

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS EM PEÇAS DE MADEIRA

RAQUEL GONÇALVES TANAAMI

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Tese apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos para
obtenção de título de Doutor
em Engenharia de Estruturas.

Orientador: FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR

São Carlos
1993

"Feliz o povo que adora o Senhor com cantos e que vive na luz da Sua presença. Por causa Dele, eles se alegram o dia todo; eles louvam ao Senhor que os salva. O Senhor lhes dá grandes vitórias; **pela Sua grande bondade Ele lhes faz vencer**".
(Salmos 89:15,16,17)

Ao **Samuel**: meu esposo, amigo e
companheiro e à **Priscila e Patricia**:
minhas filhas amadas, das quais
muito do meu tempo foi-lhes
"roubado" para que este trabalho
pudesse ser concretizado.

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr pela presença constante em cada fase do trabalho, pelo estímulo e ajuda nos momentos mais difíceis, pela orientação segura e amorosa que me incentivou a ir até o fim.

- Aos meus amigos e irmãos: Beth e Takeshi, Marli e Sinval, Márcia e Levi que me sustentaram na caminhada do dia a dia com muito amor.

- Aos companheiros do Laboratório de Madeiras: Tânia, Silvana, Regina, José Francisco, Silvio, Bragatto, Cláudio, Roberto, Cido, Marivaldo e a todos que tornaram possível este trabalho dando toda ajuda na confecção de corpos de prova, na realização dos ensaios, nos trabalhos de secretaria e biblioteca.

- Ao Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ-USP pela grande colaboração prestada, permitindo o uso de computadores e pacotes estatísticos e principalmente à Prof. Dr^a. Clarice Garcia Borges Demétrio pelo auxílio no tratamento estatístico dos dados.

- À CAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

- A todos os companheiros da Faculdade de Engenharia Agrícola-UNICAMP que me incentivaram com palavras e ações, principalmente aos amigos do Departamento de Construções Rurais que tornaram possível uma dedicação mais intensa à este trabalho. Em especial agradeço a amiga Cecília, que cobriu a minha ausência e sempre me incentivou com muito carinho e ao João Bergamo pela confecção de todos os desenhos.

- À Escola de Engenharia de São Carlos pela base institucional proporcionada para o desenvolvimento do trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Símbolos

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivos gerais.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Aspectos relativos a constituição e formação da madeira...7	7
2.2.1. Composição química da madeira.....	7
2.2.1.1. Celulose.....	8
2.2.1.2. Hemicelulose.....	9
2.2.1.3. Lignina.....	10
2.2.1.4. Extrativos.....	10
2.2.2. Organização da parede celular.....	11
2.2.2.1. Microfibrilas.....	11
2.2.2.2. Camadas das paredes celulares.....	13
2.2.3. Estrutura celular da madeira.....	15
2.2.3.1. Tipos de células.....	15
2.2.3.2. Arranjo das células.....	16
2.2.3.3. Anéis de crescimento.....	18
2.2.4. Aspectos gerais.....	20
2.2.4.1. Alburno e cerne.....	20
2.2.4.2. Casca.....	21
2.2.5. Anisotropia da madeira.....	22
2.3. Aspectos relativos a tração normal às fibras nos métodos e normas nacionais e internacionais.....	23
2.3.1. Métodos de ensaio.....	23
2.3.1.1. A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) 24	
2.3.1.2. COPANT (Comision Panamericana de Normas Técnicas)...25	
2.3.1.3. ISO (International Organization for Standardization) 25	
2.3.1.4. NBR 6230 (Método Brasileiro para Ensaios Físicos e Mecânicos).....	25
2.3.1.5. LAMEM (Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira).....	26
2.3.2. Normas.....	27
2.3.2.1. EUROCODE 5.....	27
2.3.2.2. NDS (National Design Specification).....	29
2.3.2.3. NBR 7190 (Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira).....	29
2.4. Considerações à respeito do comportamento da madeira quando submetido à tração normal às fibras.....	29
2.5. Aspectos considerados importantes na avaliação do problema da tração normal às fibras na madeira.....	33
2.5.1. Dimensão e geometria do corpo de prova.....	33
2.5.2. Aspectos referentes ao ensaio.....	50
2.5.3. Duração da carga.....	55
2.5.4. Tração e ângulo de inclinação das fibras.....	68
2.5.5. Conclusão.....	75
3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS.....	76

3.1. Introdução.....	76
3.2. Experimentação realizada.....	77
3.2.1. Equipamento.....	79
3.2.2. Execução do ensaio.....	79
3.2.3. Resultados obtidos na experimentação.....	79
3.3. Análise dos resultados obtidos na experimentação.....	87
3.4. Considerações finais.....	98
3.5. Conclusões.....	99
4. ALTERNATIVA PARA O CORPO DE PROVA DE TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS.....	100
4.1. Introdução.....	100
4.2. Experimentação realizada.....	101
4.3. Resultados obtidos na experimentação.....	104
4.3.1. Experimentação preliminar.....	105
4.3.2. Experimentação principal.....	110
4.4. Análise dos resultados obtidos na experimentação principal.....	114
4.5. Considerações finais.....	127
4.6. Conclusões.....	128
5. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS NACIONAIS.....	130
5.1. Introdução.....	130
5.2. Experimentação realizada.....	132
5.3. Resultados da experimentação.....	135
5.3.1. Primeira fase da experimentação.....	135
5.3.2. Segunda fase da experimentação.....	159
5.3.3. Terceira fase da experimentação.....	171
5.4. Análise dos resultados da experimentação.....	175
5.4.1. Introdução.....	175
5.4.2. Análise executada pelo programa SANEST.....	176
5.4.3. Hipótese de distribuição normal.....	183
5.4.3.1. Definição.....	183
5.4.3.2. Teste de Lilliefors.....	184
5.4.3.3. Teste de Anderson-Darling	190
5.4.3.4. Comparação entre os valores da média e da mediana da distribuição de f_{tn}	195
5.4.3.5. Comparação entre os valores da média e da moda da distribuição de f_{tn}	200
5.4.3.6. Comparação dos valores característicos da distribuição de f_{tn}	204
5.4.3.7. Considerações finais.....	209
5.4.4. Hipótese de distribuição de Weibull.....	214
5.4.4.1. Definição.....	214
5.4.4.2. Propriedades.....	215
5.4.4.3. Estimadores.....	217
5.4.4.4. Teste para verificação da distribuição de Weibull.....	219
5.4.4.5. Método gráfico de verificação da distribuição de Weibull.....	228
5.4.4.6. Comparação entre os valores das medianas da distribuição de f_{tn}	232
5.4.4.7. Comparação entre os valores característicos da distribuição de f_{tn}	237
5.4.4.8. Considerações finais.....	242
5.5. Conclusões.....	246

6. VARIABILIDADE DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS CRESCIDAS NO PAÍS.....	248
6.1. Introdução.....	248
6.2. Resultados obtidos na experimentação.....	263
6.2.1. Primeira fase da experimentação.....	263
6.2.2. Segunda fase da experimentação.....	264
6.2.3. Terceira fase da experimentação.....	266
6.3. Considerações finais.....	267
6.4. Conclusões.....	267
7. RELAÇÃO ENTRE PESO ESPECÍFICO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS.....	269
7.1. Introdução.....	269
7.2. Experimentação realizada.....	269
7.3. Resultados obtidos na experimentação.....	270
7.4. Análise dos resultados obtidos na experimentação.....	274
7.5. Considerações finais.....	280
7.6. Conclusões.....	280
8. RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS.....	281
8.1. Introdução.....	281
8.2. Experimentação realizada.....	281
8.3. Resultados obtidos na experimentação.....	282
8.4. Análise estatística dos resultados obtidos.....	284
8.5. Considerações finais.....	288
8.6. Conclusões.....	288
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	289
ANEXO A.....	292
ANEXO B.....	298
ANEXO C.....	300
ANEXO D.....	302
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	304

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{tn}	= Resistência da madeira à tração normal às fibras.
F_{tn}	= Carga de ruptura do corpo de prova no ensaio de tração normal às fibras.
A_{tn}	= Área da seção de ruptura do corpo de prova de tração normal às fibras.
n	= Número de corpos de prova.
α	= Nível de significância.
$(1 - \alpha)$	= Nível de confiança.
μ_d	= Média das diferenças.
l	= Vão livre.
h	= Altura do corpo de prova.
r^2	= Coeficiente de correlação.
M	= Momento fletor.
I	= Momento de inércia.
y	= Distância do centro de gravidade à borda tracionada.
F_{fn}	= Carga de ruptura do corpo de prova no ensaio de flexão na direção normal às fibras.
b	= Largura do corpo de prova.
$f_{tn,k}$	= Resistência característica da madeira à tração normal às fibras.
CV	= Coeficiente de variação da amostra.
ρ_n	= Peso específico da madeira com teor de umidade igual a $n\%$.
ρ_{12}	= Peso específico da madeira com umidade de equilíbrio ao ar.
ρ_{PS}	= Peso específico da madeira saturada.
U_n	= Umidade qualquer, em porcentagem ($n\%$).
$f_{tn,u}$	= Resistência à tração normal às fibras com teor de umidade qualquer ($u\%$).
$f_{tn,PS}$	= Resistência à tração normal às fibras no ponto de saturação.

RESUMO

Neste trabalho, após análise da bibliografia disponível, é apresentada abordagem a respeito da resistência da madeira à tração normal às fibras (f_{tn}). São avaliadas a distribuição de frequência e a variabilidade dos valores experimentais de f_{tn} . Outras variáveis como a posição dos anéis de crescimento em relação às faces dos corpos de prova, a umidade, o peso específico, bem como a geometria de corpos de prova alternativos, e sua influência em f_{tn} são discutidas. As conclusões possibilitam um conhecimento mais detalhado do assunto e também se constituem em subsídios para a revisão do texto da NBR 7190 - Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira - ora em andamento.

ABSTRACT

This work, after the analysis of the available bibliography, presents an abordage about wood strength in tension perpendicular to the grain (f_{tn}). Frequency distribution and variability of experimental values of f_{tn} are evaluated. Other variables as the position of growth rings related to the specimens faces, the moisture content, the specific gravity, and so the alternative specimens geometry, and its influence in f_{tn} are discussed. The conclusions extended the knowledge in the matter and contributed to the NBR 7190 - Brazilian Code to Design and Construction of Wooden Structures - now in proceeding.

1. INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

Os recentes avanços experimentados no estudo da madeira e das estruturas de madeira têm ampliado as condições para que o referido material seja empregado de modo mais racional na construção de estruturas.

O conhecimento mais detalhado do comportamento estrutural da madeira e as possibilidades de cálculo através dos sistemas computacionais atualmente disponíveis devem ser entendidos como fatores altamente positivos para a adequada avaliação e correto desenvolvimento dos procedimentos relacionados com o projeto de estruturas de madeira.

Entretanto, paralelamente aos avanços alcançados, outros aspectos também fundamentais, passam a ocupar a atenção dos pesquisadores da área: a necessidade de serem geradas informações de caráter básico, preenchendo as lacunas ainda existentes no assunto.

Esta necessidade abrange diversos tópicos referentes ao comportamento estrutural da madeira, e se torna de significativa importância na oportunidade em que se encontra em andamento a revisão do texto da NBR 7190 - Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira - da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A NBR 7190, antiga NB 11, foi adotada em 1951, está fundamentada nos critérios do método das tensões admissíveis e não mais atende às necessidades dos projetistas e

construtores. O novo texto normativo deverá se fundamentar na conceituação do método dos estados limites e, para tal, pesquisas devem ser conduzidas para a geração de subsídios indispensáveis à quantificação das diversas variáveis a considerar nos novos procedimentos a serem propostos.

Um dos assuntos básicos a respeito do qual poucas informações consistentes estão disponíveis é o referente ao comportamento da madeira quando submetida à tração normal às fibras. Solicitação de ocorrência freqüente, pode se constituir condição crítica em diversas situações estruturais, entre elas algumas relacionadas à ligação entre peças.

A tração normal às fibras é um tema pouco abordado na bibliografia nacional e internacional a respeito da madeira. Desenvolver estudo a este respeito é trazer contribuição indispensável para melhor conhecimento da madeira como material estrutural e para proporcionar a indispensável consistência no novo texto da NBR 7190.

Deve ser registrado que a realização deste trabalho ocorre num contexto no qual as instituições brasileiras ligadas à pesquisa da madeira e das estruturas de madeira têm evidenciado muito empenho para possibilitar ao país, em curto intervalo de tempo, condições análogas às vivenciadas nos países considerados desenvolvidos no âmbito do projeto e da construção de estruturas de madeira.

1.2. OBJETIVOS

Apartir dos aspectos comentados no item 1.1. os objetivos do trabalho foram traçados como segue:

1.2.1. Objetivos gerais

. Ampliar o conhecimento a respeito do comportamento da madeira quando solícitada à tração normal às fibras.

. Gerar subsídios que contribuam para a revisão do texto da NBR 7190 - Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira.

1.2.2. Objetivos específicos

. Avaliar a resistência da madeira à tração normal às fibras quando sua determinação é feita através do ensaio de corpos de prova com os anéis de crescimento fazendo ângulo de 0° ou de 90° com as respectivas faces.

. Avaliar a possibilidade de utilização de corpos de prova alternativos aos atualmente adotado pela NBR 6230 - Ensaio Físicos e Mecânicos de Madeiras - para a determinação da resistência à tração normal às fibras.

. Avaliar a distribuição de frequência e a variabilidade dos valores da resistência à tração normal às fibras obtidos,

tanto a partir do ensaio de corpos de prova usuais quanto em corpos de prova alternativos.

. Avaliar a influência do peso específico na resistência da madeira à tração normal às fibras.

. Avaliar a influência da umidade na resistência da madeira à tração normal às fibras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. INTRODUÇÃO

Para adequada fundamentação deste trabalho, buscou-se efetuar abrangente revisão bibliográfica, aqui apresentada em etapas constando de:

- . Aspectos relativos à constituição e formação da madeira.
- . Aspectos relativos à tração normal às fibras nos métodos de ensaio e normas para o cálculo estrutural, nacionais e internacionais.
- . Considerações a respeito do comportamento da madeira quando submetida à tração normal às fibras.
- . Publicações que tratam de aspectos importantes relacionados ao problema da tração normal às fibras.

Diversas publicações pesquisadas provenientes de países tais como: Canadá, Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Japão e China consideram a tensão de tração normal às fibras como um dos mais importantes fatores no mecanismo de ruptura de peças estruturais de madeira e diversos pesquisadores têm, ao longo do tempo, se preocupado com os diferentes aspectos deste tipo de solicitação.

Vários destes aspectos foram encontrados durante a pesquisa bibliográfica efetuada. Alguns serão aqui resumidos com o intuito de registrar o progresso já alcançado no

referido tema. Para cada aspecto mencionado será apresentado um resumo do artigo pesquisado com suas principais conclusões. Em alguns casos será feita apenas citação das conclusões registradas pelo autor.

É importante salientar ainda que uma listagem completa contendo todas as publicações pesquisadas consta do capítulo Referências Bibliográficas. Os artigos aqui mencionados contêm as indicações consideradas mais importantes para a pesquisa desenvolvida.

No Brasil, muitos aspectos relacionados ao estudo da tração normal às fibras da madeira têm neste trabalho seu ponto de partida. Por isso, na tarefa de iniciar o processo, foram citadas publicações que, certamente, contribuíram para que se avaliasse a conveniência e o interesse da modificação de conceitos até então aceitos.

Destaca-se que a revisão bibliográfica foi realizada seguindo-se três encaminhamentos:

1. Busca manual em livros, teses, artigos, etc. realizada nas Bibliotecas Central e do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, do Departamento de Estruturas da EESC/USP- São Carlos; Bibliotecas Central e da Engenharia Florestal da ESALQ/USP- Piracicaba, e bibliotecas Central e das Engenharias da UNICAMP-Campinas.
2. Busca manual abrangendo: Engineering Index, índice de Teses, Transactions of the American Society of Civil Engineers, Forest Products Abstracts, nas Bibliotecas Centrais da ESALQ/USP e UNICAMP.
3. Levantamento bibliográfico utilizando-se meios

automatizados de busca. Este levantamento foi executado na biblioteca Central da ESALQ através do INFOAGRI , utilizando-se para isto as Bases de Dados: CAB Abstracts e COMPENDEX.

2.2. ASPECTOS RELATIVOS À CONSTITUIÇÃO E FORMAÇÃO DA MADEIRA

2.2.1. Composição química da madeira

A madeira é composta de substâncias químicas originalmente produzidas durante o crescimento das células da árvore. No momento do corte, porém, a maior parte da árvore contém células mortas. Como consequência, as substâncias normalmente associadas ao crescimento das células, como as proteínas e outros materiais nitrogenados, estão praticamente ausentes da madeira. Desta forma, a composição química aproximada da madeira é 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio, com uma variação média de 0,2-0,3% mais 0,1% ou menos de nitrogênio. Acrescentando-se ainda traços de minerais constituintes, dos quais se destacam principalmente o cálcio e carbonato de magnésio e ocasionalmente cristais de sílica (Kollmann & Côté, 1968).

A constituição orgânica da madeira pode ser assim sumarizada:

- . componentes da parede celular
- . extrativos

Os componentes da parede celular são em grande escala os responsáveis pelas propriedades físicas, de resistência e de elasticidade da madeira. Os extrativos podem estar

presentes nas paredes celulares, mas normalmente se encontram nas cavidades celulares ou em estruturas anatômicas especiais como os dutos de resina.

Embora os extrativos não estejam presentes em grande quantidade, podem ser importantes modificadores de propriedades físicas (Kollman & Côté, 1968).

A composição química das paredes celulares não pode ser precisamente definida mesmo para uma espécie de madeira em particular. As variações se devem a uma série de fatores, como a procedência, o clima, o tipo de solo, e outros ligados ao crescimento da árvore. De qualquer forma, pode-se afirmar que existem três componentes principais na madeira: celulose, hemicelulose e lignina.

A celulose e a hemicelulose são carboidratos e constituem aproximadamente de 70 a 75% da madeira. A lignina é um material fenólico e sua estrutura molecular não é ainda completamente entendida.

As dicotiledôneas contêm mais celulose do que as coníferas (45% vs 41%) e menos lignina (22% vs 28%). Seus teores de hemicelulose são aproximadamente iguais (30%) (Bodig & Jayne, 1982).

2.2.1.1. Celulose

A celulose, componente primário da parede celular, é um dos poucos componentes naturais que guarda a mesma estrutura independente do material onde está presente: madeira, algodão, bambu, grama e muitas outras plantas. Estruturalmente, a celulose é um polímero linear constituído

por cadeias de unidades monoméricas de glicose (figura 2.1) (Bodig & Jayne, 1982).

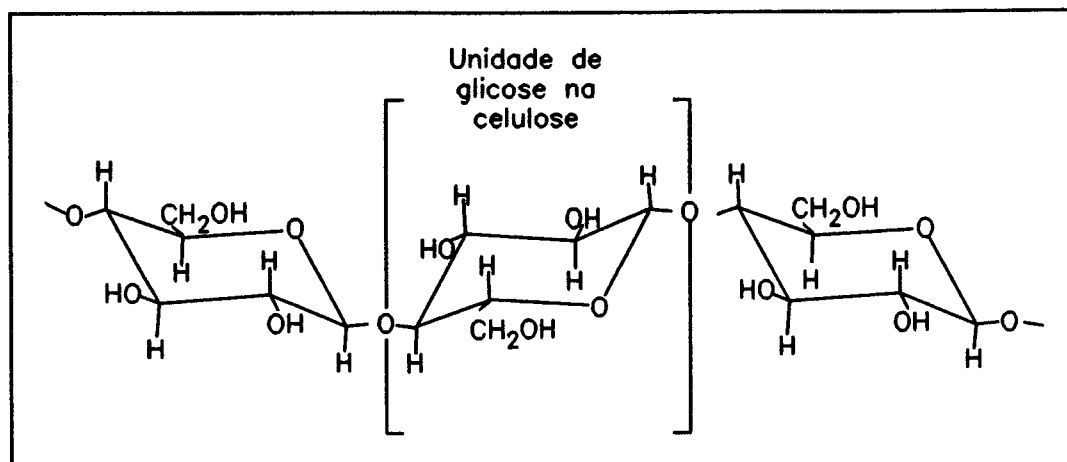


Fig 2.1.- Parte de uma molécula de celulose. (Bodig & Jayne, 1982)

De alta resistência à tração, a celulose estrutura a madeira. É componente de maior importância nas paredes das células, tanto em termos de volume como seu efeito nas características da madeira, respondendo por cerca de 40% a 50% em relação ao peso de madeira seca (Bodig & Jayne, 1982).

2.2.1.2. Hemicelulose

A fração de hemicelulose na madeira corresponde a aproximadamente 30% da massa total das paredes celulares e é composta pela associação de polissacarídeos, apresenta baixo grau de polimerização, não forma fibras e só possui regiões amorfas. Ocorre intimamente associada à celulose e parece contribuir como um componente estrutural dos tecidos vegetais

(Bodig & Jayne, 1982).

2.2.1.3. Lignina

É um polímero tridimensional que incrusta o espaço intercelular e qualquer abertura ou cavidade das paredes das células, após a deposição da celulose e da hemicelulose. Atua como material cimentante ligando os elementos estruturais das madeiras.

A mais importante propriedade física da lignina é a rigidez e dureza que confere às paredes celulares onde está localizada, ou seja, é a lignina que dá rigidez e dureza ao conjunto de cadeias de celulose, conferindo coesão à madeira (Bodig & Jayne, 1982).

2.2.1.4. Extrativos

A importância dos extrativos não está no efeito indireto que porventura possam ter nas propriedades físicas da madeira e sim na determinação do tipo de utilização das espécies. Não é incomum os extrativos determinarem o uso final da madeira, pois podem controlar a durabilidade, a cor, o odor e o gosto. Em algumas espécies os extrativos fenólicos são responsáveis pela resistência ao ataque de insetos. As essências são também responsáveis pelo odor e podem agir como inseticida. Alguns extrativos são originariamente reservas alimentares para o crescimento da árvore e conseqüentemente são atrativos para alguns microorganismos também (Bodig e Jayne, 1982).

2.2.2. Organização da parede celular

2.2.2.1. Microfibrilas

Moléculas de celulose raramente ocorrem como entidades individuais dentro da parede celular. Elas são dispostas em bandas discretas chamadas de fibrilas elementares. Cada fibrila elementar contém um arranjo paralelo de 50-80 moléculas de celulose, todas predominantemente alinhadas com o eixo da fibrila. Estas estruturas elementares de fibrilas estão sempre agregadas dentro de unidades maiores através de ligações de pontes de hidrogênio de suas respectivas superfícies, resultando em microfibrilas.

A figura 2.2 mostra uma seção longitudinal hipotética de uma fibrila elementar. Ao longo, os elementos enfileirados representam as moléculas de celulose com suas regiões cristalinas (C) e amorfas (A). As moléculas maiores representam a lignina, hemicelulose e extrativos. As moléculas pequenas representam a água. Elas estão presentes em toda região cristalina (Bodig & Jayne, 1982).

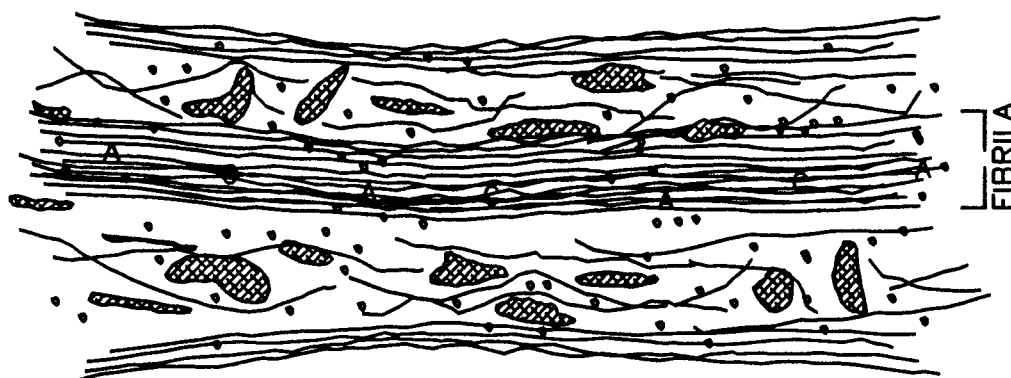


Figura 2.2. - Seção longitudinal de uma fibrila elementar mostrando as regiões cristalina e amorfa de celulose e outros elementos celulares constituintes (Bodig & Jayne, 1982).

Nenhuma microfibrila foi isolada com acesso em todo seu comprimento, assim sendo o valor do seu comprimento é apenas aproximado. As regiões cristalinas de celulose na madeira têm comprimentos similares, podendo ser rompidas ou modificadas apenas mediante energia suficiente para romper as pontes de hidrogênio intermoleculares. A água por si só tem efeito pequeno, mas agentes alcalinos podem modificar a estrutura cristalina. A retração e o inchamento da madeira é primeiramente resultado da adição de água nas regiões amorfas das microfibrilas (Bodig & Jayne, 1982).

A figura 2.3 mostra uma representação sistemática das microfibrilas arranjadas ordenadamente na parede celular.

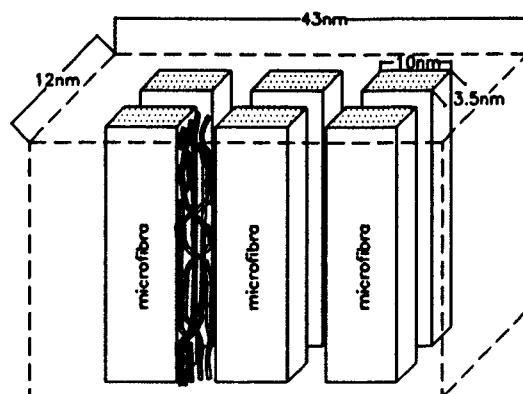


Figura 2.3.- Arranjo de Microfibrilas na parede celular
(Bodig & Jayne, 1982).

Devem ser notados os espaços entre as microfibrilas. Estes são utilizados para deposição de diferentes substâncias químicas e para absorção de água. Estes espaços são os principais responsáveis pela retração e pelo inchamento da madeira quando existe variação de umidade.

2.2.2.2. Camadas das Paredes Celulares

A estrutura de uma particular parede celular é em geral muito complexa. Adicionalmente, diferentes tipos de células como os traqueídes, vasos, fibras e parênquima, podem exibir diferentes organizações celulares. Em todos os casos, todavia, as microfibrilas e outras substâncias são organizadas em lamelas. As lamelas, por sua vez são organizadas dentro de unidades chamadas camadas das paredes celulares, como pode ser visto no exemplo da figura 2.4 (Hellmeister, 1973).

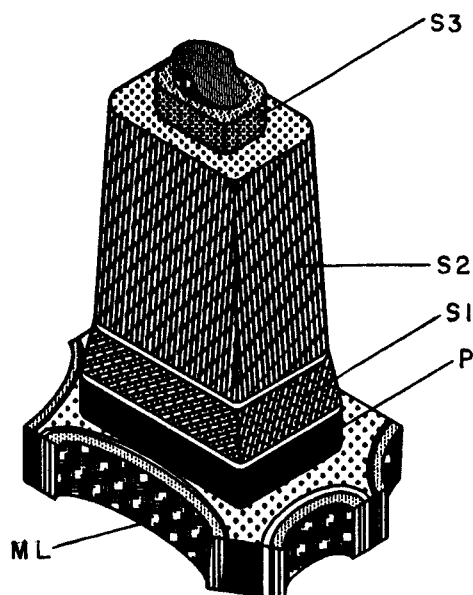


Figura 2.4.-Modelo de Parede celular - Exemplo de um traqueíde (Hellmeister, 1973).

A lamela média (ML) não é uma parte integrante da parede celular, mas é simplesmente uma zona de contato preenchendo e interligando os elementos anatómicos.

Durante a formação da parede celular a primeira fase de crescimento é completada quando a célula atinge seu tamanho final. A parede primária (P) é completada durante este tempo. A combinação entre a parede primária e lamela média é normalmente tratada como uma entidade única. Em comparação com as outras camadas, a parede primária é muito fina. Em seguida, uma camada mais grossa toma lugar resultando na formação da parede secundária. Três distintas camadas (S_1, S_2, S_3) resultam da formação desta grossa parede.

Devem ser observadas, ainda na figura 2.4, as diferentes direções das microfibrilas nas várias camadas,

especialmente seu arranjo quase vertical na camada S_2 . Por sua espessura e pela orientação de suas microfibrilas, as propriedades físicas desta camada tendem a determinar o comportamento da célula (Hellmeister, 1973).

Pequenos orifícios nas paredes das células têm o propósito de transferência de líquidos de uma célula para a próxima, interrompendo nestes pontos a organização das paredes celulares. A presença destes pontos tende a modificar a orientação das microfibrilas nas suas proximidades e, como consequência, modificar as propriedades físicas locais (Bodig e Jayne, 1982).

2.2.3. Estrutura Celular da Madeira

2.2.3.1. Tipos de Células

A célula é um canal, uma estrutura tubular, consistindo de um número de camadas distintas. Exceto pela presença ocasional de água livre, os elementos anatômicos da madeira são vazios. As madeiras das coníferas são compostas principalmente de células longas - os traqueídes e de curtas e menos delgadas células - os raios medulares. Nas dicotiledôneas as células longas são chamadas fibras. São acompanhadas por células de largo diâmetro e parede fina - os vasos e pequenas células - os parênquimas.

Os traqueídes desempenham dupla função: suporte mecânico e transporte dos líquidos (seiva bruta). As células de parênquima são essencialmente locais de reservas alimentares. Com relação aos vasos, sua função é a condução

de seiva bruta enquanto a função de suporte é desempenhada pelas fibras. A maior parte do volume de uma conífera é ocupada pelos traqueídes. Nas dicotiledôneas, por outro lado, as fibras e os vasos são os mais abundantes tipos de células. O tecido do parênquima é constituído de células curtas e freqüentemente de paredes finas. Muitas das células contidas nos raios da madeira assim como aquelas que rodeiam os dutos de resina têm estrutura similar a esta.

Em geral os traqueídes e as fibras apresentam dimensões uniformes na direção tangencial. Em contraste, uma grande variação dimensional pode ocorrer na direção radial (Hellmeister, 1973).

2.2.3.2. Arranjo das células

O arranjo das células pode ser particularmente importante nas propriedades físicas da madeira. Dadas as inúmeras possibilidades de arranjos, o enfoque aqui será simplificado.

Na figura 2.5 está mostrada a estrutura celular típica das coníferas.

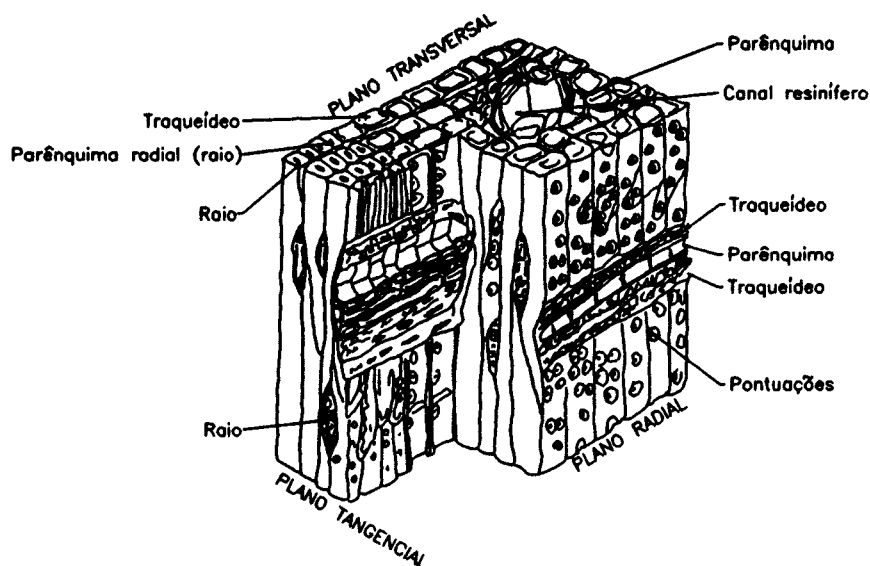


Figura 2.5. - Diagrama do lenho de uma conífera
(MONTANA, 1991).

Nota-se que a maior parte do volume é ocupado por traqueídes com seu eixo longitudinal paralelo ao eixo central da árvore. As dimensões destes traqueídes são bastante diferentes se posicionados na zona de madeira de verão ou de inverno. Note-se também que o eixo longitudinal das células dos raios é orientado na direção radial. O raio da madeira consiste em um agregado de células arranjadas em feixes únicos ou múltiplos. Este agregado, às vezes visto a olho nu, é responsável pela condução de líquidos na direção radial e serve também para armazenar substâncias nutritivas de alimentação quando a árvore está viva. As células dos raios, assim como dos traqueídes, se comunicam entre si por meio de pequenos orifícios, chamados pontuações. Os traqueídes contam ainda com orifícios de comunicação nas

extremidades, que funcionam como válvulas (Hellmeister, 1973).

A organização celular típica das uma dicotiledôneas é mostrada na figura 2.6.

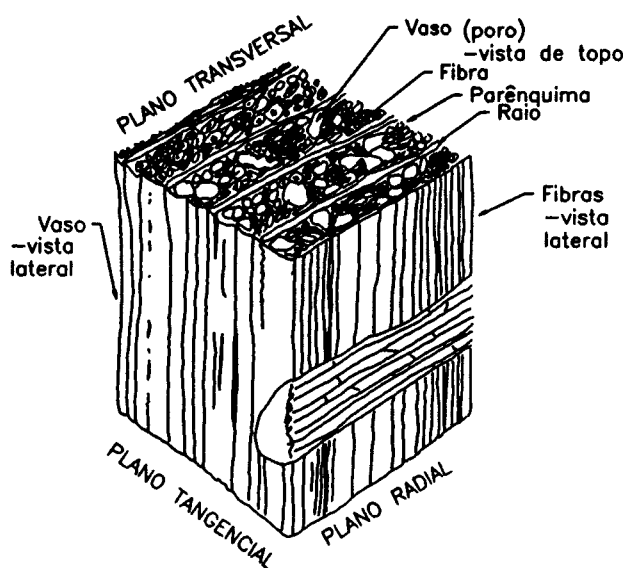


Figura 2.6 - Diagrama do lenho de uma dicotiledônea
(MONTANA, 1991).

As dicotiledôneas não contêm traqueídes nem canais de resina, mas podem possuir dutos de resina. Dicotiledôneas freqüentemente possuem mais tipos de células e conseqüentemente têm uma estrutura mais complexa do que as coníferas.

2.2.3.3. Anéis de Crescimento

Os arranjos das camadas das células chamadas anéis de crescimento possuem um interessante nível de organização na

madeira. O crescimento da madeira em clima temperado, com estações diferenciadas, produz um anel de crescimento a cada ano. As dicotiledôneas, crescidas em clima tropical, por outro lado, podem produzir mais de uma camada de crescimento em um ano, em resposta às variações climáticas. Normalmente, um anel de crescimento é constituído de duas partes distintas. A madeira formada nos períodos de primavera cujo crescimento é mais rápido apresentam freqüentemente elementos anatômicos maiores, paredes celulares mais finas, madeira mais mole e de menor densidade, resistência mecânica mais baixa, mais acessível à água e mais clara. A madeira formada nos períodos de verão, outono e inverno possuem elementos anatômicos de dimensões menores, paredes celulares mais espessas, mais dura, de maior densidade e resistência mecânica mais alta, menos permeável e de cor mais escura. Em grande parte do Brasil, onde as estações do ano não apresentam variações acentuadas é bem menos nítida a distinção entre a madeira de primavera e de verão (Hellmeister, 1973).

O arranjo das várias células numa zona de crescimento e a transição de uma zona para a outra podem ter influência significativa nas propriedades mecânicas da madeira, especialmente nas propriedades na direção transversal (Bodig & Jayne, 1982).

2.2.4. Aspectos Gerais

A figura 2.7 mostra o esquema de um caule em seção transversal. A estrutura celular não pode ser vista neste corte, mas os anéis de crescimento e os raios ficam evidentes.

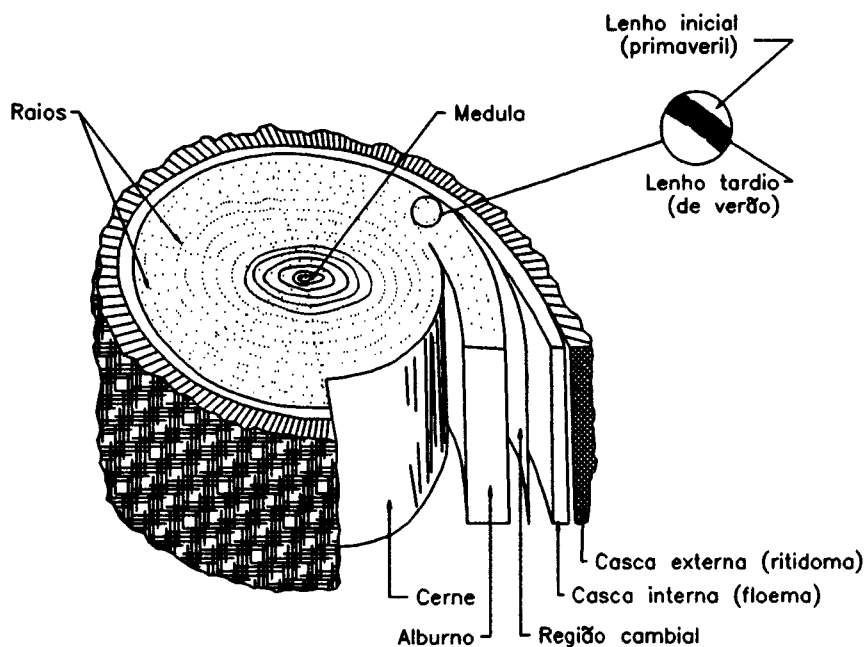


Figura 2.7. - Esquema de um caule em seção transversal
(MONTANA, 1991).

2.2.4.1. Alburno e Cerne

O caule de uma planta jovem consiste inteiramente de células vivas ou funcionais, o alburno, responsável pela condução da seiva bruta e outras atividades vitais associadas com o armazenamento de substâncias alimentares.

Depois de um certo período, que varia com a espécie

árvore e com as condições de crescimento, ocorre a morte do protoplasma das células, dando origem à formação do cerne. Desse modo, sempre a parte mais interna do alburno, com a perda da atividade fisiológica, vai se transformando em novas camadas de cerne. Esta transformação, geralmente marcada por escurecimento dos tecidos, vem acompanhada pela formação de várias substâncias orgânicas conhecidas genericamente por extrativos. A cor escura, no entanto, não necessariamente indica a existência do cerne, uma vez que, em muitas espécies não se nota esta diferença de coloração.

O cerne, portanto, é composto de tecido fisiologicamente morto. De maneira geral, o cerne apresenta permeabilidade mais baixa, resistência natural mais elevada e densidade ligeiramente mais alta do que o alburno (Bodig & Jayne, 1992). Salienta-se no entanto, que, no caso das dicotiledôneas a diferença entre a resistência do cerne e do alburno é bem mais acentuada.

2.2.4.2. Casca

A casca é constituída de duas camadas. Uma delas, mais interna, fina, fisiologicamente ativa, de cor clara, que conduz seiva elaborada, e é denominada de casca interna ou floema. A mais externa, composta de tecido morto, denominada de casca externa, tem a função de proteger os tecidos vivos da árvore contra o ressecamento, ataque de microorganismos, insetos e variações climáticas.

Entre o alburno e a casca interna encontra-se uma camada de células denominada câmbio, que é constituída de

tecido meristemático (divisível), responsável pela formação das células mãe do caule e da casca (Hellmeister, 1973).

2.2.5. Anisotropia da madeira

A madeira, à vista do descrito nos itens anteriores é um material anisotrópico, ou seja, apresenta diferentes propriedades físicas e mecânicas, dependendo do plano que se considera. São três os planos de observação que devem ser considerados em uma peça de madeira: transversal; longitudinal tangencial; longitudinal radial, conforme ilustra a figura 2.8 (MONTANA, 1991).

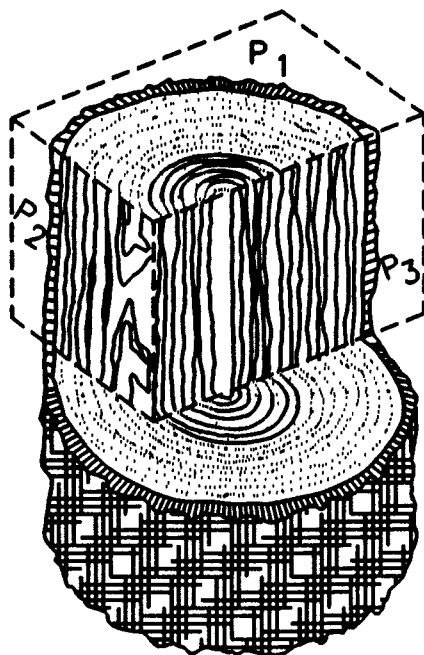


Figura 2.8.- Planos de observação de um tronco:

P_1 = Transversal

P_2 = Longitudinal tangencial

P_3 = Longitudinal radial

(MONTANA, 1991).

2.3. ASPECTOS RELATIVOS À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS NOS MÉTODOS E NORMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

2.3.1. Métodos de Ensaio

Os procedimentos para a realização dos ensaios de tração normal às fibras, propostos por alguns métodos internacionais e nacionais estão indicados a seguir.

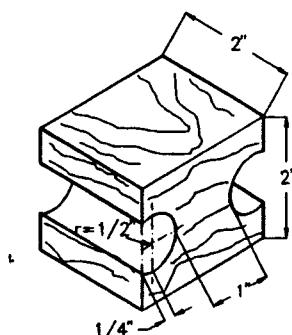
2.3.1.1. A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials)

Propõe seis pares de corpos de prova, seleccionados de seis barras. Um corpo de prova de cada par é ensaiado na direção radial e o outro na direção tangencial.

O corpo de prova utilizado está representado na figura 2.9 destacando-se que apenas a máxima carga é anotada.

O carregamento é aplicado continuamente a uma velocidade de 0,10 in (2,5 mm) / minuto.

Para a verificação da umidade são utilizados corpos de prova de controle, retirados de parte das barras de onde são obtidos os corpos de prova para o ensaio de tração normal às fibras.



Equivalencias metricas

pol	1/4	1/2	1	2
cm	0.6	1.3	2.5	5

Figura 2.9. - Corpo de prova utilizado pelo método de ensaio da A.S.T.M.

2.3.1.2. COPANT (Comision Panamericana de Normas Técnicas)

Apresenta propostas idênticas às da A.S.T.M.

2.3.1.3. ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION)

Propõe o ensaio de tração normal utilizando-se corpos de prova cuja zona de ruptura tenha seção transversal retangular ou quadrada com uma dimensão de 10 a 25 mm, e a outra de 20 a 50 mm. Se a seção transversal na zona de ruptura é na forma de prisma reto, seu comprimento não deve ser menor do que 5 mm. Se não, o raio de curvatura entre as extremidades não pode ser menor do que 12 mm.

As extremidades devem ser de tal forma que proporcionem ruptura dentro da região esperada.

As garras da máquina são fixadas de 10 a 15 mm da região esperada de ruptura. Sugere-se um carregamento com aplicação de carga constante, a uma velocidade tal que a ruptura ocorra em 1,5 a 2,0 minutos depois do início da aplicação da carga. Registra-se apenas o valor da carga na ruptura.

Depois da execução do ensaio sugere-se determinar a umidade utilizando-se corpos de prova de controle.

2.3.1.4. NBR 6230 (antigo MB 26/1940) - Método Brasileiro para Ensaio Físicos e Mecânicos de Madeiras

Propõe a realização do ensaio de quarenta e oito corpos de prova retirados ao lado dos corpos de prova para ensaio de choque, das regiões das extremidades das peças destinadas aos

ensaios de flexão-elasticidade.

O ensaio é realizado em máquina universal, sendo o corpo de prova preso por meio de garras especiais. O aumento da tensão é feito à razão de 25 Kgf/cm² por minuto. A geometria do corpo de prova pode ser vista na figura 2.10.

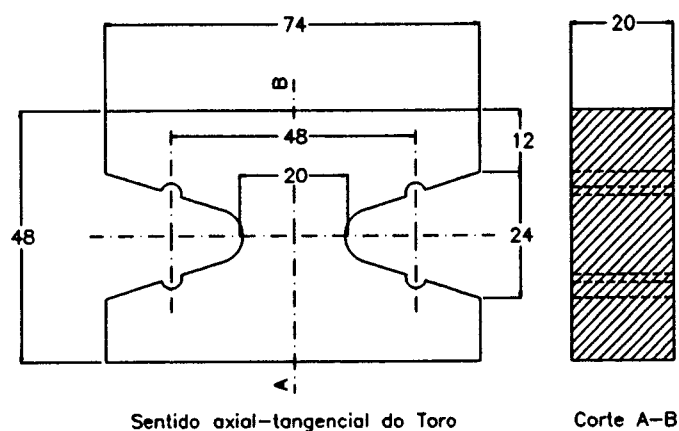


figura 2.10 - Corpo de Prova sugerido pela NBR 6230

2.3.1.5. MÉTODO DO LAMEM (LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MÂDEIRA)

Este método propõe algumas alterações no corpo de prova sugerido pela NBR 6230. A configuração e as dimensões nominais do corpo de prova proposto pelo LAMEM estão mostradas na figura 2.11.

