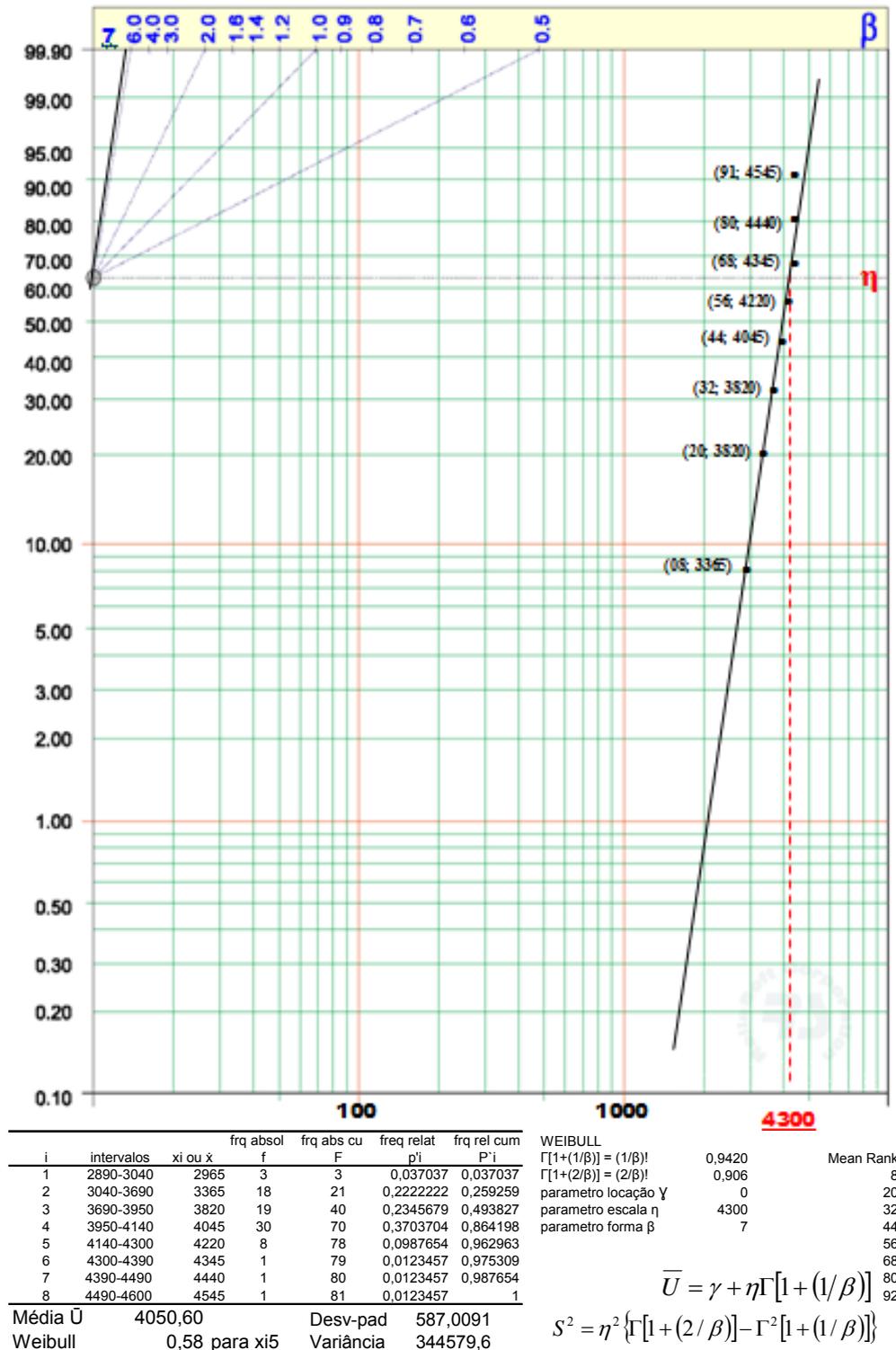
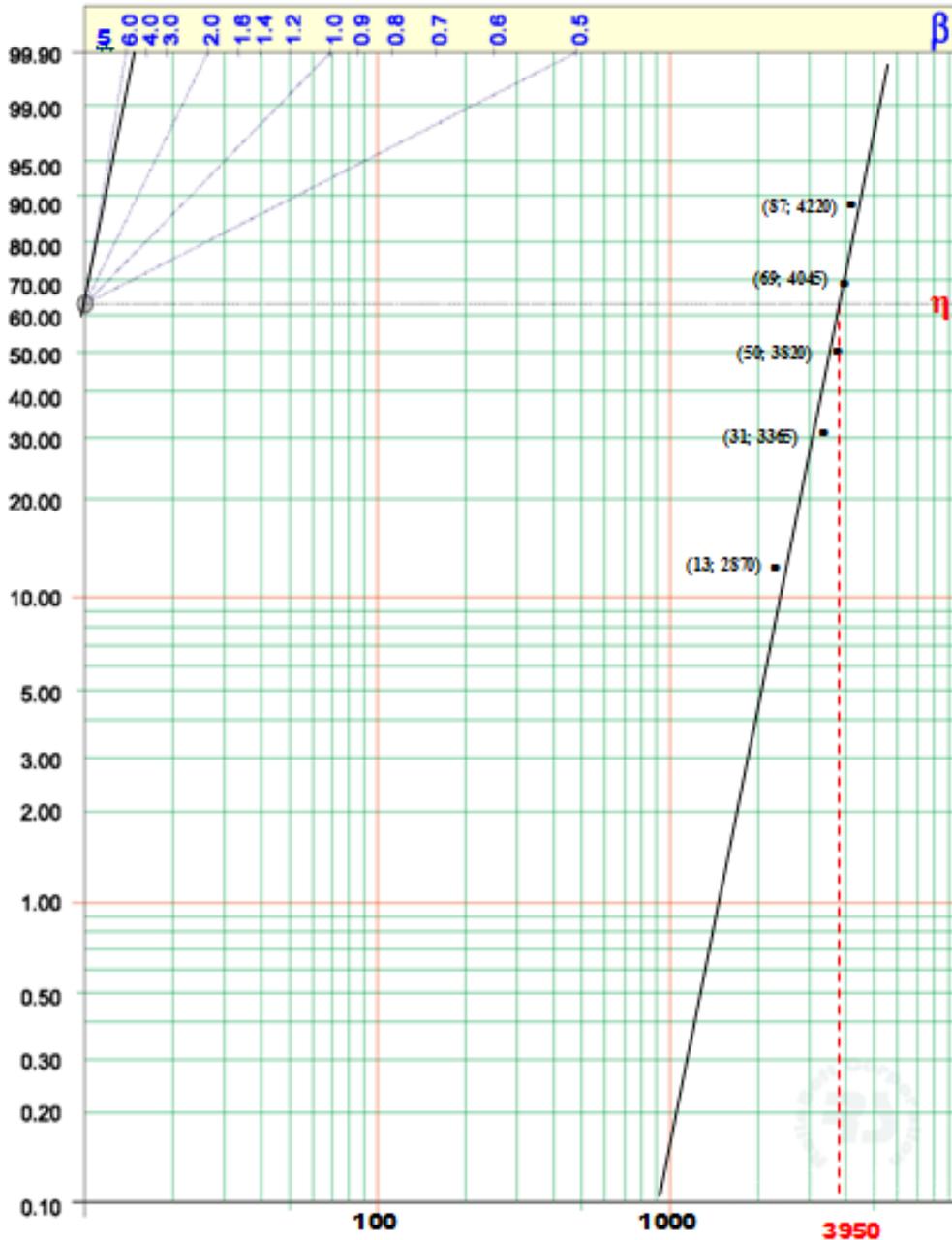


Figura 72 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação na superfície pelo método de Weibull – lote de 19 anos de idade.