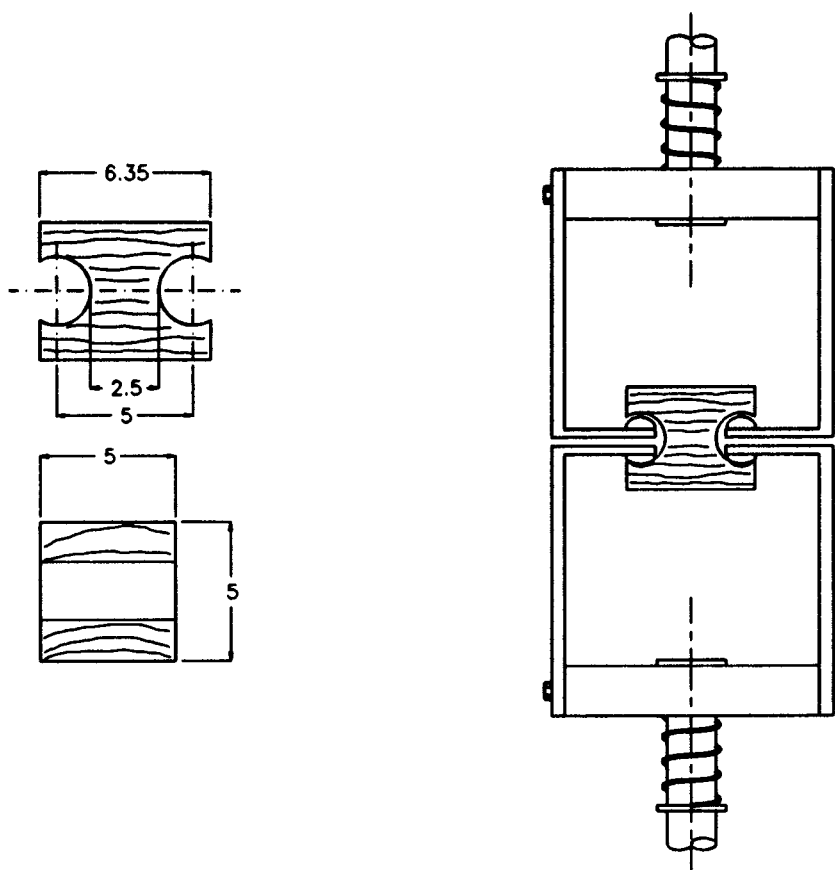


Figura 2.11. Corpo de Prova e Esquema de Ensaio
proposto pelo LAMEM (LAMEM, 1987)

2.3.2. Normas

Poucas normas fazem referência ao cálculo envolvendo a tração normal às fibras. São citadas aqui:

2.3.2.1. EUROCODE 5

São indicadas as condições a serem satisfeitas:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} k_{dis} f_{t,90,d}$$

onde o k_{vol} é tomado de acordo com o efeito do tamanho do volume tensionado (V) e é sempre no máximo igual a um e k_{dis} representa o efeito da distribuição de tensões.

Esta norma registra que os valores de k descritos podem ser determinados assumindo-se os parâmetros da distribuição de Weibull (K_{wei}).

Para um volume tensionado V , maior do que $0,02 \text{ m}^3$, k_{vol} pode ser tomado como:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\frac{1}{K_{wei}}}$$

onde $V_0 = 0,02 \text{ m}^3$ e pode ser assumido $k_{wei} = 5$.

Para uma tensão uniformemente distribuída no volume

$$k_{dis} = 1.$$

Para um volume V com tensão variável

$$\sigma_{t,90} = \sigma(x, y, z)$$

com um valor máximo

$$k_{dis} = \frac{\sigma_{máx}}{\left(\frac{1}{V} \int \sigma(x, y, z) k_{wei} dV \right)^{\frac{1}{k_{wei}}}}$$

2.3.2.2. NDS (National Design Specification)

Esta norma não apresenta nenhuma prescrição específica. Relata apenas que _ "a tração perpendicular na madeira é uma propriedade não estudada amplamente" e, por isso, sugere que situações estruturais onde predominem tensões de tração perpendicular às fibras devem ser evitadas, sempre que possível.

Sugere ainda que, quando tais tensões não puderem ser evitadas, devam ser adotados reforços mecânicos suficientes para resistirem à todas as tensões de tração normal atuantes.

2.3.2.3. NBR 7190 (Norma Brasileira para o Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira)

Apesar do método brasileiro NBR 6230 conter informações a respeito do ensaio de tração normal às fibras, a norma NBR 7190 não registra qualquer indicação a respeito do cálculo de peças estruturais submetidas à referida solicitação.

2.4. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA QUANDO SUBMETIDA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS

Os modos de ruptura mais comuns da madeira submetida à tração normal às fibras podem ser vistos resumidamente na figura 2.12.

Obviamente, esta é apenas uma simplificação. Como será visto adiante, alguns fatores podem se associar, possibilitando a configuração de um modo de ruptura diferente dos apresentados.

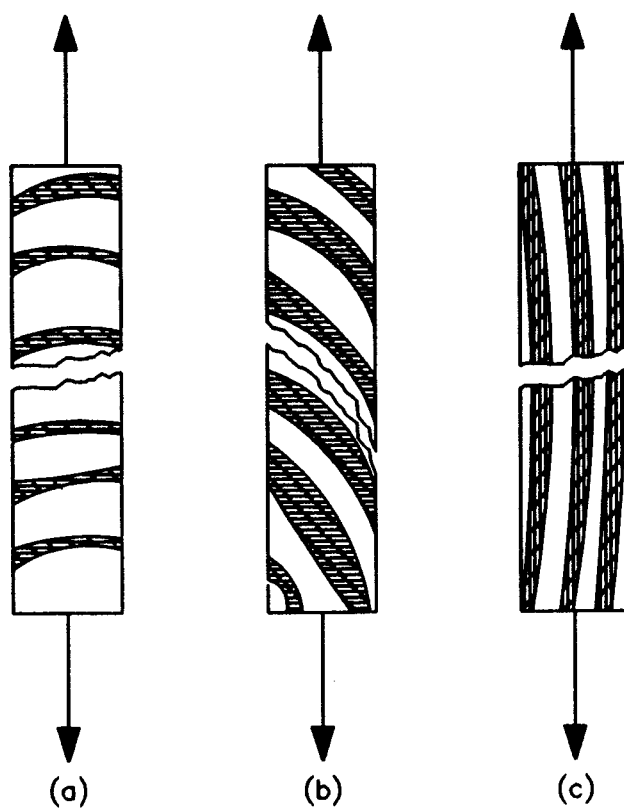


Figura 2.12. - Modos de Ruptura. (a):ruptura na zona de madeira de verão; (b):ruptura por cisalhamento ao longo do anel de crescimento; (c):ruptura nos raios. (Bodig & Jayne, 1982).

Analisando ainda a figura 2.13 pode-se verificar claramente alguns aspectos interessantes:

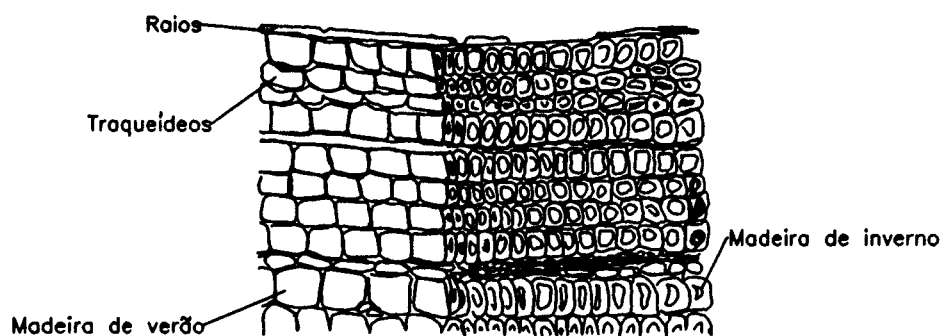


Figura 2.13. - Vista dos elementos anômicos da madeira
(Corte transversal) (Bodig & Jayne, 1982).

- A ruptura do tipo (a) é mais comum quando o carregamento ocorre na direção radial para o caso das coníferas, pois estas apresentam as regiões de madeira de verão e inverno mais claramente definidas.
- A ruptura do tipo (c) ocorre quando o carregamento é na direção tangencial.
- A ruptura do tipo (b) é mais comum no caso de dicotiledôneas com parênquima marginal, pois este possibilita um "caminho" de descontinuidade fragilizante.

A ruptura das paredes celulares sujeitas à tração normal às fibras comumente ocorre na camada S_1 . O modelo de ruptura na parede celular é grandemente influenciado pela quantidade de vazios.

Outro aspecto básico a ser tratado quando se estuda modos de ruptura são as irregularidades existentes no material. É importante salientar que se considera como irregularidades: variabilidades provocadas pelas

características de crescimento da árvore, a direção das fibras, a presença de nós, etc. Todas estas irregularidades provocam grande variedade de modos de ruptura.

Um exemplo de alteração no modo de ruptura provocado pela presença de nós pode ser vista na figura 2.14.

A existência de fibras retorcidas em torno dos nós provoca a ruptura por tração neste ponto. Imediatamente outras partes se rompem por cisalhamento formando-se um "caminho" até as proximidades de outro nó que, pela presença das fibras retorcidas, se rompe também por tração. Este "caminho" formado evidencia um modo de ruptura diferente daqueles usualmente esperados para o caso da tração normal (Bodig & Jayne, 1992).

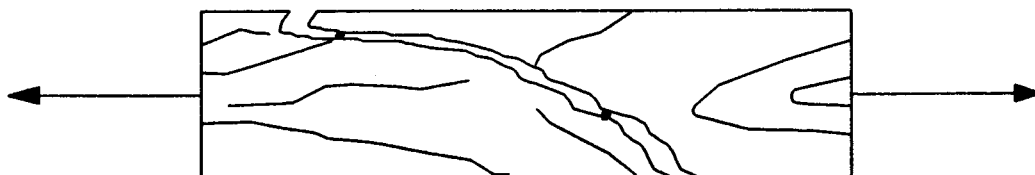


Figura 2.14. - Exemplo de efeito de nós na ruptura à tração normal às fibras. (Bodig & Jayne, 1992).

2.5. ASPECTOS CONSIDERADOS IMPORTANTES NA AVALIAÇÃO DO PROBLEMA DA TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS NA MADEIRA

2.5.1. Dimensão e Geometria do corpo de prova

A relação entre a capacidade de carregamento e a dimensão e forma do corpo de prova, e ainda a distribuição de tensões nas peças já foi documentada para muitos materiais e solicitações mecânicas.

Os efeitos da dimensão, forma e distribuição de tensões observados nos materiais são manifestações da sua resistência tal como é classicamente definido. Assume-se que a resistência é controlada por uma combinação de componentes de tensão, com a ruptura ocorrendo quando uma tensão genérica atinge um valor limite. Este conceito faz uso da resistência média obtida através de um dado número de ensaios em corpos de prova geometricamente similares (Barret, 1974).

As implicações da variabilidade natural observada nos ensaios destes corpos de prova similares são freqüentemente negligenciadas e estas são embutidas em vários efeitos estatísticos (Weibull, 1952).

A dispersão normal nas propriedades dos materiais tem sido atribuída a uma distribuição estatística natural de defeitos característico dos materiais.

A resistência não pode ser completamente representada através da simples média dos valores obtidos na experimentação e sim poderá ser mais adequadamente caracterizada através de uma função distribuição acumulada.

Portanto, o estudo da interferência da dimensão e forma

dos corpos de prova ensaiados ganhou importância e significado quando a preocupação dos pesquisadores passou a ser não apenas a obtenção da média de valores da resistência mas também a determinação da variabilidade natural dos resultados dos ensaios de corpos de prova, mesmo que similares.

Antes de serem apresentados os resumo dos artigos mais importantes neste tópico, serão apresentados breves comentários a respeito de outros estudos realizados no assunto ou ainda resultados obtidos em artigos que os precederam.

Markward e Youngquist (1956) apresentaram resultados de tração normal às fibras mostrando que a redução da largura do corpo de prova utilizado pela ASTM de duas polegadas para uma polegada provocava um aumento de resistência de 254 psi para 312 psi para o caso da espécie Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*).

No que diz respeito à geometria do corpo de prova vale mencionar Thut (1970); Madsen (1972); Schniewind, Lyon e Peterson (1973); Fox (1974); que usaram blocos retangulares (figura 2.15.b) com carregamento uniforme para estudar a resistência da madeira à tração normal às fibras ao invés do corpo de prova usual utilizado pelas normas (figura 2.15.a).

A maior vantagem deste corpo de prova destacado pelos autores mencionados foi a distribuição de tensões mais uniforme e a desvantagem destacada foi a ocorrência de ruptura no ponto de aplicação da carga ou bem próximo a ele.

Stieda (1965) comparou a resistência obtida em corpos de prova executados segundo critérios da ASTM (figura 2.15.a) com corpos de prova simulando pequenas vigas, isentas de defeitos e de diferentes tamanhos (figura 2.15.d) destacando a vantagem da obtenção de distribuição de tensões mais uniformes e diminuição do coeficiente de variação obtido nos ensaios.

Schniewind e Lyon (1973) também estudaram a tração normal às fibras utilizando corpos de prova com geometria diferente da adotada pela ASTM. A geometria do corpo de prova era semelhante à utilizada para a tração paralela às fibras pela ASTM (figura 2.15.c). O principal destaque apresentado foi o da obtenção de distribuição de tensões mais uniforme.

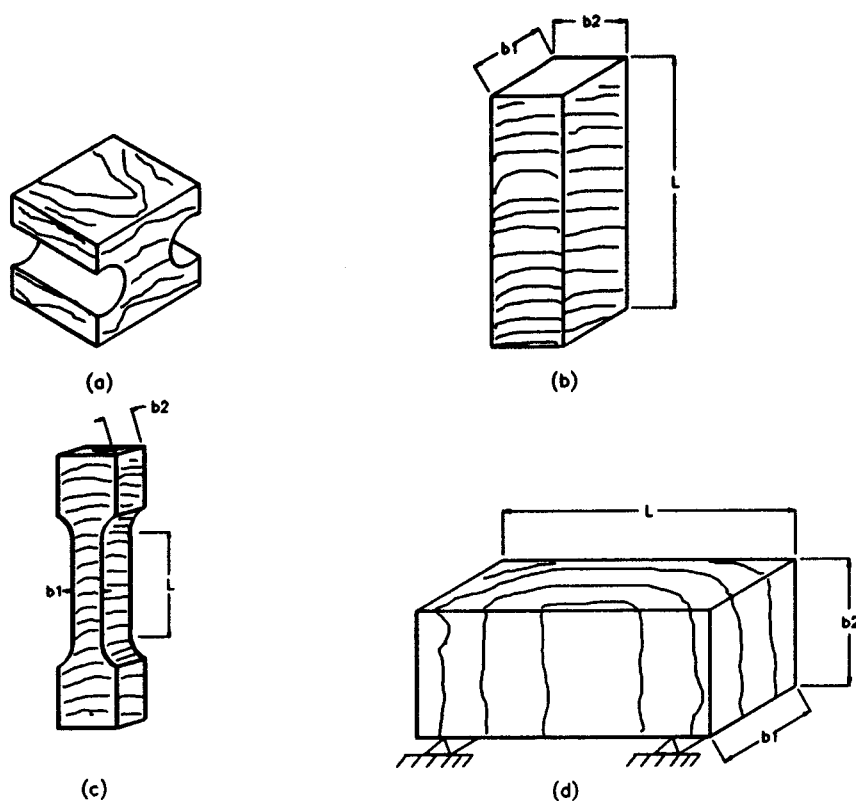


Figura 2.15. - Corpos de Provas usados para medir a resistência à tração normal nos estudos citados.

Seguem-se comentários mais minuciosos de artigos relevantes no assunto.

A - Fox, S.P. (1974) - Strength and stiffness of laminated Douglas-fir blocks in perpendicular-to-glue line tension.

Neste artigo, o autor apresenta um estudo detalhado da tração normal às fibras usando blocos grandes de madeira laminada colada com o intuito de estudar efeitos da seção transversal e comprimento do corpo de prova na resistência.

Os resultados obtidos na experimentação realizada estão sumarizados na tabela 2.1 onde n é o número de corpos de prova ensaiados.

Dimensões nominais (inches)	n	Volume médio (inch ³)	Resistência média (psi)
3 x 3 x 7	29	66	191
3 x 3 x 22	75	187	152
5 x 5 x 7	28	172	171
5 x 5 x 22	66	506	126

Tabela 2.1. - Resultados de Resistência à tração normal às fibras em blocos da madeira laminada colada - espécie: Douglas-fir.

Estes resultados mostram que ambas as variações (comprimento e seção transversal) influenciaram na resistência.

Posteriormente foram anexados aos resultados deste artigo três outros ensaios realizados por Fox aproximadamente três anos depois da experimentação sumarizada na tabela 2.1. Tais resultados estão sumarizados na tabela 2.2.

Dimensões nominais (inches)	n	Volume médio (inch ³)	Resistência média (psi)
2 x 2 x 4	30	16	355
2 x 2 x 20	30	80	181
10,75 x 10,75 x 34	22	3650	100

Tabela 2.2. - Resultados adicionais de resistência à tração normal às fibras em blocos de madeira laminada.

Espécie: Douglas-fir

A análise estatística mostrou que mudanças no comprimento do corpo de prova (7 para 22 polegadas) e que mudanças na seção transversal (3 x 3 para 5 x 5 polegadas) produziram mudanças significativas na resistência.

O autor não apresenta modelo matemático para quantificar a variação da resistência com as dimensões dos corpos de prova.

B - Barret, J. D. (1974) - Effect of size on tension perpendicular to grain strength of Douglas-fir.

Neste artigo, o conceito de materiais frágeis foi aplicado para prever a relação entre volume e capacidade de carregamento para corpos de prova de Douglas-fir submetidos à tração normal às fibras. São apresentados efeitos de variabilidade do material na resistência. Os conceitos

estatísticos empregados por Weibull (1939) foram usados para quantificar o efeito do tamanho do corpo de prova na resistência à tração perpendicular às fibras para Douglas-fir.

Para este estudo, o autor se baseia nos resultados experimentais obtidos pelos diversos autores citados no início do capítulo (item 2.5.1). O artigo apresenta um modelo teórico para relacionar o efeito da dimensão do corpo de prova na resistência à tração normal às fibras.

Inicialmente foi apresentada a teoria de Weibull para quantificar o efeito da distribuição de tensões e volume na resistência dos materiais. Foi assumido que a resistência de corpos de prova de volumes unitários são representados através de uma função distribuição acumulada. Segundo o autor a função de distribuição das resistências é chamada de $F(x)$, onde $F(x) = P(X < x)$ e \underline{x} e \underline{X} são respectivamente a tensão generalizada e a componente de resistência. A distribuição de frequência $f(x)$ é obtida da distribuição acumulada de acordo com $f(x) = d F(x)/dx$.

Dadas estas definições de resistência é preciso, ainda, prever o comportamento de uma estrutura contendo n unidades de volume. Neste ponto é necessário assumir algumas hipóteses a respeito da ruptura de materiais.

Para este propósito Johnson (1971) considerou três tipos de materiais:

- . Materiais perfeitamente frágeis: nos quais o colapso total ocorre quando o ponto fraco entra em ruptura.

- . Materiais perfeitamente plásticos: nos quais a

ruptura ocorre quando a máxima capacidade de carga de qualquer seção transversal é atingida.

. Materiais frágeis: não atendem ao conceito da ligação fraca, isto é, a capacidade máxima de carregamento não necessariamente coincide com a fratura do elemento mais fraco.

Weibull (1939) desenvolveu uma teoria para explicar o efeito do volume e da distribuição de tensões na resistência aplicado a materiais perfeitamente frágeis.

Usando a analogia da corrente, o efeito do número de volumes elementares pode ser calculado usando a função distribuição acumulada para o volume elementar. $F(x)$ fornece a probabilidade da resistência ser menor do que x ; por outro lado $1-f(x)$ dá a probabilidade da resistência se tornar maior do que x . A probabilidade de que uma corrente de n ligações tenha resistência maior ou igual a x é dada por:

$$1-F_n(x) = [1-f(x)]^n = S_n \quad (1)$$

Onde F_n é a distribuição de probabilidades para a corrente de n ligações e S_n é a probabilidade de sobrevivência.

Tomando os logaritmos:

$$\ln S_n = B = n \ln[1-f(x)] \quad (2)$$

Se o volume elementar tem unidade de volume, então a

função distribuição acumulada tem a forma :

$$Fv = 1 - \exp (b) \text{ onde } B = V \ln [1 - f(x)]$$

Cada volume elementar dV é dado por:

$$dB = n(x) dV \text{ onde } n(x) = \ln [1 - f(x)]$$

Por outro lado, dB é uma função da posição e o valor total de B é dado por:

$$b = \int n(x) dv \quad (3)$$

Neste ponto há que considerar o efeito do número de elementos na resistência quando os elementos são assumidos agindo em série. Neste caso, é óbvio que a resistência do elemento mais fraco controla a resistência da estrutura. Weibull também persuadiu a crer que os mesmos conceitos aplicados ao modelo do elo-fraco se aplicam a elementos em paralelo.

Certamente é possível visualizar estruturas onde este não é o caso - por exemplo, estruturas compostas de cordões paralelos onde a ruptura de um único componente redistribui a carga para os demais componentes. Este tipo de material não pertence à classe dos materiais perfeitamente frágeis.

Usando os conceitos apresentados, Weibull conseguiu mostrar o efeito do volume e distribuição de tensões na resistência.

Johnson (1971) estudou a distribuição de valor extremo em detalhes e seu relacionamento com o tamanho, forma e efeito da distribuição de tensões. Usando muitos argumentos gerais é possível mostrar que três tipos de distribuições

exponenciais podem ser possíveis, as quais são chamadas de Tipo I, II e III - distribuições de valor extremo.

A do tipo III é dada por Gumbel (1958):

$$P(X \leq x) = F(x) = 1 - \exp[-(\rho(x-x_1))^k] \quad (4)$$

onde ρ é o fator de escala e x_1 é um limite inferior arbitrário de valores possíveis. Esta distribuição é idêntica à encontrada por Weibull (1939). A diferença está apenas na forma de apresentação de B, que poderia ser aqui dado por:

$$B = \ln(x) dv = \int \left[\frac{(x-x_1)}{x_0} \right]^k dv \quad (5)$$

produzindo uma distribuição de função acumulada da forma geral

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \int \left(\frac{(x-x_1)}{x_0} \right)^k dv \right] \quad (6)$$

Se for assumido o volume carregado uniformemente, então:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{(x-x_1)}{x_0} \right)^k V \right] \quad (7)$$

Para avaliar a variação da resistência com o volume em corpos de prova geometricamente similares com carregamentos similares é empregada a equação ora definida. Assume-se que a distribuição função acumulada, $F(x)$, é determinada para um corpo de prova de volume V_1 . Então, assumindo $x_1 = 0$ na equação (7):

$$F(x) = 1 - \exp\left[\left(-\frac{x}{x_0}\right)^k V_1\right] \quad (8)$$

e os valores de k e x_0 são obtidos através do ajuste de dados experimentais.

A resistência de corpos de prova de volume V_2 é obtida considerando-se um valor fixado de $F(x) = 0,5$; então:

$$\exp\left[\left(-\frac{x_1}{x_0}\right)^k V_1\right] = \exp\left[\left(-\frac{x_2}{x_0}\right)^k V_2\right] \quad (9)$$

e

$$x_1^k V_1 = x_2^k V_2 \quad (10)$$

Portanto

$$x_2 = x_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (11)$$

Efeitos de diferentes distribuições de tensão e volumes em corpos de prova podem ser conseguidos através da generalização do método desenvolvido para o estudo do efeito isolado do volume. A integral a ser avaliada em todos estes casos é:

$$\int \left(\frac{x}{x_0}\right)^k dv \quad (12)$$

a qual nos casos gerais pode ser expressa da forma:

$$\int \left(\frac{x}{x_0}\right)^k dv = \left(\frac{x_{\max}}{x_0}\right)^k \psi V \quad (13)$$

Onde V é o volume do corpo de prova e ψ uma constante que depende da distribuição de tensões e do parâmetro de forma (para uma distribuição uniforme de tensões $\psi = 1$).

Da equação (1), define-se a probabilidade de sobrevivência S e usando a equação (13):

$$S = 1 - F(x) = \exp \left[- \left(\frac{x_{\max}}{x_0}\right)^k \psi V \right] \quad (14)$$

Avaliando a equação 13 para um corpo de prova submetido à flexão:

$$\int \left(\frac{x}{x_0}\right)^k dv = \frac{\left(\frac{\sigma_B}{\sigma_0}\right)^k V_B}{2(k+1)^2} \quad (15)$$

Onde σ_f é a máxima tensão normal no corpo de prova submetido à flexão, V_B é o volume do corpo de prova de flexão, σ_c e k são os parâmetros de escala e forma respectivamente.

Analogamente, para um volume carregado equivalentemente na tração pura, o cálculo pode ser feito de acordo com:

$$\int \left(\frac{x}{x_0}\right)^k dv = \frac{\left(\frac{\sigma_T}{\sigma_0}\right)^k V_T}{2(k+1)^2} \quad (16)$$

Portanto:

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = \left[\frac{V_B}{2V_T(k+1)^2} \right]^{\frac{1}{k}} \quad (17)$$

É também importante para análises subseqüentes observar que se assumido o modelo de ligação-fraca como uma hipótese, então a teoria prevê que a relação entre a resistência e o volume para corpos de prova similares, similarmente carregados pode ser linear dada por um gráfico log-log (equação 15).

$$S = \exp \left[- \left(\frac{x_{\max}}{x_0} \right)^k \psi V \right] \quad (18)$$

e portanto:

$$\ln \left(\frac{1}{S} \right) = \left(\frac{x_{\max}}{x_0} \right)^k \psi V \quad (19)$$

concordantemente

$$\log x_{\max} = a - \left(\frac{1}{k} \right) \log V \quad (20)$$

onde:

$$a = \left(\frac{1}{k} \right) \log \left[\ln \left(\frac{1}{S} \right) \right] + \log x_0 - \left(\frac{1}{k} \right) \log \psi \quad (21)$$

A aplicabilidade das hipóteses da ligação-frágil pode ser conseguida através do estudo da relação entre o logaritmo da tensão de ruptura e o logaritmo do volume do corpo de prova para estruturas geometricamente semelhantes com distribuição de tensões similares. A inclinação da relação pode ser a inversa do parâmetro de forma.

Neste ponto do artigo o autor passa a trabalhar com a aplicação do modelo até agora descrito para a resistência à tração normal às fibras.

Para avaliar a validade do modelo teórico ora apresentado o Barret (1974) usou os resultados experimentais obtidos por outros autores em pesquisas anteriores. Estes resultados estão sumarizados nas tabelas 2.3 e 2.4.

Dimensões nominais (pol)	n	volume médio (pol ³)	ftn médio (psi)	desvio padrão (psi)	coef. de var.	autor
3 x 3 x 7	29	66	191	49	0,26	Fox-1974
3 x 3 x 22	75	187	152	59	0,39	Fox-1974
5 x 5 x 7	28	172	171	49	0,29	Fox-1974
5 x 5 x 22	66	506	126	37	0,30	Fox-1974
2 x 2 x 4	30	16	355	100	0,28	Fox-1974
2 x 2 x 20	30	80	181	71	0,39	Fox-1974
10,75 x 10,75 x 34	22	3650	100	19	0,19	Fox-1974
4,5 x 4,5 x 13	22	263	128	42	0,33	Thut-1970
5,13 x 5,13 x 24	15	632	141	42	0,30	Madsen-1972
2,5 x 2,5 x 9	44	56	198	67	0,34	Peterson-73

Tabela 2.3 - Valores referentes a ensaios de tração normal às fibras em blocos de madeira laminada colada - Espécie: Douglas-fir, material comercial

Dimensões nominais (pol)	n	volume médio (pol ³)	ftn médio (psi)	desvio padrão (psi)	coef. de var.	autor
5,13 x 5,13 x 24	11	632	191	40	0,21	Madsen
ASTM	374	-	443	154	0,35	Stieda
1,5 X 1,5 X 2,0	23	4,5	911	111	0,12	Stieda
1,5 x 2 x 2	25	6	836	131	0,16	Stieda
1,62 x 2 x 6	18	19,5	360	87	0,24	Lyon
Idem tração paral.	25	.225	564	123	0,21	Schniewind

Tabela 2.4 - Valores referentes à ensaios de tração normal às fibras em blocos de madeira laminada colada
- Espécie: Douglas-fir, material isento de defeitos

Observações: . Todos os resultados se referem a madeira seca ao ar
. Os esquemas dos corpos de prova citados na tabela podem ser vistos na figura 2.15.
. O terceiro e o quarto blocos citados na tabela se referem a ensaios de flexão (com as fibras orientadas de modo a se ter tração normal às fibras na ruptura)

Retornando à equação 20, observa-se que o gráfico log-log da resistência x volume pode ser linear. O autor plota

então, desta maneira todos os resultados encontrados (tabelas 2.3 e 2.4).

Inicialmente foram calculados os coeficientes da regressão linear a e k da equação 20 para todos os resultados, separando-se os obtidos com material comercial e com material isento de defeitos. Estes coeficientes foram sumarizados na tabela 2.5.

	isento de defeitos			comercial			Todos os C.Ps.		
Dados	a	k	R2	a	k	R2	a	k	R2
indiv	2,67	7,68	0,76	2,68	4,58	0,35	2,66	4,88	0,54
média	2,68	7,37	0,97	2,66	4,86	0,83	2,66	5,18	0,85

Tabela 2.5 - Resultados de regressão dos valores de ensaios de tração normal às fibras para corpos de prova isentos de defeitos e corpos de prova de madeira laminada colada.

As conclusões da análise estatística efetuada pelo autor se basearam no coeficiente de correlação (R2) e foram as seguintes:

- . A resistência à tração perpendicular às fibras na madeira da espécie Douglas-fir é grandemente afetada pelo volume .
- . A relação resistência-volume observada pode ser descrita pelo conceito de ligação-fracca baseada nos parâmetros da distribuição função acumulada de Weibull. Isto pode ser

constatado através dos valores do coeficiente de correlação que indicam o bom ajuste.

. Os dados experimentais sugerem que um ensaio rápido com um corpo de prova de 10.000 inches³ poderá fornecer uma resistência média ao redor de 65 psi, correntemente aceita tensão admissível de trabalho para condição seca de serviço e carga de duração normal.

. Os dados experimentais sugerem que a magnitude do efeito do tamanho do corpo de prova na resistência depende da qualidade do material do corpo de prova.

2.5.2.- Aspectos referentes ao ensaio

C - FELDBORG, T (1991) - Determination of some mechanical properties of timber in structural sizes.

Neste artigo o autor destaca a inexistência de um procedimento experimental internacionalmente aceito para o caso da tração e compressão perpendicular às fibras na madeira e comenta, para estes casos, o resultado da experimentação proposta pelo Danish Building Research Institute (Dinamarca). Aqui está descrita a parte do método que se refere à tração normal.

A figura 2.16 mostra o corpo de prova e as condições de carregamento estudadas, onde b é a largura do corpo de prova; l é o comprimento na direção da fibra e corresponde a aproximadamente $1,5 b$; e é a excentricidade da carga em relação à direção b e y indica o movimento de transferência de carga para as bases de aço. Foram executadas dez

repetições.

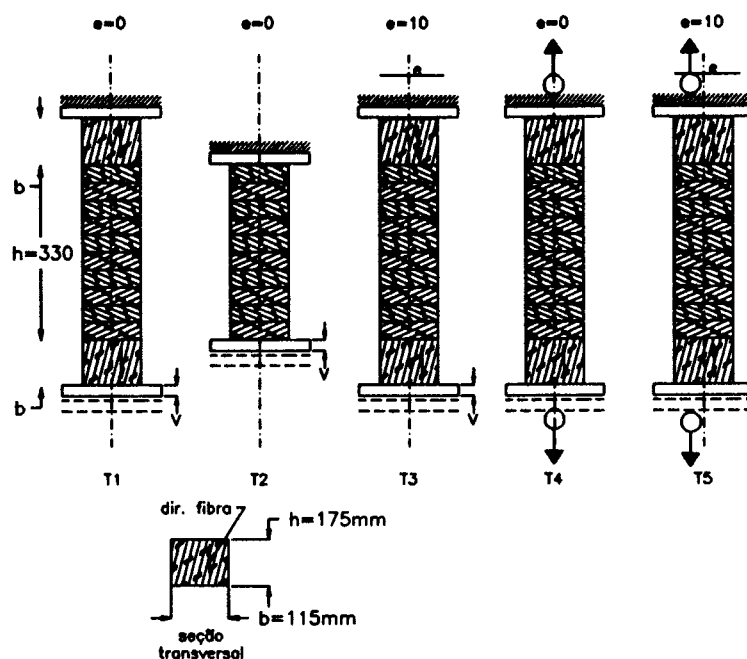


Figura 2.16- Corpos de prova e condições de carregamento
Dimensões em mm (Feldborg, 1991).

Os corpos de prova foram executados de viga laminada da espécie spruce. As vigas tinham laminações de 33 mm. Os corpos de prova foram cortados das vigas e distribuídos ao acaso pelas séries de ensaios com um corpo de prova de cada série por viga.

Os corpos de prova foram armazenados durante o teste em temperatura de aproximadamente $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 3\%$.

Os corpos de prova das séries T1, T2, T3 foram

ensaiados com um apoio fixo e outro recebendo o deslocamento de tração. A intenção foi medir a tensão atuante no corpo de prova.

Tração com apoios móveis (T4 e T5) foram usadas para ser possível a escolha da posição de carregamento: axial ou excêntrico.

Os ensaios foram executados em máquina de ensaios utilizando carregamento contínuo com velocidade de carregamento de 5 ± 1 kN por minuto. Os alongamentos eram medidos pela média de três transdutores montados nos lados do corpo de prova: um no meio de um lado e dois próximos às extremidades do outro lado. As medidas eram tomadas a cada 10 segundos.

Os valores das densidades mínima, média e máxima dos cinquenta corpos de prova utilizados foram 455, 470 e 490 Kg/m³, com coeficiente de variação de 1,8%. A umidade no ensaio foi de $15 \pm 1\%$ para todos os corpos de prova.

Um exemplo de curva tensão x deformação obtida pode ser vista na figura 2.17.

O tipo sistemático de ruptura observada foi a ruptura frágil, ocorrendo sem prévia advertência. A linha de ruptura ocorreu ao longo dos anéis de crescimento. A localização da ruptura se distribuiu ao acaso dentro da laminação. A tabela 2.6 sumariza alguns resultados obtidos.

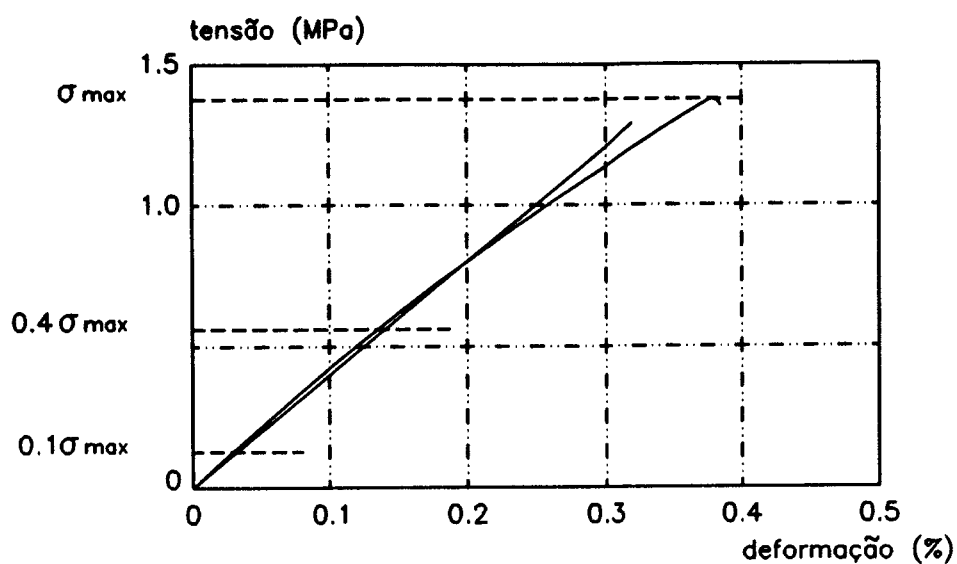


Figura 2.17. - Exemplo de curva tensão deformação
(Feldborg, 1991).

Séries	E (Mpa)	δ %	σ máx Mpa	δ %	$e_{\text{máx}}/$ $e_{\text{médio}}$	δ %
T1	315	12	1,11	15	1,16	8
T2	338	14	1,10	19	1,11	6
T3	330	8	1,08	9	1,14	10
T4	327	10	1,17	16	1,16	10
T5	329	10	1,10	13	1,78	9

Tabela 2.6.- Média dos valores de deformações e resistências para as cinco condições de carregamento; δ é o coeficiente de variação.

Os testes foram feitos com diferentes condições de fixação do corpo de prova e diferentes excentricidades. Isto mostra que devido à não homogeneidade na fixação do corpo de prova num ensaio, uma tensão uniforme pode não ser alcançada e que condições próximas levam a resultados similares:

- . O carregamento axial do corpo de prova conectado com o apoio rígido com inserção de blocos de madeira (T1)
- . O carregamento axial do corpo de prova conectado diretamente no apoio rígido (T2)
- . O carregamento excêntrico do corpo de prova conectado no apoio rígido com inserção de blocos de madeira (T3)
- . O carregamento axial do corpo de prova conectado nos apoios móveis fixados com inserção de blocos de madeira (T4)

Em todos estes casos, foram obtidas resistências e módulos de elasticidade similares. Sistemática não uniformidade de tensões foi verificada nas condições:

- . O carregamento axial excêntrico do corpo de prova conectado em apoios móveis com inserção de blocos de madeira (T5)

Visto que os resultados da série T5 não diferiram significativamente dos demais, conclui-se que a rigidez da fixação não tem influência importante.

Os resultados de T2, incluindo a localização da ruptura, não diferem significativamente da série T1, de onde se conclui que a inserção de blocos de madeira não é necessária.

Como conclusão geral, os testes mostraram que:

- . diferentes métodos de ensaio levaram, na maioria dos casos, a resultados próximos

. ensaios com fixação rígida são recomendados porque simulam melhor o que ocorre na prática.

2.5.3. Duração da Carga

D - Madsen, B. (1975) - Duration of load tests for wood in tension perpendicular to grain.1975.

Neste artigo, o autor destaca o fato de que, no corpo de prova pequeno e isento de defeitos utilizado nos ensaios de flexão, a linha da fibra constitui uma zona de tração resistente, e a ruptura, portanto se inicia na zona de compressão prenunciada com o desenvolvimento de trincas.

O material comercial, ou seja, retirado sem a preocupação de se evitarem defeitos e com dimensões maiores, pode possuir uma zona de tração enfraquecida pela presença de nós e desvios de fibras. Estas zonas podem provocar a ocorrência de tração perpendicular às fibras. Neste caso, a ruptura é, em geral, iniciada com carregamento muito abaixo da capacidade da zona de compressão.

Portanto, se o mecanismo de ruptura contem um elemento de tensão de tração perpendicular às fibras, é importante conhecer qual a relação tempo-resistência para tensões de tração perpendicular às fibras.

Madsen destaca ainda que o Código Nacional de Construções do Canadá entre outros permite o acréscimo na tensão admissível para cargas rápidas na tração perpendicular às fibras como para outras propriedades de resistência da madeira. Da mesma forma, são também adotadas reduções na

resistência depois de um período de dez anos de uso.

Entretanto, o autor apresenta a preocupação de que trabalhos executados com madeiras comerciais submetidas à flexão e ao cisalhamento indicaram que a relação tempo-resistência pode apresentar resultados muito diferentes do que os conceitos até agora embutidos nas reduções citadas.

Alguns destes trabalhos, acrescenta Madsen mostraram que materiais isentos de defeitos apresentam um decréscimo marcante de resistência com o tempo, mas que materiais enfraquecidos por conterem nós e desvios de fibras não exibem um decréscimo tão acentuado na resistência com o tempo.

Neste trabalho, o autor apresenta um programa de ensaios elaborado para investigar o efeito da duração da carga na resistência à tração perpendicular às fibras executados na Universidade de British Columbia em 1971 e 1972. Foram ensaiados à ruptura cento e oitenta corpos de prova da espécie Douglas-fir, utilizando-se incrementos de carga constantes aplicados em seis grupos de intervalos de tempo. Através da variação do tempo entre incrementos de carga, diferentes velocidades de carregamento foram obtidas (tabela 2.7).

O incremento de carga usado nas velocidades 1 e 2 provocaram acréscimos de tensão de 6,25 psi. Para as outras velocidades de carregamento o incremento de tensão foi de 7,10 psi.

VELOCIDADE	INTERVALO ENTRE INCREMENTOS DE CARGA	TEMPO APROXIMADO PARA RUPTURA (min)	VELOC.MÉDIA DE CARREGAMENTO (psi/min)
1	4,5 segundos	1	84
2	4,5 segundos	10	8,5
3	7,5 minutos	100	0,95
4	75 minutos	1000	0,095
5	12 horas	10000	0,0099
6	5 dias	100000	0,00099

Tabela 2.7.- Velocidades de carregamento

Os corpos de prova foram feitos de blocos de madeira colados de 5 1/8 polegadas x 5 1/8 polegadas x 24 polegadas, cortados de seis vigas coladas de Douglas-fir. Das seis vigas, três eram de material isento de defeitos e as outras de material comercial. O esquema de carregamento pode ser visto na figura 2.18.

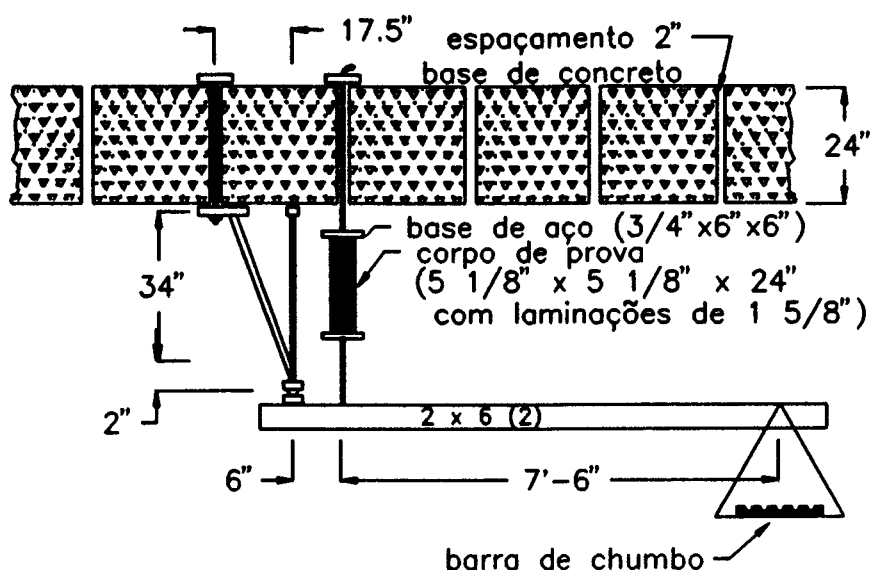


Figura 2.18 - Corpo de Prova e Esquema de carregamento
(Madsen, 1975)

Cerca de 50% dos corpos de prova feitos com material isento de defeitos romperam na estreita zona adjacente à linha de cola. Este fato foi explicado pelo autor como decorrente da rigidez dos anéis de crescimento anual de madeira de verão colada com a resistente madeira de inverno em laminações adjacentes provocando distribuições desiguais de tensão ao longo da linha de cola.

Foram descartados os corpos de prova nos quais, depois do ensaio, eram identificados defeitos anteriormente não observados no material.

Para o material comercial notou-se que a porcentagem de ruptura na linha de cola crescia com o tempo de ruptura e que as rupturas em torno dos nós se tornavam mais raras.

As tensões de ruptura para cada corpo de prova e o

tempo para a ruptura de cada um foram então obtidos para os corpos de prova confeccionados com material isento de defeitos e com material comercial. Os valores médios das tensões e os respectivos desvios padrões podem ser vistos nas tabelas 2.8 (corpos de prova confeccionados de material isento de defeitos) e 2.9. (corpos de prova confeccionados de material comercial).