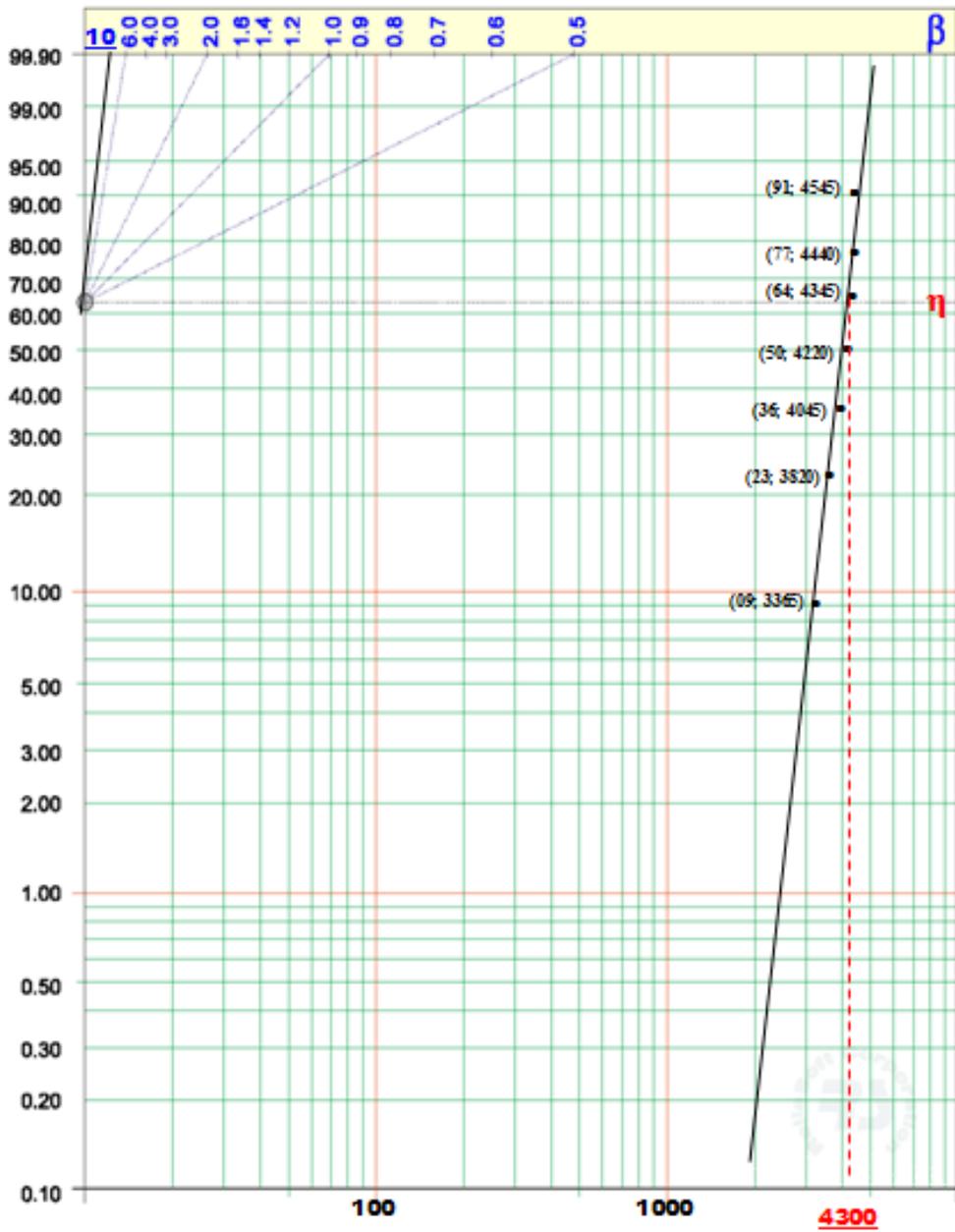
i	intervalos	xi ou x	frq absol f	frq abs cu F	freq relat p'i	frq rel cum P'i	WEIBULL		Mean Rank
1	1760-3040	2400	15	15	0,10869565	0,108696	$\Gamma[1+(1/\beta)] = (1/\beta)!$	0,918	13
2	3040-3690	3365	51	66	0,36956522	0,478261	$\Gamma[1+(2/\beta)] = (2/\beta)!$	0,887	31
3	3690-3950	3820	37	103	0,26811594	0,746377	parametro locação γ	0	50
4	3950-4140	4045	32	135	0,23188406	0,978261	parametro escala η	3950	69
5	4140-4300	4220	3	138	0,02173913	1	parametro forma β	5	87

Média \bar{U} 3626,10 Desv-pad 831,1536
 Weibull 0,68 para xi4 Variância 690816,3

$$\bar{U} = \gamma + \eta \Gamma[1 + (1/\beta)]$$

$$S^2 = \eta^2 \{ \Gamma[1 + (2/\beta)] - \Gamma^2[1 + (1/\beta)] \}$$

Figura 73 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação na superfície pelo método de Weibull – lote de 28 anos de idade.

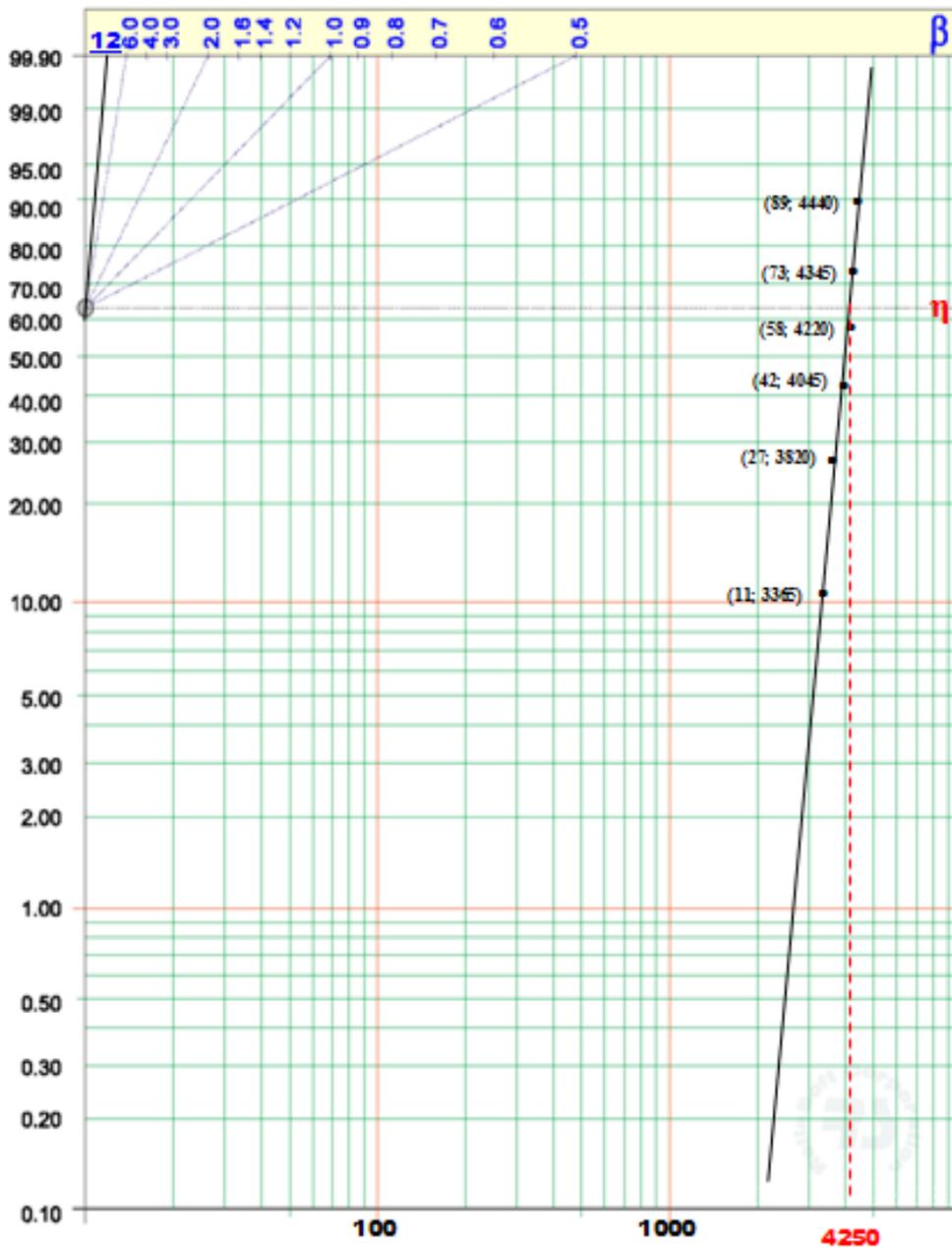


i	intervalos	xi ou x	frq absol f	frq abs cu F	freq relat p'i	frq rel cum P'i	WEIBULL		Mean Rank
1	3040-3690		3365	1	0,012658	0,012658	$\Gamma[1+(1/\beta)] = (1/\beta)!$	0,9510	
2	3690-3950		3820	13	0,151899	0,164557	$\Gamma[1+(2/\beta)] = (2/\beta)!$	0,918	9
3	3950-4140		4045	41	0,518987	0,683544	parametro locação γ	0	23
4	4140-4300		4220	18	0,227848	0,911392	parametro escala η	4350	36
5	4300-4390		4345	3	0,037975	0,949367	parametro forma β	10	50
6	4390-4490		4440	2	0,025316	0,974684			64
7	4490-4600		4545	2	0,025316	1			77
									91
Média \bar{U}		4136,85			Desv-pad	507,2742			
Weibull		0,24 para xi2			Variância	257327,1			

$$\bar{U} = \gamma + \eta \Gamma[1 + (1/\beta)]$$

$$S^2 = \eta^2 \{ \Gamma[1 + (2/\beta)] - \Gamma^2[1 + (1/\beta)] \}$$

Figura 74 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação no topo pelo método de Weibull – lote de 19 anos de idade.



i	intervalos	xi ou x̄	frq absol f	frq abs cu F	freq relat p'i	frq rel cum P'i
1	3040-3690	3365	22	22	0,158273	0,158273
2	3690-3950	3820	28	50	0,201439	0,359712
3	3950-4140	4045	62	112	0,446043	0,805755
4	4140-4300	4220	23	135	0,165468	0,971223
5	4300-4390	4345	2	137	0,014388	0,985612
6	4390-4490	4440	2	139	0,014388	1

WEIBULL		Mean Rank
$\Gamma[1+(1/\beta)] = (1/\beta)!$	0,9583	11
$\Gamma[1+(2/\beta)] = (2/\beta)!$	0,9276	27
parametro locação γ	0	42
parametro escala η	4250	58
parametro forma β	12	73

Média \bar{U} 4072,78 Desv-pad 408,9973
 Weibull 0,42 para xi3 Variância 167278,8

$$\bar{U} = \gamma + \eta \Gamma[1 + (1/\beta)]$$

$$S^2 = \eta^2 \{ \Gamma[1 + (2/\beta)] - \Gamma^2[1 + (1/\beta)] \}$$

Figura 75 – Gráfico e valores para a determinação da variância e valor médio da velocidade de propagação no topo pelo método de Weibull – lote de 28 anos de idade.

Tabela 62 – Valores de densidade e velocidade de propagação da onda para os diferentes lotes.

n	Amostra 6 anos	Densidade (kg/m³)	ultra-som (m/s)	n	Amostra 10 anos	Densidade (kg/m³)	ultra-som (m/s)	n	Amostra 19 anos	Densidade (kg/m³)	ultra-som (m/s)	n	Amostra 28 anos	Densidade (kg/m³)	ultra-som (m/s)
1	11-I-1	399,440	3929,79014	1	16-I-33	361,484	3219,259	1	F2	284,840	3860,547	1	A3	346,471	4007,429
2	4-I-2	443,705	4084,545842	2	62-I-30	367,973	4013,648	3	F11	281,416	3904,203	2	A32	325,940	3255,132
3	4-I-B	355,050	4776,306759	3	09-I-33	389,591	4080,945	2	F22	229,144	3173,898	3	A2	306,809	3612,583
4	4-I-3	404,670	4127,313789	4	5-I-34	349,817	3820,256	4	G1A	257,455	3813,368	4	A34	327,788	4070,95
5	1-I-2	305,669	4033,721259	5	63-I-33	405,351	4060,678	5	G31	302,271	3867,924	5	A1	307,585	4032,068
6	2-I-1	289,756	4076,351188	6	41-I-32	368,612	3682,8	6	H1	283,191	3805,099	6	B1	354,062	3401,239
7	15-I-2	348,873	3954,797806	7	57-I-34	372,945	3941,138	7	H2	331,387	3819,791	7	B2	354,753	4007,862
8	41-I-3	350,311	4174,308678	8	10-I-30	365,235	3928,026	8	H23	295,851	4246,193	8	B22	364,292	3098,651
9	42-I-3	270,021	3952,723473	9	11-I-32	306,045	4018,688	9	I1	303,133	3670,78	9	B34	276,733	3203,116
10	51-I-3	269,261	4062,484521	10	28-I-31	277,884	4199,797	10	I2	228,956	4141,15	10	C1	263,012	3773,075
11	61-I-B	371,819	4094,546759	11	59-I-31	379,887	3902,191	11	I33	231,632	4028,435	11	C11	261,045	3703,083
12	17-I-2	316,695	4132,113789	12	53-II-33	319,583	4208,293	12	J2	253,453	3951,889	12	C2	215,757	3684,173
13	25-I-3	339,939	4131,320836	13	11-II-32	341,473	3323,307	13	J21	264,549	3650,218	13	C3	289,696	3240,232
14	55-I-3	310,623	4113,456132	14	10-II-30	377,894	3941,127		Média	272,87	3.841,04	14	C31	229,962	3214,748
15	27-I-3	291,526	4046,484521	15	35-II-34	353,506	4037,98		Desvio-Padr	31,99	261,36	15	D1	323,627	3515,1
16	23-I-3	351,929	4072,265323	16	71-II-30	299,367	3775,373		Coef. de Va	11,72	6,80	16	D3	320,090	3353,625
17	17-II-2	359,447	3914,93038	17	65-II-33	278,132	4265,713					17	E1	217,015	4027,75
18	27-II-3	310,082	3977,622979	18	50-II-34	340,186	4024,638					18	E33	248,018	3315,975
19	55-II-3	263,922	4177,463474	19	09-II-33	380,851	3956,642						Média	296,26	3.584,27
20	61-II-B	367,244	3927,595256	20	28-II-31	311,921	4173,3						Desvio-Padr	48,26	339,63
21	4-II-B	328,239	4138,308761	21	57-II-34	392,986	4101,648						Coef. de Val	16,29	9,48
22	27-II-3	293,304	4192,90347	22	62-II-30	354,399	4066,545								
23	75-II-3	257,582	4138,308761	23	59-II-31	285,536	3993,088								
24	27-III-3	275,322	4171,715199	24	62-III-30	356,488	3958,699								
25	41-III-2	338,201	4027,435515	25	11-III-32	326,854	4131,505								
26	55-III-3	295,073	4087,049951	26	10-III-30	328,665	3886,803								
27	4-III-3	342,380	4107,038782	27	41-III-32	445,829	4037,847								
	Média	327,78	4.097,14		Média	349,57	3.953,70								
	Desvio-Padr	46,61	158,69		Desvio-Padr	40,41	237,08								
	Coef. de Va	14,22	3,87		Coef. de Va	11,56	6,00								

Tabela 64 – Valores de resistência à flexão e velocidade de propagação da onda para os diferentes lotes.