Tempo aprox. para ruptura (min)	n	Tensão de Ruptura média (psi)	Desvio Padrão (psi)
1	11	191,2	39,79
10	13	166,6	37,94
100	13	158,1	28,05
1000	13	141,8	45,76
10000	11	110,4	32,57
100000	15	84,5	32,40

Tabela 2.8. -Tensão de Ruptura para corpos de prova confeccionados com material isento de defeitos

Tempo aprox. para ruptura (min)	n	Tensão de Ruptura média (psi)	Desvio Padrão (psi)
1	15	141,2	42,44
10	15	136,7	45,02
100	14	117,7	39,46
1000	15	93,2	24,91
10000	15	70,7	32,99
100000	15	92,3	13,39

Tabela 2.9. -Tensão de Ruptura para corpos de prova confeccionados com material comercial

Foram também estimados os percentis (10,20,25,50,75 e 90) da distribuição para cada velocidade de carregamento. Os resultados destes cálculos são mostrados nas figuras 2.19, 2.20 e 2.21 para corpos de prova executados com material isento de defeitos, material comercial e com todos os resultados combinados respectivamente. Na abcissa é plotado o logaritmo do tempo aproximado para a ruptura e na ordenada a tensão de ruptura.

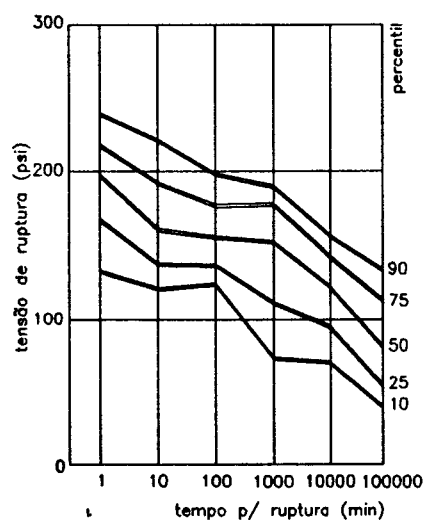


Figura 2.19 - Tensão de Ruptura x tempo - c.ps. isento de defeito (Madsen, 1975).

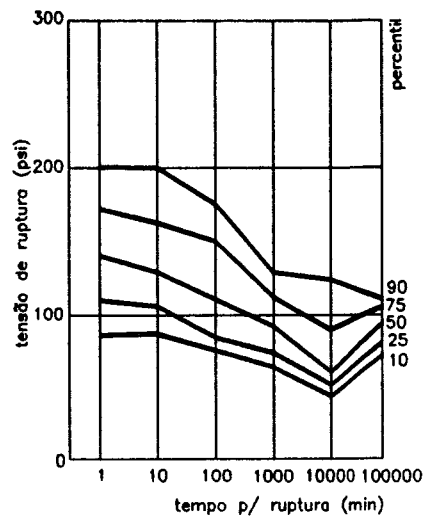


Figura 2.20 - Tensão de Ruptura x tempo - material comercial (Madsen, 1975).

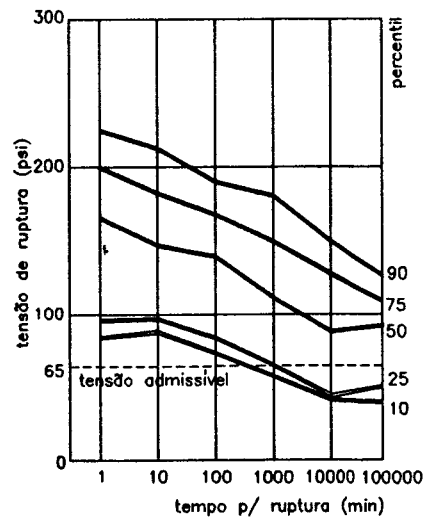


Figura 2.21 - Tensão de Ruptura x tempo - combinação dos resultados (Madsen, 1975).

Pesquisas anteriores, usando outros tipos de solicitação, mostraram grande dependência entre tempo e resistência apenas para os corpos de prova de material isento de defeitos. Para o caso da tração normal este resultado, no entanto, foi bastante diferente. Pode ser visto pelas figuras 2.19 e 2.20 que uma grande redução na resistência se verifica para ambos os casos.

Notou-se também que no corpo de prova de dimensões maiores, usado neste trabalho, foi obtida uma tensão de tração perpendicular às fibras no ensaio rápido inferior à do corpo de prova adotado pela ASTM.

Os resultados obtidos nos ensaios levaram o autor às seguintes conclusões:

- . Existe uma redução bastante pronunciada da resistência à tração normal às fibras com o tempo.
- . A redução não se mostrou grandemente dependente da qualidade do material utilizado.
- . Os corpos de prova de 5 1/8 polegadas por 5 1/8 polegadas por 24 polegadas usados para estes ensaios fornecem valores de tração perpendicular às fibras bem abaixo dos obtidos com os corpos de prova adotados pela ASTM.

Observa-se neste artigo a preocupação do autor com relação às alterações nos resultados das resistências devidas às alterações do volume do corpo de prova utilizado no trabalho.

E - Bach, I. (1975) - Failure perpendicular to the grain in wood subjected bending loads.

Neste artigo, o autor cita trabalhos realizados para a compressão normal com o intuito de verificar o efeito da duração da carga na resistência e acrescenta que o estudo realizado teve a finalidade de investigar o tempo para ruptura para carregamentos contínuos perpendiculares às fibras na madeira. Cita ainda o trabalho de Madsen, já resumido no item 2.5.3.1. No entanto, declara que nestes trabalhos não existem resultados para corpos de prova obtidos a partir de uma única peça de madeira.

Salienta ainda que o mecanismo de dependência do tempo na ruptura em peças sujeitas à flexão com carregamento perpendicular às fibras pode ser visualizado como um sistema entrelaçado de celulose, hemicelulose e lignina, onde o estiramento, o deslizamento e a quebra gradual da cadeia ocorrem. A relação de deformação da cadeia do polímero é um processo dependente do tempo.

O carregamento de uma viga com momento de flexão externo e constante pode provocar redistribuição de tensões dependentes do tempo até o nível molecular. Considerando segmentos maiores da viga, a dependência do tempo na redistribuição de tensões é também observada, pois têm-se evidências de que a fração de arrastamento perpendicular às fibras é maior na compressão do que na tração.

Se for assumido que esta diferença existe para o caso da espécie estudada, o eixo neutro da viga poderá mover-se em direção à face de tração durante o carregamento. Isso

implica que um macro segmento na face de tração da viga será exposto à Acréscimo de tensão durante o carregamento.

Duzentos e quarenta vigas de madeira laminada da espécie Scotch pine (*Pinus silvestris*) de dimensões 2 cm por 5 cm por 30 cm foram retiradas de barras de madeira coladas com resina. A orientação longitudinal das fibras era perpendicular ao eixo longitudinal da viga. Todos os corpos de prova eram isentos de defeitos e o esquema de carregamento é mostrado na figura 2.22.

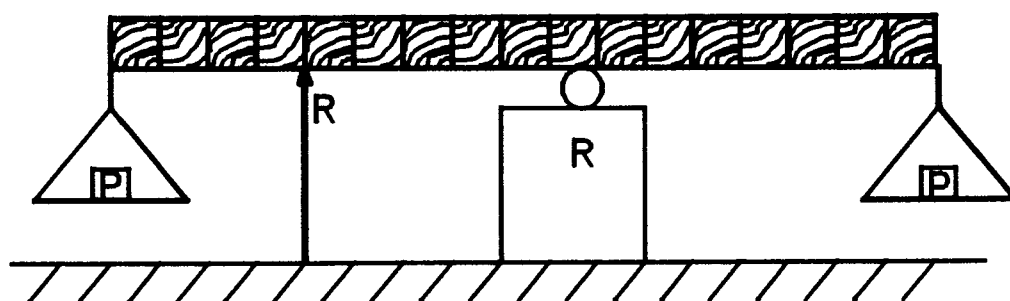


Fig 2.22. - Esquema de carregamento (Bach, 1975).

O valor nominal da tensão foi calculada:

$$F = \frac{M}{S}$$

onde F = máxima tensão normal na peça fletida

M = máximo momento de flexão

S = módulo de resistência da seção transversal = $bh^2/6$

Em cento e vinte das duzentos e quarenta vigas foram feitos ensaios rápidos com acréscimos de carga constantes até a ruptura (em aproximadamente 20 a 30 segundos).

As vigas restantes foram ensaiadas com aproximadamente 90-80-70-60-50 por cento da carga de referência dada pelo carregamento rápido em aproximadamente 15 segundos.

O tempo para romper foi anotado por inspeção visual. A nenhum experimento era permitido avançar mais do que seis meses. O experimento foi realizado em um laboratório com controle ambiental que mantinha a umidade dos corpos de prova entre 11 e 13 por cento.

A figura 2.23 apresenta a tensão normal na peça fletida submetida a carregamento de longa duração em função do tempo para romper (abaixo de seis meses).

É apresentada uma regressão linear da resistência com o logaritmo do tempo em minutos com a seguinte expressão:

$$f = 51,55 - 3,96 \log (1+t)$$

onde f = máxima tensão normal na peça fletida Kgf/cm^2 = módulo de ruptura para carregamento de flexão de longa duração.

t = tempo em minutos para completar o carregamento máximo

Esta expressão está apresentada na figura 2.23. A linha sólida representa a probabilidade de sucesso de 50% e

as probabilidades de 5% e 95% são desenhadas com linhas pontilhadas.

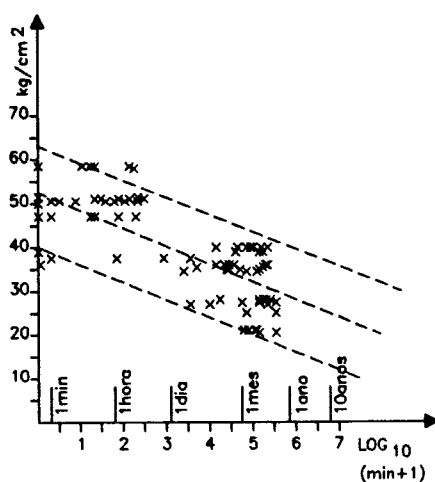


Figura 2.23. - Tensão nominal máxima e tempo de carregamento para atingir a ruptura na direção perpendicular às fibras (Bach, 1975).

Observe-se que os dados marcados com x representam os corpos de prova que sobreviveram aos seis meses de carregamento.

O autor apresenta ainda uma comparação com os resultados obtidos para o caso do carregamento paralelo às fibras. As conclusões foram:

- . O efeito do tempo de carregamento na resistência é muito mais significativo na flexão perpendicular às fibras do que na paralela às fibras.
- . O efeito do tempo de sustentação do carregamento na

resistência de vigas com orientação das fibras perpendicular ao eixo neutro apresentou em média decréscimo de 60% do valor base em seis meses. O autor comenta que adotou a distribuição de Gauss para representar os valores das resistências. Com base nesta distribuição apresenta um gráfico (figura 2.24) de probabilidade de sobrevivência x porcentagem de resistência em relação à média obtida para o ensaio rápido.

Por exemplo, se é requerido que um corpo de prova com probabilidade de 95% de sobrevivência esteja submetido a um carregamento durante um mês, ele deverá ser carregado até 43% da carga obtida no ensaio rápido. Se for requerida uma probabilidade de apenas 50% de sobrevivência, este mesmo corpo de prova poderá ser carregado com até 66% da carga obtida no ensaio rápido.

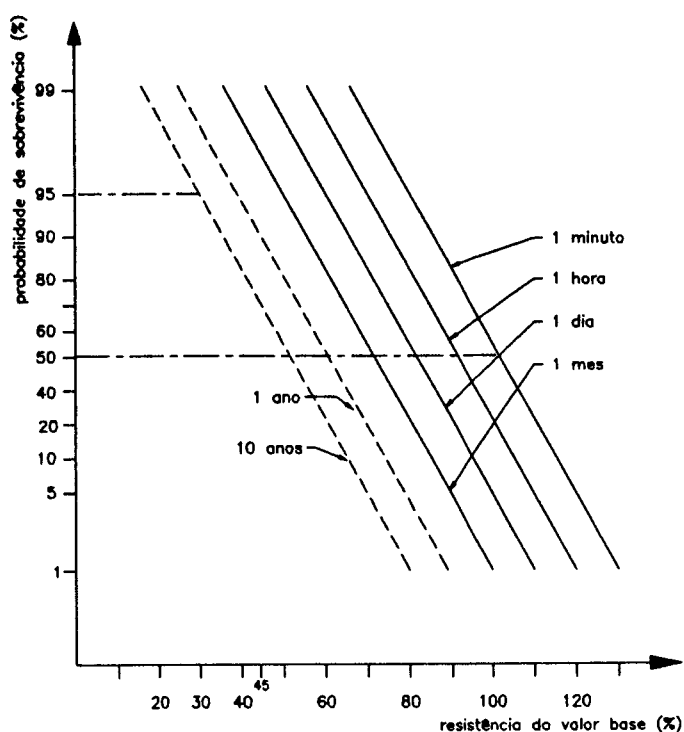


Figura 2.24.- "Probabilidade de Sobrevivência " e "Resistência dividida pela média obtida no ensaio com carga rápida" para madeira carregada perpendicularmente às fibras (Bach, 1975).

2.5.4. TRAÇÃO E ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DAS FIBRAS

É bastante esperado o fato de que a resistência da madeira à tração diminua com o acréscimo do ângulo de aplicação da carga em relação às fibras, de tal forma que atinja seu valor mínimo na tração perpendicular.

Nos trabalhos considerados, pode-se observar que o intuito dos pesquisadores era, na maioria dos casos, verificar a validade de se aplicar expressões similares às

adotadas na compressão inclinada, para estimar a resistência da madeira à tração inclinada em relação às fibras.

Cabe salientar que os artigos aqui destacados serão apenas brevemente comentados, pois não se trata de assunto relevante para a pesquisa.

Dos artigos pesquisados destacam-se aqui:

F - Gerhards, C.C.(1988) - Effect of slope of grain on tensile strength.

Corpos de prova pequenos, isentos de defeitos da espécie Douglas-fir, com ângulo de inclinação das fibras de 1 a 16,5 graus foram ensaiados à tração. Os corpos de prova foram ensaiados com umidade aproximada de 10%. Os resultados obtidos foram sumarizados por uma expressão tipo Hankinson:

$$N = \frac{PQ}{(P \sin^n \theta + Q \cos^n \theta)}$$

onde N = resistência à tração no ângulo θ .

P = resistência paralela às fibras

Q = resistência perpendicular às fibras

n = expoente da expressão

A priori os resultados foram caracterizados para os intervalos:

$$1,5 \leq n \leq 2,0 \quad e \quad 0,04 \leq \frac{Q}{P} \leq 0,07$$

Na análise final, realizada através de tentativa e erro, os resultados da pesquisa foram melhor caracterizados para os parâmetros $P = 13.000$ psi, $Q/P = 0,075$ e $n = 1,4$.

G - Pugel, Anton D (1990) - Angle-to-grain tensile strength specimen for thin wood samples.

Um corpo de prova delgado foi desenvolvido para a determinação da resistência à tração com variação do ângulo das fibras. A geometria e dimensões do corpo de prova podem ser vistos na figura 2.25.

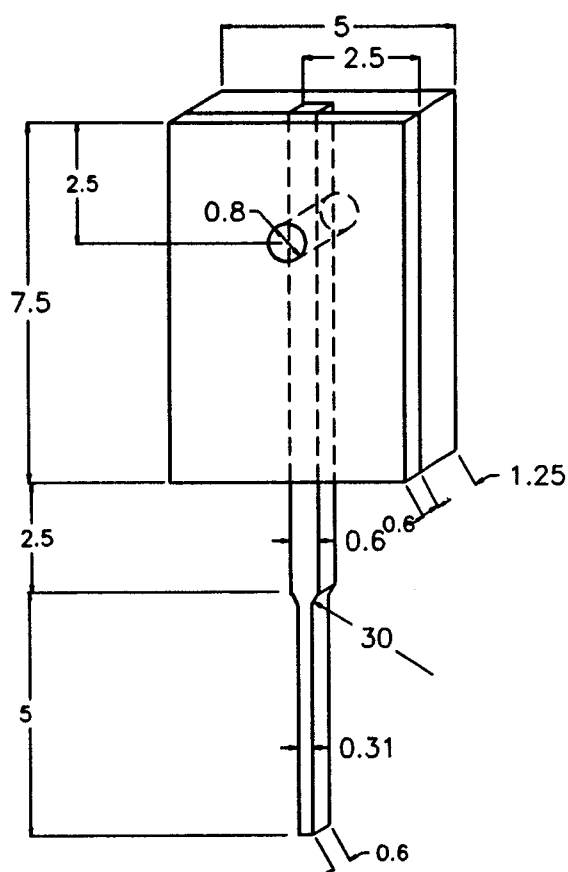


figura 2.25 - Dimensões e geometria do corpo de prova utilizado (Pugel, 1990).

Foram utilizadas duas espécies de madeira : Douglas-fir e Loblolly Pine (*Pinus taeda*), e nos ensaios a umidade dos corpos de prova era de aproximadamente 12%.

No total foram ensaiados cento e quarenta e oito corpos de prova com ângulo de inclinação das fibras variando de 0 a 90 graus. A densidade básica dos corpos de prova para Loblolly Pine era de $0,47 \text{ g/cm}^3$ e do Douglas-fir de $0,53 \text{ g/cm}^3$.

O corpo de prova foi analisado pela localização e

distribuição da superfície de ruptura, valores de resistência à tração paralela e perpendicular e de acordo com a expressão de Hankinson.

As médias das resistências são apresentadas nas tabelas 2.10 e 2.11. para as espécies Loblolly Pine e Douglas-fir respectivamente.

ângulo das fibras (graus)	n	Resistência à tração normal f_{tn} (psi)	Coefficiente de Variação(%)
0	18	11.130	32
4	9	11.100	35
8	9	9.390	27
12	6	5.880	18
16	9	5.310	32
20	9	3.480	23
30	9	2.300	22
45	6	1.310	34
60	9	530	25
75	6	350	37
90	18	310	32

Tabela 2.10. - Resistência à tração normal (f_{tn}) para a espécie Loblolly Pine variando-se o ângulo de inclinação das fibras.

ângulo das fibras (graus)	n	Resistência à tração normal f_{tn} (psi)	Coefficiente de Variação(%)
0	6	20.710	19
4	5	20.670	16
8	4	15.050	23
12	5	7.450	16
16	3	5.250	15
20	4	3.160	16
30	4	2.630	19
45	3	1.630	41
60	2	740	18
75	2	470	17
90	2	210	29

Tabela 2.11. - Resistência à tração normal (f_{tn}) para a espécie Douglas-fir variando-se o ângulo de inclinação das fibras.

É interessante notar que Douglas-fir é mais resistente à tração paralela às fibras e Loblolly Pine à tração perpendicular.

Com relação à variação dos valores, Loblolly Pine foi mais variável. Isto foi explicado no artigo devido ao seu crescimento mais rápido, o que acarretaria maior variação na proporção de madeira de inverno e verão nos corpos de prova.

A figura 2.26. mostra o gráfico da expressão de Hankinson (expoente 2) plotada usando os dados experimentais de resistência à tração paralela e perpendicular. A tendência geral da expressão é evidente, mas talvez seja requerido um expoente maior para o caso de corpos de prova delgados

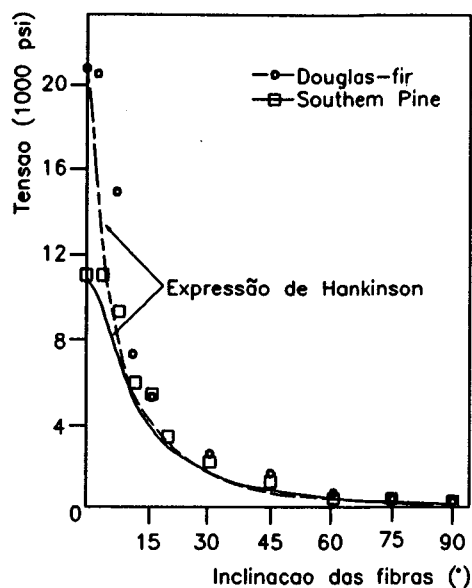


Figura 2.26. - Resistência à tração variando-se o ângulo de inclinação das fibras para Loblolly Pine e Douglas-fir e expressão de Hankinson (Pugel, 1990).

A conclusão apresentada é a de que o corpo de prova delgado não tem o objetivo de atender a outros tipos de propriedades como no caso do corpo de prova normalmente utilizado para o ensaio de tração. Foi desenvolvido para fornecer valores comparativos de corpos de prova com o propósito da verificação em duas dimensões do modelo de elementos finitos. Os valores obtidos, portanto, só poderão ser comparados com outras pesquisas que se utilizem de corpos de prova delgados como o aqui aplicado.

2.5.5. Conclusão

Diante do exposto neste ítem ficou evidenciada a importância da realização deste trabalho, pois verifica-se a necessidade de um melhor entendimento do comportamento das madeiras nacionais submetidas à tração normal às fibras. As contribuições dele advindas deverão melhorar a utilização da madeira como material estrutural, além de servir como subsídio à revisão ora em andamento, do texto da NBR 7190.

3. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS

3.1. INTRODUÇÃO

Simplificadamente pode-se definir o crescimento da árvore com duas fases: uma primeira fase de crescimento vertical ou axial e uma segunda na qual, ano após ano, as camadas sucessivas de tecido resistente e condutor vão se sobrepondo.

Pela necessidade de resistir a esforços de tração e compressão e para poder conduzir a seiva bruta, os elementos anatômicos da madeira (traqueídes no caso das coníferas , fibras e vasos no caso das dicotiledôneas) arranjam-se durante a sua formação segundo a direção preferencial do eixo do tronco ou dos galhos, dispondo-se em camadas concêntricas de crescimento anual; formam-se assim os anéis de crescimento (figura 3.1). Ver também item 2.2.3.3.

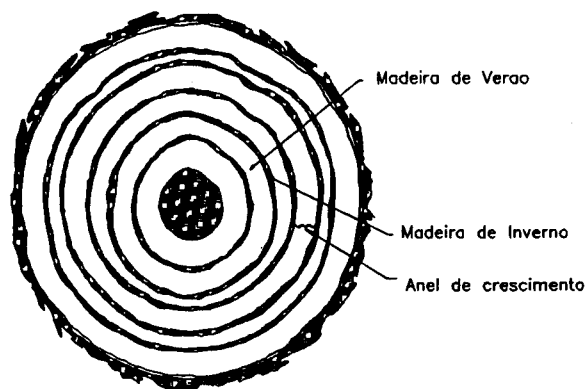


Figura 3.1.- Esquema do tronco mostrando os anéis de crescimento

Quando se estuda a resistência da madeira a esforços transversais surge então a preocupação de se verificar a possibilidade de haver influência da posição dos anéis de crescimento no corpo de prova a ser ensaiado, pois, constatada esta influência, o procedimento de retirada dos corpos de prova deverá levar em conta esta constatação. Por outro lado, não havendo influência significativa, na escolha dos corpos de prova a serem ensaiados não haverá necessidade de considerar este pormenor.

Diante do exposto, neste capítulo será verificada a influência da posição dos anéis de crescimento na resistência à tração normal às fibras da madeira.

3.2. - EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

Para analisar a possibilidade de haver interferência da posição dos anéis de crescimento nos resultados dos ensaios à tração normal às fibras, foram confeccionados conjuntos de

doze corpos de prova de quatro espécies de madeira, com peso específico variando de 0,50 a 1,10 g/cm³, retirados de barras homogêneas para ensaio com posição dos anéis de crescimento paralela (figura 3.2b) e perpendicular (figura 3.2a) à solicitação. Na tentativa de se obter resultados que possibilitassem a generalização das conclusões, foram estudadas duas espécies de coníferas e duas de dicotiledôneas.



Figura 3.2.- Posição dos anéis de crescimento no corpo de prova.

Os ensaios foram realizados com corpo de prova e metodologia definida pela NBR 6230 - Método Brasileiro para Ensaio Físicos e Mecânicos de Madeiras - com as adaptações adotadas pelo Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, do Departamento de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos (LAMEM-SET-EESC-USP) como se segue:

3.2.1. - Equipamento

Máquina Universal de Ensaio - AMSLER, capacidade 250 KN.

Paquímetro com precisão de 0,1%, ou seja 0,05 mm/50 mm.

3.2.2. - Execução do Ensaio

Para se determinar a resistência à tração normal foram utilizados corpos de prova com a configuração e as dimensões nominais apresentadas na figura 2.11.

A área tracionada foi calculada partindo-se das dimensões lineares efetivas, determinadas através de duas medidas da largura e espessura, respectivamente, do corpo de prova na região tracionada.

A aplicação da carga foi feita de modo a se ter um acréscimo de tensão de 2,5 Mpa por minuto. A carga foi conduzida até atingir-se a ruptura do corpo de prova, registrando-se este valor.

Os ensaios foram executados em corpos de prova de madeira nas condições verde e seca ao ar (umidade em torno de 12%).

3.2.3. - Resultados obtidos na experimentação

A resistência à tração normal às fibras foi determinada para cada corpo de prova através da expressão:

$$f_{tn,i} = \frac{F_{tn,i}}{A_{tn,i}}$$

Com o material utilizado, segundo a metodologia de ensaio citada, foram obtidos os resultados para os parâmetros de ruptura, sumarizados nas tabelas 3.1 a 3.8.

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	1,6	3,3
2	3,4	3,0
3	4,3	5,0
4	4,5	4,8
5	2,6	2,7
6	3,7	5,4
7	4,4	6,0
8	4,3	4,8
9	4,3	5,2
10	4,8	3,9
11	3,2	3,3
12	3,9	4,7
média	3,8	4,3
desvio	0,92	1,06

Tabela 3.1 - Espécie: Eucalipto Teretcornis (*Eucalyptus teretcornis*)
 - Posição dos anéis de crescimento: Paralelos à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	5,0	4,8
2	4,1	5,3
3	6,4	6,2
4	4,5	3,8
5	3,7	2,6
6	4,9	5,4
7	4,4	4,6
8	4,3	4,9
9	4,4	5,7
10	5,8	4,2
11	2,7	6,1
12	3,6	4,3
média	4,5	4,8
desvio	0,98	1,03

Tabela 3.2. - Espécie : Eucalipto Teretcornis
 - Posição dos anéis de crescimento:
 Perpendiculares à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	2,4	3,0
2	1,7	2,1
3	1,8	2,6
4	2,3	2,7
5	1,4	1,9
6	2,2	2,8
7	2,5	3,3
8	1,6	2,4
9	1,8	2,2
10	2,1	2,9
11	2,6	3,3
12	2,0	2,7
média	2,0	2,7
desvio	0,36	0,45

Tabela 3.3 - Espécie: *Pinus Oocarpa* (*Pinus oocarpa*)
 - Posição dos anéis de crescimento: Paralelos à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	2,5	3,4
2	1,8	3,0
3	1,3	2,5
4	1,4	2,3
5	2,0	2,1
6	1,9	2,1
7	2,4	2,7
8	2,1	3,2
9	1,7	2,3
10	2,2	2,8
11	1,9	2,1
12	2,2	3,0
média	2,0	2,6
desvio	0,37	0,45

Tabela 3.4. - Espécie : Pinus Oocarpa
 - Posição dos anéis de crescimento:
 Perpendiculares à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	1,6	3,4
2	1,0	2,5
3	2,0	3,5
4	2,0	2,3
5	1,7	1,9
6	1,9	3,2
7	2,7	3,7
8	2,2	2,8
9	3,0	2,9
10	2,4	3,1
11	1,9	2,7
12	1,8	2,3
média	2,0	2,9
desvio	0,52	0,55

Tabela 3.5 - Espécie: *Pinus Hondurensis* (*Pinus hondurensis*)
 - Posição dos anéis de crescimento: Paralelos à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	1,7	3,6
2	1,9	2,1
3	3,0	5,0
4	1,3	1,6
5	1,3	2,0
6	2,6	3,0
7	2,0	2,5
8	2,4	2,5
9	3,1	4,2
10	2,2	2,8
11	1,8	2,2
12	2,9	4,0
média	2,2	3,0
desvio	0,59	1,03

Tabela 3.6. - Espécie : Pinus Hondurensis
 - Posição dos anéis de crescimento:
 Perpendiculares à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	1,8	2,9
2	1,9	2,1
3	3,4	5,2
4	2,2	3,6
5	2,2	2,8
6	2,1	3,5
7	1,8	2,5
8	1,6	2,1
9	3,8	4,1
10	2,5	2,6
11	2,7	3,1
12	1,9	2,0
média	2,3	3,0
desvio	0,68	0,94

Tabela 3.7 - Espécie: Branquilha
 - Posição dos anéis de crescimento: Paralelos à solicitação
 - Unidade: MPa

C.P.	f_{tn} (verde)	f_{tn} (seca)
1	1,5	2,2
2	1,4	3,0
3	2,4	3,3
4	2,7	3,2
5	2,2	3,3
6	2,0	3,4
7	1,8	2,0
8	3,8	3,6
9	4,7	4,3
10	1,8	2,5
11	2,8	3,2
12	2,9	3,4
média	2,5	3,1
desvio	0,97	0,63

Tabela 3.8. - Espécie : Branquilha
 - Posição dos anéis de crescimento:
 Perpendiculares à solicitação
 - Unidade: MPa

3.3. - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os dados tabelados, foram executados testes estatísticos para a verificação da interferência da posição dos anéis de crescimento na resistência à tração normal às fibras, tanto dentro de cada espécie separadamente, quanto entre as espécies.

Para isto, foram executados inicialmente o teste "F" de Snedecor e o teste de comparação múltipla de Tukey para a comparação dentro de cada espécie. Para estes testes, adotou-se o N.M.S. (nível mínimo de significância) como sendo 0,05 ou 5%.

Os testes foram executados pelo programa SANEST (Sistema de Análise Estatística) e, para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, é importante conhecer em

quais hipóteses tais testes se baseiam, evitando-se conclusões equivocadas de seus resultados.

Para o teste "F", H_0 é a hipótese de nulidade, ou seja, no caso estudado neste capítulo, é a hipótese de igualdade entre as médias dos resultados obtidas dos ensaios com os corpos de prova retirados de forma a ter os anéis de crescimento paralelos e perpendiculares à solicitação. Ainda neste teste H_q é a hipótese alternativa, ou seja, a que considera haver diferença entre as médias dos resultados obtidas dos ensaios com os corpos de prova retirados de forma a ter os anéis de crescimento paralelos e perpendiculares à solicitação.

Assumindo o nível de significância $\alpha = 5\%$, tem-se que, se o valor "Prob. > F" que aparece no quadro de análise de variância (vide listagens apresentadas a seguir) for maior do que 0,05 (ou seja, 5%), não se pode rejeitar a hipótese de nulidade.

Para o teste de Tukey, cujo nível de significância adotado é também 5%, as médias seguidas por letras distintas diferem entre si e as médias seguidas por letras iguais são consideradas estatisticamente equivalentes.

A seguir são apresentadas as listagens correspondentes às análises ora detalhadas. Salienta-se que a ordem de apresentação segundo a espécie e o estado (verde e seco) são:

- Eucalipto tereticornis - condição: verde
- Eucalipto tereticornis - condição: seca ao ar
- Pinus Oocarpa - condição: verde
- Pinus Oocarpa - condição: seca ao ar
- Pinus Hondurensis - condição: verde
- Pinus Hondurensis - condição: seca ao ar
- Branquilha - condição: verde
- Branquilha - condição: seca ao ar

```

*****
*           SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTADISTICA           *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado   *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP           *
*   ANALISE DA VARIÁVEL FTM-VERD - ARQUIVO: TEREVCF3       *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAKI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	C.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	3.2266455	3.2266455	3.5481	0.06961
RESIDUO	22	20.0066896	0.9093950		
TOTAL	23	23.2333351			

MEDIA GERAL = 4.116667

COEFICIENTE DE VARIACAO = 23.165 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	4.483333	4.483333	a	A
2	1	PARALELO	12	3.750000	3.750000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0.80797 - D.M.S. 1% = 1.09340

```

*****
*          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA          *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALG - USP          *
*  ANALISE DA VARIÁVEL FTK-SECA - ARQUIVO: TERESCF3      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	1.4016645	1.4016645	1.2842	0.26870
RESIDUO	22	24.0116686	1.0914395		
TOTAL	23	25.4133330			

MEDIA GERAL = 4.583334

COEFICIENTE DE VARIACAO = 22.794 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	4.825000	4.825000	a	A
2	1	PARALELA	12	4.341667	4.341667	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0.68515 - D.M.S. 1% = 1.20332


```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTADISTICA      *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP          *
*  ANALISE DA VARIABEL FTN-VERD - ARQUIVO: BDCAVCP3     *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

```

-----
FATOR   NOME
-----
A       INCLINAC
-----

```

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.G.	Q.M.	VALOR F	PRGB.>F
INCLINAC	1	0.0416795	0.0416795	0.3000	0.59549
RESIDUO	22	3.0566540	0.1387388		
TOTAL	23	3.0983335			

MEDIA GERAL = 1.991667

COEFICIENTE DE VARIACAO = 18.715 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	PARALELO	12	2.033333	2.033333	a	A
2	2	PERPENDI	12	1.950000	1.950000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0.31581 - D.M.S. 1% = 0.42933

```

*****
*           SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA           *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado   *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP           *
*   ANALISE DA VARIÁVEL FTN-SECA - ARQUIVO: DUCAS3CF3     *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

DESERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	0.0066660	0.0066660	0.0326	0.85234
RESIDUO	22	4.4916679	0.2041667		
TOTAL	23	4.4983339			

MEDIA GERAL = 2.641667

COEFICIENTE DE VARIACAO = 17.105 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEM	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	PARALELO	12	2.658333	2.658333	a	A
2	2	PERPENDI	12	2.625000	2.625000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AD NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.38283 - D.M.S. 1% = 0.52044

```

*****
*           SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTADISTICA           *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado   *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP           *
*   ANALISE DA VARIÁVEL FTN-VER - ARQUIVO: HONDVCF3       *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	0.1666490	0.1666490	0.5027	0.50768
RESIDUO	22	7.2933512	0.3315160		
TOTAL	23	7.4600002			

MEDIA GERAL = 2.100000

COEFICIENTE DE VARIACAO = 27.418 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	2.183333	2.183333	a	A
2	1	PARALELO	12	2.016666	2.016666	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 0.48783 - D.M.S. 1% = 0.66318

```

*****
*          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTADISTICA          *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP          *
*  ANALISE DA VARIABEL FTN-SECA - ARQUIVO: HONDSCP3      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	0.0599973	0.0599973	0.0679	0.76668
RESIDUO	22	15.0183358	0.6826516		
TOTAL	23	15.0783331			

MEDIA GERAL = 2.908333

COEFICIENTE DE VARIACAO = 28.409 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	2.958333	2.958333	a	A
2	1	PARALELO	12	2.858333	2.858333	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.70003 - D.M.S. 1% = 0.95166

```

*****
*          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTADISTICA          *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP          *
*  ANALISE DA VARIÁVEL FTN-VER - ARQUIVO: BRANVCP3      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

 NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A INCLINAC

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	0.1837394	0.1837394	0.262E	0.61885
RESIDUO	22	15.3825101	0.6992050		
TOTAL	23	15.5662495			

MEDIA GERAL = 2.412500

COEFICIENTE DE VARIACAO = 34.661 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	2.500000	2.500000	a	A
2	1	PARALELO	12	2.325000	2.325000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 0.70647 - D.M.S. 1% = 0.96313

```

*****
*          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA          *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP          *
*  ANALISE DA VARIÁVEL FTN-SECA - ARQUIVO: BRANSCP3      *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: COMPARACAO

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

```

-----
FATOR      NOME
-----
A          INCLINAC
-----

```

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
INCLINAC	1	0.0337619	0.0337619	0.0527	0.81506
RESIDUO	22	14.0858212	0.6402646		
TOTAL	23	14.1195831			

MEDIA GERAL = 3.079167

COEFICIENTE DE VARIACAO = 25.986 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE INCLINAC

NUM.Ordem	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	PERPENDI	12	3.116667	3.116667	a	A
2	1	PARALELO	12	3.041667	3.041667	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
D.M.S. 5% = 0.67795 - D.M.S. 1% = 0.92164

Posteriormente, foram verificadas as diferenças das médias entre espécies utilizando-se para isto o conceito de intervalo de confiança.

Para isto, foi determinado o intervalo de confiança da média das diferenças entre o valor da resistência à tração normal obtida do ensaio tendo-se os anéis de crescimento paralelos e perpendiculares à solicitação. O nível de confiança $1-\alpha$ adotado foi de 95%, usual para os casos de engenharia.

A presença do zero neste intervalo significa que as médias podem ser consideradas estatisticamente equivalentes.

Os intervalos de confiança foram calculados também pelo programa SANEST.

Os valores considerados para esta verificação foram sumarizados nas tabelas 3.9 e 3.10, onde a nomenclatura utilizada é:

Posição 1: Anéis de crescimento paralelos à solicitação

Posição 2: Anéis de crescimento perpendiculares à solicitação

ESPÉCIE	f_{tn} médio posição 1 (Mpa)	f_{tn} médio posição 2 (Mpa)	Diferença
EUCALIPTO TERETCORNIS	3,8	4,5	-0,7
PINUS OCCARPA	2,0	2,0	0,0
PINUS HONDURENSIS	2,0	2,2	-0,2
BRANQUILHO	2,3	2,5	-0,2

Tabela 3.9. - Valores médios de f_{tn} nas posições 1 e 2
- Madeira verde

ESPÉCIE	f_{tn} médio posição 1 (Mpa)	f_{tn} médio posição 2 (Mpa)	Diferença
EUCALIPTO TERETCORNIS	4,3	4,8	-0,5
PINUS OOCARPA	2,7	2,6	0,1
PINUS HONDURENSIS	2,9	3,0	-0,1
BRANQUILHO	3,0	3,1	-0,1

Tabela 3.9. - Valores médios de f_{tn} nas posições 1 e 2
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados, foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com $\alpha=5\%$.

.Madeira verde:

$$-0.75 \leq \mu_d \leq 0.20$$

.Madeira seca ao ar:

$$-0.55 \leq \mu_d \leq 0.25$$

3.4. - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os dois testes iniciais executados (item 3.3), verifica-se, pelas observações das listagens apresentadas, que, para todas as espécies estudadas, o valor "PROB > F" apresentado no quadro da análise de variância é, em todos os casos, maior do que 0.05, indicando que não se pode rejeitar a hipótese de nulidade, ou seja, os resultados obtidos nos ensaios de tração normal às fibras realizados com

a posição dos anéis de crescimento paralelos e perpendiculares à solicitação podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Ainda nas mesmas listagens, podem-se observar os resultados do teste de Tukey. Este confirma as indicações do teste "F", pois, para todas as espécies estudadas, observa-se no quadro do teste que as médias para cada posição dos anéis (paralela e perpendicular) é seguida por letras iguais, indicando que os resultados não diferem entre si ao nível de significância adotado.

Em seguida, ainda no mesmo item, observam-se os resultados do teste de comparação das médias através do intervalo de confiança da média das diferenças. Verifica-se que o zero está contido no intervalo de confiança, quer seja para a madeira na condição verde, quer seja para a condição seca. Portanto, os resultados obtidos para as resistências com os corpos de prova apresentando anéis de crescimento nas posições 1 e 2 podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

3.5. - CONCLUSÕES

Pelo exposto no item anterior, admite-se que não haja interferência da posição dos anéis de crescimento nos valores da resistências à tração normal às fibras obtidos no ensaio de corpos de prova, com base nos resultados experimentais considerados na análise apresentada.

4 - ALTERNATIVA PARA O CORPO DE PROVA DE TRAÇÃO NORMAL ÀS

FIBRAS

4.1. INTRODUÇÃO

Durante a realização do trabalho, verificou-se, na bibliografia consultada, a existência de referência a corpos de prova de geometria diferente à usual e ainda referência à esquemas de ensaios indiretos utilizados para a determinação das resistências à tração normal às fibras da madeira (Thut, 1970; Madsen, 1972; Schniewind, Lyon e Peterson, 1973 e Fox, 1974).

Os autores citados adotaram corpos de prova de seção retangular, embora, na grande maioria das vezes, confeccionados de madeira laminada colada.

Diante destes estudos, e mediante o fato de que a NBR 6230 ainda vigente no Brasil, se refere à tração normal às fibras com proposta de ensaio utilizando corpo de prova de difícil execução, surgiu o interesse de se verificar a possibilidade de serem executados ensaios de tração normal às fibras utilizando-se corpos de prova diferentes dos usuais, tanto na geometria quanto no que se refere ao esquema de ensaio propriamente dito, passando por uma sistemática mais simples para sua confecção. Esta tentativa visa avaliar outras alternativas que possam ser, por exemplo, de mais fácil execução (no que se refere ao corpo de prova e ao ensaio), ou ainda mais interessante do ponto de vista da quantidade de material utilizado e do tempo gasto na confecção do corpo de prova.

A preocupação com aspectos práticos, isto é, escolha do tamanho do corpo de prova compatível com a possibilidade de sua retirada de peças de dimensões comerciais; tamanho de corpo de prova compatível para não haver desperdício de material; tamanho de corpo de prova compatível com os equipamentos hoje disponíveis na maioria dos laboratórios de ensaio de materiais; geometria do corpo de prova de fácil execução, mesmo em laboratórios não totalmente equipados com máquinas de marcenaria, permeou todo o estudo feito antes de se adotar, para a análise propriamente dita, as quatro alternativas de ensaio (corpo de prova e esquema de ensaio), descritos a seguir.

4.2. EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

Como já mencionado anteriormente, foram adotados, depois de um estudo detalhado de possibilidades, quatro alternativas de ensaio, os quais seguirão, durante todo o capítulo a seguinte nomenclatura, segundo a geometria do corpo de prova e segundo o esquema de ensaio:

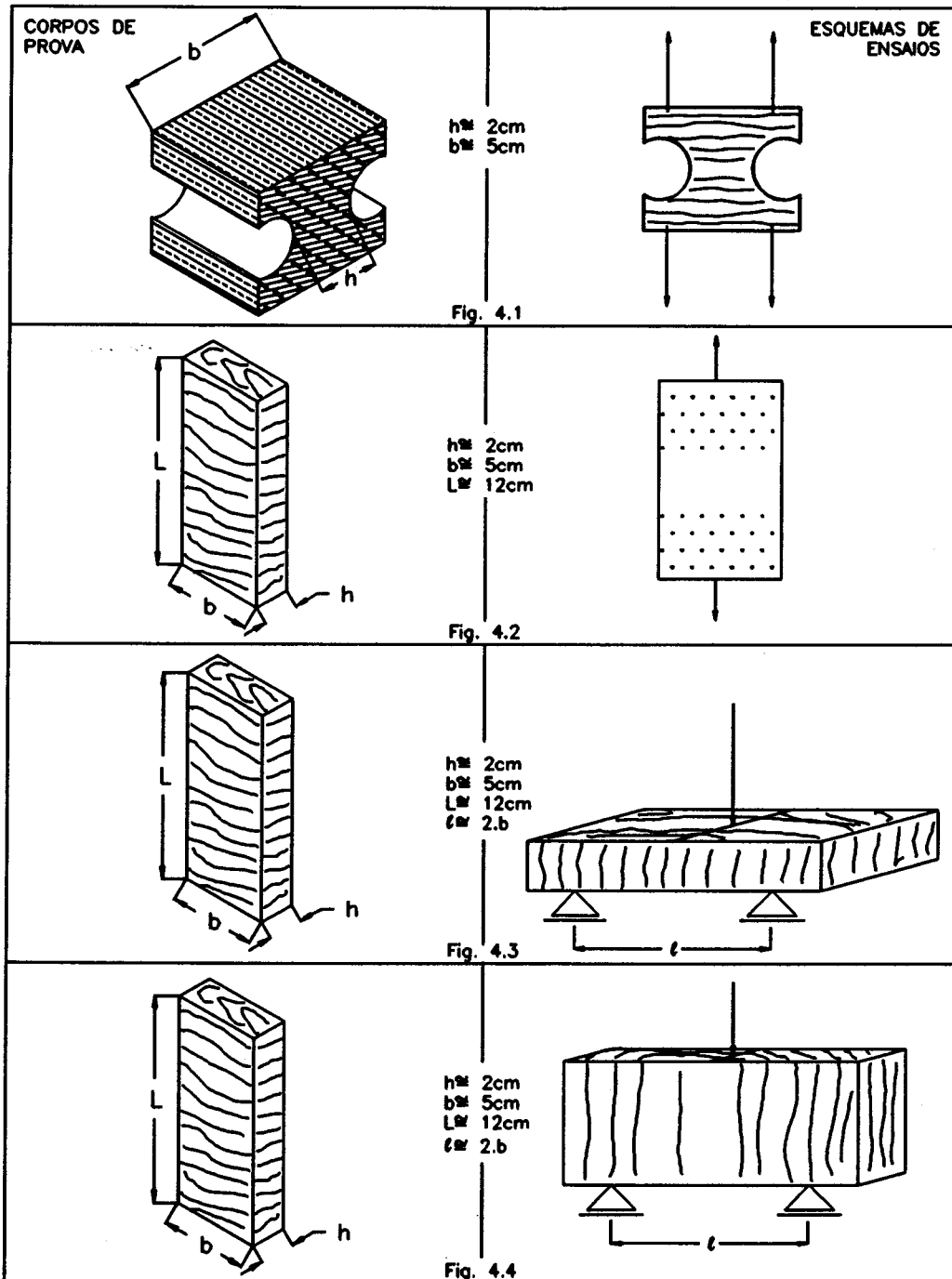
- (1) - Corpo de prova usual - (ensaio direto) - figura 4.1
- (2) - Corpo de prova retangular (ensaio direto) - figura 4.2
- (3) - Corpo de prova retangular-viga (geometria retangular e ensaiado como viga) - figura 4.3
- (4) - Corpo de prova retangular-parede (geometria retangular e ensaiado como viga parede) - figura 4.4

As dimensões foram adotadas segundo critérios já anteriormente explicados.