Amostra n	Amostra 6 anos	fm máx Mpa	Em Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 10 anos	fm máx Mpa	Em Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 19 anos	fm máx Mpa	Em Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)	n	Amostra 28 anos	fm máx Mpa	Em Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)
11+1-2	57,56	9426,42	4214,26	4037,98	1	F11	46,99	8668,48	4037,98	1	F11	45,44	8373,22	3904,20	4050,49	1	A1	35,03	6333,41	4032,07	4147,76
22+1-1	46,48	9531,24	4015,87	4024,31	2	F21	76,06	11444,95	4024,31	2	F21	43,97	7478,72	3919,72	4104,51	2	A2	51,06	9924,41	4016,32	4058,51
32+1-2	59,24	9666,47	4297,32	4195,38	3	G1	52,19	8439,74	4195,38	3	G1	37,04	7162,25	4007,09	3913,17	3	A2B	42,83	9965,35	3612,58	4129,34
44+1-3	61,84	10377,15	4104,22	3882,06	4	G1B	58,82	10180,94	3882,06	4	G1B	44,22	7723,34	3813,37	4130,54	4	A3	58,32	8941,92	4007,43	4095,53
54+1-B	70,10	9390,99	4138,31	4114,38	5	G21	75,05	10598,16	4114,38	5	G21	30,92	7316,92	4087,79	4162,05	5	A23	54,25	8360,50	4086,02	4239,61
615+1-2	64,06	10230,92	3924,46	3953,43	6	G31	54,58	7868,15	3953,43	6	G31	43,09	6847,46	3867,92	3943,45	6	B1	61,97	11269,50	3923,87	4240,62
723+1-3	54,75	8319,01	4039,05	4013,65	7	H1B	63,81	8561,65	4013,65	7	H1B	56,47	8315,27	4060,98	4264,87	7	B2B	49,17	8011,30	4129,54	4187,43
825+1-3	53,03	11351,61	4131,32	4002,31	8	H1C	76,02	13313,54	4002,31	8	H1C	57,35	8928,83	3990,91	4150,61	8	B2	45,65	9042,49	4007,86	4122,57
927+1-3	79,08	9426,42	4046,48	3775,37	9	H1	45,81	9351,38	3775,37	9	H1	48,08	8867,39	3805,10	4130,13	9	B21	32,05	9341,09	3344,73	3684,20
1041+1-2	46,48	11444,95	4097,19	4199,80	10	H1D	48,46	8685,50	4199,80	10	H1D	45,23	7837,18	4145,25	4102,68	10	B31	31,05	6992,24	3867,28	3650,74
1142+1-3	41,70	8874,68	3952,72	4080,94	11	H3	63,27	9769,90	4080,94	11	H3	29,41	5720,98	3916,04	4154,92	11	C1	48,41	7619,66	3773,07	3854,13
1242+1-3	57,35	8635,43	3952,72	4009,62	12	H21	62,30	9728,86	4009,62	12	H21	30,46	10937,76	4136,38	4188,49	12	C3	46,27	7413,20	3240,23	3964,89
1351+1-3	68,51	10739,97	4062,48	3323,31	13	H22	71,07	10365,16	3323,31	13	H22	36,16	7663,12	4203,58	4461,91	13	C11	34,82	6116,27	3703,08	4113,60
1455+1-3	50,97	8664,18	4147,91	3970,66	14	I2	61,11	9628,96	3970,66	14	I2	44,60	8060,57	4141,15	4245,59	14	C11B	49,04	9499,91	4160,91	4185,21
1555+1-3	49,09	9461,07	4087,05	225,98	15	I31	11,06	1656,58	225,98	15	I31	51,48	12088,19	4045,72	4159,43	15	D1	60,54	8751,66	3594,15	3643,43
1661+1-B	62,59	10291,21	3927,60	5,69	16	I32	18,14	17,20	5,69	16	I32	68,47	11694,08	3450,35	4092,19	16	D3	53,45	7584,58	3353,63	3674,13
1755+1-3	54,67	8654,66	4177,46	17,12	17	I2	48,46	8448,33	3901,17	17	I2	48,46	8448,33	3901,17	3855,15	17	E2	35,03	6333,41	3470,52	4228,42
Media	57,50	9570,96	4077,44	4077,44	18	I3	44,14	8339,86	3932,48	18	I3	44,14	8339,86	3932,48	4047,27	18	E31	36,96	7843,92	3939,95	4321,62
Desvio-Pa	9,61	1.140,02	104,06	104,06	19	I21	42,96	6604,13	3650,22	19	I21	42,96	6604,13	3650,22	3976,80	19	Media	45,88	8.296,94	3.790,74	4.024,54
Coef. de V	16,72	11,91	2,55	2,55	Media	44,63	8.337,24	4.112,33	4.112,33	Media	44,63	8.337,24	4.112,33	3.952,60	4.112,33	Desvio-Pa	9,90	1.418,18	291,57	236,37	
					Coef. de Va	9,72	1.652,11	184,28	137,23	Coef. de Va	9,72	1.652,11	184,28	184,28	137,23	Coef. de Va	21,59	17,09	7,69	7,69	

Tabela 67 – Valores de resistência à tração normal às fibras e velocidade de propagação da onda para os diferentes lotes.

n	Amostra 6 anos	f90 máx Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 10 anos	f90 máx Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 19 anos	f90 máx Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)	n	Amostra 28 anos	f90 máx Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)
1	11-I-2	3,65	4033,72	1	163-I-33	3,55	3824,78	1	F11	2,62	3904,20	4050,49	1	A1	3,68	4032,07	4147,76
2	15-I-2	3,56	3924,46	2	162-I-30	2,87	3741,88	2	F13	2,58	3970,30	4055,10	2	B1	2,89	3401,24	4240,62
3	23-I-3	3,16	4039,05	3	128-I-31	1,86	4199,80	3	G1	3,74	4022,97	4130,54	3	B11	2,50	3845,83	4106,38
4	27-I-3	3,85	3942,17	4	155-I-31	3,00	3750,46	4	G12	3,05	4089,53	4188,42	4	B12	3,59	3877,00	4103,23
5	55-II-3	3,44	4147,91	5	163-I-33	3,27	3827,30	5	H1	3,13	4145,25	4304,17	5	C1	1,91	3773,07	3854,13
6	17-II-2	3,38	3914,93	6	161-I-33	3,52	3219,26	6	H11	1,85	4060,98	4102,68	6	C11	2,11	3703,08	4113,60
7	27-II-3	3,52	3977,62	7	153-I-33	3,19	4208,29	7	H12	3,29	3990,91	4150,61	7	C12	1,81	3204,99	4185,21
8	61-II-B	3,29	3927,60	8	135-II-34	2,67	4037,98	8	J12	1,74	3453,45	3980,79	8	A2	2,98	3612,58	4129,34
9	41-III-2	2,49	4027,44	9	157-II-34	3,39	4101,65	9	F21	1,89	3148,49	4104,51	9	B2	2,23	4007,86	3887,39
10	51-III-3	1,96	4112,10	10	159-II-31	2,14	3993,09	10	F22	1,91	3173,90	4098,46	10	B22	2,14	4059,51	4122,57
	Média	3,23	4.004,70		11 162-I-30	2,69	4066,54	11	H21	2,40	4136,38	4188,49	11	B21	2,63	3344,73	4124,52
	Desvio-Padr	0,58	81,42		12 171-III-30	2,15	3844,05	12	H22	2,44	4203,58	4481,91	12	B21B	2,94	3344,73	4124,52
	Coef. de Var	17,85	2,03		Média	2,86	3.901,26	13	H23	2,42	4074,58	4333,31	13	C2	2,39	3684,17	4474,66
					Desvio-Padr	0,57	270,66	14	J2	2,78	4141,15	4245,59	14	E2	2,29	3470,52	4261,12
					Coef. de Var	19,94	6,94	15	J2	2,33	3951,89	4085,06	15	E22	2,34	3908,20	3970,97
								16	J22	2,39	3923,40	3986,83	16	A3	3,05	4007,43	4095,53
								17	J21	2,45	3650,22	3976,80	17	A34	2,12	4070,95	4224,74
								18	G31	2,84	3867,92	3943,45	18	B31	2,74	2394,32	3550,74
								19	G32	3,54	2894,27	3861,47	19	C3	2,22	3240,23	3964,89
								20	G33	2,80	3121,82	3884,17	20	D3	3,18	1763,24	3674,13
								21	I32	3,10	3450,35	4092,19	21	E31	2,42	3939,95	4321,62
								22	I33	2,74	4028,43	4241,98	22	E32	2,23	3746,61	4151,92
								23	I34	2,83	3550,37	4048,64		Média	2,56	3565,11	4 082,26
								24	J3	3,11	3932,48	4047,27		Desvio-Padr	0,51	562,38	206,03
								25	J3B	2,90	3932,48	4047,27		Coef. de Var	19,94	15,77	5,05
									Média	2,68	3.792,77	4.103,21					
									Desvio-Padr	0,51	377,36	141,21					
									Coef. de Var	19,20	9,95	3,44					

Tabela 68 – Valores de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e velocidade de propagação da onda para os diferentes lotes.

n	Amostra 6 anos	fvo máx Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 10 anos	fvo máx Mpa	ultra-som (m/s)	n	Amostra 19 anos	fvo máx Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)	n	Amostra 28 anos	fvo máx Mpa	Superfície (m/s)	Topo a Topo (m/s)
	1 1-I-2	3,66	4033,72	1	1 1-I-31	2,23	3684,29	1	1 F11	2,33	3904,20	4050,49	1	1 A1	3,38	4032,07	4147,76
	2 17-I-2	2,02	4062,52	2	2 10-I-30	2,94	4009,62	2	2 G1	2,01	4022,97	4130,54	2	2 B1	3,19	3401,24	4240,62
	3 23-I-3	2,83	4039,05	3	3 61-I-33	2,68	3219,26	3	3 G11	2,43	2941,97	3874,56	3	3 B11	3,74	3845,83	4106,38
	4 4-I-B	2,25	4127,31	4	4 28-I-31	2,60	4199,80	4	4 G12	2,70	4089,53	4188,42	4	4 C1	1,94	3773,07	3884,13
	5 51-I-3	3,21	4062,48	5	5 53-I-34	3,46	3406,72	5	5 G13	2,39	4123,32	4201,72	5	5 C11	2,55	3703,08	4113,60
	6 25-I-3	2,52	3828,40	6	6 62-I-30	2,31	4013,65	6	6 H1	1,82	4145,25	4130,13	6	6 D1	2,86	3584,15	3643,43
	7 15-I-2	2,20	3924,46	7	7 63-I-33	3,37	3827,30	7	7 H12	2,83	3990,91	4102,68	7	7 E11	3,63	3648,23	3648,23
	8 61-I-B	2,74	4094,55	8	8 57-I-34	3,65	4101,65	8	8 J12	3,04	3453,45	3950,79	8	8 A2	3,55	3612,58	4088,51
	9 25-II-3	2,45	3993,17	9	9 35-II-34	2,21	4037,98	9	9 F22	2,32	3173,90	4098,46	9	9 A22	3,12	4074,14	4217,80
	10 27-II-3	2,56	3977,62	10	10 50-II-34	2,38	4195,38	10	10 H2	2,54	3819,79	3950,06	10	10 B21	2,43	3344,73	3684,20
	11 41-III-2	3,24	4027,44	11	11 53-III-33	2,23	4208,29	11	11 H21	2,21	4136,38	4188,49	11	11 B22	2,87	4059,51	3529,46
	12 4-III-3	2,71	4107,04	12	12 9-III-33	2,85	3956,64	12	12 I2	2,59	4141,15	4245,59	12	12 B23	3,93	4015,76	4015,76
	13 2-III-1	2,93	4206,77	13	13 59-III-31	2,00	3993,09	13	13 J21	2,58	3650,22	3976,80	13	13 B2	4,14	4007,86	4122,57
	Média	2,72	4.037,27	14	14 71-III-30	2,00	3844,05	14	14 G31	2,46	3867,92	3943,45	14	14 C2	1,66	3684,17	4474,66
	Desvio-Pa	0,46	94,97	15	15 41-III-32	2,45	4037,85	15	15 H3	1,73	3976,04	4154,92	15	15 A3	2,85	4007,43	4085,53
	Coef. de V	17,02	2,36	Média		2,62	3.915,70	16	16 I31	2,70	4045,72	4159,43	16	16 A32	4,06	3885,21	3990,45
				Desvio-Padrif		0,53	286,06	17	17 I33	1,90	4028,43	4241,98	17	17 C31	2,64	3214,75	4399,61
				Coef. de Var		20,19	7,31	18	18 I34	2,42	3550,37	4048,64	18	18 D3	2,85	1763,24	3674,13
								19	19 I34A	1,73	3550,37	4048,64	19	19 D31	2,23	3576,04	3613,44
								Média		2,35	3.821,68	4.088,73	20	20 D32	2,76	3503,83	3636,16
								Desvio-Padrif		0,37	347,14	109,62	21	21 D32B	2,33	3503,83	3636,16
								Coef. de Var		15,82	9,08	2,68	Média		2,99	3.630,99	3.947,74
													Desvio-Padrif		0,69	497,27	284,66
													Coef. de Va		23,08	13,70	7,21

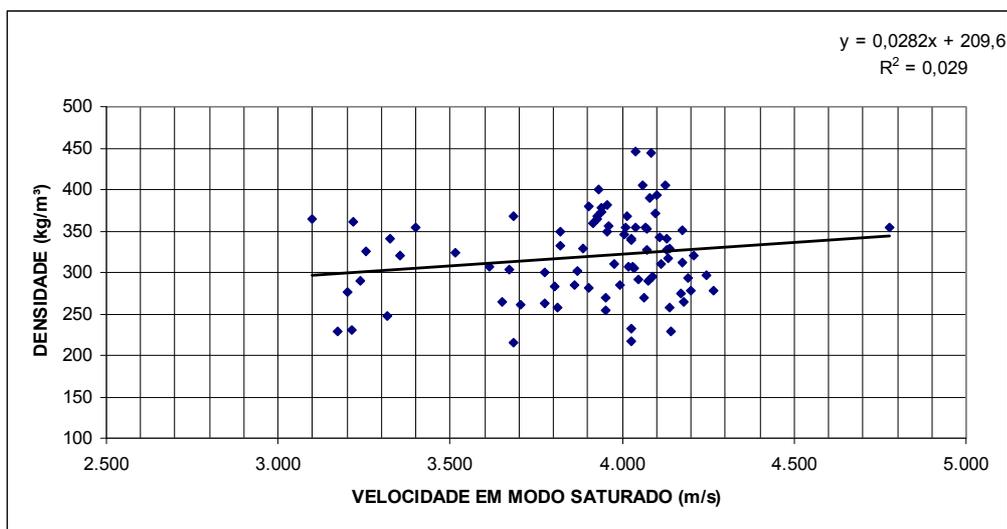


Figura 76 - Correlação entre densidade e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