Salienta-se ainda que na retirada dos corpos de prova foi tomada a precaução de se ter séries com um corpo de prova de cada tipo posicionado na mesma região da peça, diminuindo assim, a probabilidade de ocorrerem diferenças nos resultados devidas não às diferenças decorrentes do tipo do ensaio e sim à dispersão de resultados ocasionada pelo próprio material.

Observe-se, ainda, que todos os corpos de prova adotados possuem seção de ruptura com áreas equivalentes. Isto foi feito, para que não houvesse, neste ponto do estudo, interferência do volume de material, visto que, como pode ser visto na literatura consultada (Barret, 1974) o volume pode provocar interferência no resultado final da resistência.

No total foram ensaiados, para as análises feitas neste capítulo, cento e setenta e cinco corpos de prova, englobando oito espécies, com o cuidado de se ter densidades variando de 0,50 a 1,10 g/cm³. Procurando-se, com isto, obter resultados que possibilitem a generalização das conclusões.



4.3. RESULTADOS OBTIDOS DA EXPERIMENTAÇÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos na experimentação para cada espécie e para cada tipo de ensaio, segundo a nomenclatura mencionada no item anterior.

Antes disto, porém, cabe destacar que os resultados provenientes dos ensaios referentes ao esquema (2) foram desprezados, pois observou-se que a ruptura dos corpos de prova neste esquema de ensaio não se deu por tração normal, na grande maioria dos ensaios. A ruptura ocorreu na zona da garra (figura 4.5), implicando em resultados não confiáveis. Este fato foi entendido como indicandor de que este tipo de ensaio não deveria ser adotado.

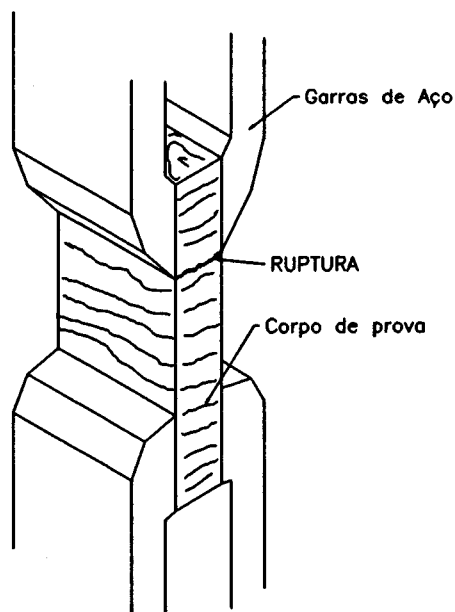


Fig.: 4.5

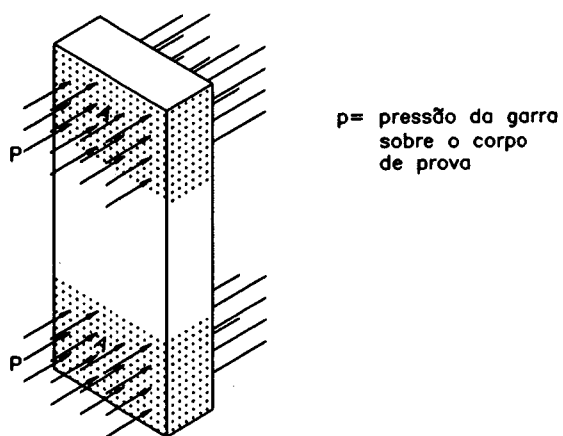


Fig.: 4.6

A ocorrência deste tipo de ruptura provavelmente se deve ao fato de que, para este corpo de prova (com as fibras na direção perpendicular ao esforço exercido pelas garras, mas na direção paralela à pressão por elas exercida) a garra exerce na região de transição - A - figura 4.6 compressão paralela às fibras. A madeira apresenta resistência à compressão paralela muito superior a tração normal às fibras. Este fato não permite a acomodação das garras e, por conseguinte, provoca com facilidade a torção do corpo de prova, mascarando o resultado.

No caso do ensaio de tração paralela às fibras, o ensaio se dá de maneira satisfatória, pois as garras exercem na região de transição um esforço de compressão normal às fibras, provocando ali um esmagamento do corpo de prova e a acomodação das garras, tornando o ensaio estável e conduzindo a ruptura realmente por tração paralela às fibras, em parcela expressiva dos corpos de prova.

Todos os corpos de prova desta série (esquema (2)) foram ensaiados e observadas as zonas de ruptura, concluiu-se que na grande maioria deles não houve ruptura por tração normal às fibras.

4.3.1. Experimentação preliminar

Com relação aos esquemas (2) e (3), houve a preocupação de se verificar a distribuição de tensões na seção transversal do corpo de prova, pois, devido às relações entre suas dimensões lineares, a expressão comumente adotada para

o cálculo das tensões em vigas poderia não expressar de maneira correta as tensões reais. Para esta verificação, fêz-se um ensaio inicial utilizando-se de corpos de prova de dimensões lineares proporcionais ao adotado para os ensaios finais, porém maiores, para possibilitar a instalação de cinco strain-gages nas posições indicadas nas figuras 4.7 e 4.8.

O ensaio foi feito em máquina Universal Amsler acoplada a um equipamento para o registro das deformações.

Um dos ensaios (fig 4.7) foi realizado para representar o esquema (3), cuja relação vão-livre x altura era de aproximadamente cinco, e cuja largura correspondia à aproximadamente metade do vão livre.

O segundo ensaio (fig 4.8) foi realizado para representar o esquema (4), cuja relação vão-livre x altura era de aproximadamente dois.

Os ensaios mencionados foram repetidos três vezes, sendo nas duas primeiras levados até o limite de proporcionalidade e na terceira repetição levados à ruptura (com vinte e uma leituras de deformação em cada ponto).

Salienta-se que, obviamente, tanto para os casos do ensaio teste (figuras 4.7 e 4.8) quanto para os ensaios definitivos, o corpo de prova foi retirado de tal modo que as fibras se apresentam perpendiculares ao esforço, isto é, a ruptura que ocorre na zona tracionada é no sentido perpendicular às fibras.

Com os valores obtidos traçou-se o diagrama de deformações, cujo aspecto final pode ser visto na figura 4.9

para o caso do esquema (3) e na figura 4.10 para o caso do esquema (4).

Este aspecto final foi conseguido executando-se uma regressão linear dos valores obtidos nos pontos A,B,C,D,E (figura 4.9) na ruptura. A reta cortou o eixo (linha Neutra) no ponto $l/h=0,5$ para o caso do ensaio (3) com um coeficiente de correlação igual a 0,99 e $l/h=0,4$ para o caso do ensaio (4) com um coeficiente de correlação igual a 0,99.

Salienta-se que a linha pontilhada nas figuras indica que , neste trecho não houve leitura, pois não foi colocado strain-gage devido a aplicação da carga. Portanto, a reta desenhada neste trecho é uma extensão da regressão obtida.

Observando-se os esquemas traçados nas figuras 4.9 e 4.10, adotou-se para o cálculo das resistências à tração normal às fibras provenientes dos resultados dos ensaios segundo o esquema (3) a expressão já amplamente conhecida :

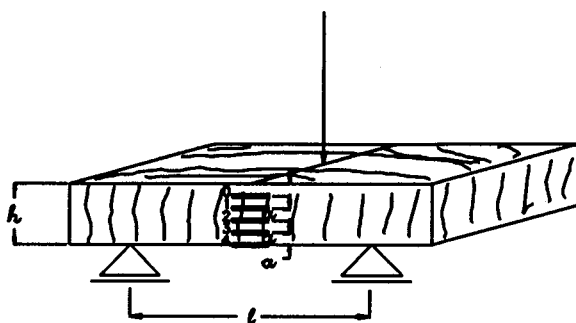
$$f_{tn} = \frac{M}{I} y$$

$$\text{onde } M = \text{momento fletor} = F_{fn} \frac{l}{4}$$

$$I = b \frac{h^3}{12}$$

$$\text{e } l = 2b$$

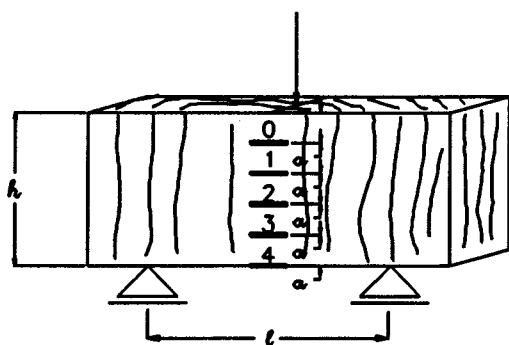
$$\text{portanto } f_{tn} = 3 \frac{P}{h^2}$$



$$\frac{l}{h} \cong 5$$

$$a = \frac{h}{5}$$

Fig. 4.7



$$\frac{l}{h} \cong 2$$

$$a = \frac{h}{2}$$

Fig. 4.8

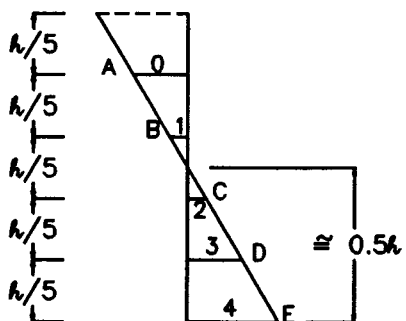


Fig. 4.9

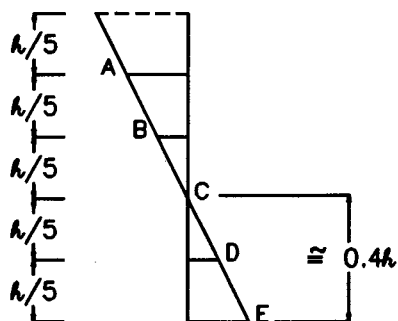
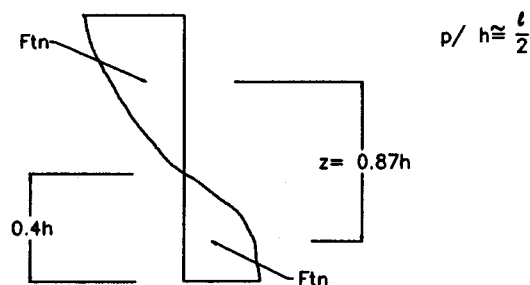


Fig. 4.10

Para o cálculo das resistências à tração normal às fibras provenientes dos resultados dos ensaios segundo o esquema (4) adotou-se a expressão de viga parede obtida na publicação de Leonhardt, 1978, cuja constatação da validade foi verificada.

Observe-se que a figura 4.10 é apenas uma simplificação do diagrama, e que a expressão para o cálculo da resistência à tração normal às fibras proveniente dos resultados dos ensaios segundo o esquema (4) é baseada no diagrama apresentado a seguir, de onde se obtém o cálculo que se segue:



$$\begin{aligned}
 f_{tn} \cdot 0,4 \cdot h \cdot b \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,87h &= F_{fn} \cdot \frac{l}{4} \\
 0,116 f_{tn} \cdot b \cdot h &= 0,5 F_{fn} \\
 f_{tn} &= 4,31 \frac{F_{fn}}{bh}
 \end{aligned}$$

Para o caso do esquema (1), usual, os valores das tensões foram calculados segundo a expressão:

$$f_{tn} = \frac{F_{fn}}{bh}$$

Destaca-se neste ponto a constatação de que, para o caso dos ensaios segundo os esquemas (3) e (4) a ruptura foi frágil. Isto pode ser observado nas figuras 4.9 e 4.10, onde se verifica a linearidade do diagrama até a iminência da ruptura. Esta constatação viabiliza a adoção das expressões consagradas para a estimativa da resistência da tração normal às fibras.

4.3.2. Experimentação principal

Finalmente, usando as expressões especificadas, foram calculadas as tensões para cada caso, e os resultados podem ser vistos nas tabelas apresentadas a seguir.

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	13,8	16,4	12,4
2	14,8	15,1	12,3
3	13,9	14,3	13,9
4	13,2	13,7	13,8
5	13,6	11,8	12,4
6	9,8	10,8	13,8

Tabela 4.1. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Peroba Rosa

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	5,0	5,2	4,7
2	4,1	5,6	4,4
3	4,3	6,0	3,6
4	5,4	5,0	5,4
5	4,2	5,1	4,7
6	3,9	3,9	4,7

Tabela 4.2. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Pinus elliottii

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	4,8	4,6	4,6
2	4,1	-	8,1
3	4,7	8,4	7,8
4	4,3	3,8	3,7
5	3,9	5,7	6,4
6	4,8	-	9,0
7	7,8	6,5	5,2
8	6,0	4,6	5,8
9	4,1	-	4,0
10	6,1	9,0	6,2
11	5,8	-	6,7
12	5,4	5,8	8,1

Tabela 4.3. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Cupiúba

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	15,0	12,3	12,3
2	13,7	11,3	11,4
3	11,1	11,4	9,8
4	13,1	10,1	10,8
5	11,3	11,1	13,9
6	11,8	12,5	12,9

Tabela 4.4. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Angelim

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	8,9	9,5	8,9
2	9,2	8,2	7,4
3	9,3	7,4	8,4
4	9,9	8,1	9,8
5	9,3	7,8	9,3
6	9,6	9,6	10,2

Tabela 4.5. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Castanheira

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	11,2	11,1	8,6
2	12,0	12,4	10,7
3	12,4	9,0	7,9
4	12,2	8,7	12,2
5	11,3	10,8	10,1
6	12,7	10,6	9,7
7	12,9	10,5	13,4
8	12,7	11,8	10,8
9	12,8	13,8	11,7
10	9,4	11,6	9,8
11	12,1	12,5	10,6
12	10,0	7,5	12,8

Tabela 4.6. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Maçaranduba

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	8,7	9,4	9,6
2	7,7	13,8	14,2
3	9,9	15,0	9,8
4	12,4	-	7,7
5	13,5	14,4	13,6
6	12,7	13,9	12,9

Tabela 4.7. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Ipê

C.P.	ESQUEMA (3) (Mpa)	ESQUEMA (4) (Mpa)	ESQUEMA (1) (Mpa)
1	4,8	14,4	6,9
2	6,9	13,4	12,2
3	13,4	7,8	8,1
4	9,4	8,6	9,6
5	8,8	9,2	8,0
6	11,8	13,3	11,9

Tabela 4.8. - Valores de f_{tn} para cada tipo de ensaio
Espécie: Cafearana

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIMENTAÇÃO

PRINCIPAL

Com os dados tabelados foram executados testes estatísticos para a verificação da possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes, tanto dentro de cada espécie separadamente, quanto no conjunto das espécies.

Para isto, foram executados inicialmente o teste "F" de Snedecor e o teste de comparação múltipla de Tukey, para o caso da comparação dentro de cada espécie. No caso do teste de comparação múltipla, adotou-se o N.M.S. (Nível mínimo de significância) como sendo 0,05.

Os testes foram executados pelo programa SANEST , e para uma melhor compreensão dos resultados obtidos no programa é importante conhecer em quais hipóteses os testes estão baseados, evitando-se conclusões equivocadas,

Para o teste "F": H_0 é a hipótese de nulidade, isto é, as médias são consideradas iguais e H_q é a hipótese

alternativa, isto é, as médias diferem entre si.

Assumindo o nível de significância igual a 5%, têm-se que, se o valor "Prob. > F" que aparece no quadro da análise de variância for maior do que 0,05 (ou seja 5%), não se pode rejeitar a hipótese de nulidade, ou seja, as médias são consideradas estatisticamente equivalentes.

Para o teste de Tukey; as médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado. Para as análises aqui executadas, o nível de significância adotado é também 5%.

A seguir são apresentadas as listagens obtidas pela execução do programa SANEST para posterior análise, A ordem de apresentação das listagens segundo as espécies estudadas é a seguinte:

- . Peroba Rosa,
- . Pinus Elliotii,
- . Cupiúba,
- . Angelim,
- . Castanheira,
- . Maçaranduba,
- . Ipê
- . Cafearana

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: PEROBAGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RADUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. DE TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	1.1947273	0.5973637	0.2240	0.80372
RESIDUO	15	39.9963816	2.6664254		
TOTAL	17	41.1911090			

MEDIA GERAL = 13.322223

COEFICIENTE DE VARIACAO = 12.257 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	RET-PARE	6	13.683334	13.683334	a	A
2	1	RET-VIGA	6	13.183334	13.183334	a	A
3	3	USUAL	6	13.100000	13.100000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 2.44656 - D.M.S. 1% = 3.22652

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: ELLIOTGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

 A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	1.4699951	0.7349975	1.8592	0.18885
RESIDUO	15	5.9300048	0.3953337		
TOTAL	17	7.3999999			

MEDIA GERAL = 4.733333

COEFICIENTE DE VARIACAO = 13.284 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	RET-PARE	6	5.133333	5.133333	a	A
2	3	USUAL	6	4.583333	4.583333	a	A
3	1	RET-VIGA	6	4.483333	4.483333	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 0.94205 - D.M.S. 1% = 1.24237

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIAVEL RESISTEN - ARQUIVO: CUPIURGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAANI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	D.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	8.5686482	4.2843241	1.7611	0.18823
RESIDUO	29	70.5501047	2.4327622		
TOTAL	31	79.1187528			

MEDIA GERAL = 5.806250

COEFICIENTE DE VARIACAO = 26.863 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUN.ORDEN	NUN.TRAT.	NOME	NUN.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	3	USUAL	12	6.300000	6.300000	a	A
2	2	RET-PARE	8	6.050000	6.050000	a	A
3	1	RET-VIGA	12	5.150000	5.150000	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: ANGELIGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	4.6145042	2.3072521	1.3019	0.30106
RESIDUO	15	26.5832680	1.7722179		
TOTAL	17	31.1977723			

MEDIA GERAL = 11.988889

COEFICIENTE DE VARIACAO = 11.104 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	RET-VIGA	6	12.666668	12.666668	a	A
2	3	USUAL	6	11.850000	11.850000	a	A
3	2	RET-PARE	6	11.449999	11.449999	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 1.99457 - D.M.S. 1% = 2.63044

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: CASTANGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	2.6532470	1.3266235	2.0250	0.16532
RESIDUO	15	9.8267525	0.6551168		
TOTAL	17	12.4799995			

MEDIA GERAL = 8.933333

COEFICIENTE DE VARIACAO = 9.060 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	RET-VIGA	6	9.366666	9.366666	a	A
2	3	USUAL	6	9.000000	9.000000	a	A
3	2	RET-PARE	6	8.433333	8.433333	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

```

*****
*          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA          *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*      Departamento de Zootecnia ESALQ - USP            *
*      ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: MACARAGE  *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	8.7089335	4.3544668	1.8355	0.17380
RESIDUO	33	78.2874499	2.3723470		
TOTAL	35	86.9963834			

MEDIA GERAL = 11.119445

COEFICIENTE DE VARIACAO = 13.852 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	1	RET-VIGA	12	11.808333	11.808333	a	A
2	2	RET-PARE	12	10.858334	10.858334	a	A
3	3	USUAL	12	10.691667	10.691667	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

D.M.S. 5% = 1.54509 - D.M.S. 1% = 1.97104

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIAVEL RESISTEN - ARQUIVO: IPEGEOME *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB. >F
ENSAIO	2	17.4997561	8.7498780	1.4942	0.25755
RESIDUO	14	81.9802486	5.8557320		
TOTAL	16	99.4800046			

MEDIA GERAL = 11.700000

COEFICIENTE DE VARIACAO = 20.683 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	RET-PARE	5	13.240001	13.240001	a	A
2	3	USUAL	6	11.300001	11.300001	a	A
3	1	RET-VIGA	6	10.816666	10.816666	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO

 * SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA *
 * Autores: Elio Paulo Zonta - Anauri Almeida Machado *
 * Departamento de Zootecnia ESALQ - USP *
 * ANALISE DA VARIÁVEL RESISTEN - ARQUIVO: CAFEARGE *

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSÁVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: DIF. TRATAMENTOS

OBSERVAÇÕES NÃO TRANSFORMADAS

NOME DOS FATORES

 FATOR NOME

 A ENSAIO

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
ENSAIO	2	13.1733240	6.5866620	0.8589	0.55343
RESIDUO	15	115.0316606	7.6687774		
TOTAL	17	128.2049846			

MEDIA GERAL = 9.916667

COEFICIENTE DE VARIACAO = 27.925 %

TESTE DE TUKEY PARA MEDIAS DE ENSAIO

NUM.ORDEN	NUM.TRAT.	NOME	NUM.REPET.	MEDIAS	MEDIAS ORIGINAIS	5%	1%
1	2	RET-PARE	6	11.116666	11.116666	a	A
2	3	USUAL	6	9.450001	9.450001	a	A
3	1	RET-VIGA	6	9.183333	9.183333	a	A

MEDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI AO NIVEL DE SIGNIFICANCIA INDICADO
 D.M.S. 5% = 4.14910 - D.M.S. 1% = 5.47183

Posteriormente, calculou-se para os pares de tipos de ensaios (retangular-viga x retangular-parede ; retangular-viga x usual e usual x retangular-parede) as diferenças das médias por espécie e o intervalo de confiança da média das diferenças.

Foi determinado para este caso um intervalo de confiança para o parâmetro "média das diferenças" com uma probabilidade de $1 - \alpha$ (nível de confiança) de que o intervalo contenha o verdadeiro parâmetro, Neste caso, adotou-se o nível de confiança de 95%. A presença do zero neste intervalo, significa que as médias podem ser consideradas estatisticamente equivalentes.

Para esta comparação foram tabelados os valores das médias em cada tipo de ensaio e para cada espécie, e calculada as diferenças entre médias, Estas tabelas podem ser vistas a seguir.

ESPÉCIE	MÉDIA PARA ESQUEMA (3) (Mpa)	MÉDIA PARA ESQUEMA (4) (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
PEROBA	13,18	13,68	-0,50
PINUS ELLIOTTII	4,48	5,13	-0,65
CUPIÚBA	5,15	6,05	-0,90
ANGELIM	12,67	11,45	1,22
CASTANHEIRA	9,37	8,43	0,94
MAÇARANDUBA	11,81	10,86	0,95
IPÊ	10,82	13,24	-2,42
CAFEARANA	9,18	11,12	-1,94

Tabela 4.9 - Médias de f_{tn} para os esquemas (3) e (4)

ESPÉCIE	MÉDIA PARA ESQUEMA (3) (Mpa)	MÉDIA PARA ESQUEMA (1) (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
PEROBA	13,18	13,10	0,08
PINUS ELLIOTTII	4,48	4,58	-0,10
CUPIÚBA	5,15	6,30	-1,15
ANGELIM	12,67	11,85	0,82
CASTANHEIRA	9,37	9,00	0,37
MAÇARANDUBA	11,81	10,69	1,12
IPÊ	10,82	11,30	-0,48
CAFEARANA	9,18	9,45	-0,27

Tabela 4.10 - Médias de f_{tn} para os esquemas (3) e (1)

ESPÉCIE	MÉDIA PARA ESQUEMA (1) (Mpa)	MÉDIA PARA ESQUEMA (4) (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
PEROBA	13,10	13,68	-0,60
PINUS ELLIOTTII	4,58	5,13	-0,55
CUPIÚBA	6,30	6,05	0,25
ANGELIM	11,85	11,45	0,40
CASTANHEIRA	9,00	8,43	0,57
MAÇARANDUBA	10,69	10,86	-0,17
IPÊ	11,30	13,24	-1,94
CAFEARANA	9,45	11,12	-1,67

Tabela 4.11 - Médias de f_{tn} para os esquemas (1) e (4)

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$.

. Para os pares **retangular-viga x retangular parede**

$$-1,54 \leq \mu_d \leq 0,75$$

. Para os pares **retangular-viga x usual**

$$-0,56 \leq \mu_d \leq 0,65$$

. Para os pares **usual x parede**

$$-1,21 \leq \mu_d \leq 0,33$$

4.5. CONSIDERAÇÃO FINAIS

Considerando os dois testes iniciais executados (item 4.4), verifica-se, pela observação das listagens apresentadas, que para todas as espécies estudadas o valor "PROB> F" apresentado no quadro de análise de variância é, em todos os casos, maior do que 0,05, indicando portanto, que não se pode rejeitar a hipótese de nulidade, ou seja, os resultados obtidos nos ensaios realizados utilizando-se os esquemas (1), (3) e (4) podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Ainda nas mesmas listagens pode-se observar os resultados do teste de Tukey, Este confirma a indicação do teste "F", pois, para todas as espécies estudadas observa-se no quadro do teste que as médias para cada tipo de ensaio são seguidas por letras iguais, indicando que os resultados não diferem entre si ao nível de significância adotado.

Em seguida, ainda no mesmo item, observam-se os resultados do teste de comparação de pares através do intervalo de confiança da média das diferenças, Verifica-se que para as três comparações executadas (retangular-viga x retangular-parede, retangular viga x usual, usual x retangular-parede) o zero está contido no intervalo de confiança, e portanto, os resultados obtidos no ensaio realizado utilizando-se dos esquemas (1), (3) e (4) podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

4.6. - CONCLUSÕES

Pelo exposto, admite-se que os esquemas de ensaio de tração normal às fibras (1), (3) e (4) podem ser considerados estatisticamente equivalentes, com base nos resultados experimentais considerados neste capítulo.

Tendo como ponto de partida esta afirmação, poder-se-ia adotar qualquer um dos esquemas estudados para o ensaio de tração normal às fibras, sem prejuízo da qualidade dos resultados.

Salienta-se ainda que, um dos esquemas comparados, o esquema (1) é o adotado atualmente nos Laboratórios de ensaio do país. Seus resultados são equivalentes aos obtidos pelos outros dois esquemas estudados, mostrando, portanto, a possibilidade de utilização dos resultados de ensaios de tração normal às fibras já existentes. Isto é bastante importante, pois é necessário que se tenha condições de comparar resultados quando se opta por algum tipo de mudança de um esquema vigente.

Os esquemas (3) e (4) aqui estudados se mostraram viáveis, pois, além de apresentarem resultados compatíveis e equivalentes aos obtidos com o esquema usual (1), têm a vantagem de que o corpo de prova é de simples execução, podendo ser confeccionado com facilidade, mesmo em locais desprovidos de uma marcenaria melhor equipada, dispensando, por exemplo o uso do torno e/ou furadeira.

Além da facilidade de execução do corpo de prova, o ensaio propriamente dito também é bastante viável, pois constitui-se de um ensaio de flexão simples, e portanto,

factível de se realizar em qualquer laboratório apenas com a utilização da máquina universal.

O ensaio de tração direta executado em corpo de prova de seção retangular não se mostrou viável e os aspectos relacionados a esta afirmação podem ser vistos no item 4.3.

Quanto à comparação entre os esquemas (3) e (4), verifica-se que o corpo de prova é o mesmo, variando-se apenas o esquema de ensaio. Neste caso, como também não há diferença de resultados, segundo os testes realizados, a opção entre um e outro pode ser feita, por exemplo, levando-se em conta o amplo conhecimento do cálculo das tensões para o caso de vigas, aqui representado pelo esquema de ensaio (3).

Salienta-se ainda que, na continuidade deste trabalho, os esquemas utilizados serão o usual (1) e o (3).

5. -DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
NORMAL ÀS FIBRAS DE ESPÉCIES DE MADEIRA CRESCIDAS NO
PAÍS

5.1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se adequar a NBR 7190 - Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira - aos conceitos de segurança estrutural baseados em critérios dos métodos semi-probabilísticos tem levado diversos pesquisadores brasileiros a se ocuparem dos diferentes aspectos ligados ao problema. Especificamente este capítulo trata da determinação da distribuição estatística de frequência para o caso da resistência da madeira à tração normal às fibras, pois todas as considerações a respeito da variabilidade e de resistência característica - aspectos indispensáveis para o cálculo através do método dos estados limites - passam necessariamente pela prévia definição desta distribuição de frequência.

Para diversas outras solicitações mecânicas, muitos autores têm aceito a distribuição de Gauss (ou normal) como suficiente para representar a resistência da madeira. Outros têm entendido como mais conveniente a distribuição de Weibull (variante da distribuição exponencial) para a mencionada finalidade. A distribuição normal, biparamétrica, é de utilização mais imediata, embora tenha o inconveniente de estar definida para todos os valores reais. A distribuição de Weibull está definida para valores reais iguais e superiores a zero.

Para o caso da tração normal às fibras, não foi encontrado, na bibliografia consultada, nenhum estudo específico com relação à distribuição de freqüência dos valores de f_{tn} nem mesmo na literatura internacional, embora em alguns artigos já seja assumida a distribuição de Weibull ou a distribuição de Gauss. A literatura nacional é bastante escassa com relação à tração normal, em todos os aspectos. Desta forma, torna-se muito importante ser iniciado o estudo a respeito da distribuição de freqüência da resistências à tração normal às fibras de madeiras crescidas no país.

Para esta determinação foram inicialmente estudadas amostras aleatórias compostas de corpos de prova de geometria usual e corpos de prova de seção retangular (item 4.2) com o cuidado de se ter uma quantidade de corpos de prova que permita admitir as hipóteses inerentes às grandes amostras.

Posteriormente, com o intuito de serem confirmados os resultados obtidos com as amostras acima citadas, foram ainda estudadas outras espécies cujo número de corpos de prova era mais reduzido. Isto foi possível graças ao uso de teste estatístico cujas hipóteses não previam grandes amostras.

Segundo tal critério, as amostras foram analisadas através de testes de hipóteses e de medidas de posição e dispersão. As hipóteses de distribuição analisadas foram a de distribuição normal e a de distribuição de Weibull, já internacionalmente aceitas para representar a resistência de materiais para emprego estrutural.

5.2. EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

Os resultados foram obtidos a partir de corpos de prova de seção definida pela NBR 6230 - Método Brasileiro para Ensaio Físicos e mecânicos de Madeiras - com as adaptações feitas pelo LAMEM - SET-EESC-USP, figura (2.11) e na análise posterior foram utilizados corpos de prova de seção retangular (figura 4.3).

Para o corpo de prova da NBR 6230 o esquema da experimentação pode ser visto detalhadamente no item 4.2 e figura 2.11. Para o corpo de prova de seção retangular, no item 4.2 e figura 4.3.

Todos os corpos de prova foram obtidos de peças provenientes de diversas regiões e diferentes serrarias procurando-se, através deste procedimento, garantir suficiente abrangência de origens para configurar a aleatoriedade das amostras.

Ainda com relação aos corpos de prova, cabe salientar que os das diversas espécies de Eucalipto, foram considerados apenas os resultados das espécies extraídas de árvores com idade igual ou superior a vinte anos. Tais árvores são admitidas como fornecedoras de material compatível para o uso em estruturas.

A experimentação foi realizada no LAMEM, com espécies de madeira nativas e espécies provenientes de regiões de reflorestamento.

Tanto os corpos de prova usuais quanto os de seção retangular foram ensaiados em dois níveis de umidade, a saber, madeira verde (umidade igual ou superior ao ponto de

saturação das fibras) e madeira seca ao ar (porcentagem de umidade ao redor de 12%).

No total foram analisados resultados de ensaios envolvendo vinte e três espécies de madeira, resultando em mil quinhentos e vinte e sete corpos de prova assim distribuídos:

Primeira fase:

- Corpos de prova com geometria definida pela NBR 6230
- O número de corpos de prova tabelados correspondem aos estados verde e seco ao ar.

ESPÉCIE	NÚMERO DE CPs
Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>)	72
Angelim Pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i>)	80
Casca grossa (<i>Vochysia sp</i>)	66
Eucalipto Paniculata (<i>Eucalyptus paniculata</i>)	76
Eucalipto Maculata (<i>Eucalyptus maculata</i>)	102
Eucalipto Saligna (<i>Eucalyptus saligna</i>)	139
Eucalipto Urophila (<i>Eucalyptus urophila</i>)	151
Eucalipto Citriodora (<i>Eucalyptus citriodora</i>)	95
Eucalipto Microcorys (<i>Eucalyptus microcorys</i>)	70
Eucalipto tereticornis (<i>Eucalyptus tereticornis</i>)	73
Pinus Elliottii (<i>Pinus elliotii</i>)	79
Pinus Bahamensis (<i>Pinus bahamensis</i>)	71

TABELA 5.1 - Número de corpos de prova ensaiados por espécie na primeira fase

SEGUNDA FASE:

- Corpos de prova com geometria definida pela NBR 6230
- O número de corpos de prova tabelados correspondem aos estados verde e seco ao ar.

ESPÉCIE	NÚMERO DE CPs
Garapa (<i>Apuleia leiocarpa</i>)	23
Pinus Caribaea (<i>Pinus caribaea</i>)	51
Eucalipto Cloesiana (<i>Eucalyptus cloesiana</i>)	37
Eucalipto Camaldulensis (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	30
Louro Preto (<i>Ocotea sp</i>)	47
Angelim Araroba (<i>Vataireopsis araroba</i>)	30
Cedro Amargo (<i>Cedrela odorata</i>)	42
Angelim Pedra Verdadeiro (<i>Dinizia exelsa</i>)	23

TABELA 5.2 - Número de corpos de prova ensaiados por espécie na segunda fase

TERCEIRA FASE:

- Corpos de prova de seção retangular
- O número de corpos de prova tabelados correspondem aos estados saturado e seco ao ar.

ESPÉCIE	NÚMERO DE CPs
Cupiúba (<i>Goupia glabra</i>)	68
Maçaranduba (<i>Manilkara sp</i>)	68
Castanheira (<i>Bertholletia excelsa</i>)	34

TABELA 5.3 - Número de corpos de prova ensaiados por espécie na terceira fase

5.3.-RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO

Com o material utilizado, segundo a metodologia de ensaio citada, foram obtidos os resultados para os parâmetros de ruptura em cada espécie e em cada condição (verde e seca ao ar).

5.3.1.- Primeira fase

Os resultados da primeira fase podem ser vistos nas tabelas de 5.4 a 5.27.

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7	18	3,5
2	2,0	19	3,6
3	2,0	20	3,8
4	2,2	21	3,8
5	2,3	22	3,8
6	2,4	23	4,0
7	2,8	24	4,2
8	2,8	25	4,4
9	2,8	26	4,6
10	2,9	27	4,7
11	3,0	28	4,7
12	3,1	29	4,8
13	3,2	30	4,8
14	3,2	31	5,0
15	3,3	32	5,2
16	3,3	33	5,2
17	3,4	34	5,3

TABELA 5.4. - Valores de f_{tn} - Espécie: Cupiúba
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,0	20	3,8
2	2,2	21	3,9
3	2,5	22	3,9
4	2,5	23	3,9
5	2,6	24	3,9
6	2,6	25	3,9
7	2,8	26	3,9
8	2,9	27	4,0
9	3,0	28	4,1
10	3,0	29	4,4
11	3,1	30	4,6
12	3,2	31	4,7
13	3,2	32	4,8
14	3,3	33	4,8
15	3,3	34	4,9
16	3,4	35	5,0
17	3,6	36	5,0
18	3,7	37	5,7
19	3,8	38	5,7

TABELA 5.5 - Valores de f_{tn} - espécie Cupiúba
- madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	21	3,6
2	1,8	22	3,6
3	1,9	23	3,7
4	2,0	24	3,7
5	2,3	25	3,8
6	2,4	26	4,1
7	2,5	27	4,1
8	2,6	28	4,1
9	2,7	29	4,2
10	2,7	30	4,3
11	2,8	31	4,3
12	2,8	32	4,5
13	2,8	33	4,5
14	2,8	34	4,6
15	2,9	35	4,8
16	2,9	36	4,9
17	3,3	37	5,0
18	3,6	38	5,3
19	3,6	39	5,5
20	3,6	40	5,5

TABELA 5.6 -Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Pedra
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7	21	3,7
2	1,7	22	3,8
3	1,9	23	3,9
4	1,9	24	4,0
5	2,7	25	4,0
6	2,7	26	4,2
7	3,0	27	4,4
8	3,2	28	4,4
9	3,2	29	4,7
10	3,2	30	4,7
11	3,3	31	4,8
12	3,3	32	4,8
13	3,3	33	4,9
14	3,4	34	4,9
15	3,4	35	4,9
16	3,5	36	4,9
17	3,5	37	5,0
18	3,5	38	5,4
19	3,7	39	5,8
20	3,7	40	5,8

TABELA 5.7 -Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Pedra
- Madeira seca ao ar

C.P	f_{tn} (Mpa)	C.P	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	18	3,5
2	1,8	19	3,7
3	1,9	20	3,7
4	2,0	21	3,7
5	2,0	22	3,8
6	2,1	23	3,8
7	2,2	24	3,8
8	2,4	25	3,9
9	2,4	26	4,0
10	2,5	27	4,0
11	2,5	28	4,1
12	2,7	29	4,2
13	2,8	30	4,6
14	2,8	31	4,7
15	3,0	32	4,8
16	3,0	33	5,2
17	3,3		

TABELA 5.8 - Valores de f_{tn} - Espécie: Casca grossa
- Madeira verde

C.P	f_{tn} (Mpa)	C.P	f_{tn} (Mpa)
1	1,3	18	4,4
2	1,5	19	4,4
3	2,5	20	4,5
4	2,5	21	4,5
5	2,9	22	4,6
6	3,4	23	4,8
7	3,6	24	5,1
8	3,6	25	5,1
9	3,6	26	5,4
10	3,7	27	5,5
11	3,7	28	5,5
12	3,8	29	5,5
13	3,9	30	5,6
14	4,0	31	5,7
15	4,1	32	6,2
16	4,2	33	6,9
17	4,3		

TABELA 5.9 - Valores de f_{tn} - Espécie: Casca grossa
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,8	21	5,0
2	1,9	22	5,0
3	2,4	23	5,1
4	2,9	24	5,2
5	2,9	25	5,6
6	3,3	26	5,8
7	3,3	27	6,0
8	3,5	28	6,3
9	3,5	29	6,5
10	3,5	30	6,6
11	3,7	31	6,7
12	3,7	32	7,1
13	3,8	33	7,2
14	3,8	34	7,2
15	4,4	35	7,3
16	4,5	36	7,3
17	4,6	37	7,4
18	4,7	38	7,6
19	4,8	39	7,6
20	4,9		

TABELA 5.10 - Valores de f_{tn} - Espécie : Eucalipto
Paniculata
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,3	20	5,0
2	2,4	21	5,2
3	2,5	22	5,2
4	2,6	23	5,2
5	2,7	24	5,2
6	2,7	25	5,2
7	3,0	26	5,4
8	3,1	27	5,4
9	3,2	28	5,4
10	3,3	29	5,5
11	3,4	30	5,5
12	3,5	31	5,6
13	3,7	32	6,1
14	3,8	33	6,7
15	3,8	34	6,8
16	3,9	35	6,9
17	4,3	36	7,2
18	4,7	37	7,2
19	4,9		

TABELA 5.11 - Valores de f_{tn} - Espécie : Eucalipto
Paniculata
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7	24	3,8
2	1,7	25	3,8
3	1,8	26	3,8
4	2,1	27	3,9
5	2,2	28	4,0
6	2,4	29	4,1
7	2,4	30	4,1
8	2,6	31	4,1
9	2,9	32	4,2
10	3,0	33	4,3
11	3,1	34	4,3
12	3,1	35	4,3
13	3,3	36	4,6
14	3,3	37	4,6
15	3,4	38	4,6
16	3,4	39	4,6
17	3,4	40	4,6
18	3,5	41	4,7
19	3,6	42	4,7
20	3,6	43	5,0
21	3,7	44	5,4
22	3,7	45	5,5
23	3,7	46	6,0

TABELA 5.12 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto Maculata
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,5	29	5,3
2	2,6	30	5,3
3	2,7	31	5,5
4	2,8	32	5,5
5	2,9	33	5,6
6	2,9	34	5,6
7	2,9	35	5,6
8	3,0	36	5,6
9	3,2	37	5,8
10	3,4	38	5,8
11	3,8	39	5,8
12	3,8	40	5,9
13	3,9	41	5,9
14	3,9	42	5,9
15	3,9	43	6,1
16	4,0	44	6,2
17	4,0	45	6,3
18	4,1	46	6,3
19	4,1	47	6,4
20	4,1	48	6,4
21	4,3	49	6,5
22	4,6	50	6,6
23	4,6	51	6,6
24	4,7	52	6,9
25	4,9	53	7,4
26	4,9	54	7,5
27	5,0	55	7,8
28	5,1	56	7,9

TABELA 5.13 - Valores de f_{tn} - Espécie : Eucalipto Maculata
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,5	24	2,8	47	3,6
2	1,5	25	2,8	48	3,7
3	1,6	26	2,8	49	3,7
4	1,8	27	2,9	50	3,7
5	2,0	28	2,9	51	3,7
6	2,0	29	3,0	52	3,7
7	2,1	30	3,0	53	3,8
8	2,2	31	3,1	54	4,0
9	2,3	32	3,1	55	4,1
10	2,3	33	3,2	56	4,1
11	2,4	34	3,2	57	4,1
12	2,4	35	3,3	58	4,1
13	2,4	36	3,3	59	4,1
14	2,4	37	3,3	60	4,1
15	2,4	38	3,3	61	4,3
16	2,4	39	3,3	62	4,4
17	2,4	40	3,3	63	4,4
18	2,5	41	3,4	64	4,4
19	2,5	42	3,4	65	4,4
20	2,7	43	3,5	66	4,5
21	2,7	44	3,5	67	4,7
22	2,7	45	3,6	68	4,8
23	2,7	46	3,6		

TABELA 5.14 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto Saligna
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,0	25	3,4	49	4,8
2	1,5	26	3,4	50	4,8
3	1,6	27	3,4	51	4,8
4	1,9	28	3,4	52	4,9
5	2,0	29	3,5	53	4,9
6	2,1	30	3,6	54	5,0
7	2,4	31	3,6	55	5,0
8	2,4	32	3,6	56	5,0
9	2,5	33	3,6	57	5,1
10	2,5	34	3,8	58	5,2
11	2,7	35	3,8	59	5,2
12	2,7	36	3,8	60	5,3
13	2,8	37	3,9	61	5,5
14	2,8	38	3,9	62	5,5
15	2,8	39	4,0	63	5,5
16	2,8	40	4,1	64	5,6
17	3,1	41	4,2	65	5,7
18	3,2	42	4,2	66	6,0
19	3,2	43	4,3	67	6,1
20	3,2	44	4,3	68	6,9
21	3,3	45	4,4	69	7,0
22	3,4	46	4,6	70	7,3
23	3,4	47	4,6	71	7,5
24	3,4	48	4,7		

TABELA 5.15 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto Saligna
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	22	3,1	43	3,7
2	1,6	23	3,1	44	3,7
3	1,7	24	3,2	45	3,7
4	1,7	25	3,2	46	3,8
5	2,1	26	3,2	47	3,8
6	2,2	27	3,2	48	3,9
7	2,3	28	3,3	49	4,0
8	2,3	29	3,4	50	4,0
9	2,3	30	3,4	51	4,1
10	2,4	31	3,4	52	4,2
11	2,4	32	3,5	53	4,4
12	2,4	33	3,5	54	4,4
13	2,4	34	3,5	55	4,4
14	2,6	35	3,5	56	4,6
15	2,6	36	3,6	57	4,7
16	2,7	37	3,6	58	4,7
17	2,9	38	3,6	59	4,8
18	2,9	39	3,7	60	5,2
19	2,9	40	3,7	61	5,5
20	2,9	41	3,7		
21	3,0	42	3,7		

TABELA 5.16 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto Urophila
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7	24	3,4	47	4,3	70	5,1
2	1,8	25	3,4	48	4,3	71	5,2
3	1,9	26	3,4	49	4,4	72	5,3
4	2,2	27	3,5	50	4,4	73	5,3
5	2,4	28	3,5	51	4,4	74	5,3
6	2,4	29	3,5	52	4,4	75	5,4
7	2,5	30	3,5	53	4,5	76	5,4
8	2,5	31	3,6	54	4,6	77	5,5
9	2,6	32	3,7	55	4,6	78	5,5
10	2,6	33	3,7	56	4,7	79	5,6
11	2,6	34	3,8	57	4,7	80	5,6
12	2,6	35	3,9	58	4,7	81	5,7
13	2,7	36	4,0	59	4,7	82	5,7
14	2,7	37	4,1	60	4,7	83	5,7
15	3,0	38	4,1	61	4,8	84	5,7
16	3,0	39	4,1	62	4,8	85	5,7
17	3,0	40	4,1	63	4,8	86	5,7
18	3,1	41	4,1	64	4,8	87	5,8
19	3,1	42	4,2	65	4,8	88	6,0
20	3,1	43	4,3	66	4,9	89	6,3
21	3,3	44	4,3	67	5,0	90	6,6
22	3,3	45	4,3	68	5,1		
23	3,3	46	4,3	69	5,1		

TABELA 5.17 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto Urophila
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,1	23	3,8
2	2,1	24	3,8
3	2,2	25	3,9
4	2,3	26	3,9
5	2,5	27	3,9
6	2,6	28	4,1
7	2,6	29	4,1
8	2,7	30	4,1
9	2,8	31	4,3
10	2,9	32	4,6
11	3,1	33	4,6
12	3,1	34	4,7
13	3,2	35	4,7
14	3,4	36	5,0
15	3,4	37	5,0
16	3,4	38	5,0
17	3,5	39	5,2
18	3,5	40	5,2
19	3,6	41	5,3
20	3,6	42	5,3
21	3,7	43	5,4
22	3,7		

TABELA 5.18 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Citriodora
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	27	4,3
2	1,6	28	4,3
3	2,0	29	4,3
4	2,2	30	4,4
5	2,4	31	4,4
6	2,7	32	4,4
7	2,9	33	4,5
8	2,9	34	4,5
9	2,9	35	4,6
10	2,9	36	4,7
11	3,1	37	4,7
12	3,2	38	4,7
13	3,2	39	4,8
14	3,3	40	5,0
15	3,4	41	5,2
16	3,5	42	5,2
17	3,6	43	5,3
18	3,8	44	5,4
19	3,8	45	5,4
20	3,8	46	5,5
21	3,9	47	5,5
22	4,2	48	5,5
23	4,2	49	5,7
24	4,3	50	5,9
25	4,3	51	6,2
26	4,3	52	6,5

TABELA 5.19 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Citriodora
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,5	20	4,4
2	2,3	21	4,5
3	2,7	22	4,5
4	2,8	23	4,6
5	2,9	24	4,6
6	3,3	25	4,7
7	3,4	26	4,8
8	3,4	27	4,9
9	3,4	28	5,0
10	3,5	29	5,0
11	3,5	30	5,1
12	3,5	31	5,2
13	3,5	32	5,3
14	3,5	33	5,3
15	3,7	34	5,4
16	3,9	35	5,5
17	4,1	36	5,7
18	4,1	37	5,8
19	4,3	38	5,9

TABELA 5.20 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Microcorys
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,0	17	4,4
2	1,9	18	4,4
3	2,1	19	4,6
4	2,4	20	4,9
5	2,7	21	4,9
6	2,8	22	4,9
7	2,8	23	4,9
8	2,9	24	5,1
9	3,1	25	5,4
10	3,8	26	5,6
11	4,0	27	5,6
12	4,1	28	5,7
13	4,1	29	5,8
14	4,1	30	5,9
15	4,2	31	6,0
16	4,3	32	6,1

TABELA 5.21 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Microcorys
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,5	21	3,0
2	1,5	22	3,1
3	1,6	23	3,2
4	1,6	24	3,2
5	1,8	25	3,2
6	2,0	26	3,5
7	2,0	27	3,7
8	2,1	28	3,8
9	2,1	29	3,9
10	2,2	30	4,0
11	2,3	31	4,0
12	2,3	32	4,3
13	2,4	33	4,4
14	2,5	34	4,6
15	2,5	35	4,6
16	2,5	36	4,7
17	2,5	37	5,0
18	2,9	38	5,0
19	2,9	39	5,2
20	2,9	40	5,3

TABELA 5.22 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Tereticornis
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7	17	4,8
2	2,2	18	4,8
3	2,3	19	4,9
4	2,8	20	4,9
5	2,8	21	4,9
6	2,9	22	5,4
7	3,1	23	5,4
8	3,6	24	5,6
9	3,8	25	5,8
10	3,8	26	5,8
11	4,1	27	6,1
12	4,2	28	6,1
13	4,4	29	6,3
14	4,5	30	6,5
15	4,6	31	6,6
16	4,7	32	7,1
		33	7,4

TABELA 5.23 - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Tereticornis
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,3	20	2,0
2	1,4	21	2,1
3	1,5	22	2,1
4	1,6	23	2,1
5	1,7	24	2,2
6	1,7	25	2,2
7	1,7	26	2,2
8	1,8	27	2,2
9	1,8	28	2,3
10	1,8	29	2,3
11	1,8	30	2,3
12	1,8	31	2,4
13	1,9	32	2,4
14	1,9	33	2,6
15	1,9	34	2,6
16	1,9	35	2,7
17	1,9	36	2,7
18	2,0	37	2,8
19	2,0	38	2,9

TABELA 5.24 - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Elliottii
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,5	22	2,6
2	1,6	23	2,7
3	1,8	24	2,7
4	1,8	25	2,7
5	1,9	26	2,8
6	1,9	27	2,8
7	1,9	28	2,8
8	1,9	29	2,9
9	2,0	30	2,9
10	2,2	31	2,9
11	2,3	32	2,9
12	2,3	33	3,0
13	2,4	34	3,0
14	2,4	35	3,0
15	2,4	36	3,0
16	2,4	37	3,2
17	2,4	38	3,3
18	2,5	39	3,6
19	2,5	40	3,6
20	2,5	41	3,7
21	2,5		

TABELA 5.25 - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Elliottii
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,0	21	2,1
2	1,1	22	2,1
3	1,4	23	2,1
4	1,5	24	2,1
5	1,5	25	2,4
6	1,5	26	2,5
7	1,5	27	2,5
8	1,5	28	2,5
9	1,7	29	2,6
10	1,7	30	2,6
11	1,8	31	2,6
12	1,8	32	2,7
13	1,8	33	2,7
14	1,9	34	2,9
15	1,9	35	2,9
16	1,9	36	2,9
17	1,9	37	2,9
18	2,0	38	3,2
19	2,1	39	3,5
20	2,1		

TABELA 5.26 - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Bahamensis
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,1	17	2,4
2	1,3	18	2,4
3	1,4	19	2,5
4	1,7	20	2,6
5	1,7	21	2,8
6	2,0	22	2,8
7	2,0	23	2,8
8	2,0	24	2,9
9	2,1	25	2,9
10	2,1	26	3,0
11	2,1	27	3,0
12	2,2	28	3,1
13	2,3	29	3,3
14	2,3	30	3,4
15	2,3	31	3,5
16	2,4	32	4,1

TABELA 5.27 - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Bahamensis
- Madeira seca

5.3.2. Segunda fase

Os resultados obtidos na segunda fase dos ensaios podem ser vistos nas tabelas de 5.28 a 5.44.

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	3,2
2	4,3
3	4,4
4	6,3
5	6,9
6	7,3
7	7,5
8	7,6
9	8,4
10	8,7
11	8,9
12	9,2

TABELA 5.28. - Valores de f_{tn} - Espécie Garapa
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	5,7
2	6,2
3	6,2
4	6,5
5	7,1
6	7,2
7	7,8
8	7,8
9	8,2
10	8,4
11	9,0

TABELA 5.29. - Valores de f_{tn} - Espécie Garapa
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	14	2,2
2	1,8	15	2,3
3	1,9	16	2,3
4	1,9	17	2,3
5	1,9	18	2,3
6	1,9	19	2,4
7	1,9	20	2,4
8	1,9	21	2,5
9	2,0	22	2,7
10	2,0	23	2,8
11	2,1	24	2,9
12	2,1	25	2,9
13	2,2		

TABELA 5.30. - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Caribaea
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,6	14	3,0
2	2,2	15	3,0
3	2,3	16	3,3
4	2,3	17	3,3
5	2,3	18	3,4
6	2,5	19	3,6
7	2,5	20	3,7
8	2,7	21	3,9
9	2,7	22	4,0
10	2,8	23	4,3
11	2,8	24	4,4
12	2,8	25	5,2
13	2,8	26	5,5

TABELA 5.31. - Valores de f_{tn} - Espécie: Pinus Caribaea
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,0	12	4,7
2	2,7	13	4,7
3	3,3	14	5,0
4	3,4	15	5,0
5	3,5	16	5,1
6	3,7	17	5,2
7	3,7	18	5,2
8	4,0	19	5,5
9	4,0	20	5,9
10	4,4	21	6,5
11	4,4		

TABELA 5.32. - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Cloesiana
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,4
2	2,9
3	2,9
4	3,0
5	3,4
6	3,6
7	3,7
8	3,9
9	4,0
10	4,4
11	4,5
12	4,6
13	5,0
14	5,0
15	5,3
16	6,1

TABELA 5.33. - Eucalipto Cloesiana
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,2
2	2,6
3	3,5
4	3,5
5	3,7
6	4,0
7	4,1
8	4,4
9	4,4
10	4,6
11	4,9
12	5,0
13	5,0

TABELA 5.34. - Eucalipto Camaldulensis
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,8
2	3,2
3	3,3
4	3,4
5	3,5
6	4,3
7	4,4
8	4,5
9	4,6
10	4,8
11	5,0
12	5,1
13	5,7
14	6,1
15	6,4
16	7,0
17	7,3

TABELA 5.35. - Valores de f_{tn} - Espécie: Eucalipto
Camaldulensis
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,5	13	2,9
2	1,8	14	3,0
3	1,9	15	3,0
4	1,9	16	3,0
5	2,0	17	3,1
6	2,2	18	3,1
7	2,6	19	3,7
8	2,7	20	3,8
9	2,7	21	3,9
10	2,8	22	4,1
11	2,8	23	4,2
12	2,9	24	4,4

TABELA 5.36. - Valores de f_{tn} - Espécie: Louro Preto
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,1	13	3,2
2	2,2	14	3,5
3	2,3	15	3,6
4	2,5	16	4,0
5	2,5	17	4,0
6	2,5	18	4,2
7	2,5	19	4,3
8	2,8	20	4,7
9	2,9	21	5,2
10	3,1	22	5,2
11	3,1	23	5,2
12	3,2		

TABELA 5.37 - Valores de f_{tn} - Espécie: Louro Preto
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7
2	1,7
3	1,9
4	2,3
5	2,6
6	2,8
7	2,9
8	2,9
9	3,1
10	3,2
11	3,4
12	3,5
13	3,7
14	4,0
15	4,4

TABELA 5.38. - Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Araroba
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,7
2	1,7
3	2,4
4	2,4
5	2,5
6	3,0
7	3,0
8	3,1
9	3,2
10	3,3
11	3,4
12	3,6
13	3,6
14	3,8
15	4,1

TABELA 5.39. - Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Araroba
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,4	11	2,5
2	1,4	12	2,5
3	1,5	13	2,5
4	1,6	14	2,5
5	1,7	15	2,6
6	2,1	16	2,6
7	2,2	17	2,6
8	2,2	18	2,7
9	2,3	19	3,3
10	2,3		

TABELA 5.40. - Valores de f_{tn} - Espécie: Cedro Amargo
- Madeira Verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,3	13	3,0
2	2,2	14	3,2
3	2,3	15	3,3
4	2,5	16	3,5
5	2,6	17	3,5
6	2,6	18	3,5
7	2,7	19	3,5
8	2,8	20	3,6
9	2,9	21	3,7
10	2,9	22	3,8
11	3,0	23	4,0
12	3,0		

TABELA 5.41. - Valores de f_{tn} - Espécie: Cedro Amargo
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,1
2	2,2
3	3,5
4	3,6
5	3,8
6	3,9
7	4,3
8	4,8
9	5,1
10	5,5
11	6,3

TABELA 5.42. - Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Pedra Verdadeiro
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	2,8
2	3,7
3	3,9
4	4,2
5	4,3
6	4,3
7	4,6
8	4,8
9	5,7
10	5,7
11	6,0
12	8,1

TABELA 5.43. - Valores de f_{tn} - Espécie: Angelim Pedra Verdadeiro
- Madeira seca ao ar

5.3.3. - Terceira fase

Os resultados da terceira fase da experimentação podem ser vistos nas tabelas de 5.44 a 5.48 apresentadas a seguir.

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	9,2	19	12,0
2	9,4	20	12,1
3	9,8	21	12,1
4	10,0	22	12,1
5	10,0	23	12,2
6	10,1	24	12,2
7	10,3	25	12,4
8	10,4	26	12,4
9	10,7	27	12,7
10	11,0	28	12,7
11	11,2	29	12,8
12	11,2	30	12,9
13	11,3	31	12,9
14	11,3	32	13,0
15	11,6	33	13,1
16	11,6	34	14,2
17	11,7	35	14,7
18	11,8	36	15,0

Tabela 5.44. - Valores de f_{tn} - Espécie: Maçaranduba
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	3,5	19	4,7
2	3,6	20	4,8
3	3,6	21	4,8
4	3,8	22	4,8
5	3,8	23	4,8
6	3,9	24	4,8
7	3,9	25	4,8
8	3,9	26	4,9
9	3,9	27	4,9
10	3,9	28	4,9
11	4,1	29	5,4
12	4,1	30	5,4
13	4,2	31	5,6
14	4,3	32	5,8
15	4,5	33	5,8
16	4,5	34	6,0
17	4,5	35	6,1
18	4,5	36	6,4

Tabela 5.45. - Valores de f_{tn} - Espécie: Cupiúba
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	5,5	18	7,5
2	6,1	19	7,6
3	6,1	20	7,6
4	6,3	21	7,7
5	6,6	22	7,9
6	6,8	23	7,9
7	6,8	24	7,9
8	6,9	25	8,2
9	7,0	26	8,2
10	7,0	27	8,4
11	7,1	28	8,9
12	7,2	29	9,0
13	7,2	30	9,2
14	7,2	31	9,3
15	7,4	32	9,3
16	7,5	33	9,6
17	7,5	34	9,9

Tabela 5.46. - Valores de f_{tn} - Espécie: Castanheira
- Madeira seca ao ar

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	1,9	19	2,9
2	1,9	20	3,0
3	2,1	21	3,0
4	2,1	22	3,0
5	2,4	23	3,0
6	2,4	24	3,2
7	2,4	25	3,2
8	2,5	26	3,3
9	2,6	27	3,3
10	2,6	28	3,3
11	2,8	29	3,3
12	2,8	30	3,3
13	2,8	31	3,5
14	2,8	32	3,6
15	2,8		
16	2,9		
17	2,9		
18	2,9		

Tabela 5.47. - Valores de f_{tn} - Espécie: Cupiúba
- Madeira verde

C.P.	f_{tn} (Mpa)	C.P.	f_{tn} (Mpa)
1	8,2	18	8,0
2	10,2	19	8,4
3	8,0	20	10,2
4	7,0	21	7,4
5	8,8	22	8,8
6	8,8	23	9,4
7	8,6	24	10,8
8	8,8	25	8,4
9	9,2	26	9,6
10	9,2	27	8,4
11	11,2	28	9,2
12	9,0	29	10,0
13	9,0	30	9,8
14	7,8	31	9,8
15	9,4	32	8,6
16	9,4		
17	9,4		

Tabela 5.48- Valores de f_{tn} - Espécie: Maçaranduba
- Madeira verde

5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO

5.4.1. Introdução

Neste item são apresentadas as análises efetuadas nos resultados obtidos na experimentação. Estas foram executadas utilizando-se os programas estatísticos SANEST - Sistema de Análise Estatística e GLIM - Generalised Linear Interactive Modelling.

O programa SANEST foi utilizado para a análise inicial

que englobou: histograma das freqüências relativas, histograma das freqüências acumuladas, diagramas de ramo e folhas, gráfico de Box-plot e medidas de posição, dispersão, assimetria e curtose.

O programa GLIM foi utilizado para testar as hipóteses de distribuição normal, com dois testes distintos, a saber: teste de Lilliefors e teste de Anderson-Darling; e para testar a distribuição de Weibull com um teste ao qual denominou-se "teste para a distribuição de Weibull". Esta distribuição foi ainda testada através do gráfico da lei de Weibull.

Salienta-se ainda que toda a análise está apresentada em três etapas distintas. A primeira delas considerando apenas as espécies cujas amostras abrangiam um número tal de corpos de prova (geometria da NBR 6230/LAMEM) que se constituía uma grande amostra (item 2.11); a segunda utilizou o mesmo corpo de prova, mas a amostra era composta de um número menor de componentes; a terceira também contendo espécies cuja quantidade de corpos de prova constituía uma grande amostra, porém com corpos de prova de seção retangular (item 4.4).

5.4.2. Análise executada pelo programa SANEST

A primeira parte da análise dos resultados foi feita através do programa SANEST com a finalidade inicial de se verificar a tendência dos resultados e a possibilidade de haver a presença de valores discrepâtes.

De início são apresentadas detalhadamente as análises

executadas em uma das espécies através do programa SANEST, exemplificando como foi feita a análise para todas as espécies.

As listagens contendo as análises feitas pelo programa para esta espécie exemplificada podem ser vistas no anexo A.

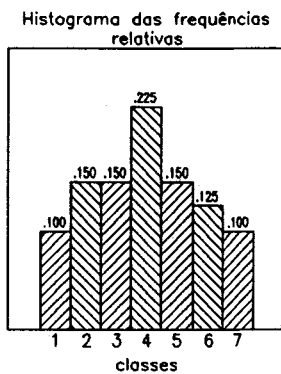
Cabe aqui lembrar que o mesmo tipo de análise foi executada para todas as espécies estudadas e todas as listagens se encontram arquivadas, à disposição para verificação. No entanto, não serão anexadas ao texto por conterem uma quantidade muito grande de páginas.

ESPÉCIE USADA NO EXEMPLO: ANGELIM PEDRA VERDE

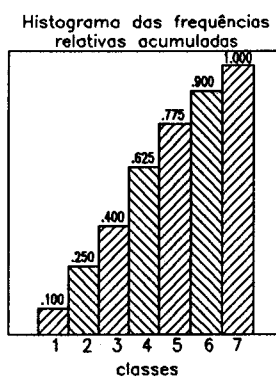
A- Distribuição de Freqüência para a variável Resistência

NUM.DA CLASSE	CLASSE		CENTRO DE CLASSE	FREQ. ABS	FREQ. REL	FREQ.ABS. ACUMULADA	FREQ.REL. ACUMULADA
	LIM.INF.	LIM.SUP.					
1	1.60	2.16	1.88	4	0.10	4	0.10
2	2.16	2.72	2.44	6	0.15	10	0.25
3	2.72	3.28	3.00	6	0.15	16	0.40
4	3.28	3.84	3.56	9	0.23	25	0.63
5	3.84	4.40	4.12	6	0.15	31	0.78
6	4.40	4.96	4.68	5	0.13	36	0.90
7	4.96	5.52	5.24	4	0.10	40	1.00

B- HISTOGRAMA DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS



C- HISTOGRAMA DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS



D- RESUMO DE 5-NÚMEROS PARA A VARIÁVEL RESISTÊNCIA

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES: 40

MEDIANA	3.6		
QUARTIL INFERIOR	2.8	4.3	QUARTIL SUPERIOR
EXTREMO INFERIOR	1.6	5.5	EXTREMO SUPERIOR

E- RESUMO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA

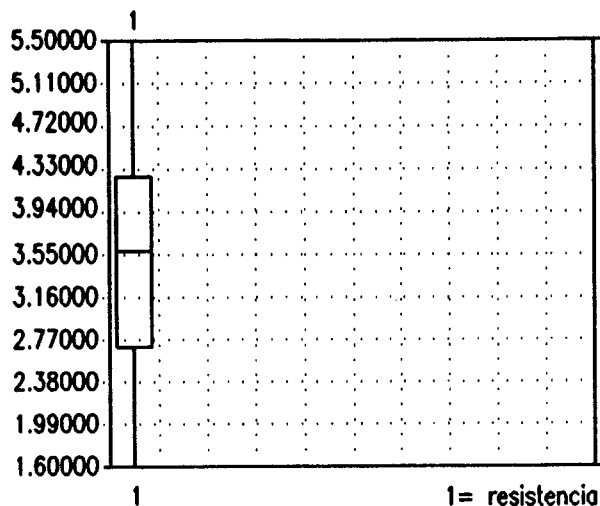
ESTATÍSTICAS	RESISTÊNCIAS
NUM. OBS.	40
VALOR MIN.	1.600
VALOR MAX.	5.500
AMPLITUDE	3.900
TOTAL	141.699
MÉDIA	3.542
VARIÂNCIA	1.105
D. PADRÃO	1.051
D. P. MÉDIA	0.167
COEF. VAR. %	29.681
COEF. ASSIM.	0.071
COEF. CURT.	2.117
MEDIANA	3.600
QUARTIL INF.	2.750
QUARTIL SUP.	4.300
IC 5% L.S.	3.879
IC 5% L.I.	3.206
IC 1% L.S.	3.992
IC 1% L.I.	3.093

F- DIAGRAMA DE RAMO E FOLHAS PARA A VARIÁVEL RESISTÊNCIA

```

1. - 7 7 9 9
2. - 7 7
3. - 0 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 7 7 7 8 9
4. - 0 0 2 4 4 7 7 8 8 9 9 9 9
5. - 0 4 8 8

```

G- DIAGRAMA DE BOX-PLOT

As distribuições de frequência e os histogramas exemplificam a dispersão dos resultados da experimentação considerada.

No resumo de cinco números são observadas a mediana, os quartis inferior e superior e os extremos dos resultados da experimentação considerada.

O resumo da estatística descritiva executada para a amostra considerada apresenta dados importantes, dos quais são destacados:

.Média, Mediana e Percentis - Medidas de posição, fornecendo indicações da simetria da distribuição.

.Variância, Coeficiente de Variação, Amplitude, Desvio Padrão e Desvio Padrão da Média - Medidas de dispersão, fornecendo

indicações de como estão distribuídos os resultados. Cabe ainda destacar que a utilização da amplitude total como medida isolada de dispersão é de interesse muito limitado,

pois, sendo uma medida dependente apenas dos valores extremos, é instável e afetada pelos valores internos.

O coeficiente de variação é uma medida indicativa do grau de concentração dos valores em torno da média.

.Coeficiente de Assimetria - É definido por FONSECA E MARTINS, (1982) como:

$$AS = \frac{(\bar{X} - M_0)}{\sigma}$$

onde : $As = 0$ indica distribuição simétrica

$As > 0$ indica distribuição assimétrica positiva

$As < 0$ indica distribuição assimétrica negativa

.Coeficiente de Curtose - Entende-se por curtose o grau de achatamento de uma distribuição. Como referência ao grau de achatamento FONSECA E MARTINS, (1982) definem as curvas Leptocúrtica, Mesocúrtica e Platicúrtica segundo o valor do coeficiente de curtose:

$= 0.263$ - distribuição mesocúrtica

> 0.263 - distribuição platicúrtica

< 0.263 - distribuição leptocúrtica

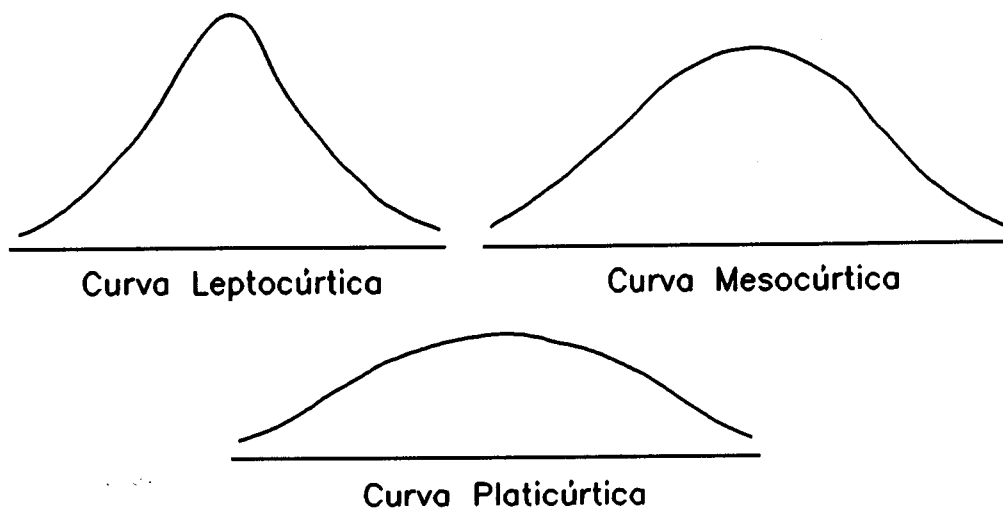


Figura 5.1.- Curvas definidas pelos coeficientes de curtose
(FONSECA e MARTINS, 1982)

.INTERVALOS DE CONFIANÇA DA MÉDIA - São aqui apresentados nos níveis de significância de 5% e 1%.

.DIAGRAMA DE RAMO E FOLHAS - Apresenta os resultados em ordem crescente e subdivididos mostrando possíveis valores discrepantes.

.DIAGRAMA DE BOX-PLOT - Fornece indicações a respeito da simetria dos dados e da existência de pontos expúreos. Quando isto ocorre, tais pontos são desenhados no gráfico.

Mais adiante, serão resumidos, para todas as espécies estudadas nas três fases, alguns dos aspectos mais importantes para a determinação da distribuição de frequência dos valores de f_{tn} , os relacionados com a simetria dos

resultados. As demais análises executadas pelo programa não serão aqui apresentadas detalhadamente para todas as espécies estudadas, mas podem ser vistas nas listagens .

5.4.3. Hipótese de Distribuição Normal

5.4.3.1. Definição

A distribuição normal é uma das distribuições de probabilidade mais utilizadas no desenvolvimento teórico da inferência estatística.

Seja X uma variável aleatória contínua, X terá uma distribuição normal se:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

onde μ e σ^2 são respectivamente a média e a variância. Para o cálculo da probabilidade os dois grandes problemas são a integração de $f(x)$ e a elaboração de uma tabela de probabilidades. Os problemas foram solucionados por meio de uma mudança de variável obtendo-se assim, a distribuição normal padronizada ou reduzida.

A variável Z é dada por:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

em que X é uma variável normal de média μ e variância σ^2 e então a média de Z será $E(Z) = 0$ e a variância de Z será $\text{Var}(Z) = 1$. A notação usada é $N(0,1)$. Z tem distribuição normal de média zero e variância 1. As probabilidades, isto é, as áreas sob esta curva podem facilmente ser encontradas nas publicações a respeito de estatística.

O gráfico da função densidade de uma variável normal tem a forma de um sino e é simétrico em relação à média μ . Fixando-se a média, verifica-se que o "achatamento" está diretamente ligado ao valor de σ .

Como já se disse, vários autores admitem a validade da distribuição normal para representar os valores de diversas resistências às mais variadas solicitações mecânicas de materiais estruturais, entre eles a madeira. Para verificar esta hipótese no caso da tração normal às fibras nas madeiras nacionais, foram aplicados os testes de Lilliefors e Anderson-Darling, cuja a apresentação teórica resumida será apresentada a seguir.

5.4.3.2 -Teste de Lilliefors

Para se testar a normalidade, Lilliefors (1967) introduziu uma modificação no teste de Kolmogorov-Smirnov ampliando seu uso também aos casos em que a média e a

variância não são previamente especificadas, mas estimadas através dos dados da amostra, ou seja:

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{n}$$

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - \bar{m})^2}{n-1}$$

e é obtida a variável reduzida

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{m}}{s}, i=1, 2, \dots, n$$

O teste foi estruturado, analogamente ao de Kolmogorov-Smirnov, a partir de Z_i , ao invés da variável original.

Desde que a média e a variância não foram especificadas mas estimadas através da amostra, os limites superiores da distribuição de D (bilateral) do teste de Kolmogorov-Smirnov não são apropriados e, por isso, têm-se tabelados os valores para o teste de Lilliefors, que são limites superiores aproximados para a aceitação ou rejeição da normalidade dos dados. Sintetizando, no teste obtém-se um valor crítico processando-se os resultados experimentais. Na continuação, este valor é comparado com o valor crítico tabelado em função do número de elementos da amostra e do

nível de confiança desejado (95% nos casos usuais de engenharia).

Sendo o valor crítico experimental inferior ao tabelado, não se rejeita a hipótese de nulidade H_0 , isto é, não se rejeita a hipótese de os dados apresentarem distribuição normal de frequência.

Todas as espécies foram assim testadas pelo programa GLIM. O anexo B contém um exemplo de listagem obtida para este teste executado. A listagem completa encontra-se arquivada à disposição para verificação.

Todos os resultados referentes ao teste executado pelo programa GLIM foram sumarizados em tabelas, para cada fase da experimentação.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,103	0,152	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,129	0,140	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,141	0,154	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,131	0,146	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,078	0,131	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,076	0,107	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,078	0,113	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,086	0,135	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,116	0,144	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,140	0,140	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,113	0,144	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,142	0,142	Não se rej. Ho

TABELA 5.50 - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,110	0,144	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,102	0,140	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,119	0,154	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,115	0,142	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,098	0,118	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,088	0,105	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,077	0,093	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,119	0,123	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,127	0,157	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,072	0,154	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,088	0,138	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,094	0,157	Não se rej. Ho

TABELA 5.51 - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,1684	0,242	Não se rej. Ho
PINUS CARIBAEA	0,1284	0,173	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0,0985	0,213	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CAMALDULENSIS	0,1400	0,234	Não se rej. Ho
LOURO PRETO	0,1590	0,173	Não se rej. Ho
ANGELIM ARAROBA	0,1008	0,220	Não se rej. Ho
CEDRO AMARGO	0,1707	0,195	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA VERDAD,	0,1393	0,249	Não se rej. Ho

TABELA 5.52. - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,1433	0,249	Não se rej.Ho
PINUS CARIBAEA	0,1616	0,173	Não se rej.Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0,1172	0,173	Não se rej.Ho
EUCALIPTO CAMALDULENSIS	0,1237	0,206	Não se rej.Ho
LOURO PRETO	0,1545	0,173	Não se rej.Ho
ANGELIM ARAROBA	0,1741	0,220	Não se rej.Ho
CEDRO AMARGO	0,1311	0,173	Não se rej.Ho
ANGELIM PEDRA VERDAD,	0,1787	0.242	Não se rej.Ho

TABELA 5.53. - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,0871	0,148	Não se rej.Ho
CUPIÚBA	0,1479	0,148	Não se rej.Ho
CASTANHEIRA	0,1156	0,152	Não se rej.Ho

TABELA 5,4. - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,0926	0,157	Não se rej.Ho
CUPIÚBA	0,1139	0,157	Não se rej.Ho

TABELA 5.55. - Testes de Lilliefors sobre os valores de f_{tn}
- Madeira verde

5.4.3.3 -Teste de Anderson-Darling

O teste de Anderson-Darling foi desenvolvido por Stephens (1974-1978). Foi demonstrado que dentre todos os testes de normalidade conhecidos, este geralmente é o mais poderoso para uma grande porcentagem dos casos, quando os parâmetros da população não são conhecidos e sim apenas os da amostra.

Há quatro passos básicos no programa executado pelo computador, os quais passam a ser descritos:

. Primeiramente os dados são ordenados e a variável padronizada é calculada por:

$$W_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S}; i=1, 2, \dots, n$$

onde x_i são os i valores ordenados.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

e

$$S^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}$$

. Em seguida, os valores de w_i são convertidos para uma probabilidade acumulada normal padronizada

$$Z_i = P[Z < W_i]; i = 1, 2, \dots, n$$

onde Z é uma variável normal reduzida e Z_i é obtido usando-se a tabela de distribuição normal.

. O terceiro passo é calcular

$$A^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (2_i - 1) [\ln(Z_i) + \ln(1 - Z_{(n+1-i)})]]}{n} - n$$

. O passo final é calcular

$$A^{2*} = A^2 \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right)$$

. Na continuação, este valor A^2 é comparado com o valor crítico tabelado em função do nível de confiança desejado (95% nos casos usuais de engenharia). Sendo o valor crítico experimental inferior ao tabelado, não se rejeita a hipótese de os dados apresentarem distribuição normal de frequência.

Todas as espécies foram assim testadas pelo programa GLIM. O anexo B contém um exemplo de listagem obtida para este teste. A listagem completa encontra-se arquivada à disposição para verificação.

Os resultados obtidos pelo programa GLIM para o referido teste foram sumarizados em tabelas, para cada fase

da experimentação.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,381	0,752	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,376	0,752	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,502	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,701	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,353	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,401	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,340	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,403	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,412	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,675	0,752	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,383	0,752	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,449	0,752	Não se rej. Ho

TABELA 5.56 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,345	0,752	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,476	0,752	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,333	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,594	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,530	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,505	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,591	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,368	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,551	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,214	0,752	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,362	0,752	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,208	0,752	Não se rej. Ho

TABELA 5.57 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- madeira seca ao ar

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,5173	0,752	Não se rej, Ho
PINUS CARIBAEA	0,5228	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0,1845	0,752	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CAMALDULENSIS	0,3956	0,752	Não se rej. Ho
LOURO PRETO	0,4782	0,752	Não se rej. Ho
ANGELIM ARARоба	0,1865	0,752	Não se rej. Ho
CEDRO AMARGO	0,7670	0,752	rejeita-se Ho
ANGELIM PEDRA VERDAD.	0,2148	0,752	Não se rej. Ho

TABELA 5.58 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRITICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,2389	0,752	Não se rej.Ho
PINUS CARIBAEA	0,6622	0,752	Não se rej.Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0,1996	0,752	Não se rej.Ho
EUCALIPTO CAMALDULENSIS	0,3066	0,752	Não se rej.Ho
LOURO PRETO	0,6337	0,752	Não se rej.Ho
ANGELIM ARAROBA	0,3553	0,752	Não se rej.Ho
CEDRO AMARGO	0,3461	0,752	Não se rej.Ho
ANGELIM PEDRA VERDAD,	0,4754	0,752	Não se rej.Ho

TABELA 5.59 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRITICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,3081	0,752	Não se rej.Ho
CUPIÚBA	0,7262	0,752	Não se rej.Ho
CASTANHEIRA	0,4549	0,752	Não se rej.Ho

TABELA 5.60 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	VALOR CRITICO EXPERIM.	VALOR CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,1680	0,752	Não se rej.Ho
CUPIÚBA	0,4194	0,752	Não se rej.Ho

TABELA 5.61 - Testes de Anderson-Darling sobre os valores de f_{tn}
- Madeira verde

5.4.3.4. - Comparação entre os valores da média e da mediana das distribuições de f_{tn}

A simetria é uma das características da distribuição de Gauss. Para evidenciar a existência desta simetria nas distribuições das resistências à tração normal às fibras obtidas nos ensaios das espécies em estudo, fêz-se comparações entre os valores da média e da mediana. São comparados os resultados de madeira verde e de madeira seca ao ar.

Cabe aqui lembrar que em uma distribuição simétrica os valores da média são iguais aos valores da mediana. Para esta verificação foram então tabelados os valores da média e mediana de todas as espécies estudadas nas etapas distintas. A seguir verificou-se a possibilidade de se considerarem tais valores estatisticamente equivalentes através da presença do zero no intervalo de confiança da média das diferenças entre média e mediana das amostras.

Além desta verificação, como já foi anteriormente destacado (no exemplo apresentado no item 5.4.2), na análise estatística executada pelo programa SANEST podem ser vistos valores de medidas de assimetria e curtose, aqui resumidamente destacadas quando da análise final dos resultados deste item.

Os intervalos de confiança da média das diferenças para os estados verde e seco foram calculados também pelo programa SANEST. Este, foi determinado com uma probabilidade de $1 - \alpha$ (nível de confiança) de que o intervalo contenha o verdadeiro

parâmetro. Observe-se que $1 - \alpha$ pode ser igual a 99%, 95%, 90%, etc. Como já foi anteriormente comentado, o nível de confiança aqui adotado será o de 95%, ou seja, o nível de significância α será de 5%.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
CUPIÚBA	3,58	3,45	0,13
ANGELIM PEDRA	3,54	3,60	-0,06
CASCA GROSSA	3,23	3,30	-0,07
EUCALIPTO PANICULATA	4,55	4,90	-0,35
EUCALIPTO MACULATA	3,72	3,75	-0,03
EUCALIPTO SALIGNA	3,18	3,25	-0,07
EUCALIPTO UROPHILA	3,34	3,40	-0,06
EUCALIPTO CITRIODORA	3,77	3,70	-0,07
EUCALIPTO MICROCORYS	4,20	4,35	-0,15
EUCALIPTO TERETICORNIS	3,15	2,95	0,20
PINUS ELLIOTTII	2,07	2,00	0,07
PINUS BAHAMENSIS	2,14	2,10	0,04

TABELA 5.62.- Médias e medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
CUPIÚBA	3,73	3,80	-0,07
ANGELIM PEDRA	3,82	3,70	0,12
CASCA GROSSA	4,25	4,30	-0,05
EUCALIPTO PANICULATA	4,98	4,90	0,08
EUCALIPTO MACULATA	5,01	5,20	-0,19
EUCALIPTO SALIGNA	4,04	3,80	0,24
EUCALIPTO UROPHILA	4,18	4,30	-0,12
EUCALIPTO CITRIODORA	4,13	4,30	-0,17
EUCALIPTO MICROCORYS	4,20	4,35	-0,15
EUCALIPTO TERETICORNIS	4,66	4,80	-0,14
PINUS ELLIOTTII	2,57	2,50	0,07
PINUS BAHAMENSIS	2,45	2,40	0,05

TABELA 5.63.- Médias e medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através o programa SANEST com α

= 5%:

. Madeira verde

$$-0,12 \leq \mu_d \leq 0,05$$

. Madeira seca ao ar

$$-0,11 \leq \mu_d \leq 0,06$$

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
GARAPA	6,89	7,40	-0,51
PINUS CARIBAEA	2,22	2,20	0,02
PINUS CLOESIANA	4,04	3,95	0,09
EUC. CAMALDULENSIS	3,99	4,10	-0,11
LOURO PRETO	2,92	2,90	0,02
ANGELIM ARAROBA	2,94	2,90	0,04
CEDRO AMARGO	2,24	2,30	-0,06
ANG.PEDRA VERDADEIRO	4,10	3,90	0,20

TABELA 5.64. - Médias e Medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira Verde

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
GARAPA	7,28	7,20	0,08
PINUS CARIBAEA	3,19	2,90	0,29
PINUS CLOESIANA	4,38	4,40	-0,02
EUC. CAMALDULENSIS	4,79	4,60	0,191
LOURO PRETO	3,43	3,20	0,23
ANGELIM ARAROBA	2,99	3,10	-0,11
CEDRO AMARGO	3,02	3,00	0,02
ANG.PEDRA VERDADEIRO	4,84	4,45	0,39

TABELA 5.65. - Médias e Medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com α

= 5%

. Madeira verde

$$-0,22 \leq \mu_d \leq 0,14$$

. Madeira seca ao ar

$$-0,01 \leq \mu_d \leq 0,28$$

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	11,8	11,9	-0,01
CUPIÚBA	4,65	4,75	-0,10
CASTANHEIRA	7,66	7,50	0,16

TABELA 5.66. - Médias e Medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira Seca ao ar

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MEDIANA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	9,03	9,00	0,03
CUPIÚBA	2,83	2,90	-0,07

TABELA 5.67. - Médias e Medianas das amostras de f_{tn}
- Madeira verde

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com α

= 5%

. Madeira seca

$$-0,31 \leq \mu_d \leq 0,34$$

. Madeira verde

$$-0,66 \leq \mu_d \leq 0,62$$

5.4.3.5. - Comparação entre os valores da média e da moda das distribuições de f_{tn}

Pelas razões já expostas no item anterior, serão feitas comparações entre média e moda das distribuições de f_{tn} .

Cabe aqui lembrar que em uma distribuição simétrica os valores da média são iguais aos valores da moda.

Destaca-se ainda que a moda foi tomada como o valor que apresentava o maior número de repetições dentre os dados experimentais obtidos e tabelados. Desta forma, não foi possível obter a moda para todas as espécies estudadas, pois em alguns casos não havia um valor que se enquadrasse na definição acima citada.

Para esta verificação foram então tabelados os valores da média e moda das espécies estudadas nas distintas fases considerando-se a definição de moda citada. A seguir verificou-se a possibilidade de se considerarem tais valores estatisticamente equivalentes através da presença do zero no intervalo de confiança da média das diferenças entre média e moda das amostras.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
ANGELIM PEDRA	3,54	3,60	-0,06
EUCALIPTO PANICULATA	4,55	3,50	1,05
EUCALIPTO MACULATA	3,72	4,60	-0,88
EUCALIPTO SALIGNA	3,18	2,40	0,78
EUCALIPTO UROPHILA	3,34	3,70	-0,36
EUCALIPTO MICROCORYS	4,20	3,50	0,70
EUCALIPTO TERETICORNIS	3,15	2,50	0,65
PINUS BAHAMENSIS	2,14	2,10	0,04

TABELA 5.68. - Médias e modas das amostras de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
CUPIÚBA	3,73	3,90	-0,17
ANGELIM PEDRA	3,82	4,90	-1,08
EUCALIPTO PANICULATA	4,98	5,20	-0,22
EUCALIPTO MACULATA	5,01	5,60	-0,59
EUCALIPTO SALIGNA	4,04	3,40	0,64
EUCALIPTO UROPHILA	4,18	4,30	-0,12
EUCALIPTO CITRIODORA	4,13	4,30	-0,17
EUCALIPTO MICROCORYS	4,20	4,90	-0,70
EUCALIPTO TERETICORNIS	4,66	4,90	-0,24
PINUS ELLIOTTII	2,57	2,40	0,17

TABELA 5.69.- Médias e Modas das amostras de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através o programa SANEST com α

= 5%:

. **Madeira verde**

$$-0,31 \leq \mu_d \leq 0,79$$

. **Madeira seca ao ar**

$$-0,59 \leq \mu_d \leq 0,09$$

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
PINUS CARIBAEA	2,22	1,90	0,32
LOURO PRETO	2,92	3,00	-0,08
ANGELIM ARAROBA	2,94	2,90	0,04
CEDRO AMARGO	2,24	2,50	-0,26

TABELA 5.70. - Médias e Modas das amostras de f_{tn}
- Madeira Verde

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
PINUS CARIBAEA	3,19	2,80	0,39
LOURO PRETO	3,43	2,50	0,93
CEDRO AMARGO	3,02	3,50	-0,48

TABELA 5.71. - Médias e Modas das amostras de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$

. Madeira verde

$$-0,37 \leq \mu_d \leq 0,39$$

. Madeira seca ao ar

$$-1,49 \leq \mu_d \leq 2,05$$

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	11,8	12,1	-0,30
CUPIÚBA	4,65	4,91	-0,26
CASTANHEIRA	7,66	7,39	0,27

TABELA 5.72. - Médias e Modas das amostras de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	MÉDIA DA AMOSTRA (Mpa)	MODA DA AMOSTRA (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	8,9	-	-
CUPIÚBA	2,83	-	-

TABELA 5.73. - Médias e Modas das amostras de f_{tn}
- Madeira verde

Observa-se que, para o caso da madeira verde, não foi possível, para nenhuma das duas espécies analisadas obter os valores da moda, levando-se em conta a definição assumida para o cálculo de moda da amostra.

Portanto, com os valores tabelados foi obtido o seguinte intervalo de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$

. Madeira seca ao ar

$$-0,89 \leq \mu_d \leq 0,69$$

5.4.3.6. - Comparação dos valores característicos da distribuição de f_{tn}

Além da simetria das distribuições de f_{tn} , é interessante comparar os valores característicos, ou seja, os valores referentes ao quantil 5% inferior da distribuição. Aqui a comparação é feita entre os valores extraídos da série de resultados obtidos nas distintas fases da experimentação e os valores obtidos aplicando-se as expressões provenientes da distribuição de Gauss:

$$f_{tn_k} = f_{tn_m} - 1.645s$$

onde:

$f_{tn,k}$ = valor característico da resistência da madeira à tração normal

$f_{tn,m}$ = valor médio da resistência da madeira à tração normal

s = desvio padrão da amostra

A comparação é executada como no caso da média e mediana, isto é, através do intervalo de confiança da média das diferenças.

A - Primeira fase da Experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSION (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
CUPIÚBA	1,89	2,00	-0,11
ANGELIM PEDRA	1,82	1,80	0,02
CASCA GROSSA	1,62	1,80	-0,18
EUCALIPTO PANICULATA	2,16	1,90	0,26
EUCALIPTO MACULATA	2,08	1,80	0,28
EUCALIPTO SALIGNA	1,84	1,80	0,04
EUCALIPTO UROPHILA	1,90	1,70	0,20
EUCALIPTO CITRIODORA	2,20	2,20	0,00
EUCALIPTO MICROCORYS	2,49	2,30	0,19
EUCALIPTO TERETICORNIS	1,30	1,50	-0,20
PINUS ELLIOTTII	1,43	1,40	0,03
PINUS BAHAMENSIS	1,19	1,10	0,09

TABELA 5.74. - Valores de $f_{tn,k}$ - madeira verde

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSION (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
CUPIÚBA	2,20	2,20	0,00
ANGELIM PEDRA	2,09	1,70	0,39
CASCA GROSSA	2,20	1,50	0,70
EUCALIPTO PANICULATA	2,18	2,40	-0,22
EUCALIPTO MACULATA	2,66	2,70	-0,04
EUCALIPTO SALIGNA	1,71	1,90	-0,19
EUCALIPTO UROPHILA	2,31	2,40	-0,09
EUCALIPTO CITRIODORA	2,23	2,00	0,23
EUCALIPTO MICROCORYS	2,00	1,90	0,10
EUCALIPTO TERETICORNIS	2,27	2,20	0,07
PINUS ELLIOTTII	1,68	1,80	-0,12
PINUS BAHAMENSIS	1,35	1,30	0,05

TABELA 5.75. - Valores de $f_{tn,k}$ - madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através o programa SANEST

com $\alpha = 5\%$:

. Madeira verde

$$-0,05 \leq \mu_d \leq 0,15$$

. Madeira seca ao ar

$$-0,09 \leq \mu_d \leq 0,24$$

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSÃO (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
GARAPA	3,56	3,20	0,36
PINUS CARIBAEA	1,74	1,80	-0,06
EUCALIPTO CLOESIANA	2,47	2,70	-0,23
EUC. CAMALDULENSIS	2,38	2,20	0,18
LOURO PRETO	1,64	1,80	-0,16
ANGELIM ARAROBA	1,83	1,70	0,13
CEDRO AMARGO	1,47	1,40	0,07
ANG.PEDRA VERDADEIRO	2,33	2,10	0,23

TABELA 5.76. - Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira Verde

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSÃO (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
GARAPA	5,82	5,70	0,12
PINUS CARIBAEA	2,02	2,20	-0,18
EUCALIPTO CLOESIANA	2,55	2,40	0,15
EUC. CAMALDULENSIS	2,95	2,80	0,15
LOURO PRETO	2,20	2,20	0,00
ANGELIM ARAROBA	1,88	1,70	0,18
CEDRO AMARGO	1,88	2,20	-0,32
ANG.PEDRA VERDADEIRO	3,12	2,80	0,32

TABELA 5.77. - Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com α

= 5%

. Madeira verde

$$-0,10 \leq \mu_d \leq 0,23$$

. Madeira seca ao ar

$$-0,12 \leq \mu_d \leq 0,23$$

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSÃO (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	9,50	9,52	-0,02
CUPIÚBA	3,57	3,39	0,18
CASTANHEIRA	5,91	5,91	0,00

TABELA 5.78. - Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ EXPRESSÃO (Mpa)	$f_{tn,k}$ EXPERIMENTAL (Mpa)	DIFERENÇA (Mpa)
MAÇARANDUBA	7,50	7,40	0,10
CUPIÚBA	2,09	1,90	0,19

TABELA 5.79. - Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira verde

Com os valores tabelados foi obtido o seguinte intervalo de confiança através do programa SANEST com $\alpha =$

5%

. Madeira seca ao ar

$$-0,22 \leq \mu_d \leq 0,33$$

. Madeira verde

$$-0,43 \leq \mu_d \leq 0,72$$

5.4.3.7. Considerações finais

A - Primeira fase da experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes de normalidade (ítens 5.4.3.2. e 5.4.3.3.) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de frequência de f_{tn} , seja para a madeira verde, seja para a madeira seca ao ar.

Ainda tratando-se da análise de cada espécie separadamente através dos resultados obtidos pelo programa SANEST e mediante os aspectos teóricos citados no início do capítulo nota-se que a distribuição tem sempre uma leve tendência ora de assimetria positiva ora negativa, no entanto, este valor se manteve sempre próximo de zero para todas as espécies.

Quanto as medidas de curtose de cada espécie nota-se uma tendência generalizada à curva correspondente a uma distribuição platicúrtica.

No que se refere à verificação da possibilidade de se

considerar estatisticamente equivalentes os valores da média e mediana (item 5.4.3.4) e média e moda (item 5.4.3.5) das distribuições de f_{tn} através do intervalo de confiança, verifica-se, para todos os resultados que o zero está contido neste intervalo de confiança e, portanto, os valores da média, mediana e moda podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências características obtidas experimentalmente e pela expressão mencionada (item 5.4.3.6) através do intervalo de confiança, verifica-se que o zero está contido neste intervalo significando que tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes, seja para a madeira verde, seja para a seca ao ar.

Pelo exposto, admite-se a distribuição normal como satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais da primeira fase aqui considerados em toda análise apresentada.

B - Segunda fase da Experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes de normalidade (ítems 5.4.3.2 e 5.4.3.3) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de frequência de f_{tn} , seja para a madeira verde, seja para a madeira seca ao ar.

Ainda tratando-se da análise de cada espécie

separadamente através dos resultados obtidos pelo programa SANEST e mediante aspectos teóricos citados no início do capítulo, nota-se que a distribuição tem sempre uma leve tendência ora de assimetria positiva, ora negativa. Nota-se ainda que este valor se manteve sempre próximo de zero para todas as espécies, porém, no geral os valores foram mais altos (ou seja, mais distantes do zero) do que para o caso das grandes amostras.

Quanto as medidas de curtose de cada espécie nota-se uma tendência generalizada à curva correspondente a uma distribuição platicúrtica, como no caso das grandes amostras.

No que se refere à verificação da possibilidade de se considerar estatisticamente equivalentes os valores da média e mediana (item 5.4.3.4) e média e moda (item 5.4.3.5) das distribuições de f_{tn} através do intervalo de confiança, verifica-se que para todos os resultados o zero está contido neste intervalo de confiança e portanto, os valores da média, mediana e moda podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências características obtidas experimentalmente e pela expressão mencionada (item 5.4.3.6) através do intervalo de confiança, verifica-se que o zero está contido neste intervalo significando que tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Pelo exposto, admite-se também para as pequenas amostras aqui estudadas, a distribuição normal como

satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais da segunda fase da experimentação. Salieta-se que os resultados foram satisfatórios para todos os testes.

C - Terceira fase da Experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes de normalidade (ítem 5.4.3.2 e 5.4.3.3) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de frequência de f_{tn} tanto para a madeira verde quanto para a madeira seca.

Ainda tratando-se da análise de cada espécie separadamente através dos resultados obtidos pelo programa SANEST e, mediante aspectos teóricos citados no início do capítulo, nota-se que a distribuição tem sempre uma leve tendência ora de assimetria positiva, ora negativa. Nota-se ainda que este valor se manteve sempre próximo de zero para todas as espécies.

Quanto às medidas de curtose de cada espécie nota-se uma tendência generalizada à curva correspondente a uma distribuição platicúrtica, como no caso das outras séries de ensaio.

No que se refere à verificação da possibilidade de se considerar estatisticamente equivalentes os valores da média e mediana (item 5.4.3.4), verifica-se que para todos os resultados o zero está contido neste intervalo e, portanto, os valores da média e mediana podem ser considerados

estatisticamente equivalentes.

Para o caso da verificação da possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores da média e moda (item 5.4.3.5) das distribuições de ftn através do intervalo de confiança, verifica-se que para o caso da madeira verde, não houve possibilidade de se encontrarem os valores da moda pela definição adotada para o cálculo deste valor. Portanto, para este caso não se encontrou o intervalo de confiança. Para o caso da madeira seca ao ar os resultados mostram que o zero está contido neste intervalo de confiança e portanto, os valores da média e moda podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências características obtidas experimentalmente e pela expressão mencionada (item 5.4.3.6) através do intervalo de confiança, verifica-se que o zero está contido neste intervalo para o caso da madeira verde e seca ao ar, significando que tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Pelo exposto, admite-se também para a terceira fase da experimentação, isto é, corpos de prova de seção retangular ensaiados como viga, aqui estudados, a distribuição normal como satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais desta fase da experimentação.

Salienta-se ainda que os intervalos de confiança obtidos para a madeira verde não são representativos, pois

foram obtidos com apenas duas amostras (espécies). É necessária a inclusão de outras espécies para que se possa encontrar intervalos de confiança confiáveis.

5.4.4.- Hipótese de Distribuição de Weibull

5.4.4.1.- Definição

Uma variável aleatória X tem uma distribuição de Weibull se existem valores dos parâmetros $c(>0)$, $\alpha (>0)$ e ϵ_0

de tal forma que:

$$Y = \left[\frac{(X - \epsilon_0)}{\alpha} \right]^c$$

tem distribuição exponencial, com função densidade de probabilidade

$$pY(y) = e^{-y} \quad (0 < y)$$

A função densidade de probabilidade de X é:

$$pX(x) = c\alpha^{-1} \left[\frac{(x - \epsilon_0)}{\alpha} \right]^{c-1} \exp \left[- \left[\frac{(x - \epsilon_0)}{\alpha} \right]^c \right] \quad (\epsilon_0 < x)$$

A distribuição é chamada posteriormente Waloddi Weibull, um físico sueco que a usou em 1939 para representar a distribuição de resistência para a ruptura de materiais. Ela tem sido usada também para estudos a respeito de controle

de qualidade. A distribuição é bastante utilizada onde as condições de "estrita aleatoriedade" da distribuição exponencial não são satisfeitas.

Quando um modelo teórico, reunindo hipóteses exatas sobre independência, caminha para uma distribuição exponencial que represente a variação de uma estatística observada, esta distribuição pode ser transformada em uma distribuição de Weibull permitindo correções de possíveis erros no modelo. Em geral, não existe razão teórica explícita indicando que uma distribuição de Weibull pode ser usada.

A distribuição de Weibull tem sido utilizada para representar as propriedades de resistência e de elasticidade de materiais, entre eles a madeira, conforme sugestão do EUROCODE 5, e outras normas para o projeto de estruturas de madeira dele derivadas.

5.4.4.2.- Propriedades

Alguns gráficos da função densidade de probabilidade, para vários valores de c , são mostrados na figura 5.2. Em todos os casos $\alpha=1$ e $\epsilon=0$.

Para $c>1$, a função densidade de probabilidade tende a zero quando x tende a zero, e neste caso tem-se:

$$x = \alpha \left[\frac{(c-1)}{c} \right]^{\frac{1}{c} + \epsilon_0}$$

Este valor tende a

$$(\alpha + \epsilon_0)$$

mais rapidamente quando c tende ao infinito.

Para $0 < c < 1$, a moda é zero, e $p(x)$ é uma função decrescente de x para todos os $x > \epsilon_0$. A mediana é dada por:

$$\alpha [\log_e 2]^{\frac{1}{c}} + \epsilon_0$$

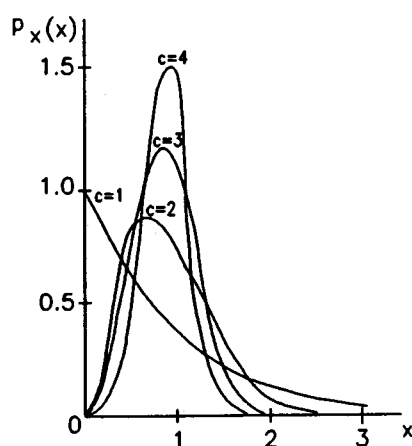


Figura 5.2.- Gráficos da função densidade de probabilidade
(Shapiro, 1990)

A função distribuição acumulada é:

$$F_x(x) = 1 - \exp\left[-\left[\frac{(x - \epsilon_0)}{\alpha}\right]^c\right]$$

Note que para qualquer valor de c ,

$$F_X(\epsilon_0 + \alpha) = 1 - e^{-1} = 0.63$$

Para $\epsilon_0 = 0$ e $\alpha = 1$, tem-se a função densidade padronizada:

$$p_X(x) = cx^{c-1} \exp(-x^c) \quad (x > 0)$$

A distribuição de X agora depende apenas do parâmetro c.

5.4.4.3. - Estimadores

Se c e ϵ_0 são conhecidos, então $Z = (X - \epsilon_0)$ pode ser calculado. O parâmetro remanescente α pode então ser estimado usando o fato de que Z tem distribuição exponencial com função densidade de probabilidade

$$p_Z(z) = \alpha^{-1} e^{-\frac{z}{\alpha}} \quad z > 0$$

Muitos são os métodos para se estimar estes parâmetros, como por exemplo: máxima verossimilhança, método dos momentos, estimadores baseados na distribuição de log X, estimadores baseados em outras estatísticas e ainda através do gráfico de probabilidades de Weibull, que será o método utilizado neste trabalho.

Para simplificar o entendimento deste processo de cálculo dos parâmetros da distribuição de Weibull, segue um resumo dos passos básicos para o uso do gráfico de probabilidades.

. As observações são ordenadas e plotadas contra a probabilidade $P_i = [(i - 0.5)/n] \times 100$ onde $i = 1, 2, \dots, n$ é a ordem das observações e n é o tamanho da amostra. Os P_i são sempre plotados na escala de porcentagem.

. Os y_i são plotados na abcissa e os P_i na ordenada onde:

-eixo das abcissas: logaritmo das variáveis observadas

-eixo das ordenadas: logaritmo-logaritmo na base e das freqüências acumuladas de $F(x)$ correspondentes aos valores de x , sendo tais freqüências dadas em porcentagem.

. Para simplificar a notação a função densidade de probabilidade será tratada da seguinte forma:

$$f(y; \eta; \lambda) = \lambda \eta y^{\eta-1} e^{-\lambda y^\eta}$$

com
 $y > 0, \eta > 0, \lambda > 0$

onde:

$$\begin{aligned} c &= \eta \\ \lambda &= a^{-\eta} \\ (x - \epsilon_0) &= y \end{aligned}$$

. Um estimador para o parâmetro η pode ser obtido de:

$$\eta = \frac{3,084}{\ln Y_{0,90} - \ln Y_{0,10}}$$

Os valores de $y(0,90)$ e $y(0,10)$ são obtidos do gráfico de probabilidades.

. O parâmetro λ pode ser estimado de:

$$\lambda = (Y_{0,6322})^{-\eta}$$

. A mediana é obtida através do gráfico de probabilidades correspondendo ao ponto $y(0.50)$.

5.4.4.4.-Teste para verificação da distribuição de Weibull

Testes para diferentes distribuições são obtidos pela transformação dos dados antes de se proceder ao teste propriamente dito no computador. Para a distribuição de Weibull, a transformação usada é o logaritmo natural dos dados. Este procedimento pode ser visto com detalhes nas publicações de Shapiro e Braian (1987).

O teste aqui apresentado foi executado no programa GLIM. Para um melhor entendimento deste, os passos básicos serão aqui detalhados:

. Dada uma amostra de n elementos ordenados, o primeiro passo é calcular as quantidades:

$$W_i = \ln \left[\frac{(n+1)}{(n+1-i)} \right]; \quad i=1, 2, 3, \dots, n-1$$

$$W_n = n - \sum_{i=1}^{n-1} W_i$$

$$W_{n+1} = W_i (1 + \ln W_i) - 1; \quad i=1, 2, 3, \dots, n-1$$

$$W_{2n} = 0.4228n - \sum_{i=1}^{n-1} W_{n+1}$$

$$L_1 = \sum_{i=1}^n W_i X_i;$$

$$L_2 = \sum_{i=1}^n W_{n+1} X_i \quad e$$

$$b = \frac{(0.6079L_2 - 0.2570L_1)}{n}$$

O teste estatístico é:

$$W_w = \frac{nb^2}{S^2}$$

onde S' é definido na equação:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}$$

Note que para o teste de Weibull

$$X_i = \ln Y_i$$

onde os Y_i são os valores observados ordenados.

O valor computado de W_w é comparado com o valor apropriado do percentil do teste estatístico, o qual é calculado pela equação:

$$W_p = \beta_0 + \beta_1 \ln n + \beta_2 (\ln n)^2$$

onde os valores de β dependem do tipo de erro (I) e do nível de significância do teste. O procedimento é para o teste bi-caudal e os valores de β são:

PERCENTAGEM	β_0	β_1	β_2
0,005	0,10102	0,04249	0,005882
0,025	0,11787	0,08550	-0,002048
0,050	0,13200	0,10792	-0,006487
0,950	1,46218	-0,21111	0,012914
0,975	1,64869	-0,26411	0,016840
0,995	1,91146	-0,31361	0,017669

TABELA 5.49. - Valores de β para o cálculo de W_p

Por ser um teste bi-caudal, é necessário determinar se o valor computado de W_w está entre :

$$W_{\frac{\alpha}{2}} \quad e \quad W_{1-\frac{\alpha}{2}}$$

para um teste de erro tipo I com nível de significância α

. Neste caso não se pode rejeitar H_0 .

O teste foi realizado utilizando-se diretamente o programa GLIM. A listagens referente ao exemplo pode ser vista no C. Listagem completa contendo todas as espécies encontram-se arquivadas à disposição para verificação.

É importante salientar que na tabela tem-se o valor crítico experimental (W) e o intervalo

$$W_{\frac{\alpha}{2}} \quad e \quad W_{1-\frac{\alpha}{2}}$$

Como já anteriormente especificado, adota-se $\alpha = 0.05$ e, portanto, o intervalo obtido será

$$W_{0.025} \quad e \quad W_{0.975}$$

Se W calculado estiver dentro do intervalo acima descrito, não se rejeita a hipótese de os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras poderem ser representados pela distribuição de Weibull. Observe-se ainda que o próprio programa fornece a tabela comparativa com o valor de W_p para cada caso estudado.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,6662	0,3939 0,9268	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,6901	0,4054 0,9036	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,7284	0,3918 0,9311	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,6998	0,3999 0,9146	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,6410	0,4152 0,8844	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,6704	0,4422 0,8341	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,7206	0,4347 0,8476	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,6813	0,4105 0,8935	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,5378	0,4018 0,9108	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,7663	0,4054 0,9036	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,8690	0,4018 0,9108	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,7840	0,4036 0,9071	Não se rej. Ho

TABELA 5.80 - Teste de Weibull - madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
CUPIÚBA	0,7991	0,4018 0,9108	Não se rej. Ho
ANGELIM PEDRA	0,6024	0,4054 0,9036	Não se rej. Ho
CASCA GROSSA	0,5318	0,3918 0,9311	Não se rej. Ho
EUCALIPTO PANICULATA	0,5864	0,4036 0,9071	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MACULATA	0,6800	0,4289 0,8584	Não se rej. Ho
EUCALIPTO SALIGNA	0,7198	0,4451 0,8289	Não se rej. Ho
EUCALIPTO UROPHILA	0,6163	0,4611 0,8012	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CITRIODORA	0,5851	0,4237 0,8680	Não se rej. Ho
EUCALIPTO MICROCORYS	0,4228	0,3896 0,9356	Não se rej. Ho
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,5986	0,3918 0,9311	Não se rej. Ho
PINUS ELLIOTTII	0,7621	0,4071 0,9001	Não se rej. Ho
PINUS BAHAMENSIS	0,7663	0,3896 0,9356	Não se rej. Ho

TABELA 5.81 - Teste de Weibull - madeira seca ao ar

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,4279	0,3177 1,0964	Não se rej. Ho
PINUS CARIBAEA	0,9290	0,3719 0,9730	Não se rej. Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0,6529	0,3592 1,0007	Não se rej. Ho
EUC, CAMALDULENSIS	0,4419	0,3237 1,0821	Não se rej, Ho
LOURO PRETO	0,7293	0,3689 0,9794	Não se rej, Ho
ANGELIM ARAROBA	0,7095	0,3344 1,0570	Não se rej. Ho
CEDRO AMARGO	0,6732	0,3519 1,0170	Não se rej. Ho
ANG, PEDRA VERDADEIRO	0,6737	0,3111 1,1122	Não se rej. Ho

Tabela 5.82 - Teste de Weibull
- Madeira verde

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
GARAPA	0,8001	0,3111 1,1122	Não se rej. Ho
PINUS CARIBAEA	1,002	0,3747 0,9670	rejeita-se Ho
EUCALIPTO CLOESIANA	0.8373	0,3392 1,0459	Não se rej. Ho
EUC. CAMALDULENSIS	0,8301	0,3437 1,0356	Não se rej. Ho
LOURO PRETO	0,8493	0,3658 0,9861	Não se rej. Ho
ANGELIM ARAROBA	0,5664	0,3344 1,0570	Não se rej. Ho
CEDRO AMARGO	0,4900	0,3658 0,9861	Não se rej. Ho
ANG.PEDRA VERDADEIRO	1,050	0,3177 1,0964	Não se rej. Ho

Tabela 5.83 - Teste de Weibull
- Madeira seca ao ar

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,9131	0,3980 0,9185	Não se rej. Ho
CUPIÚBA	0,9795	0,3980 0,9185	rejeita-se Ho
CASTANHEIRA	0.9069	0,3939 0,9268	Não se rej. Ho

Tabela 5.84 - Teste de Weibull
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	VALOR CRÍTICO EXPERIM.	INTERVALO CRÍTICO TABELADO	OBS.
MAÇARANDUBA	0,9339	0,3896 0,9356	Não se rej. Ho
CUPIÚBA	0,6156	0,3896 0,9356	Não se rej. Ho

Tabela 5.85 - Teste de Weibull
- Madeira verde

5.4.4.5.- Método gráfico de verificação da distribuição de Weibull

Aplicando-se os aspectos teóricos a respeito do gráfico de probabilidades de Weibull (item 5.4.4.2) pode-se verificar a compatibilidade do emprego da distribuição de Weibull para representar variações aleatórias.

Considerando a expressão da função de probabilidade acumulada

$$F(x) = 1 - \exp[-(\lambda y)^n]$$

tem-se uma relação linear entre o valor do logaritmo de x e a função

$$\ln[\ln(\frac{1}{1-F})]$$

Plotando-se no gráfico de probabilidades de Weibull os parâmetros referentes às amostras em estudo, é possível estimar o coeficiente de correlação (r^2) da reta obtida.

São considerados aceitáveis valores de $r^2 > 0,8$, ou seja, aceita-se a distribuição de Weibull para representar as variáveis em estudo se a reta obtida como o exposto apresentar $r^2 > 0,8$ (Lee, 1980).

Com os valores de f_{tn} das tabelas referentes a cada etapa devidamente transformados e com os valores das probabilidades acumuladas calculadas para cada amostra, foram definidas todas as retas correspondentes aos gráficos de probabilidades de Weibull através de regressões executadas pelo programa SANEST .

No quadro da análise de variância das regressões, a hipótese admitida pelo programa estatístico utilizado (SANEST) é a de que para a regressão ser considerada significativa ao nível desejado, o valor que se vê "PROB > F" deverá ser menor ou igual a 0,05, que corresponde ao nível de significância adotado.

O mesmo se diz a respeito da significância dos parâmetros da regressão, os quais são comparados com o valor que se vê na listagem tabelada "PROB > t".

Todas as regressões obtidas foram analisadas pelos critérios acima discutidos. Um exemplo de listagem obtida pode ser vista no anexo D. A listagem completa com regressões para todas as espécies estudadas encontram-se arquivadas à disposição para verificação.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAOES
CUPIÚBA	0,97	aceita-se Weibull
ANGELIM PEDRA	0,97	aceita-se Weibull
CASCA GROSSA	0,95	aceita-se Weibull
EUCALIPTO PANICULATA	0,97	aceita-se Weibull
EUCALIPTO MACULATA	0,97	aceita-se Weibull
EUCALIPTO SALIGNA	0,98	aceita-se Weibull
EUCALIPTO UROPHILA	0,97	aceita-se Weibull
EUCALIPTO CITRIODORA	0,95	aceita-se Weibull
EUCALIPTO MICROCORYS	0,97	aceita-se Weibull
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,93	aceita-se Weibull
PINUS ELLIOTTII	0,96	aceita-se Weibull
PINUS BAHAMENSIS	0,97	aceita-se Weibull

TABELA 5.86 - Coeficiente de correlação (Weibull)
- Madeira verde

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAOES
CUPIÚBA	0,96	aceita-se Weibull
ANGELIM PEDRA	0,95	aceita-se Weibull