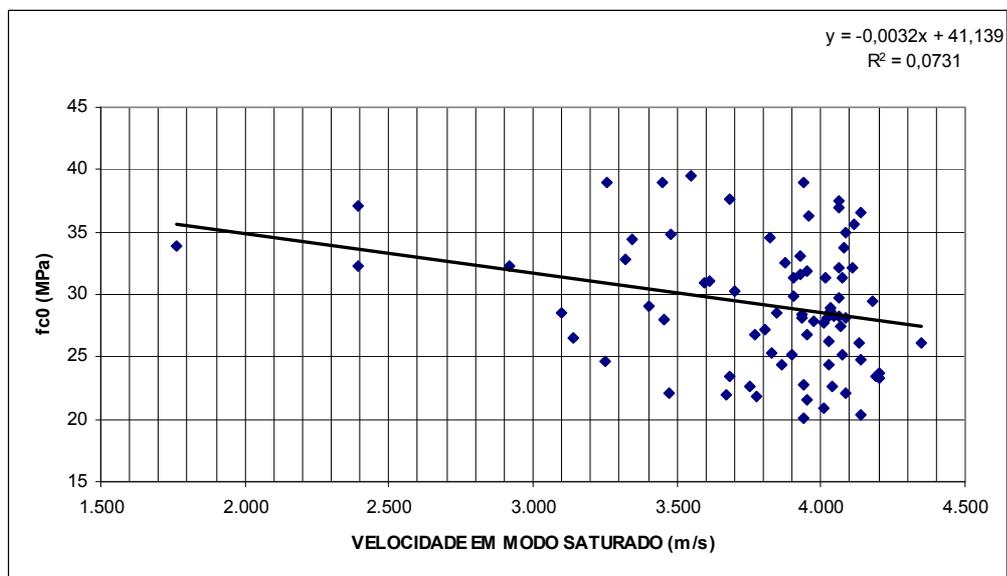


Figura 77 - Correlação entre compressão paralela às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

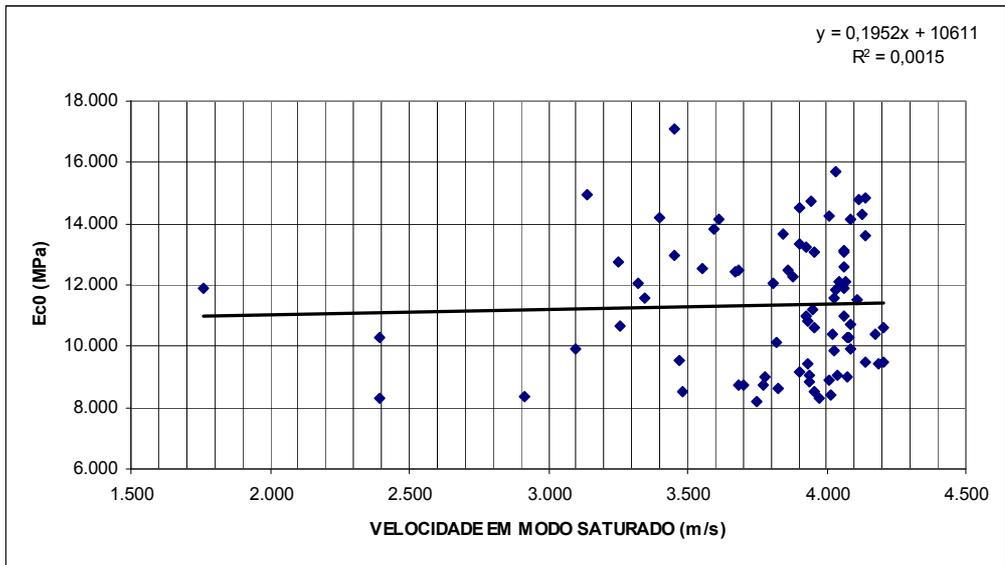


Figura 78 - Correlação entre módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

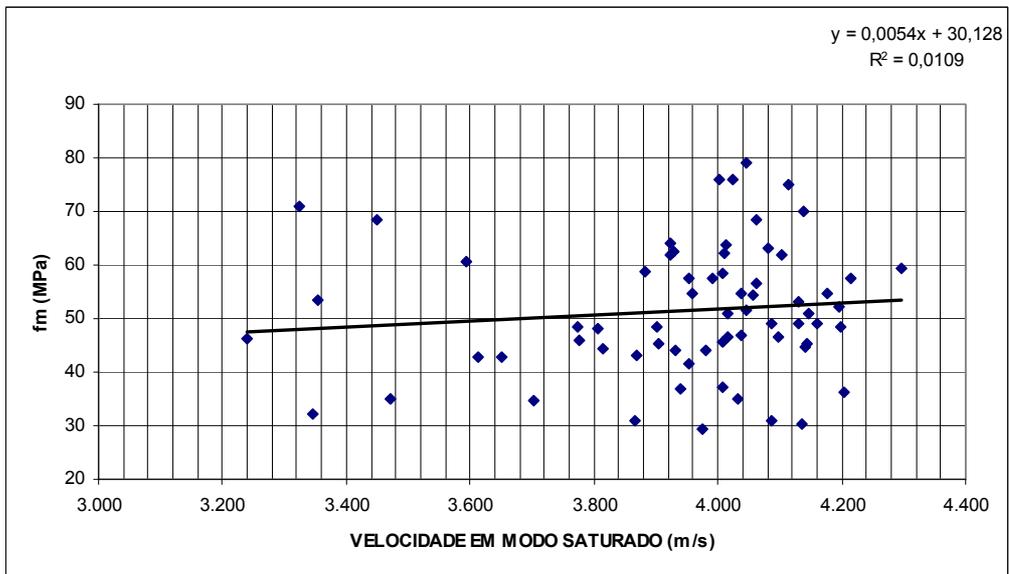


Figura 79 - Correlação entre resistência à flexão e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

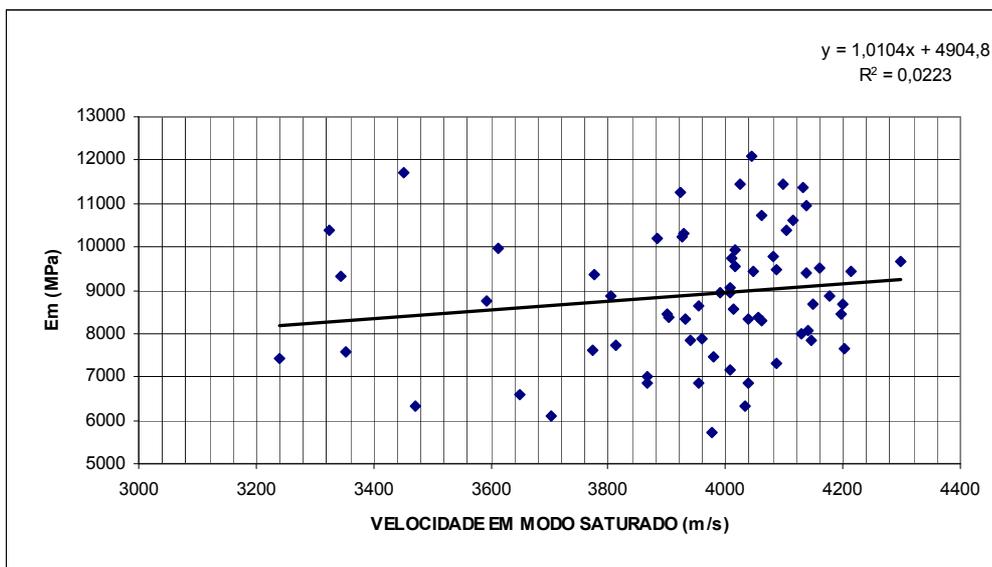


Figura 80 - Correlação entre módulo de elasticidade à flexão e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