CASCA GROSSA	0,95	aceita-se Weibull
EUCALIPTO PANICULATA	0,93	aceita-se Weibull
EUCALIPTO MACULATA	0,95	aceita-se Weibull
EUCALIPTO SALIGNA	0,99	aceita-se Weibull
EUCALIPTO UROPHILA	0,98	aceita-se Weibull
EUCALIPTO CITRIODORA	0,98	aceita-se Weibull
EUCALIPTO MICROCORYS	0,96	aceita-se Weibull
EUCALIPTO TERETICORNIS	0,99	aceita-se Weibull
PINUS ELLIOTTII	0,96	aceita-se Weibull
PINUS BAHAMENSIS	0,98	aceita-se Weibull

TABELA 5.87 - Coeficiente de correlação (Weibull)
- Madeira seca ao ar

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAÇÕES
GARAPA	0,94	aceita-se Weibull
PINUS CARIBAEA	0,90	aceita-se Weibull
EUCALIPTO CLOESIANA	0,99	aceita-se Weibull
EUC. CAMALDULENSIS	0,96	aceita-se Weibull
LOURO PRETO	0,95	aceita-se Weibull
ANGELIM ARAROBA	0,95	aceita-se Weibull
CEDRO AMARGO	0,94	aceita-se Weibull
ANG, PEDRA VERDADEIRO	0,95	aceita-se Weibull

Tabela 5.88. - Coeficientes de correlação (Weibull)
- Madeira verde

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAÇÕES
GARAPA	0,88	aceita-se Weibull
PINUS CARIBAEA	0,92	aceita-se Weibull
EUCALIPTO CLOESIANA	0,90	aceita-se Weibull
EUC, CAMALDULENSIS	0,93	aceita-se Weibull
LOURO PRETO	0,89	aceita-se Weibull
ANGELIM ARAROBA	0,95	aceita-se Weibull
CEDRO AMARGO	0,91	aceita-se Weibull
ANG, PEDRA VERDADEIRO	0,91	aceita-se Weibull

Tabela 5.89. - Coeficientes de correlação (Weibull)
- Madeira seca ao ar

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAÇÕES
MAÇARANDUBA	0,94	aceita-se Weibull
CUPIÚBA	0,87	aceita-se Weibull
CASTANHEIRA	0,94	aceita-se Weibull

Tabela 5.90. - Coeficientes de correlação (Weibull)
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	OBSERVAÇÕES
MAÇARANDUBA	0,92	aceita-se Weibull
CUPIÚBA	0,94	aceita-se Weibull

Tabela 5.91. - Coeficientes de correlação (Weibull)
- Madeira verde

5.4.4.6.- Comparação entre os valores das medianas da distribuição de f_{tn}

Para complementar a verificação da compatibilidade da distribuição de Weibull representar as resistências da madeira à tração normal às fibras obtidas nos ensaios, é feita a comparação entre os valores da mediana obtidos empregando-se a distribuição de Weibull e os valores da mediana extraídos das séries de resultados experimentais da primeira fase de ensaios. Foi novamente aqui utilizado o procedimento estatístico da comparação entre médias para o qual a presença do zero no intervalo de confiança da média das diferenças indica a possibilidade de se considerar os valores das medianas estatisticamente equivalentes.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
CUPIÚBA	3,61	3,45	0,16
ANGELIM PEDRA	3,57	3,60	-0,03
CASCA GROSSA	3,24	3,30	-0,06
EUCALIPTO PANICULATA	4,97	4,90	0,07
EUCALIPTO MACULATA	3,73	3,75	-0,02
EUCALIPTO SALIGNA	3,20	3,25	-0,05
EUCALIPTO UROPHILA	3,38	3,40	-0,02
EUCALIPTO CITRIODORA	3,79	3,70	0,09
EUCALIPTO MICROCORYS	4,24	4,35	-0,11
EUCALIPTO TERETICORNIS	3,14	2,95	0,19
PINUS ELLIOTTII	2,09	2,00	0,09
PINUS BAHAMENSIS	2,15	2,10	0,05

TABELA 5.92.- Medianas de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
CUPIÚBA	3,77	3,80	-0,03
ANGELIM PEDRA	3,85	3,70	0,15
CASCA GROSSA	4,27	4,30	-0,03
EUCALIPTO PANICULATA	4,57	4,90	-0,33
EUCALIPTO MACULATA	5,05	5,20	-0,15
EUCALIPTO SALIGNA	4,01	3,80	0,21
EUCALIPTO UROPHILA	4,21	4,30	-0,09
EUCALIPTO CITRIODORA	4,15	4,30	-0,15
EUCALIPTO MICROCORYS	4,20	4,35	-0,15
EUCALIPTO TERETICORNIS	4,66	4,80	-0,14
PINUS ELLIOTTII	2,61	2,50	0,11
PINUS BAHAMENSIS	2,47	2,40	0,07

TABELA 5.93.- Medianas de ftn
- Madeira seca

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST

com $\alpha = 5\%$.

. Madeira verde

$$-0.03 \leq \mu_d \leq 0.09$$

. Madeira seca ao ar

$$-0.14 \leq \mu_d \leq 0.05$$

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
GARAPA	6,92	7,40	-0,48
PINUS CARIBAEA	2,25	2,20	0,05
EUCALIPTO CLOESIANA	4,43	3,95	0,48
EUC. CAMALDULENSIS	4,05	4,10	-0,05
LOURO PRETO	2,94	2,90	0,04
ANGELIM ARAROBA	2,96	2,90	0,06
CEDRO AMARGO	3,06	2,30	0,76
ANG. PEDRA VERDADEIRO	4,11	3,90	0,21

TABELA 5.94.- Medianas de f_{tn}
- Madeira verde

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
GARAPA	7,46	7,20	0,26
PINUS CARIBAEA	3,21	2,90	0,31
EUCALIPTO CLOESIANA	3,97	4,40	-0,43
EUC. CAMALDULENSIS	4,82	4,60	0,22
LOURO PRETO	3,46	3,20	0,26
ANGELIM ARAROBA	3,03	3,10	-0,07
CEDRO AMARGO	2,26	3,00	-0,74
ANG. PEDRA VERDADEIRO	4,88	4,45	0,43

TABELA 5.95.- Medianas de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com α

= 5%.

. Madeira verde

$$-0.17 \leq \mu_d \leq 0.44$$

. Madeira seca ao ar

$$-0.31 \leq \mu_d \leq 0.37$$

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
MAÇARANDUBA	11,97	11,90	0,07
CUPIÚBA	4,70	4,75	-0,05
CASTANHEIRA	7,74	7,50	0,24

TABELA 5.96 - Medianas de f_{tn}
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	MEDIANA-WEIBULL (Mpa)	MEDIANA-AMOSTRA (Mpa)	DIF. (Mpa)
MAÇARANDUBA	9,05	9,00	0,05
CUPIÚBA	2,89	2,90	-0,01

TABELA 5.97.- Medianas de f_{tn}
- Madeira verde

Com os valores tabelados foi obtido o seguinte intervalo de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$.

. Madeira seca ao ar

$$-0.28 \leq \mu_d \leq 0.45$$

. Madeira verde

$$-0.36 \leq \mu_d \leq 0.40$$

5.4.4.7.- Comparação entre os valores característicos da distribuição de f_{tn}

Neste item é feita a comparação entre os valores característicos extraídos dos resultados experimentais obtidos da primeira série de ensaios e os valores característico da distribuição de Weibull. Foi novamente utilizado o procedimento estatístico da comparação entre médias para o qual a presença do zero no intervalo de confiança da média das diferenças indica a possibilidade de se considerar os valores das resistências características, obtidas como o especificado acima, estatisticamente equivalentes.

A - Primeira fase da experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
CUPIÚBA	1,89	2,00	-0,11
ANGELIM PEDRA	1,83	1,80	0,03
CASCA GROSSA	1,64	1,80	-0,16
EUCALIPTO PANICULATA	2,22	1,90	0,32
EUCALIPTO MACULATA	1,99	1,80	0,19
EUCALIPTO SALIGNA	1,80	1,80	0,00
EUCALIPTO UROPHILA	1,87	1,70	0,17
EUCALIPTO CITRIODORA	2,14	2,20	-0,06
EUCALIPTO MICROCORYS	2,32	2,30	0,02
EUCALIPTO TERETICORNIS	1,42	1,50	-0,08
PINUS ELLIOTTII	1,41	1,40	0,01
PINUS BAHAMENSIS	1,19	1,10	0,09

TABELA 5.98.- Valores de $f_{tn,k}$ - Madeira verde

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
CUPIÚBA	2,19	2,20	-0,01
ANGELIM PEDRA	2,00	1,70	0,30
CASCA GROSSA	1,98	1,50	0,48
EUCALIPTO PANICULATA	2,20	2,40	-0,20
EUCALIPTO MACULATA	2,63	2,70	-0,07
EUCALIPTO SALIGNA	1,82	1,90	-0,08
EUCALIPTO UROPHILA	2,25	2,40	-0,15
EUCALIPTO CITRIODORA	2,12	2,00	0,12
EUCALIPTO MICROCORYS	1,79	1,90	-0,11
EUCALIPTO TERETICORNIS	2,20	2,20	0,00
PINUS ELLIOTTII	1,48	1,80	-0,32
PINUS BAHAMENSIS	1,34	1,30	0,04

TABELA 5.99.- Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$.

. Madeira verde

$$-0.05 \leq \mu_d \leq 0.12$$

. Madeira seca ao ar

$$-0.14 \leq \mu_d \leq 0.14$$

B - Segunda fase da experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
GARAPA	3,31	3,20	0,11
PINUS CARIBAEA	1,61	1,80	-0,19
EUCALIPTO CLOESIANA	2,48	2,70	-0,22
EUC. CAMALDULENSIS	2,33	2,20	0,13
LOURO PRETO	1,60	1,80	-0,20
ANGELIM ARAROBA	1,57	1,70	-0,13
CEDRO AMARGO	1,81	1,40	0,41
ANG. PEDRA VERDADEIRO	1,92	2,10	-0,18

TABELA 5.100.- Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira verde

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
GARAPA	5,32	5,70	-0,38
PINUS CARIBAEA	1,73	2,20	-0,47
EUCALIPTO CLOESIANA	1,64	2,40	-0,76
EUC, CAMALDULENSIS	2,59	2,80	-0,21
LOURO PRETO	1,83	2,20	-0,37
ANGELIM ARAROBA	1,69	1,70	-0,01
CEDRO AMARGO	1,33	2,20	-0,87
ANG. PEDRA VERDADEIRO	2,65	2,80	-0,15

TABELA 5.101.- Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira seca ao ar

Com os valores tabelados foram obtidos os seguintes intervalos de confiança através do programa SANEST com α = 5%.

. Madeira verde

$$-0.22 \leq \mu_d \leq 0.16$$

. Madeira seca ao ar

$$-0.65 \leq \mu_d \leq -0.16$$

C - Terceira fase da experimentação

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
MAÇARANDUBA	9,27	9,50	-0,23
CUPIÚBA	3,29	3,57	-0,28
CASTANHEIRA	5,77	5,91	-0,14

TABELA 5.102.- Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira seca ao ar

ESPÉCIE	$f_{tn,k}$ -WEIBULL (Mpa)	$f_{tn,k}$ -EXPERIM. (Mpa)	DIF. (Mpa)
MAÇARANDUBA	7,34	7,40	-0,06
CUPIÚBA	2,00	1,90	0,10

TABELA 5.103.- Valores de $f_{tn,k}$
- Madeira verde

Com os valores tabelados foi obtido o seguinte intervalo de confiança através do programa SANEST com $\alpha = 5\%$.

. Madeira seca ao ar

$$-0.39 \leq \mu_d \leq -0.04$$

. Madeira verde

$$-0.99 \leq \mu_d \leq 1.03$$

5.4.4.8. - Considerações finais

A - Primeira fase da experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes (ítems 5.4.4.4 e 5.4.4.5) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de freqüência de f_{tn} , seja para a madeira verde, seja para a madeira seca ao ar .

No que se refere à verificação da possibilidade de se considerar estatisticamente equivalentes os valores das medianas da amostra e de Weibull (item 5.4.4.6) das distribuições de f_{tn} através do intervalo de confiança, verifica-se para todos os resultados que o zero está contido neste intervalo de confiança e portanto tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências características obtidas dos valores experimentais e pela distribuição de Weibull (item 5.4.4.7) através do intervalo de confiança, verificou-se que para todos os resultados o zero está contido no intervalo, significando que tais

valores podem ser considerados estatisticamente equivalente.

Pelo exposto, admite-se a distribuição de Weibull como satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais da primeira fase aqui considerados em toda análise apresentada.

B - Segunda fase da experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes (ítems 5.4.4.4 e 5.4.4.5) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de frequência de f_{tn} , seja para a madeira verde, seja para a madeira seca ao ar, excetuando-se uma das espécies (*Pinus Caribaea*) em um dos estados (madeira seca) e para um dos testes (teste para a verificação de Weibull).

No que se refere à verificação da possibilidade de se considerar estatisticamente equivalentes os valores das medianas da amostra e de Weibull (item 5.4.4.6) das distribuições de f_{tn} através do intervalo de confiança, verifica-se para todos os resultados que o zero está contido neste intervalo e portanto tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências características obtidas dos valores experimentais e pela distribuição de Weibull (item 5.4.4.7) através do intervalo de confiança, verifica-se para que o zero está contido no intervalo para o caso da madeira verde, significando para

este caso que tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes. O mesmo não pode ser dito para este teste no caso da madeira seca, pois o zero não está contido no intervalo de confiança.

Pelo exposto, é possível admitir-se a distribuição de Weibull como satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais da segunda fase aqui considerados em toda análise apresentada. Salienta-se que os resultados não foram satisfatórios, para a madeira seca ao ar, em dois dos testes efetuados .

C - Terceira fase da experimentação

Os resultados obtidos pelos dois testes (itens 5.4.4.4 e 5.4.4.5) mostram a possibilidade de não rejeição da hipótese nula para a distribuição de frequência de f_{tn} , para duas espécies, mas rejeitou-se em um dos testes (teste para a distribuição de Weibull - executado pelo programa GLIM) uma das espécies (Cupiúba - seca) .

No que se refere à verificação da possibilidade de se considerar estatisticamente equivalentes os valores das medianas da amostra e de Weibull (item 5.4.4.6) das distribuições de f_{tn} através do intervalo de confiança, verifica-se para todos os resultados que o zero está contido neste intervalo e, portanto, tais valores podem ser considerados estatisticamente equivalentes.

Quanto à possibilidade de se considerarem estatisticamente equivalentes os valores das resistências

características obtidas dos valores experimentais e pela distribuição de Weibull (item 5.4.4.7) através do intervalo de confiança, verifica-se que o zero não está contido no intervalo para o caso da madeira seca, significando que tais valores não podem ser considerados estatisticamente equivalente.

Pelo exposto, para o caso da amostra para a madeira seca (apenas três espécies) a hipótese da distribuição de Weibull não parece ser satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidos em ensaio, com base nos resultados experimentais da terceira fase aqui considerados em toda análise apresentada. Salienta-se que os resultados não foram satisfatórios, para dois dos quatro testes efetuados.

Salienta-se ainda que os intervalos de confiança obtidos para a madeira verde não são representativos, pois foram obtidos com apenas duas amostras (espécies). É necessária a inclusão de outras espécies para que se possa encontrar intervalos de confiança confiáveis.

Destaca-se, portanto, que o número de espécies analisadas nesta série pode ter sido pequena para a análise, visto que para as outras duas série o número de espécies analisadas foi bem maior (doze para a primeira série e oito para a segunda série).

5.5. Conclusões

A - Primeira fase da experimentação

Pelo exposto no item 5.4.4.7 e 5.4.4.8, admite-se tanto a distribuição normal quanto a distribuição de Weibull como satisfatórias para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidas nos ensaios de tração normal às fibras, com base nos resultados experimentais considerados na primeira fase da análise.

Entretanto, no desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela aceitação da distribuição normal, registrando-se as seguintes razões:

- . Amplo conhecimento desta distribuição nos diversos níveis profissionais onde sua utilização será necessária.
- . Maior facilidade de manipulação, em virtude da simplicidade de obtenção dos parâmetros média e desvio-padrão.

B - Segunda fase da experimentação

Pelo exposto, admite-se também para a segunda fase de ensaios tanto a distribuição normal quanto a distribuição de Weibull como satisfatórias para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidas nos ensaios de tração normal às fibras, com base nos resultados experimentais da segunda fase considerados.

Entretanto, no desenvolvimento deste trabalho, optou-se pela aceitação da distribuição normal, registrando-se, mais uma vez, as razões já expostas :

- . Amplo conhecimento desta distribuição nos diversos níveis profissionais onde sua utilização será necessária.
- . Maior facilidade de manipulação, em virtude da simplicidade de obtenção dos parâmetros média e desvio-padrão.
- . Todos os testes foram satisfatórios para o caso da distribuição normal enquanto que para a distribuição de Weibull, dois deles não foram considerados satisfatórios para o caso da madeira seca ao ar.

C - Terceira fase da experimentação

Pelo exposto, admite-se para a terceira fase de ensaios a distribuição normal como mais satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras obtidas nos ensaios de tração normal às fibras, com base nos resultados experimentais da terceira fase considerados.

Registra-se ainda que a distribuição de Gauss apresenta algumas vantagens adicionais já descritas:

- . Amplo conhecimento desta distribuição nos diversos níveis profissionais onde sua utilização será necessária.
- . Maior facilidade de manipulação, em virtude da simplicidade de obtenção dos parâmetros média e desvio-padrão.

6. VARIABILIDADE DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS DE ESPÉCIES DE MADEIRAS CRESCIDAS NO PAÍS.

6.1 INTRODUÇÃO

Segundo critérios atualmente aceitos, a determinação dos diversos parâmetros necessários para a elaboração de projetos estruturais está intimamente relacionada com a variabilidade das características físicas, de resistência e elasticidade dos materiais utilizados.

Para a madeira, a variabilidade de suas características está associada a muitos fatores, tornando possível sua compreensão apenas mediante o conhecimento de aspectos referentes:

. Ao **crescimento das árvores**, pois origina diferenças significativas nas características da madeira formada, mesmo em se tratando de árvores de mesma espécie. Alguns fatores que introduzem variabilidade são: condições diversas de temperatura, composição e umidade do solo, densidade do povoamento e tipo de manejo a ele aplicado, posição da árvore na floresta, incidência de chuvas.

Algumas das diferenças provocadas por estes fatores são: espessura das camadas de crescimento, na porcentagem de material crescido nas estações do ano, geometria dos anéis de crescimento, nível de lenhificação das paredes celulares.

. Às **amostras obtidas**, pois a posição da amostra relativamente à altura da árvore, bem como ao seu diâmetro, a maior ou menor incidência de nós ou fibras reversas nesta amostra também são responsáveis pela variabilidade dos

valores referentes às propriedades da madeira.

. Ao **ensaio dos corpos de prova**, pois sabe-se que o número, a dimensão e a geometria dos corpos de prova ensaiados, bem como a umidade da madeira no ensaio, também introduzem variabilidade nas propriedades da madeira.

Os diversos aspectos geradores da variabilidade das características físicas, de resistência e de elasticidade da madeira podem ser também melhor compreendidos quando se conhece a sua estrutura interna e sua composição. No capítulo 2 referente à Revisão Bibliográfica, estes aspectos estão resumidamente descritos e poderão servir de base para uma melhor compreensão da variabilidade nas características da madeira.

À vista do objetivo deste trabalho, ressaltam-se as descontinuidades transversais, e estas podem ser citadas: adesão entre as diversas camadas de crescimento de um elemento anatômico, a interface entre as diferentes camadas anuais de crescimento do tronco, a interface cerne-alburno (o cerne é composto de elementos fisiologicamente inativos e, o alburno, de elementos ativos) e, ainda, a qualidade da lignificação nas diversas transições.

Diante do exposto, torna-se clara a importância de trabalhar para a obtenção não apenas dos valores médios mas principalmente dos parâmetros referentes à variabilidade das propriedades do material madeira, com vistas à sua aplicação estrutural.

No capítulo anterior trabalhou-se com o aspecto da distribuição de freqüência, concluindo-se ser a distribuição

de Gauss satisfatória para representar os valores da resistência da madeira à tração normal. Desta forma, neste capítulo estão considerados os valores de média e desvio provenientes dos parâmetros de tal distribuição.

Buscou-se na bibliografia internacional consultada aspectos referentes à variabilidade. No entanto, em nenhum dos artigos estudados foi possível encontrar resultados do coeficiente de variação que pudessem servir de comparação para os casos das madeiras nacionais estudados neste capítulo, pois todos os artigos que continham alguma referência ao coeficiente de variação eram baseados em ensaios com madeira laminada colada e na categoria de material comercial.

A título de informação podem ser citados os valores apresentados por Fox (1974) - $cv = 0,34$; Peterson (1973) - $cv = 0,34$ e Thut (1970) - $cv = 0,33$.

Nota-se que estes valores são altos, provavelmente porque se tratam de valores referentes à madeiras comerciais (não isentas de defeitos).

Salienta-se ainda que os autores acima citam em seus trabalhos que os valores do coeficiente de variação para o caso da madeira verde e seca ao ar podem ser considerados iguais na tração normal às fibras.

No caso da bibliografia nacional, cabe, neste ponto, apresentar alguns valores encontrados para o coeficiente de variação de algumas espécies nacionais, mais especificamente espécies da Amazônia. Todos os valores aqui tabelados foram retirados da publicação "Madeiras da Amazônia" - volumes I e

II (33). Estes valores servirão para que se compare os resultados obtidos na experimentação realizada neste trabalho. Os valores acima mencionados foram tabelados para simplificar a observação dos resultados. Nas tabelas são apresentadas a espécie, o coeficiente de variação e o número de corpos de prova ensaiados.

ESPÉCIE (MADEIRA VERDE)	CV	n
ABIU BRANCO (<i>Syzygiopsis oppositifolia</i>)	0,36	2
GOIABÃO (<i>Phanconella pachycarpa</i>)	0,19	9
ABIU PITOMBA(<i>Sandwithiodoxa egregia</i>)	0,07	8
ABIURANA BRANCA(<i>Franchetella gongrijpii</i>)	0,13	2
ABIURANA SECA(<i>Diploon venezuelana</i>)	0,24	4
ABIURANA VERMELHA(<i>Pouteria caimito</i>)	0,15	7
ACHICHÁ(<i>Sterculia speciosa</i>)	0,32	6
AÇOITA CAVALO(<i>Lueheopsis duckeana</i>)	0,23	9
ANANI(<i>Symphonia globulifera</i>)	0,29	10
ANGELIM PEDRA(<i>Hymenolobium modestum</i>)	0,27	10
ANGELIM PEDRA VERDADEIRO(<i>Dinizia excelsa</i>)	0,17	10
BREU(<i>Trattinickia burseraefolia</i>)	0,16	2
BREU MANGA(<i>Protium sp</i>)	0,18	6
BREU MANGA(<i>Tetragastris altissima</i>)	0,19	3
BREU PRETO(<i>Protium tenuifolium</i>)	0,12	3
BREU PRETO(<i>Tetragastris panamensis</i>)	0,17	7
CARAIPÉ(<i>Licania octandra</i>)	0,35	8
SAPUCAIA(<i>Lecythis pisonis</i>)	0,24	7
CUMARU(<i>Dipteryx odorata</i>)	0,23	11
CUPIÚBA(<i>Goupia glabra</i>)	0,15	9
ENVIRA BRANCA(<i>Xylopi nitida</i>)	0,23	7
ENVIRA PRETA(<i>Guatteria olivacea</i>)	0,17	2
ENVIRA PRETA(<i>Guatteria procera</i>)	0,36	3
LOURO FAIA(<i>Roupala montana</i>)	0,21	5
FAVA AMARGOSA(<i>Vatairea paraensis</i>)	0,25	4
FAVEIRA(<i>Parkia paraensis</i>)	0,25	8
FAVA DE ROSCA(<i>Enterolobium schomburgkii</i>)	0,17	17
FAVA FOLHA FINA(<i>Piptadenia suaveolens</i>)	0,28	10

ESPÉCIE (MADEIRA VERDE)	CV	n
FAVA TAMBORIL (<i>Enterolobium maximum</i>)	0,19	4
FAVEIRA BOLACHA (<i>Vatairea sericea</i>)	0,12	9
FAVEIRA BOLOTA (<i>Parkia pendula</i>)	0,25	12
GLÍCIA (<i>Glycydendron amazonicum</i>)	0,30	10
GUARIÚBA (<i>Clarisia racemosa</i>)	0,17	10
INGÁ (<i>Inga alba</i>)	0,23	9
INGARANA (<i>Inga paraensis</i>)	0,12	3
JATOBÁ (<i>Hymenaea courbaril</i>)	0,35	8
JATOBÁ (<i>hymenaea parvifolia</i>)	0,22	8
JUTAÍ-POROROCA (<i>Dialium guianense</i>)	0,18	6
LOURO AMARELO (<i>Licaria rigida</i>)	0,24	5
LOURO CANELA (<i>Ocotea neesiana</i>)	0,05	2
LOURO (<i>Ocotea sp</i>)	0,22	8
MANDIOQUEIRA ÁSPERA (<i>Qualea brevipedicellata</i>)	0,11	6
MANDIOQUEIRA LISA (<i>Qualea albiflora</i>)	0,24	5
MAÇARANDUBA (<i>Manilkara amazonica</i>)	0,10	5
MATAMATÁ VERMELHO (<i>Eschweilera amara</i>)	0,29	8
MOROTOTÓ (<i>Didymopanax morototoni</i>)	0,31	9
MUIRACATIARA (<i>Astronium gracile</i>)	0,25	4
MUIRACATIARA (<i>Astronium lecointei</i>)	0,14	2
MUIRAPIXUNA (<i>Cassia scleroxylon</i>)	0,18	4
PAU BRANCO (<i>Drypetes variabilis</i>)	0,23	8
PRACUÚBA DA TERRA FIRME (<i>Trichilia lecointei</i>)	0,21	8
PRECIOSA (<i>Aniba canelilla</i>)	0,15	8
QUARUBARANA (<i>Erisma uncinatum</i>)	0,22	9
QUARUBA ROSA (<i>Vochysia guianensis</i>)	0,43	2
QUARUBA (<i>Vochysia melinonii</i>)	0,24	3
QUARUBA (<i>Vochysia obdensis</i>)	0,18	5

ESPÉCIE (MADEIRA VERDE)	CV	n
QUARUBA VERDADEIRA (<i>Vochysia maxima</i>)	0,26	9
ROSADINHO (<i>Micropholis venulosa</i>)	0,08	2
ROSADINHO (<i>Nemaluma anomala</i>)	0,21	7
SORVA (<i>Malouetia duckei</i>)	0,20	5
SUCUPIRA (<i>Boldichia nitida</i>)	0,14	9
TACHI BRANCO (<i>Sclerolobium paraense</i>)	0,25	10
TACHI PITOMBA (<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>)	0,27	5
TACHI PITOMBA (<i>Sclerolobium poeppigianum</i>)	0,07	4
TACHI PRETO (<i>Tachigalia myrmecophila</i>)	0,19	5
TAUARI (<i>Couratari oblongifolia</i>)	0,20	10
TENTO (<i>Ormosia paraensis</i>)	0,24	11
UCHI LISO (<i>Endopleura uchi</i>)	0,22	9
UCHIRANA (<i>Vantanea parviflora</i>)	0,20	10
MELANCIEIRA (<i>Alexa grandiflora</i>)	0,22	21
CAJUÍ (<i>Anacardium spruceanum</i>)	0,52	17
PENTE DE MACACO (<i>Apeiba echinata</i>)	0,41	11
CASTANHEIRA (<i>Bertholletia excelsa</i>)	0,37	18
URUCU DA MATA (<i>Bixa arborea</i>)	0,24	9
MUIRAPIRANGA (<i>Brosimum acutifolium</i>)	0,36	35
AMAPÁ DOCE (<i>Brosimum parinarioides</i>)	0,31	20
AMAPÁ DA TERRA FIRME (<i>Brosimum potabile</i>)	0,36	9
AMAPÁ AMARGOSO (<i>Brosimum rubensis</i>)	0,46	10
CUIARANA DE CAROÇO (<i>Buchenavia huberi</i>)	0,10	5
ANDIROBA (<i>Carapa guianensis</i>)	0,24	15
SUMAÚMA (<i>Ceiba pentandra</i>)	0,44	7
COPAÍBA (<i>Copaifera duckei</i>)	0,27	26
FREIJÓ (<i>Cordia bicolor</i>)	0,64	20
FREIJÓ (<i>Cordia goeldiana</i>)	0,14	9

ESPÉCIE (MADEIRA VERDE)	CV	n
FREIJÓ (<i>Cordia sagotii</i>)	0,23	3
TAUARI (<i>Couratari guianensis</i>)	0,44	10
TAUARI (<i>Couratari oblongifolia</i>)	0,39	13
TAUARI (<i>Couratari stellata</i>)	0,41	21
ENVIRA PRETA (<i>Diclinanona calycina</i>)	0,19	2
FAVEIRA BOLACHA (<i>Enterolobium maximum</i>)	0,33	5
MUNGUBA GRANDE (<i>Eriotheca longipedicellata</i>)	0,50	9
QUARUBARANA VERMELHA (<i>Erisma uncinatum</i>)	0,19	9
UCUUBARANA (<i>Iryanthera sp.,</i>)	0,45	22
PARA-PARÁ (<i>Jacaranda copaia</i>)	0,35	13
CASTANHA DE ARARA (<i>Joannesia heveoides</i>)	0,33	10
PAU-JACARÉ (<i>Laetia procera</i>)	0,37	11
AÇOITA CAVALO (<i>Lueheopsis duckeana</i>)	0,32	11
MUIRATINGA (<i>Maquira sclerophylla</i>)	0,36	17
ITAÚBA AMARELA (<i>Mezilaurus itauba</i>)	0,24	11
LOURO VERMELHO (<i>Nectandra rubra</i>)	0,22	8
ENVIRA PRETA (<i>Onychopetalum amazonicum</i>)	0,33	8
FAVEIRA BENGUÉ (<i>Parkia multijuga</i>)	0,32	12
FAVA BOLOTA (<i>Parkia pendula</i>)	0,13	17
FAVEIRA FOLHA FINA (<i>Piptadenia communis</i>)	0,29	10
FAVEIRA FOLHA FINA (<i>Piptadenia suaveolens</i>)	0,25	11
BREU (<i>Protium heptaphyllum</i>)	0,26	13
MANDIOQUEIRA (<i>Qualea lancifolia</i>)	0,18	8
TACHI VERMELHO (<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>)	0,17	20
MARUPÁ (<i>Simaruba amara</i>)	0,32	18
TAPEREBÁ (<i>Spondias lutea</i>)	0,23	4
ACHICHÁ (<i>Sterculia pilosa</i>)	0,42	9
TACHI PITOMBA (<i>Tachigalia myrmecophylla</i>)	0,29	20

ESPÉCIE (MADEIRA VERDE)	CV	n
TATAPIRIRICA (<i>Tapirira guianensis</i>)	0,23	8
CUIARANA (<i>Terminalia amazonica</i>)	0,36	7
BREU PRETO (<i>Trattinickia burserifolia</i>)	0,28	14
UCUÚBA DA TERRA FIRME (<i>Virola michellii</i>)	0,28	11
QUARUBA VERDADEIRA (<i>Vochysia maxima</i>)	0,22	6

ESPÉCIE (MADEIRA SECA)	CV	n
ABIU BRANCO (<i>Syzygiopsis oppositifolia</i>)	----	-
GOIABÃO (<i>Phanconella pachycarpa</i>)	0,28	9
ABIU PITOMBA (<i>Sandwithiodoxa egregia</i>)	0,28	8
ABIURANA BRANCA (<i>Franchetella gongrijpii</i>)	0,29	3
ABIURANA SECA (<i>Diploon venezuelana</i>)	0,28	4
ABIURANA VERMELHA (<i>Pouteria caimito</i>)	0,22	5
ACHICHÁ (<i>Sterculia speciosa</i>)	0,25	8
AÇOITA CAVALO (<i>Lueheopsis duckeana</i>)	0,25	7
ANANI (<i>Symphonia globulifera</i>)	0,33	5
ANGELIM PEDRA (<i>Hymenolobium modestum</i>)	0,26	9
ANGELIM PEDRA VERDADEIRO (<i>Dinizia excelsa</i>)	0,21	10
BREU (<i>Trattinickia burseraefolia</i>)	0,03	2
BREU MANGA (<i>Protium sp</i>)	0,27	6
BREU MANGA (<i>Tetragastris altissima</i>)	0,09	3
BREU PRETO (<i>Protium tenuifolium</i>)	0,08	3
BREU PRETO (<i>Tetragastris panamensis</i>)	0,22	6
CARAIPÉ (<i>Licania octandra</i>)	0,29	5
SAPUCAIA (<i>Lecythis pisonis</i>)	0,26	9
CUMARU (<i>Dipteryx odorata</i>)	0,27	9
CUPIÚBA (<i>Goupia glabra</i>)	0,29	9
ENVIRA BRANCA (<i>Xylopiia nitida</i>)	0,35	6
ENVIRA PRETA (<i>Guatteria olivacea</i>)	0,31	2
ENVIRA PRETA (<i>Guatteria procera</i>)	0,13	3
LOURO FAIA (<i>Roupala montana</i>)	0,16	7
FAVA AMARGOSA (<i>Vatairea paraensis</i>)	0,31	3
FAVEIRA (<i>Parkia paraensis</i>)	0,31	9
FAVA DE ROSCA (<i>Enterolobium schomburgkii</i>)	0,27	13
FAVA FOLHA FINA (<i>Piptadenia suaveolens</i>)	0,28	10

ESPÉCIE (MADEIRA SECA)	CV	n
FAVA TAMBORIL(<i>Enterolobium maximum</i>)	0,35	4
FAVEIRA BOLACHA(<i>Vatairea sericea</i>)	0,19	13
FAVEIRA BOLOTA(<i>Parkia pendula</i>)	0,25	10
GLÍCIA(<i>Glycydendron amazonicum</i>)	0,18	8
GUARIÚBA(<i>Clarisia racemosa</i>)	0,28	10
INGÁ(<i>Inga alba</i>)	0,26	10
INGARANA(<i>Inga paraensis</i>)	0,27	2
JATOBÁ(<i>Hymenaea courbaril</i>)	0,29	8
JATOBÁ(<i>hymenaea parvifolia</i>)	0,23	3
JUTAÍ-POROROCA(<i>Dialium guianense</i>)	0,33	8
LOURO AMARELO(<i>Licaria rigida</i>)	0,26	7
LOURO CANELA(<i>Ocotea neesiana</i>)	0,16	2
LOURO(<i>Ocotea sp</i>)	0,24	6
MANDIOQUEIRA ÁSPERA(<i>Qualea brevipedicellata</i>)	0,17	7
MANDIOQUEIRA LISA(<i>Qualea albiflora</i>)	0,18	4
MAÇARANDUBA(<i>Manilkara amazonica</i>)	0,14	3
MATAMATÁ VERMELHO(<i>Eschweilera amara</i>)	0,27	7
MOROTOTÓ(<i>Didymopanax morototoni</i>)	0,31	9
MUIRACATIARA(<i>Astronium gracile</i>)	0,09	3
MUIRACATIARA(<i>Astronium lecointei</i>)	0,13	3
MUIRAPIXUNA(<i>Cassia scleroxylon</i>)	0,30	7
PAU BRANCO(<i>Drypetes variabilis</i>)	0,26	9
PRACUÚBA DA TERRA FIRME(<i>Trichilia lecointei</i>)	0,19	6
PRECIOSA(<i>Aniba canelilla</i>)	0,21	8
QUARUBARANA(<i>Erisma uncinatum</i>)	0,10	6
QUARUBA ROSA(<i>Vochysia guianensis</i>)	0,16	3
QUARUBA(<i>Vochysia melinonii</i>)	0,16	3
QUARUBA(<i>Vochysia obdensis</i>)	0,16	7

ESPÉCIE (MADEIRA SECA)	CV	n
QUARUBA VERDADEIRA (<i>Vochysia maxima</i>)	0,31	9
ROSADINHO (<i>Micropholis venulosa</i>)	0,28	2
ROSADINHO (<i>Nemaluma anomala</i>)	0,15	8
SORVA (<i>Malouetia duckei</i>)	0,25	4
SUCUPIRA (<i>Boldichia nitida</i>)	0,26	9
TACHI BRANCO (<i>Sclerolobium paraense</i>)	0,15	10
TACHI PITOMBA (<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>)	0,33	4
TACHI PITOMBA (<i>Sclerolobium poeppigianum</i>)	0,16	2
TACHI PRETO (<i>Tachigalia myrmecophila</i>)	0,26	3
TAUARI (<i>Couratari oblongifolia</i>)	0,26	9
TENTO (<i>Ormosia paraensis</i>)	0,19	9
UCHI LISO (<i>Endopleura uchi</i>)	0,24	8
UCHIRANA (<i>Vantanea parviflora</i>)	0,27	8
MELANCIEIRA (<i>Alexa grandiflora</i>)	0,27	21
CAJUÍ (<i>Anacardium spruceanum</i>)	0,28	17
PENTE DE MACACO (<i>Apeiba echinata</i>)	0,23	6
CASTANHEIRA (<i>Bertholletia excelsa</i>)	0,30	19
URUCU DA MATA (<i>Bixa arborea</i>)	0,17	10
MUIRAPIRANGA (<i>Brosimum acutifolium</i>)	0,25	33
AMAPÁ DOCE (<i>Brosimum parinarioides</i>)	0,23	18
AMAPÁ DA TERRA FIRME (<i>Brosimum potabile</i>)	0,31	9
AMAPÁ AMARGOSO (<i>Brosimum rubensis</i>)	0,48	9
CUIARANA DE CAROÇO (<i>Buchenavia huberi</i>)	0,33	5
ANDIROBA (<i>Carapa guianensis</i>)	0,24	15
SUMAÚMA (<i>Ceiba pentandra</i>)	0,32	5
COPAÍBA (<i>Copaifera duckei</i>)	0,30	26
FREIJÓ (<i>Cordia bicolor</i>)	0,26	19
FREIJÓ (<i>Cordia goeldiana</i>)	0,23	9

ESPÉCIE (MADEIRA SECA)	CV	n
FREIJÓ (<i>Cordia sagotii</i>)	0,14	3
TAUARI (<i>Couratari guianensis</i>)	0,33	10
TAUARI (<i>Couratari oblongifolia</i>)	0,32	13
TAUARI (<i>Couratari stellata</i>)	0,48	21
ENVIRA PRETA (<i>Diclinanona calycina</i>)	0,19	2
FAVEIRA BOLACHA (<i>Enterolobium maximum</i>)	0,13	5
MUNGUBA GRANDE (<i>Eriotheca longipedicellata</i>)	0,44	9
QUARUBARANA VERMELHA (<i>Erisma uncinatum</i>)	0,28	6
UCUUBARANA (<i>Iryanthera sp.</i>)	0,38	22
PARA-PARÁ (<i>Jacaranda copaia</i>)	0,38	10
CASTANHA DE ARARA (<i>Joannesia heveoides</i>)	0,30	10
PAU-JACARÉ (<i>Laetia procera</i>)	0,48	12
AÇOITA CAVALO (<i>Lueheopsis duckeana</i>)	0,26	11
MUIRATINGA (<i>Maquira sclerophylla</i>)	0,30	15
ITAÚBA AMARELA (<i>Mezilaurus itauba</i>)	0,30	11
LOURO VERMELHO (<i>Nectandra rubra</i>)	0,37	8
ENVIRA PRETA (<i>Onychopetalum amazonicum</i>)	0,38	8
FAVEIRA BENGUÉ (<i>Parkia multijuga</i>)	0,41	10
FAVA BOLOTA (<i>Parkia pendula</i>)	0,34	17
FAVEIRA FOLHA FINA (<i>Piptadenia communis</i>)	0,32	10
FAVEIRA FOLHA FINA (<i>Piptadenia suaveolens</i>)	0,25	10
BREU (<i>Protium heptaphyllum</i>)	0,29	13
MANDIOQUEIRA (<i>Qualea lancifolia</i>)	0,24	8
TACHI VERMELHO (<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>)	0,21	20
MARUPÁ (<i>Simaruba amara</i>)	0,28	18
TAPEREBÁ (<i>Spondias lutea</i>)	0,21	4
ACHICHÁ (<i>Sterculia pilosa</i>)	0,37	16
TACHI PITOMBA (<i>Tachigalia myrmecophylla</i>)	0,28	20

ESPÉCIE (MADEIRA SECA)	CV	n
TATAPIRIRICA (<i>Tapirira guianensis</i>)	0,27	9
CUIARANA (<i>Terminalia amazonica</i>)	0,36	6
BREU PRETO (<i>Trattinickia burserifolia</i>)	0,31	15
UCUÚBA DA TERRA FIRME (<i>Virola michellii</i>)	0,29	10
QUARUBA VERDADEIRA (<i>Vochysia maxima</i>)	0,09	6

Observando os valores tabelados, verifica-se que muitas espécies contêm um número muito reduzido de corpos de prova ensaiados. Desta forma decidiu-se analisar estes resultados de duas maneiras:

. Cálculo do coeficiente de variação médio utilizando-se todas as espécies tabeladas:

a) Madeira verde - CV = 0,26

b) Madeira seca ao ar - CV = 0,27

. Cálculo do coeficiente de variação médio utilizando-se somente as espécies que possuam resultados de dez ou mais corpos de prova:

a) Madeira verde - CV = 0,31

b) Madeira seca ao ar - CV = 0,29

Considerando-se os dois casos de cálculo do coeficiente de variação observa-se que este pode ser considerado equivalente para os estados verde e seco da madeira. Esta constatação vem confirmar as observações encontradas na bibliografia de que para o caso da tração normal não existe

diferença significativa no coeficiente de variação para os casos da madeira verde e seca ao ar.

Neste capítulo serão avaliados os resultados dos ensaios descritos do capítulo 5. Todos os resultados dos ensaios podem ser vistos no item 5.3 e o cálculo do coeficiente de variação faz parte da análise estatística efetuada pelo programa SANEST.

Como no capítulo 5, a análise dos resultados está apresentada em três etapas distintas. Na primeira são analisadas doze espécies cujas amostras possuem mais de trinta e dois corpos de prova e cujo corpo de prova tem geometria usual (figura 2.11), caracterizando a análise de grandes amostras. Na segunda, considerada como complementação serão avaliadas mais oito espécies, cujas amostras possuem número menor de corpos de prova e cuja geometria do corpo de prova é a usual (figura 2.11). Na terceira etapa são analisadas três espécies cujas amostras possuem mais de trinta e dois corpos de prova e cuja geometria e esquema de ensaio do corpo de prova podem ser vistos na figura 4.3.

Em todas as etapas os ensaios foram realizados nas condições verde e seca ao ar.

6.2. RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIMENTAÇÃO

6.2.1. Primeira fase da experimentação

Nas tabelas 6.1 e 6.2 encontram-se um resumo dos resultados referentes ao número de corpos de prova e o coeficiente de variação (cv) determinado para cada espécie estudada na primeira fase da análise nas condições verde (umidade igual ou superior ao ponto de saturação das fibras) e seca ao ar (em torno de 12% de umidade da madeira).

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
CUPIÚBA	34	0,29
ANGELIM PEDRA	40	0,30
CASCA GROSSA	33	0,30
EUCALIPTO PANICULATA	37	0,32
EUCALIPTO MACULATA	46	0,27
EUCALIPTO SALIGNA	68	0,26
EUCALIPTO UROPHILA	61	0,26
EUCALIPTO CITRIODORA	43	0,26
EUCALIPTO MICROCORYS	38	0,25
EUCALIPTO TERETCORNIS	40	0,36
PINUS ELLIOTTII	38	0,19
PINUS BAHAMENSIS	39	0,27
VALOR MÉDIO		0,28

Tabela 6.1. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira verde

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
CUPIÚBA	38	0,25
ANGELIM PEDRA	40	0,28
CASCA GROSSA	33	0,29
EUCALIPTO PANICULATA	39	0,34
EUCALIPTO MACULATA	56	0,29
EUCALIPTO SALIGNA	71	0,35
EUCALIPTO UROPHILA	90	0,27
EUCALIPTO CITRIODORA	52	0,28
EUCALIPTO MICROCORYS	32	0,32
EUCALIPTO TERETCORNIS	33	0,31
PINUS ELLIOTTII	41	0,21
PINUS BAHAMENSIS	32	0,27
VALOR MÉDIO		0,29

Tabela 6.2. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira seca ao ar

6.2.2. Segunda fase da experimentação

Nas tabelas 6.3 e 6.4 encontram-se um resumo dos resultados referentes ao número de corpos de prova e o coeficiente de variação (cv) determinado para cada espécie estudada na segunda fase da análise nas condições verde (umidade igual ou superior ao ponto de saturação das fibras) e seca ao ar (12% de umidade da madeira).

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
GARAPA	12	0,29
PINUS CARIBAEA	25	0,16
EUCALIPTO CLOESIANA	16	0,25
EUCALIPTO CAMALCULENSIS	13	0,22
LOURO PRETO	24	0,27
ANGELIM ARAROBA	15	0,28
CEDRO AMARGO	19	0,23
ANGELIM PEDRA VERDADEIRO	11	0,32
VALOR MÉDIO		0,25

Tabela 6,3. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira verde

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
GARAPA	11	0,14
PINUS CARIBAEA	26	0,29
EUCALIPTO CLOESIANA	21	0,25
EUCALIPTO CAMALDULENSIS	17	0,28
LOURO PRETO	23	0,29
ANGELIM ARAROBA	15	0,24
CEDRO AMARGO	23	0,20
ANGELIM PEDRA VERDADEIRO	12	0,28
VALOR MÉDIO		0,25

Tabela 6.4. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira seca ao ar

6.2.3. Terceira Fase da Experimentação

Nas tabelas 6.5 e 6.6 encontram-se o resumo dos resultados referentes ao número de corpos de prova e o coeficiente de variação (cv) determinado para cada espécie estudada na terceira fase da análise nas condições de madeira verde e de madeira seca ao ar (em torno de 12%).

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)
CUPIÚBA	36	0,17
MAÇARANDUBA	36	0,12
CASTANHEIRA	34	0,14
VALOR MÉDIO		0,14

Tabela 6.5. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira seca ao ar

ESPÉCIE	Número de C.Ps.	COEFICIENTE DE VARIÇÃO (%)
CUPIÚBA	32	0,16
MAÇARANDUBA	32	0,10
VALOR MÉDIO		0,13

Tabela 6.6. - Coeficientes de Variação de f_{tn}
- madeira verde

6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se para o caso dos resultados obtidos nas três etapas do ensaio aqui analisados que a consideração encontrada na bibliografia consultada a respeito dos valores do coeficiente de variação para a resistência da madeira à tração normal às fibras nos estados verde e seco ao ar serem equivalentes, é válida, pois a diferença entre a média dos resultados obtidos para a madeira verde e seca podem ser considerados insignificantes para ambas as etapas.

Nota-se também uma apreciável diminuição do coeficiente de variação para o caso da terceira fase dos ensaios (corpos de prova retangulares ensaiados como viga). Este resultado pode ser explicado pelo fator **ensaio**, pois neste caso, as variabilidades devidas ao ensaio são menores, pois neste esquema de ensaio são reduzidos os problemas de : excentricidade no carregamento, defeito no posicionamento da peça na garra de tração provocando torção do corpo de prova.

6.4. CONCLUSÕES

Com base no exposto, admite-se a partir dos resultados experimentais considerados neste capítulo, a validade da adoção do coeficiente de variação para o caso da tração normal às fibras nas madeiras nacionais como sendo igual 0,30, tanto para o caso da madeira verde quanto para a madeira seca ao ar quando o esquema de ensaio e o corpo de prova adotado são os da figura 2.11.

Para o caso do corpo de prova retangular e esquema de

ensaio da figura 4. , admite-se a partir dos resultados experimentais considerados neste capítulo, a validade da adoção do coeficiente de variação para a tração normal às fibras como sendo igual a 0,15. Neste caso, salienta-se que uma quantidade maior de espécies deve ser pesquisada para que se consagre o valor adotado.

7. RELAÇÃO ENTRE PESO ESPECÍFICO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS

7.1. INTRODUÇÃO

É amplamente reconhecido o fato de que peso específico é parâmetro de muita influência na resistência da madeira. Este aspecto foi estudado por diversos autores brasileiros em diferentes solicitações. São aqui mencionados: CHAHUD e ROCCO LAHR (1985) -tração paralela; TANAAMI E ROCCO LAHR (1986) - flexão estática; PIGOZZO E HELMEISTER (1982) -compressão paralela, MENDES E HELMEISTER (1982) -cisalhamento paralelo.

Neste capítulo, o assunto será tratado para o caso da tração normal às fibras objetivando quantificar de maneira satisfatória a referida influência através da adequação de modelos matemáticos simples.

A importância destes modelos seria a possibilidade de se inferir a resistência à tração normal às fibras de uma espécie sendo conhecido seu peso específico, aspecto altamente favorável quando se pensa no desenvolvimento de projetos estruturais.

7.2. EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

Para a determinação da relação entre peso específico e resistência à tração normal às fibras da madeira, foram analisados resultados de ensaios de trinta e uma espécies de madeira, com pesos específicos variando aproximadamente de 0,50 a 1,00 g/cm³ para a madeira seca ao ar (umidade em torno de 12%) e de 0,55 a 1,05 g/cm³ para a madeira verde.

Estas espécies e seus respectivos pesos específicos foram tabeladas (tabelas 7.1 e 7.2).

A determinação do peso específico aparente se fez mediante a pesagem e a medida das dimensões de amostras de controle retiradas das peças utilizadas para a confecção dos corpos de prova analisados.

7.3. RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIMENTAÇÃO

Os resultados foram agrupados nas tabelas 7.1 e 7.2, que fornecem a espécie, seu peso específico médio, o número de corpos de prova da amostra e a resistência à tração normal às fibras média obtida para a espécie.

ESPÉCIE	n	ρ_{12} g/cm ³	f_{tn} Mpa
OITICICA (<i>Clarisia racemosa</i>)	12	0,76	5,2
GUAIÇARA (<i>Luetzelburgia sp</i>)	11	0,98	6,0
CATANUDO (<i>Cedrelinga sp</i>)	12	0,91	4,7
GUARUCAIA (<i>Peltophorum vogelianum</i>)	14	0,92	5,5
ANGICO PRETO (<i>Piptadenia sp</i>)	12	0,89	5,7
CEDRO AMARGO (<i>Cedrella sp</i>)	23	0,50	3,0
CEDRO DOCE (<i>Cedrella sp</i>)	10	0,50	2,6
CUPIÚBA (<i>Goupia glabra</i>)	38	0,84	4,3
LOURO PRETO (<i>Ocotia sp</i>)	24	0,68	3,3
MANDIOQUEIRA (<i>Qualea sp</i>)	17	0,86	4,5
TATAJUBA (<i>Bagassa guianensis</i>)	12	0,94	4,9
ANGELIM ARARоба (<i>Valtaireopsis araroba</i>)	16	0,69	3,7
ANGELIM PEDRA (<i>Hymenolorobium petraeum</i>)	40	0,69	4,5
CAFEARANA (<i>Andira sp</i>)	13	0,68	3,1
CASCA GROSSA (<i>Vochysia sp</i>)	34	0,78	4,2
PAU D'ARCO (<i>Tabebuia serratifolia</i>)	21	0,84	4,1
JATOBÁ (<i>Hymenaea stilbocarpa</i>)	21	0,97	5,3
QUARUBARANA (<i>Erisma uncinatum</i>)	12	0,61	2,6
PINUS BAHAMENSIS (<i>Pinus bahamensis</i>)	14	0,54	2,4
PINUS CARIBAEA (<i>Pinus caribaea</i>)	26	0,58	3,2
PINUS HONDURENSIS (<i>Pinus hondurensis</i>)	108	0,53	2,6
PINUS ELLIOTTII (<i>Pinus elliottii</i>)	24	0,56	2,4
PINUS OOCARPA (<i>Pinus oocarpa</i>)	74	0,54	2,5
PINUS TAEDA (<i>Pinus taeda</i>)	16	0,64	2,8
EUCALIPTO MICROCORYS (<i>Eucalyptus microcorys</i>)	20	0,93	4,6
EUCALIPTO MACULATA (<i>Eucalyptus maculata</i>)	58	0,95	4,7
EUCALIPTO PROPINQUA (<i>Eucalyptus propinqua</i>)	70	0,96	4,4

EUCALIPTO GRANDIS (<i>Eucalyptus grandis</i>)	114	0,63	3,0
EUCALIPTO PUNCTATA (<i>Eucalyptus punctata</i>)	73	0,95	6,0
EUCALIPTO TERETICORNIS (<i>Eucalyptus teretcornis</i>)	32	0,90	4,6
EUCALIPTO UROPHILA (<i>Eucalyptus urophila</i>)	95	0,74	4,2

Tabela 7.1. - Pesos específicos e Resistências à tração normal. Estado: seco ao ar

ESPÉCIE	n	ρ_{ps} (g/cm ³)	ftn (Mpa)
OITICICA	12	0,87	4,4
GUAÍÇARA	11	1,04	5,0
CATANUDO	12	0,95	4,1
GUARUCAIA	14	0,98	3,6
ANGICO PRETO	12	0,94	4,9
CEDRO AMARGO	23	0,60	2,4
CEDRO DOCE	10	0,57	2,4
CUPIÚBA	38	0,90	3,6
LOURO PRETO	24	0,78	2,9
MANDIOQUEIRA	17	0,93	3,7
TATAJUBA	12	1,00	4,2
ANGELIM ARAROBA	16	0,76	3,6
ANGELIM PEDRA	40	0,74	3,8
CAFEARANA	13	0,79	2,3
CASCA GROSSA	34	0,92	3,4
PAU DÁRCO	21	0,90	3,5
JATOBÁ	21	1,03	4,4
QUARUBARANA	12	0,69	2,0
PINUS BAHAMENSIS	37	0,62	2,1
PINUS CARIBAEA	26	0,64	2,2
PINUS HONDURENSIS	108	0,64	2,1
PINUS ELLIOTTII	24	0,63	2,0
PINUS OOCARPA	74	0,65	2,2
PINUS TAEDA	16	0,72	2,1
EUCALIPTO MICROCORYS	20	0,98	4,2
EUCALIPTO MACULATA	58	0,99	3,8
EUCALIPTO PROPINQUA	70	1,02	3,5

EUCALIPTO GRANDIS	114	0,72	2,6
EUCALIPTO PUNCTATA	73	1,00	4,1
EUCALIPTO TERETICORNIS	32	0,94	3,1
EUCALIPTO UROPHILA	95	0,82	3,1

Tabela 7.2. - Pesos específicos e Resistências à tração normal. Estado: madeira verde

7.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIMENTAÇÃO

Com os valores tabelados, diversos modelos foram analisados através da utilização do programa SANEST, o qual fornece a expressão e a indicação a respeito da validade do modelo adotado. Esta indicação é feita através do teste F e do coeficiente de correlação e pela análise da regressão.

Cabe salientar, para um melhor entendimento dos resultados apresentados nas listagens a seguir, que, segundo as hipótese adotadas pelo programa, para que a regressão seja considerada satisfatória ao nível de significância adotado (5% para os casos usuais de engenharia), o valor "Prob > F" que aparece no quadro de análise de variância deverá ser menor que 5%. Da mesma maneira, para que os parâmetros da regressão sejam considerados significativos é necessário que o valor "Prob > t" seja menor do que 5%.

Os resultados finais da análise executada pelo programa SANEST, baseada nos dados da tabelas 7.1 e 7.2 podem ser vistos nas listagens apresentadas a seguir. Salienta-se ainda que a regressão foi executada agrupando-se os dados de pesos específicos em intervalos com suas respectivas resistências

médias.

Para o caso da madeira verde tem-se os seguintes intervalos:

INTERVALO CONSIDERADO	f_{tn} Médio para o intervalo considerado
$0,55 < \rho_{PS} < 0,65$	2,2
$0,65 < \rho_{PS} < 0,75$	2,6
$0,75 < \rho_{PS} < 0,85$	2,9
$0,85 < \rho_{PS} < 0,95$	3,8
$0,95 < \rho_{PS} < 1,05$	4,2

Para o caso da madeira seca ao ar, os intervalos considerados são:

INTERVALO CONSIDERADO	f_{tn} Médio para o intervalo considerado
$0,50 < \rho_{12} < 0,60$	2,7
$0,60 < \rho_{12} < 0,70$	3,3
$0,70 < \rho_{12} < 0,80$	4,5
$0,80 < \rho_{12} < 0,90$	4,7
$0,90 < \rho_{12} < 1,00$	5,1

As listagens são apresentadas na seguinte ordem:

Primeira listagem: refere-se à regressão executada utilizando-se os resultados dos ensaios obtidos para a madeira verde.

Segunda listagem: Refere-se à regressão executada utilizando-se os resultados dos ensaios obtidos para a madeira seca ao ar.

Na seqüência, a apresentação dos gráficos favorece a compreensão do fenômeno estudado.

```

*****
*           SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA           *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado   *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALG - USP           *
*   REGRESSAO LINEAR MULTIPLA - ARQUIVO: D(30)BRU         *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

TRANSFORMACAO DA VARIÁVEL DENS(30) SEGUNDO LOG(X + 0)
 VARIÁVEL FTN-VERD NAO TRANSFORMADA

VARIÁVEL DEPENDENTE: FTN-VERD

ANALISE SEQUENCIAL

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.E.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
X 1	1	2.6470320	2.6470320	54.7784	0.00419
RESIDUO	3	0.1449675	0.0483225		
T O T A L	4	2.7919995			

VARIÁVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRD PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%	
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.
	B 0 =	3.140000	0.0983082	2.8274	3.4526	2.5659	3.7141
X 1 = DENS(30)	B 1 =	4.030213	0.5445317	2.2986	5.7618	0.8501	7.2103

ANALISE PARCIAL DO MODELO Y = B0 + B1X1

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.E.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
REGRESSAO	1	2.6470320	2.6470320	54.7784	0.00419
RESIDUO	3	0.1449675	0.0483225		
T O T A L	4	2.7919995			
COEF. DETERMINACAO		0.9480775			

VARIÁVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRD PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%		VALOR t	PROB.>t
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.		
	B 0 =	4.104031	0.1631877	3.5851	4.6230	3.1510	5.0570	25.1491	0.00019
X 1 = DENS(30)	B 1 =	4.030213	0.5445317	2.2986	5.7618	0.8501	7.2103	7.4012	0.00419

```

*****
#          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA          #
#  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado    #
#  Departamento de Matem. e Estat. ESALG - USP           #
#  REGRESSAO LINEAR MULTIPLA - ARQUIVO: D(12)GRU         #
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL

TRANSFORMACAO DA VARIAVEL DENS(12) SEGUNDO LOG(X + 0)
 VARIAVEL RESISTEN NAO TRANSFORMADA

VARIAVEL DEPENDENTE: RESISTEN

ANALISE SEQUENCIAL

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.D.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
X 1	1	3.9328275	3.9328275	65.8500	0.00318
RESIDUO	3	0.1791720	0.0597240		
T O T A L	4	4.1119995			

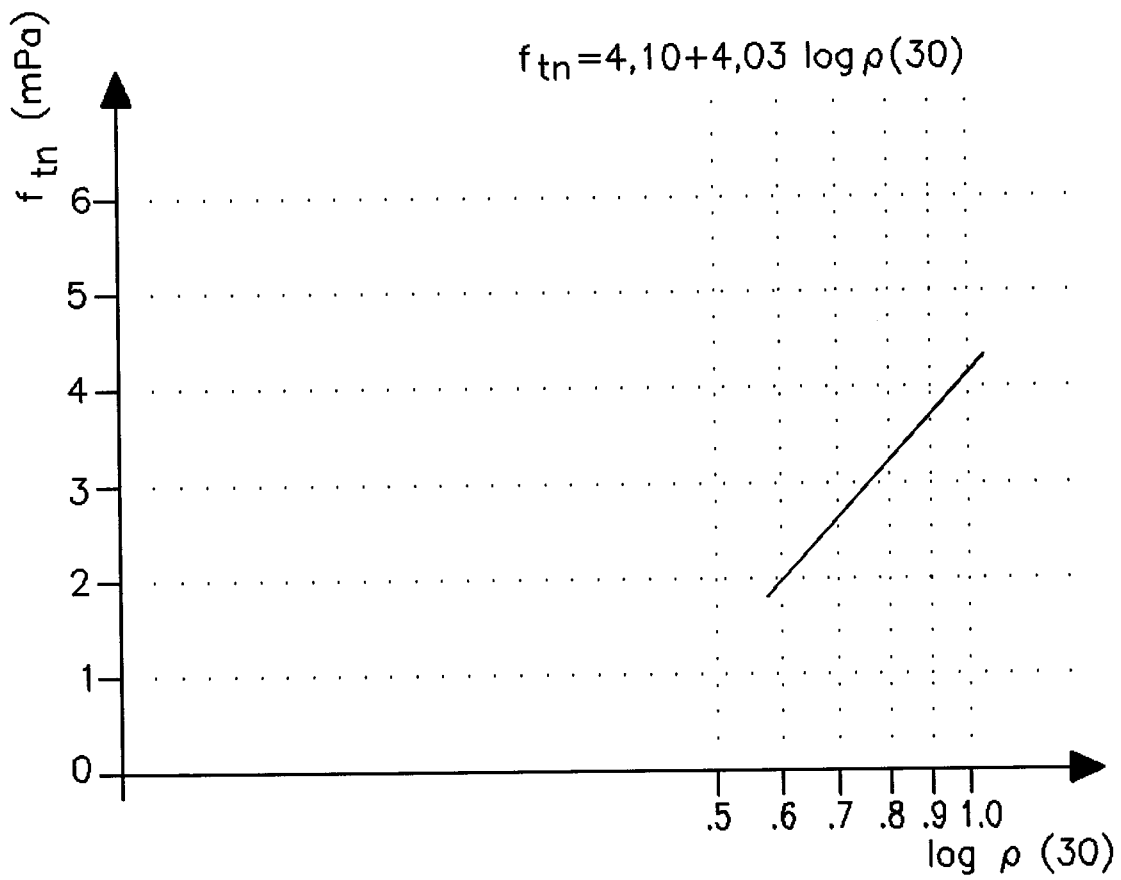
VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%	
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.
	B 0 =	4.060000	0.1092923	3.7125	4.4075	3.4217	4.6983
X 1 = DENS(12)	B 1 =	4.591656	0.5658370	2.7923	6.3910	1.2872	7.8961

ANALISE PARCIAL DO MODELO Y = B0 + B1X1

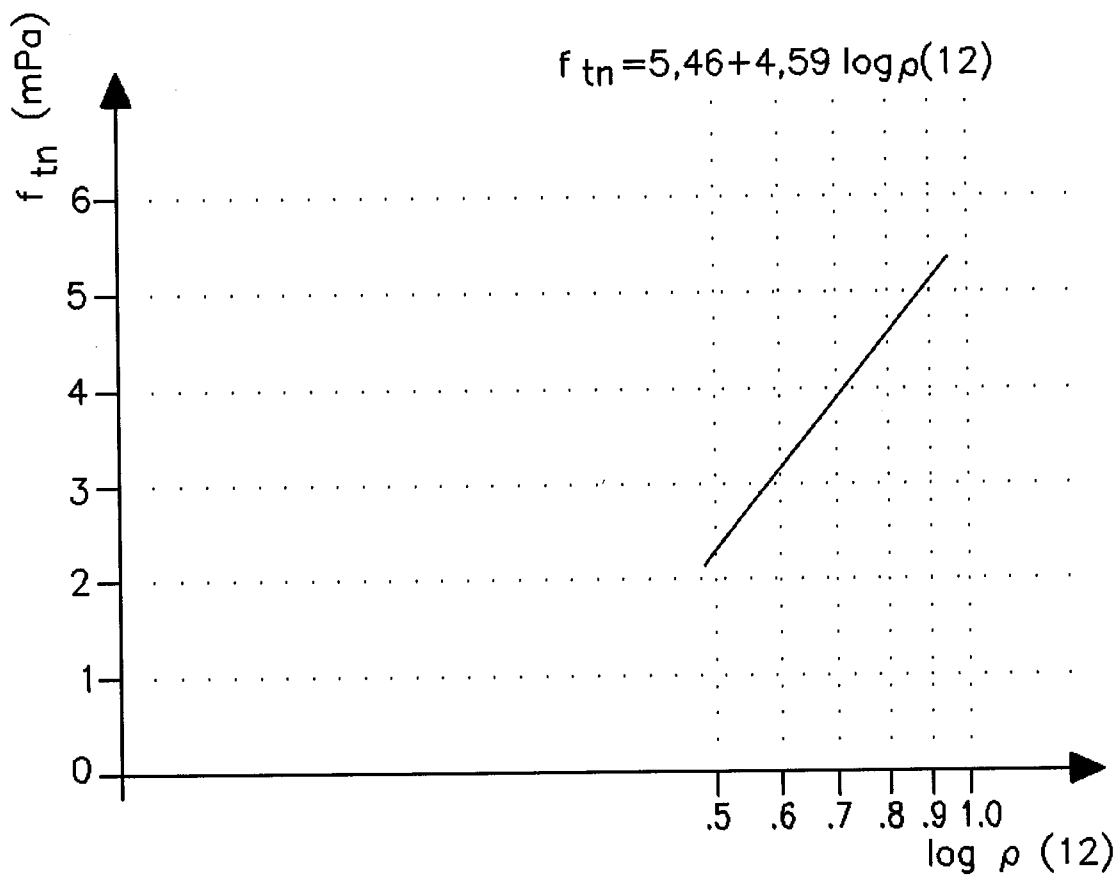
QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.D.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
REGRESSAO	1	3.9328275	3.9328275	65.8500	0.00318
RESIDUO	3	0.1791720	0.0597240		
T O T A L	4	4.1119995			
COEF.DETERMINACAO		0.9564270			

VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%		VALOR t	PROB.>t
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.		
	B 0 =	5.465152	0.2047654	4.8140	6.1163	4.2693	6.6610	26.6898	0.00017
X 1 = DENS(12)	B 1 =	4.591656	0.5658370	2.7923	6.3910	1.2872	7.8961	8.1149	0.00318



Variation da resistência da madeira à tração normal em função do peso específico saturado



Variação da resistência da madeira à tração normal à fibra em função do peso específico a 12% da umidade

7.5. - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nas regressões apresentadas no item anterior mostram para a madeira verde o seguinte modelo:

$$. f_{tn} = 4,10 + 4,03 \log \rho_{PS} \quad (\text{MPa})$$

Com coeficiente de correlação de 0,90.

No que diz respeito à análise da regressão, verifica-se que esta é considerada satisfatória ("Prob.>F" menor do que 5%) , bem como os parâmetros da regressão ("Prob.>t menor do que 5%).

Para o caso da madeira seca ao ar, tem-se o modelo:

$$. f_{tn} = 5,46 + 4,59 \log \rho_{12} \quad (\text{MPa})$$

Com coeficiente de correlação é de 0,92.

A regressão é também considerada satisfatória ("Prob.>F" menor do que 5%) , bem como os parâmetros da regressão ("Prob.>t menor do que 5%).

7.6. - Conclusões

Com base no exposto no item 7.5. admitem-se os modelos ali apresentados como satisfatórios para representar a relação entre peso específico e a resistência à tração normal às fibras da madeira, nas condições verde e seca ao ar, a partir dos resultados experimentais considerados neste capítulo.

As expressões adotadas, fruto da análise de diversos modelos, são simples e permitem sua imediata aplicação.

8. RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS

8.1. INTRODUÇÃO

A umidade da madeira é um fator de muita influência nas propriedades de resistência da madeira e, por esta razão, sua relação com a resistência já foi estudada em diversos tipos de solicitação. Como exemplo, citam-se PIGOZO E HELLMEISTER (1982)- compressão paralela, CHAHUD E HELLMEISTER (1985)- tração paralela, TANAAMI E ROCCO LAHR (1986)- flexão estática, MENDES E HELLMEISTER (1982)- cisalhamento paralelo.

Cabe, portanto, o desenvolvimento deste assunto também na tração perpendicular às fibras, para quantificar de maneira satisfatória a referida influência .

O objetivo é estabelecer modelos matemático simples que venham representar o fenômeno em discussão.

8.2. EXPERIMENTAÇÃO REALIZADA

Para a determinação da relação entre umidade e tração normal às fibras foram analisados resultados de ensaios de cinco espécies de madeira, cujos pesos específicos variaram entre 0,55 a 1,00 g/cm₃.

A experimentação foi realizada segundo a metodologia de ensaio de tração normal às fibras já detalhada no item 2.3.1.3., em corpos de prova retirados de barras homogêneas e ensaiados em cinco diferentes níveis de umidade, com seis repetições em cada nível.

Para facilitar a análise e a apresentação dos resultados, estes foram referidos ao valor médio da resistência da madeira a 30% de umidade ($f_{tn,PS}$).

8.3. RESULTADOS OBTIDOS NA EXPERIMENTAÇÃO

Os resultados estão sumarizados nas tabelas 8.1 a 8.5, nas quais se tem a umidade e a respectiva resistência à tração normal às fibras média já referida ao valor obtido a 30%.

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,099 $f_{tn,PS}$
12	1,302 $f_{tn,PS}$
6	1,342 $f_{tn,PS}$
0	-

Tabela 8.1 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade.
Espécie: Canafístula (*Cassia ferruginea*)

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,170 $f_{tn,PS}$
12	1,575 $f_{tn,PS}$
6	1,686 $f_{tn,PS}$
0	1,878 $f_{tn,PS}$

Tabela 8.2 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade.
Espécie: Branquilha

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,086 $f_{tn,PS}$
12	1,213 $f_{tn,PS}$
6	1,289 $f_{tn,PS}$
0	1,386 $f_{tn,PS}$

Tabela 8.3 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade.
Espécie: Maçaranduba

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,108 $f_{tn,PS}$
12	1,175 $f_{tn,PS}$
6	1,223 $f_{tn,PS}$
0	1,306 $f_{tn,PS}$

Tabela 8.4 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade.
Espécie: Peroba Rosa

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,039 $f_{tn,PS}$
12	1,142 $f_{tn,PS}$
6	1,312 $f_{tn,PS}$
0	1,295 $f_{tn,PS}$

Tabela 8.5 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade.
Espécie: Cambará (*Erismia uncinatum*)

A partir destes resultados foram calculados os valores médios para as cinco espécies. Estes valores estão sumarizados na tabela 8.6

UMIDADES (%)	f_{tn} médio referido à U=30%
30	1,000 $f_{tn,PS}$
20	1,100 $f_{tn,PS}$
12	1,281 $f_{tn,PS}$
6	1,370 $f_{tn,PS}$
0	1,466 $f_{tn,PS}$

Tabela 8.6 - Resistências à tração normal às fibras (referidas ao valor obtido para umidade de 30%) em diversos níveis de umidade. Valores médios para as três espécies.

8.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Trabalhando com os valores médios tabelados (tabela 8.5), através de regressão linear simples, foi possível obter uma expressão para relacionar os parâmetros envolvidos.

Cabe salientar, para um melhor entendimento dos resultados apresentados na listagem, que, segundo as hipóteses adotadas pelo programa, para a regressão ser considerada satisfatória ao nível de significância adotado (5% para os casos usuais de engenharia), o valor da "Prob > F" que aparece no quadro da análise de variância deverá ser menor do que 5%. Da mesma maneira, para que os parâmetros da regressão sejam considerados significativos é necessário que o valor da "Prob > t" seja menor do que 5%.

Os resultados finais da análise executada pelo programa

SANEST, baseada nos dados da tabela 8.6, podem ser vistos na listagem apresentada a seguir. Na seqüência, a apresentação do gráfico favorece a compreensão do fenômeno estudado.