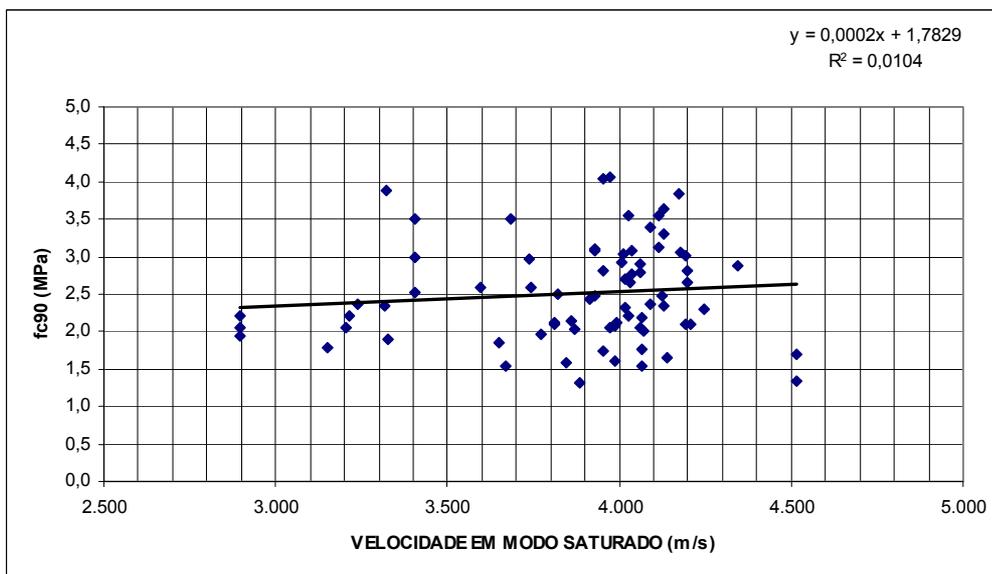


Figura 81 - Correlação entre compressão normal às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

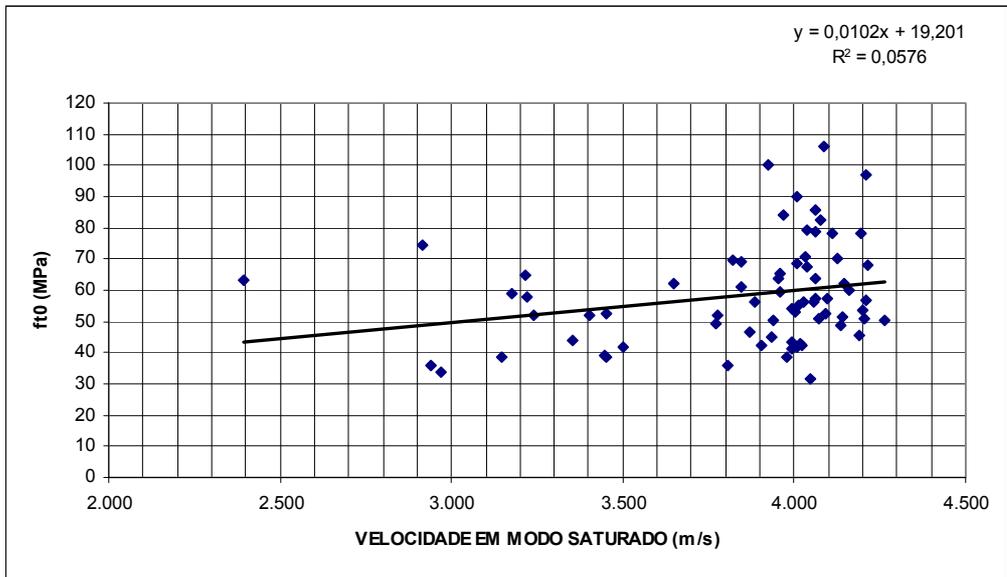


Figura 82 - Correlação entre tração paralela às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

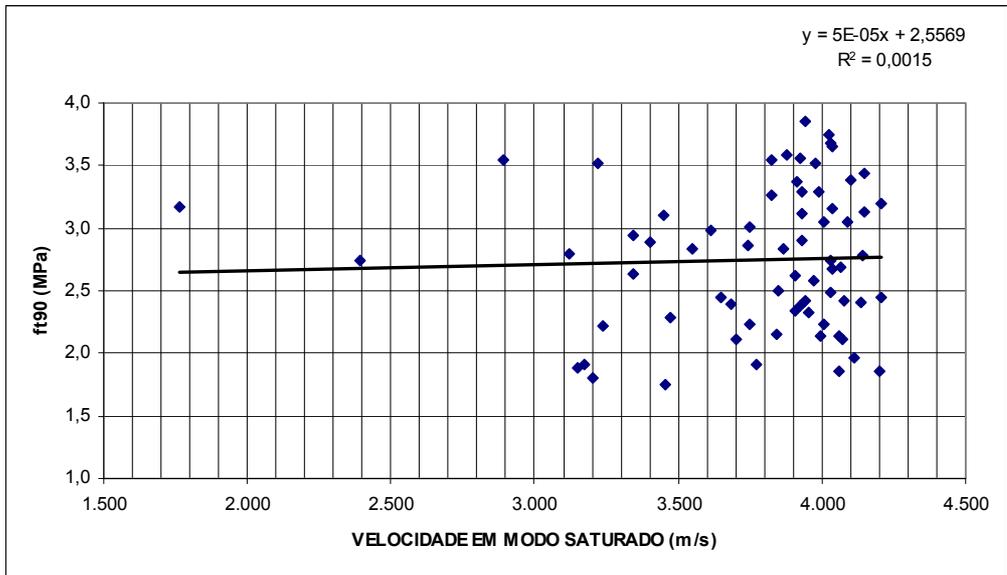


Figura 83 - Correlação entre tração normal às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

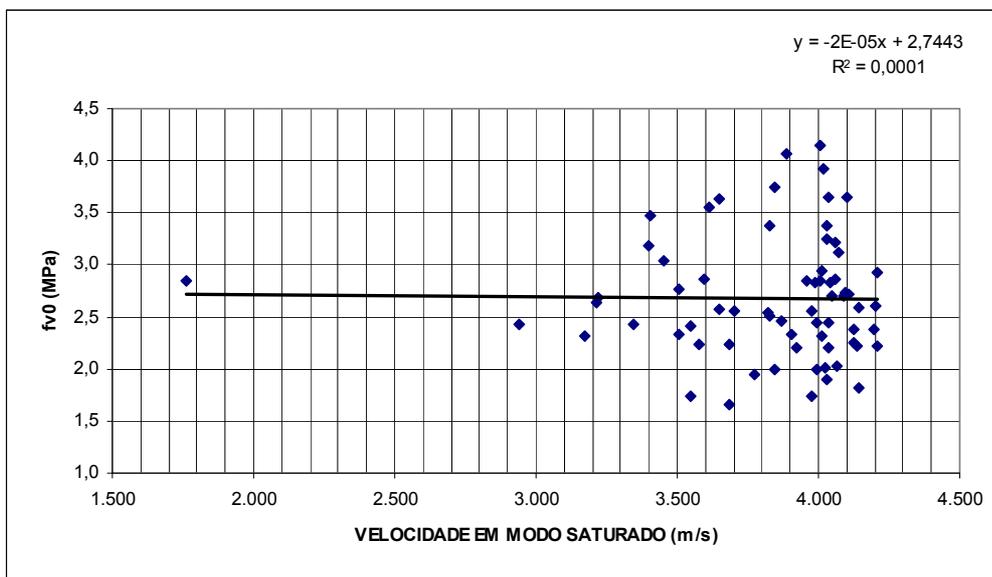


Figura 84 - Correlação entre cisalhamento paralelo às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