```

*****
#          SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA          #
#  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado    #
#  Departamento de Matem. e Estat. ESALC - USP           #
#  REGRESSAO LINEAR MULTIPLA - ARQUIVO: UMIDADES        #
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

VARIAVEIS NAO TRANSFORMADAS

VARIAVEL DEPENDENTE: RESISTEN

ANALISE SEQUENCIAL

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
X 1	1	0.1445736	0.1445736	194.8766	0.00070
RESIDUO	3	0.0022256	0.0007419		
T O T A L	4	0.1467992			

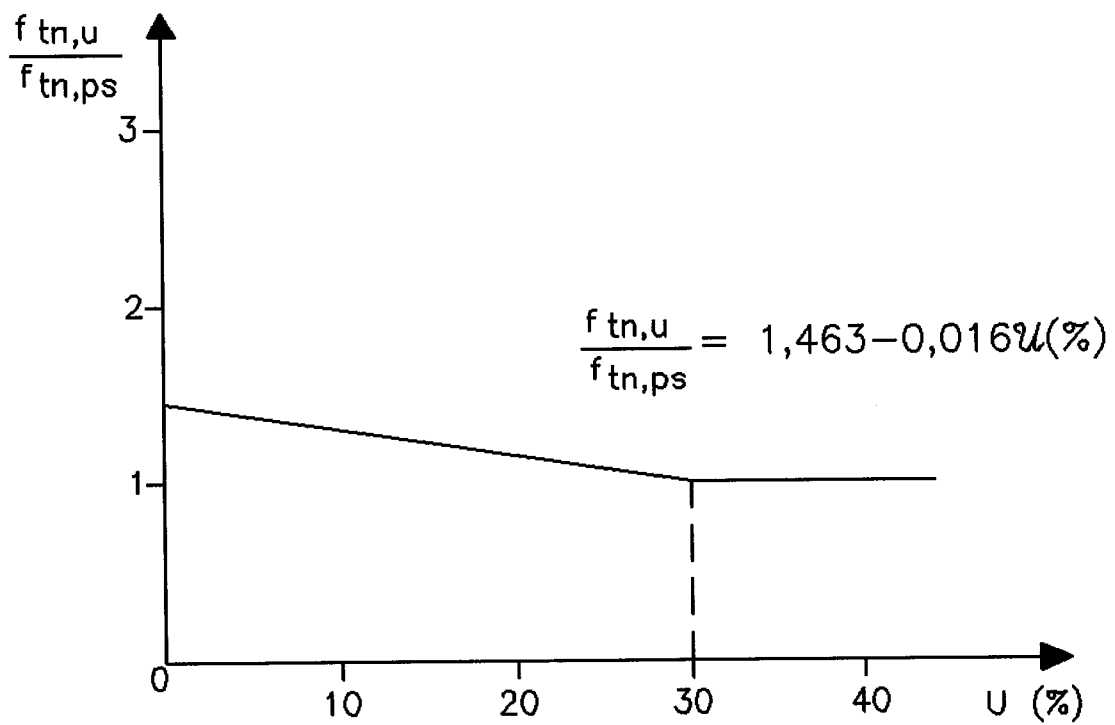
VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%	
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.
	B 0 =	1.243400	0.0121808	1.2047	1.2821	1.1723	1.3145
X 1 = UMIDADE	B 1 =	-0.016137	0.0011559	-0.0198	-0.0125	-0.0229	-0.0094

ANALISE PARCIAL DO MODELO $Y = B_0 + B_1X_1$

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	G.M.	VALOR F	PROB.>F
REGRESSAO	1	0.1445736	0.1445736	194.8786	0.00070
RESIDUO	3	0.0022256	0.0007419		
T O T A L	4	0.1467992			
COEF.DETERMINACAO		0.9848392			

VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%		VALOR t	PROB.>t
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.		
	B 0 =	1.462862	0.0198877	1.3996	1.5261	1.3467	1.5790	73.5563	0.00004
X 1 = UMIDADE	B 1 =	-0.016137	0.0011559	-0.0198	-0.0125	-0.0229	-0.0094	13.9599	0.00070



Varição da resistência à tração normal às fibras em função da umidade

8.5. Considerações Finais

O resultado obtido na regressão apresentada no item anterior mostra o seguinte modelo:

$$\frac{f_{m,u}}{f_{m,PS}} = 1,463 - 0,016 U(\%)$$

Com coeficiente de correlação de 0,96.

No que diz respeito à análise da regressão, verifica-se que esta pode ser considerada satisfatória ("Prob > F" menor do que 5%), bem como os parâmetros da regressão ("Prob > t" menor do que 5%).

Cabe salientar que a expressão acima é admitida válida para umidade igual ou inferior ao ponto de saturação das fibras (aqui adotado como 30%). Acima desta umidade admite-se não haver variação da resistência da madeira à tração normal às fibras, assim como ocorre com outras propriedades de resistência.

8.6. Conclusões

Com base no exposto em 8.5., admite-se o modelo apresentado como satisfatório para representar a relação entre umidade e a resistência à tração normal às fibras da madeira, a partir dos resultados experimentais considerados neste capítulo.

A expressão adotada, fruto da análise de diversos modelos, é simples, e permite sua imediata aplicação.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Com base na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, ficou evidenciada a importância da realização deste trabalho, não apenas pelos seus aspectos de originalidade, como também pelo significado de suas contribuições para o melhor entendimento e a melhor utilização da madeira como material estrutural. Além disto, deve ser considerado como subsídio à revisão ora em andamento do texto da NBR 7190 - Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira.

As conclusões já assinaladas ao longo dos capítulos, são aqui reunidas, possibilitando a verificação de sua abrangência.

. Não há diferença estatisticamente significativa, ao nível de 5%, entre os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras quando os corpos de prova são ensaiados com os anéis de crescimento fazendo ângulo de 0° ou de 90° com as respectivas faces.

. Não há diferença estatisticamente significativa, ao nível de 5%, entre os valores médios da resistência à tração normal às fibras quando os resultados são obtidos a partir do ensaio de conjuntos de corpos de prova ensaiados segundo os esquemas (1), (3) e (4), mostrados nas figuras 4.1, 4.3 e 4.4, integrantes do capítulo 4.

A distribuição de tensões normais ao longo da seção transversal do corpo de prova "retangular-viga" mantém-se linear até a iminência da ruptura, que sistematicamente

acontece sob a forma "frágil", viabilizando a adoção de expressões consagradas para a estimativa da resistência da madeira à tração normal às fibras.

. As distribuições de Gauss e de Weibull podem ser consideradas satisfatórias para representar os valores da resistência da madeira à tração normal às fibras, obtidas quer pelo ensaio de conjuntos de corpos de prova "usuais", figura 4.1., quer pelo ensaio de conjuntos de corpos de prova do tipo "retangular-viga", figura 4.3. Em virtude dos argumentos registrados nos ítems 5.5, 5.8 e 5.11, sugere-se a adoção da distribuição de Gauss.

. O coeficiente de variação dos valores da resistência da madeira à tração normal às fibras, para o caso de conjunto de corpos de prova "usuais", pode ser adotado como 0,30, quer para a madeira verde, quer para a madeira a 12% de umidade.

. O coeficiente de variação dos valores da resistência da madeira à tração normal às fibras, para o caso de conjuntos de corpos de prova "retangular-viga", pode ser adotado como 0,15, quer para a madeira verde, quer para a madeira a 12% de umidade. É sugerida uma ampliação do número de espécies estudadas para a confirmação deste valor.

. A resistência da madeira à tração normal às fibras é influenciada pelo peso específico da espécie. Esta influência pode ser representada por modelos matemáticos simples:

. Madeira verde:

$$f_{tn} = 4,10 + 4,03 \log \rho_{PS} \quad (\text{MPa})$$

. Madeira seca ao ar:

$$f_{tn} = 5,46 + 4,59 \log \rho_{12} \quad (\text{MPa})$$

. A resistência da madeira à tração normal às fibras é influenciada pela umidade do material. Esta influência pode, também, ser representada por um modelo matemático simples:

$$\frac{f_{m,u}}{f_{m,PS}} = 1,463 - 0,016 U(\%)$$

Anexo A - Exemplo de Listagem obtida na análise executada pelo programa SANEST.

Espécie: Angelim Pedra. Estado: Verde.

```

*****
*           SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA           *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado   *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALG - USP           *
*   CALCULO DE ESTATISTICAS - ARQUIVO: ANGPVERD           *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

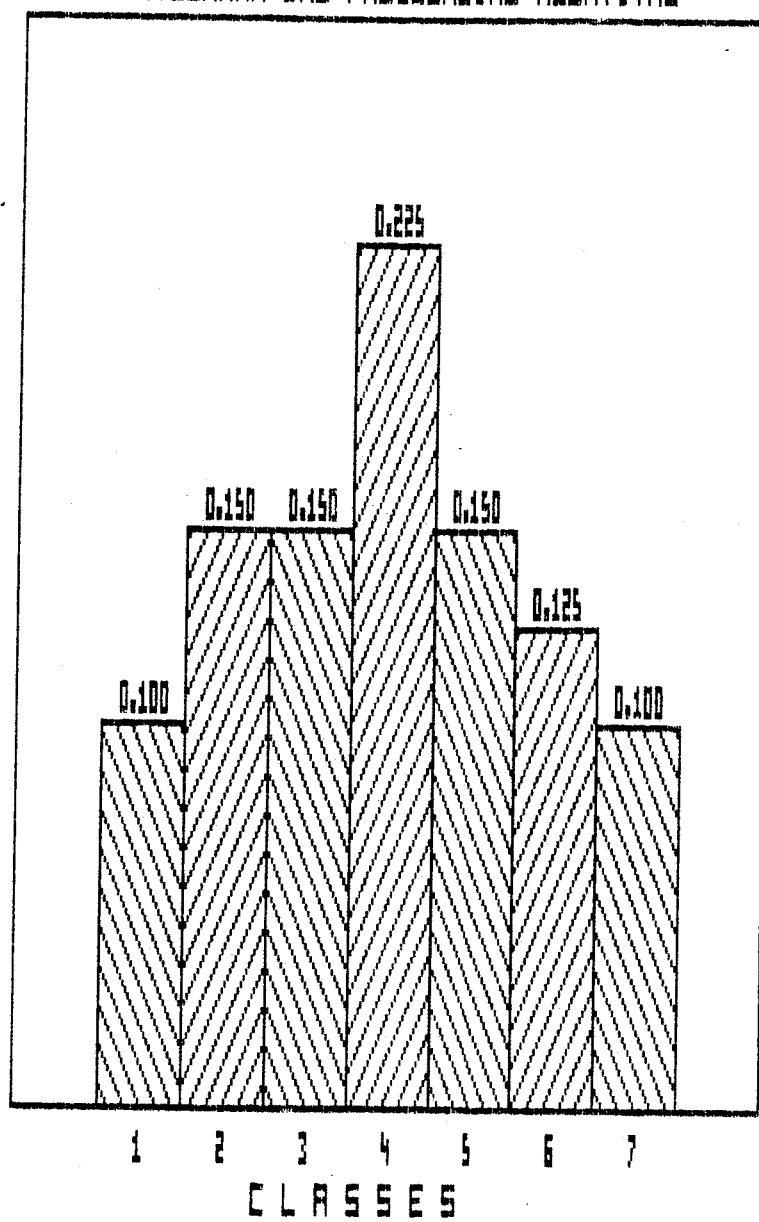
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: AMOSTRA SIMPLES

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

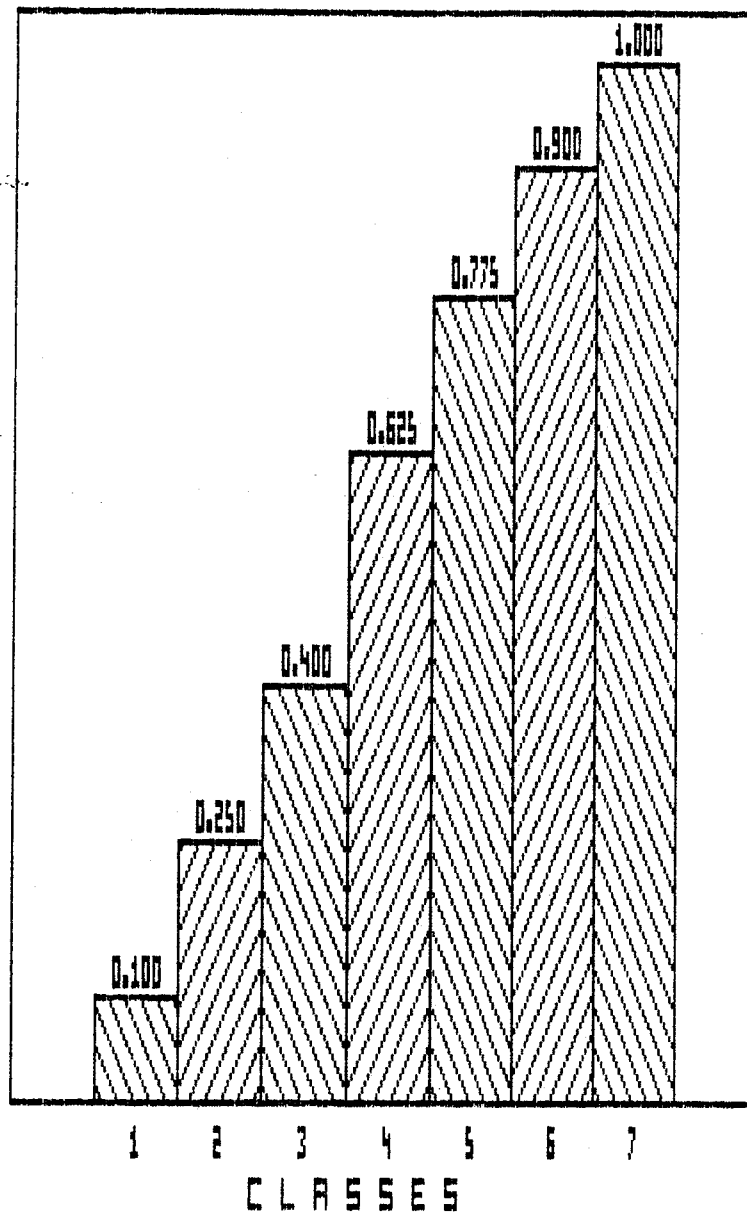
DISTRIBUICAO DE FREQUENCIAS PARA A VARIÁVEL FTN-VERD

NUM.DA CLASSE	CLASSE		CENTRO DE CLASSE	FREQUENCIA ABSOLUTA	FREQUENCIA RELATIVA	FREQ.ABS. ACUMULADA	FREQ.REL. ACUMULADA
	LIM.INF.	LIM.SUP.					
1	1.60	2.16	1.880	4	0.100000	4	0.100000
2	2.16	2.72	2.440	6	0.150000	10	0.250000
3	2.72	3.28	3.000	6	0.150000	16	0.400000
4	3.28	3.84	3.560	9	0.225000	25	0.625000
5	3.84	4.40	4.120	6	0.150000	31	0.775000
6	4.40	4.96	4.680	5	0.125000	36	0.900000
7	4.96	5.52	5.240	4	0.100000	40	1.000000

HISTOGRAMA DAS FREQUENCIAS RELATIVAS



HISTOGRAMA DAS FREQUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS



```

*****
*   SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA   *
*   Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Mschado *
*   Departamento de Matem. e Estat. ESALQ - USP *
*   CALCULO DE ESTATISTICAS - ARQUIVO: ANGFVERD *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: AMOSTRA SIMPLES

OBSERVACOES NAO TRANSFORMADAS

DIAGRAMA DE RAMO E FOLHAS PARA A VARIABEL FTN-VERD

```

1. | 6 8 9
2. | 0 3 4 5 6 7 7 8 8 8 9 9
3. | 3 6 6 6 6 6 7 7 8
4. | 1 1 1 2 2 3 3 5 5 6 8 9
5. | 0 3 5 5

```

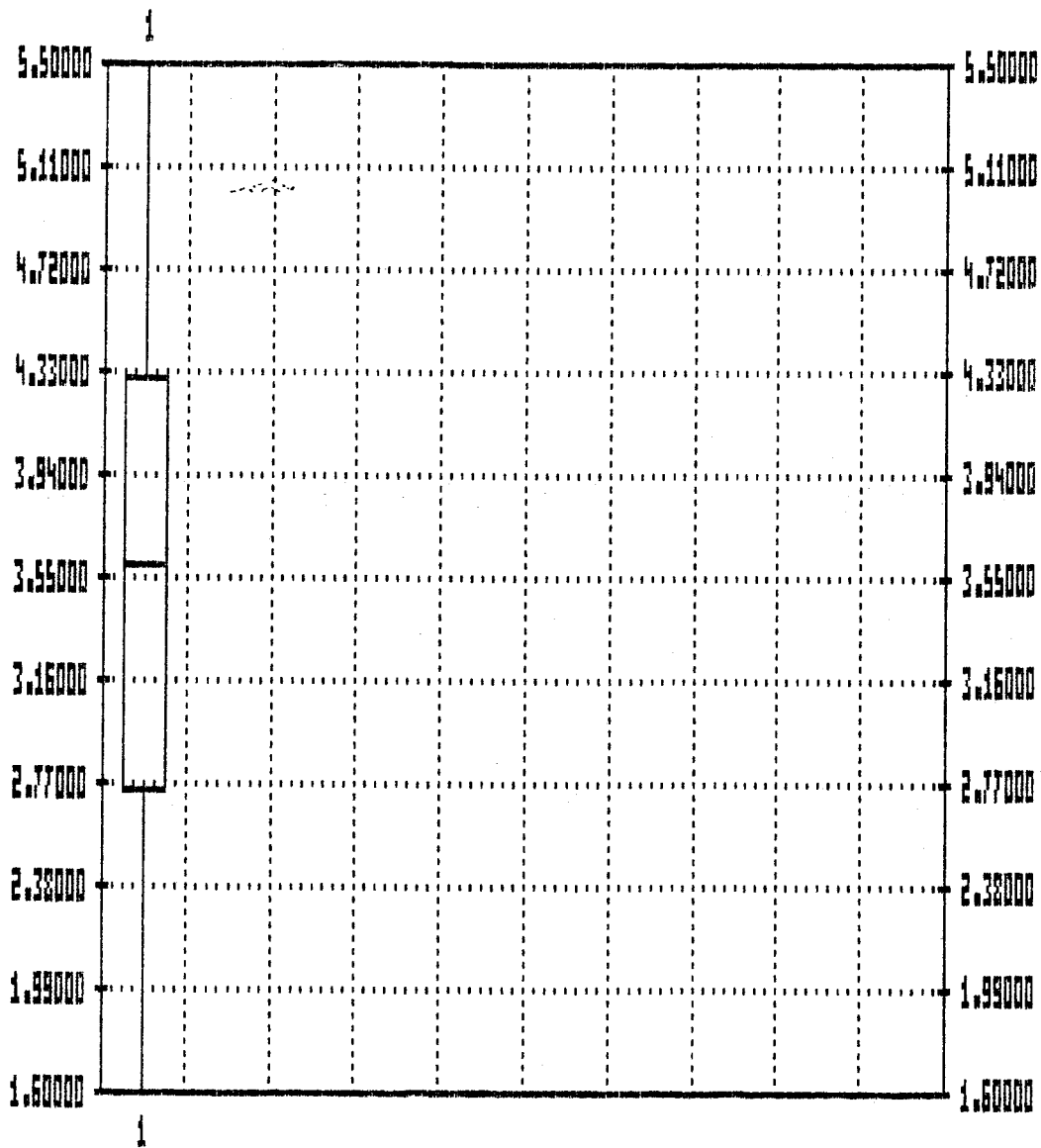
RESUMO DE 5-NUMEROS PARA A VARIABEL FTN-VERD

NUMERO DE OBSERVACOES: 40

M E D I A N A	3.6		
QUARTIL INFERIOR	2.8	4.3	QUARTIL SUPERIOR
EXTREMO INFERIOR	1.6	5.5	EXTREMO SUPERIOR

ESTATISTICAS	FTN-VERD
NUM. DES.	40
VALOR MIN.	1.600000
VALOR MAX.	5.500000
AMPLITUDE	3.900000
TOTAL	141.699997
MEDIA	3.542500
VARIANCIA	1.105583
D.PADRAO	1.051467
D.P.MEDIA	0.166252
COEF.VAR.%	29.681501
COEF.ASSIM.	0.070910
COEF. CURT.	2.117307
MEDIANA	3.600000
QUARTIL INF	2.750000
QUARTIL SUP	4.300000
IC 5% L.S.	3.878661
IC 5% L.I.	3.206337
IC 1% L.S.	3.992210
IC 1% L.I.	3.092790

ARQUIVO: ANGPYERD



1 = FTN-VERD

Anexo B - Exemplo de Listagem obtida da análise executada pelo programa GLIM para

verificação da Normalidade dos Dados.

Testes: Lilliefors e Anderson-Darling.

Espécie : Angelim Pedra. Estado: Verde.

GLIM 3.77 update 1 (copyright)1985 Royal Statistical Society, London

? #IN 12#

File name? A:ANGP.SEC

#TRA 0 #!

ANGELIM PEDRA SECA

TESTE DE LILLIEFORS

	Z	OY	FZ	SZ	A1	B1	D
1	-1.84742	1.600	0.03234	0.02500	0.007343	0.032343	0.03234
2	-1.65721	1.800	0.04874	0.05000	0.001261	0.023739	0.02374
3	-1.56210	1.900	0.05913	0.07500	0.015868	0.009132	0.01587
4	-1.46700	2.000	0.07119	0.10000	0.028812	0.003812	0.02881
5	-1.18168	2.300	0.11867	0.12500	0.006334	0.018666	0.01867
6	-1.08658	2.400	0.13861	0.15000	0.011388	0.013612	0.01361
7	-0.99147	2.500	0.16073	0.17500	0.014272	0.010728	0.01427
8	-0.89637	2.600	0.18503	0.20000	0.014972	0.010028	0.01497
9	-0.80126	2.700	0.21149	0.22500	0.013510	0.011490	0.01351
10	-0.80126	2.700	0.21149	0.25000	0.038510	0.013510	0.03851
11	-0.70616	2.800	0.24005	0.27500	0.034955	0.009955	0.03495
12	-0.70616	2.800	0.24005	0.30000	0.059955	0.034955	0.05995
13	-0.70616	2.800	0.24005	0.32500	0.084955	0.059955	0.08495
14	-0.70616	2.800	0.24005	0.35000	0.109955	0.084955	0.10995
15	-0.61105	2.900	0.27058	0.37500	0.104417	0.079417	0.10442
16	-0.61105	2.900	0.27058	0.40000	0.129417	0.104417	0.12942
17	-0.23063	3.300	0.40880	0.42500	0.016199	0.008801	0.01620
18	0.05469	3.600	0.52181	0.45000	0.071805	0.096805	0.09681
19	0.05469	3.600	0.52181	0.47500	0.046805	0.071805	0.07181
20	0.05469	3.600	0.52181	0.50000	0.021805	0.046805	0.04681
21	0.05469	3.600	0.52181	0.52500	0.003195	0.021805	0.02181
22	0.05469	3.600	0.52181	0.55000	0.028195	0.003195	0.02819
23	0.14979	3.700	0.55954	0.57500	0.015465	0.009535	0.01546
24	0.14979	3.700	0.55954	0.60000	0.040465	0.015465	0.04046
25	0.24490	3.800	0.59673	0.62500	0.028269	0.003269	0.02827
26	0.53021	4.100	0.70202	0.65000	0.052017	0.077017	0.07702
27	0.53021	4.100	0.70202	0.67500	0.027017	0.052017	0.05202
28	0.53021	4.100	0.70202	0.70000	0.002017	0.027017	0.02702
29	0.62532	4.200	0.73412	0.72500	0.009118	0.034118	0.03412
30	0.72042	4.300	0.76437	0.75000	0.014367	0.039367	0.03937
31	0.72042	4.300	0.76437	0.77500	0.010633	0.014367	0.01437
32	0.91063	4.500	0.81876	0.80000	0.018755	0.043755	0.04376
33	0.91063	4.500	0.81876	0.82500	0.006245	0.018755	0.01876
34	1.00574	4.600	0.84273	0.85000	0.007271	0.017729	0.01773
35	1.19595	4.800	0.88414	0.87500	0.009142	0.034142	0.03414
36	1.29105	4.900	0.90166	0.90000	0.001657	0.026657	0.02666
37	1.38616	5.000	0.91715	0.92500	0.007849	0.017151	0.01715
38	1.67147	5.300	0.95269	0.95000	0.002686	0.027686	0.02769
39	1.86168	5.500	0.96868	0.97500	0.006324	0.018676	0.01868
40	1.86168	5.500	0.96868	1.00000	0.031324	0.006324	0.03132

DMAX= 0.1294

TESTE DE ANDERSON-DARLING

A2= 0.3755

**Anexo C - Exemplo de Listagem obtida da análise executada pelo programa GLIM para
verificação da aplicabilidade da distribuição de Weibull aos dados.**

Espécie: Angelim Pedra. Estado: Verde.

TESTE PARA DISTRIBUICAO WEIBULL

	OY	X	W	NW
1	1.600	0.4700	0.02469	-1.06670
2	1.800	0.5878	0.05001	-1.09980
3	1.900	0.6419	0.07599	-1.11985
4	2.000	0.6931	0.10265	-1.13103
5	2.300	0.8329	0.13005	-1.13523
6	2.400	0.8755	0.15822	-1.13350
7	2.500	0.9163	0.18721	-1.12646
8	2.600	0.9555	0.21706	-1.11451
9	2.700	0.9933	0.24784	-1.09789
10	2.700	0.9933	0.27958	-1.07673
11	2.800	1.0296	0.31237	-1.05109
12	2.800	1.0296	0.34628	-1.02096
13	2.800	1.0296	0.38137	-0.98627
14	2.800	1.0296	0.41774	-0.94691
15	2.900	1.0647	0.45548	-0.90272
16	2.900	1.0647	0.49470	-0.85348
17	3.300	1.1939	0.53552	-0.79892
18	3.600	1.2809	0.57808	-0.73874
19	3.600	1.2809	0.62253	-0.67253
20	3.600	1.2809	0.66905	-0.59984
21	3.600	1.2809	0.71784	-0.52013
22	3.600	1.2809	0.76913	-0.43276
23	3.700	1.3083	0.82320	-0.33696
24	3.700	1.3083	0.88036	-0.23182
25	3.800	1.3350	0.94098	-0.11626
26	4.100	1.4110	1.00552	0.01106
27	4.100	1.4110	1.07451	0.15174
28	4.100	1.4110	1.14862	0.30778
29	4.200	1.4351	1.22867	0.48168
30	4.300	1.4586	1.31568	0.67663
31	4.300	1.4586	1.41099	0.89677
32	4.500	1.5041	1.51635	1.14761
33	4.500	1.5041	1.63413	1.43667
34	4.600	1.5261	1.76766	1.77462
35	4.800	1.5686	1.92181	2.17727
36	4.900	1.5892	2.10413	2.66941
37	5.000	1.6094	2.32728	3.29313
38	5.300	1.6677	2.61496	4.12859
39	5.500	1.7047	3.02042	5.35919
40	5.500	1.7047	5.49133	13.71091

L1= 58.95

L2= 42.11

B= 0.2612

S2= 3.953

W= 0.6901

TABELA

	P	WP
1	0.005000	0.3378
2	0.025000	0.4054
3	0.050000	0.4418
4	0.950000	0.8592
5	0.975000	0.9036
6	0.995000	0.9950

-- new job begins

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
 ESCOLA POLITÉCNICA DE CARLOS

Anexo D - Exemplo de Listagem obtida da análise da regressão executada pelo programa

SANEST para a verificação da reta de Weibull.

Espécie: Angelim Pedra. Estado: verde.

```

*****
*      SANEST - SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA      *
*  Autores: Elio Paulo Zonta - Amauri Almeida Machado  *
*  Departamento de Matem. e Estat. ESALG - USP      *
*  REGRESSAO LINEAR MULTIPLA - ARQUIVO: ANPVWEIB    *
*****

```

CODIGO DO PROJETO: TRACAO NORMAL

RESPONSAVEL: RAQUEL TANAAMI

VARIAVEIS NAO TRANSFORMADAS

VARIAVEL DEPENDENTE: L

ANALISE SEQUENCIAL

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
X 1	1	59.8107951	59.8107951	1214.6374	0.00001
RESIDUO	38	1.8711841	0.0492417		
T O T A L	39	61.6819792			

VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%	
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.
	B 0 =	-0.574250	0.0350862	-0.6453	-0.5032	-0.6693	-0.4792
X 1 = LOG FTNV	B 1 =	8.991282	0.2579873	8.4691	9.5134	8.2921	9.6904

ANALISE PARCIAL DO MODELO $Y = B_0 + B_1X_1$

QUADRO DA ANALISE DE VARIANCIA

CAUSAS DA VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
REGRESSAO	1	59.8107951	59.8107951	1214.6374	0.00001
RESIDUO	38	1.8711841	0.0492417		
T O T A L	39	61.6819792			
COEF.DETERMINACAO		0.9696640			

VARIAVEL	PARAMETRO	ESTIMADO	ERRO PADRAO	INTERV. CONFIANCA 5%		INTERV. CONFIANCA 1%		VALOR t	PROB.>t
				EXTR. INF.	EXTR. SUP.	EXTR. INF.	EXTR. SUP.		
	B 0 =	-5.328390	0.1408508	-5.6135	-5.0433	-5.7101	-4.9467	37.8300	0.00001
X 1 = LOG FTNV	B 1 =	8.991282	0.2579873	8.4691	9.5134	8.2921	9.6904	34.8516	0.00001

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01- AIKIN, M.; ANDERSON, D.; FRANCIS, B.; HINDE, J. **Statistical modelling in GLIM**. Oxford Science Publication, Clarendon Press Oxford, 1989.
- 02- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standart methods of testing small clear specimens of timber**. Philadelphia, ASTM, 1952. (ASTM Designation: D 143-52).
- 03- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas - NBR 8681**. Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- 04- _____. **Cálculo e execução de estruturas de madeira - NBR 7190**. Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- 05- _____. **Ensaio físicos e mecânicos de madeiras - NBR 6230**. Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- 06- _____. **Projeto e execução de obras de concreto armado - NB 1**. Rio de Janeiro, ABNT, 1978.
- 07- BARRET, J.D. Effect of size on tension perpendicular to grain strength of Douglas-fir. **Wood and Fiber Science**, v.6(2), p.126-143, verão, 1974.
- 08- BARRET, J.D.; FOSCHI, R.O.; FOX, S.P. Perpendicular to grain strength of Douglas-fir. **Canadian journal Civil Engineering**, v.2.50, p.50-57, December 1974.
- 09- BARS, L. Failure perpendicular to the grain in wood subjected to sustained bending loads. **Wood Science**, v.7, n.4, p.323-327, april, 1975.
- 10- BEERY, W.H.; IFJU, G.; McLAIN, T.E. Quantitative wood anatomy - relating anatomy to transverse tensile strength. **Wood and Fiber science**, 1983. n.15(4), p.395-407.
- 11- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982. 711p.
- 12- BOHLEN, J.C. Tension-perpendicular-to-glueline strength of Douglas- fir lumber laminated at high temperatures. **Wood and Fiber**, n.5(1), p.21-25. 1973.
- 13- BROTERO, F.A. **Métodos de ensaios adotados no L.P.T. para o estudo de madeiras nacionais**. 2.ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1956. (Boletim n.31).
- 14- CAMPOS, H. **Estatística aplicada à experimentação com cana-de-açúcar**. São Paulo, FEALQ, 1984. 292P.

- 15- CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica** 4.ed. Piracicaba, FEALQ/ESALQ, 1983. 349p.
- 16- CHAHUD, E. **Tração paralela em peças de Madeira**. São Carlos, 1985. 200p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 17- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Common unified rules for timber structures: EUROCODE n.5**. Luxembourg, 1987.
- 18- CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. **Structural timber design code**. 5.ed. CIB, Aug. 1980. (Working Group W18 - Timber Structures).
- 19- DIAS, A.A. **Critérios semi-probabilísticos para o projeto de estruturas de madeira**. Ilha Solteira, FEIS-UNESP, 1989. (Relatório de Pesquisa).
- 20- FELDBORG, T. Determination of some mechanical properties of timber in structural sizes. In: 1991 INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, London, 1991. **Anais...** London, 1991. p.2189-2199.
- 21- FONSECA, J.S.; MARTINS DE ANDRADE, G.; **Curso de Estatística**. 3.ed. São Paulo, Atlas, 1982. 286p.
- 22- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engeneering material**. Washington, D.C., FPL-FS-USDA, 1974. (Agriculture Handbook n.72).
- 23- FOX, S.P. Strength and stiffness of laminated Douglas-fir blocks in perpendicular-to-glue line tension. **Wood and Fiber Science**, v.6(3), 1974.
- 24- FUSCO, P.B. Fundamentos do projeto estrutural. In: **Estruturas de concreto**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil; EDUSP, 1976. 298p. vI.
- 25- FUSCO, P.B. Conceitos estatísticos associados à segurança das estruturas. In: **Estruturas de concreto**. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1975. 449p. vII.
- 26- FUSCO, P.B. Comentários sobre a norma brasileira de ações e segurança. In: **Conceitos modernos sobre projeto de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro, PUC-RJ, 1984. v.2., p.1-51. (Coletânea de artigos, CA 02/84).
- 27- GAMOV, V.V. Strength of early and late wood of Larch in tension perpendicular. **Lesnoi Zhurnal**, 1975. n.4. p.161-163.
- 28- GAMOV, V.V. Comparative investigations on wood in tension perpendicular to grain. **Lesnoi Zhurnal**, 1975. n.3. p.81-83.

- 29- GERHARDS, C.C. Effect of slop of grain on tensile strength. **Forest Products Journal**, v.38, n.7/8, 1988.
- 30- HELLMEISTER, J.C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. São Carlos, 1973. 161p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 31- HOYLE Jr., R.J. **Wood technology in the design of structures**. 3.ed. Missoula, Montana, Montain Press, 1973.
- 32- INTERNATIONAL STANDARD. **Determination of ultimate tensile stress perpendicular to grain - ISO 3346**. 1975.
- 33- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. Brasília, CNPq, 1981. v.I e II.,
- 34- KARLSEN, G.G. **Wooden structures**. Moscou, Mir publisher, 1967. 638p.
- 35- KOLB, H.; GOTH, H.; EPPLE, A. Effect of long-term loading and temperature and climatic changes during storage on tensile strength perpendicular to grain in Norway spruce wood. **Holz-als Roh-und Werkstoff**, 1985. n.43(11), p.463-468.
- 36- KOLLMANN, F.F.P. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid, Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959. v.1.
- 37- KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ Jr., W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin, Springer Verlag, 1968. 592p. v.I.
- 38- KOLLMANN, F.F.P.; KUENZIE, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology**. Berlin, Springer Verlag, 1975. 703p. v.II.
- 39- KUAE, L.K.N.; BONESIO, M.C.M.; VILLELA, M.C.O. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses**. São Paulo, Escola Politécnica - USP, 1991. 48p.
- 40- LARSEN, H.J. Determination of sheat strength and strength perpendicular to grain. In: INTERNATIONAL CONCIL FOR BUILDING COMMISSION RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION-WORKING COMISSION W 18A - Timber structures - Meeting Twenty, Dublin, Treland. September, 1987.
- 41- LEE, E.T. **Statistical methods for survival data analysis**. Life-time Learning Publications, Belmont, California, 1980.
- 42- LEONHARDT, FRITZ **Construções de concreto**. Rio de Janeiro, Interciência, 1978. v.3. 174p.

- 43- MADSEN, B. Duration of load tests for wood in tension perpendicular to grain. **Structural research series, report n.7, november, 1972.**
- 44- MASCIA, N.T. **Contribuição ao estudo da flexão estática em peças de madeira.** São Carlos, 1985. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 45- MENDES, A.P. **Resistência da madeira ao cisalhamento.** Orientador: Prof. Dr. João Cesar Hellmeister. São Carlos, LaMEM-EESC-USP, 1984. 157p. Dissertação (Mestre - Engenharia de Estruturas).
- 46- MEYER, P.L. **Probabilidade: aplicações à estatística.** Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1972.
- 47- MEYER, R.W.; KELLOGG, R.M. Tension-perpendicular-to-glueline strength of hot-press and conventional glue-laminated beams. **Conference of structural uses of wood in adverse environments.** New York, USA, Van Nostrand Reinhold Company, 1982. p.88-99.
- 48- MINDESS, S.; MADSEN, B.; BARRET, J.D. Rate of loading and duration of load tests on Douglas-fir in tension perpendicular to the grain. In: **FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD FRACTURE, Canadá, 1978. Proceedings...** Alberta, Canadá, 1978. p.143-157.
- 49- MONTANA QUÍMICA S.A. **Biodeterioração e preservação de madeiras.** São Paulo, Montana, DATE, 1991. 72p.
- 50- MORICE, E. Les graphiques a échelles fonctionnelles du statisticien. **Rev. Statistique Appliquée, XXXIX(4), p.7-84, 1991.**
- 51- NATIONAL FOREST PRODUCTS ASSOCIATION. **National design specification for wood construction.** Washington, NFPA, 1979. (1977 edition).
- 52- OKOHIRA, Y.; MASUDA, M.; SUZUKI, N. The size effect of tensile strength on western hemlock. **Bulletin of the Faculty of Bioresources, 1988. n.1., p.1-6.**
- 53- ONG, S.H. Possibility of predicting mechanical strength of Malaysian timbers. **Forest Research Centre Publication, 1988. n.45.**
- 54- OZELTON, E.C.; BAIRD, J.A. **Timber designer's manual.** Londres, Crosby Lockwood Staples, 1976. 617p.
- 55- PEARSON, R.G.; BOYD, J.D. **Timber engineering design handbook.** Melbourne, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1958. 248p.

- 56- PIGOZZO, J.C. **Influência da umidade e da densidade na resistência à compressão da madeira.** São Carlos, 1982. 141p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 57- PUGEL, A.D. Angle-to-grain tensile strength specimen for thin wood samples. **Forest Products Journal**, v.40, n.2, p.49-51, 1990.
- 58- ROCCO LAHR, F.A. **Considerações a respeito do dimensionamento de peças estruturais de madeira.** São Carlos, 1989. 155p. Tese (Livre- Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 59- SARRIÉS, G.A.; OLIVEIRA, J.C.V. de; ALVES, M.C. **SANEST.** Piracicaba, CIAGRI, 1992. 73p. (Série Didática CIAGRI n.06).
- 60- SCHIEL, F. **Introdução à resistência dos materiais.** 7.ed. São Carlos, EESC-USP, 1977. 137p. (Fascículo I).
- 61- SCHNIEWIND, A.P. Transverse anisotropy of wood: A function of gross anatomic structure. **Forest Products Journal**, p.350-359, october, 1959.
- 62- SCHNIEWIND, A.P.; LYON, D.E. A fracture mechanics approach to the tensile strength perpendicular to grain of dimension lumber. **Wood Science and Technology**, v.7, p.45-59, 1973.
- 63- SHAPIRO, S.S. **How to test normality and other distributional assumptions.** American Society for Quality Control, 1990. v.3. 91p.
- 64- SNEDECOR, G.W. **Statistical methods: applied to experiments in agriculture and biology.** 5.ed. Ames, Iowa, The Iowa State University, 1956. 481p.
- 65- SOBETTI-GUERRI, F. Studio di un provino unificato e dei relativi congegni per prove a trazione ed a taglio di strutture in legno lamellari incollate. **L'Italia Forestale e Montana**, v.33(4), p.189- 208, 1978.
- 66- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics.** New York, McGraw-Hill, 1960. 481p.
- 67- TANAAMI, R.G. **Influência da umidade e da densidade em propriedades de resistência e elasticidade à flexão da madeira.** São Carlos, 1986. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 68- TANAAMI, R.G.; FRIGÉRIO, G.P. Introdução ao estudo da distribuição de frequência da resistência à tração normal às fibras em algumas espécies de eucalipto. In: IV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, São Carlos, 1992. **Anais...** São Carlos, EBRAMEM, 1992. v.5. p.105-122.

69- TIMOSHENKO, S.P. **Resistência dos materiais.** Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1966.

70- WILSON, T.R.C. **Strength-moisture relations for wood.** Washington, D.C., USDA, Mar. 1932. 88p. (Technical Bulletin n.282).