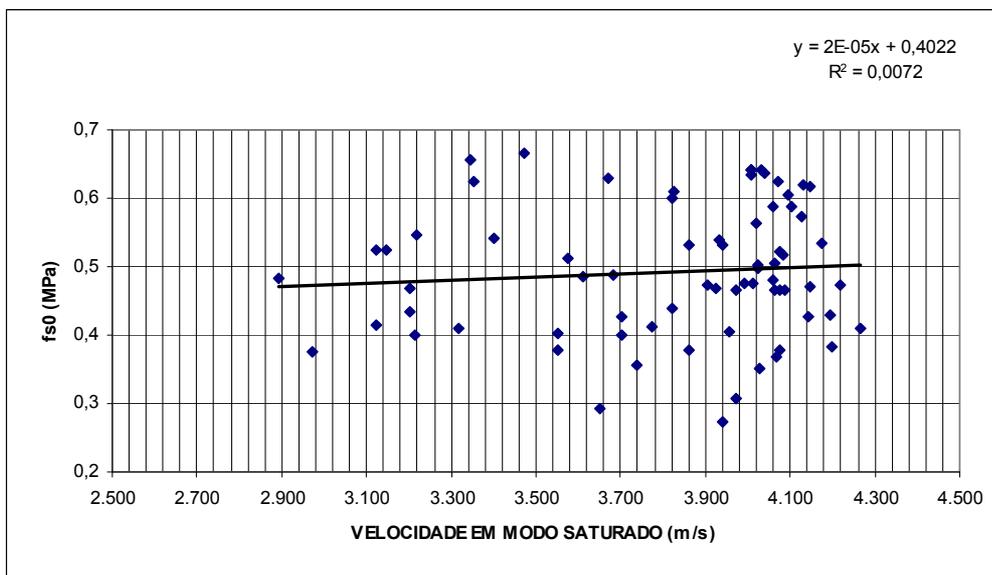


Figura 85 - Correlação entre fendilhamento e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

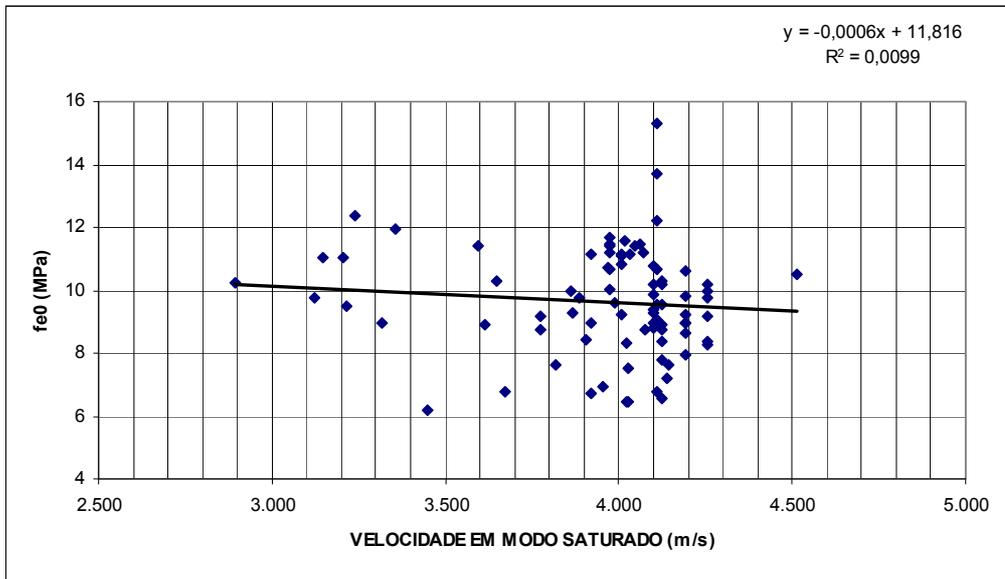


Figura 86 - Correlação entre embutimento paralelo às fibras e velocidade de propagação longitudinal no modo saturado para todos os lotes.

Tabela 71 – Propriedades mecânicas das vigas MLC de paricá com adesivo RS 216-M.

Seção (cm)	Vão (cm)	VLC RS 216-M	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa)
			Axial	Cisalhamento	Em
6x12	228	A1	46,20	1,82	19.523,90
		A2	45,51	1,80	17.939,02
		A3	45,19	1,78	23.098,88
		A4	36,99	1,46	21.445,40
		A5	39,84	1,57	19.166,75
		A6	38,00	1,50	15.725,66
		A7	31,10	1,23	18.504,37
Relação Vão/Altura	38,00	Média	40,40	1,59	19.343,43
		Desvio padrão	5,58	0,22	2392,70
		Coef. de Variação	13,82	13,82	12,37
		$f_{m,k}$ (12%)	33,04	MPa	
		$f_{v0,k}$ (12%)	1,30	MPa	

Tabela 72 – Propriedades mecânicas das vigas MLC de paricá com adesivo EPI EL-70.

Seção (cm)	Vão (cm)	VLC EPI EL-70	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa) Em
			Axial	Cisalhamento	
5,8x13,5	228	B2	39,56	1,74	17.477,48
		B3	36,07	1,59	14.611,40
		B4	44,53	1,96	18.179,78
		B5	40,67	1,79	17.035,46
		B6	38,15	1,68	16.182,96
		Relação Vão/Altura	39,31	Média	39,80
		Desvio padrão	3,16	0,14	1372,62
		Coef. de Variação	7,93	7,93	8,22
		$f_{m,k(12\%)}$	37,06	MPa	
		$f_{v0,k(12\%)}$	1,63	MPa	

Tabela 73 – Propriedades mecânicas das vigas de madeira serrada de paricá.

Seção (cm)	Vão (cm)	Viga Serrada	Tensão de Ruptura (MPa)		Módulo (MPa) Em
			Axial	Cisalhamento	
6x12	228	B32	48,86	1,93	20.399,52
		B61	45,92	1,91	18.787,28
		C2	40,22	1,59	23.777,15
		C5	37,31	1,42	18.704,94
		H12	35,24	1,46	16.654,91
		H25	46,65	1,84	19.846,82
Relação Vão/Altura	38,00	Média	42,37	1,69	19.695,10
		Desvio padrão	5,55	0,23	2376,12
		Coef. de Variação	13,10	13,62	12,06
		$f_{m,k(12\%)}$	31,30	MPa	
		$f_{v0,k(12\%)}$	1,21	MPa	

Tabela 74 – Resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola.

Corpos-de-prova A - RS 216M B - EPI EL-70	Tensão Ruptura RS 216M (MPa)	Tensão Ruptura EPI EL-70 (MPa)
A1 - B1	3,50	3,68
A2 - B2	3,22	2,89
A3 - B3	3,44	3,14
A4 - B4	3,13	2,12
A5 - B5	2,49	2,95
A6 - B6	2,04	2,69
Média	2,97	2,91
Desvio-Padrão	0,58	0,51
Coef. de Variação	19,58	17,63
$f_{v0,k}$ (12%) RS 216-M	2,02	MPa
$f_{v0,k}$ (12%) EPI EL-70	2,34	MPa

Tabela 75 – Resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola.

Corpos-de-prova A - RS 216M B - EPI EL-70	Tensão Ruptura RS 216M (MPa)	Tensão Ruptura EPI EL-70 (MPa)
A1 - B1	3,62	1,83
A2 - B2	4,34	1,88
A3 - B3	4,05	1,76
A4 - B4	3,53	1,12
A5 - B5	3,48	1,93
A6 - B6	3,84	2,08
Média	3,81	1,77
Desvio-Padrão	0,34	0,33
Coef. de Variação	8,85	18,94
$f_{t90,k}$ (12%) RS 216-M	3,47	MPa
$f_{t90,k}$ (12%) EPI EL-70	1,34	MPa