

## **PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS DE MADEIRA SUBMETIDA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS \***

### ***PROPOSED DIMENSIONING OF WOOD PARTS SUBMITTED TO THE PARALLEL TRANSFER TO THE FIBERS***

**Chahud, Eduardo**

Professor Doutor da Universidade Federal de Minas Gerais  
[echahud@gmail.com](mailto:echahud@gmail.com)

**Maestrello, Chadia Chahud**

Mestranda da Universidade Estadual Paulista  
[mestrello.biotec@gmail.com](mailto:mestrello.biotec@gmail.com)

**Chahud, Bruna**

Discente de Especialização da Barão de Mauá  
[bruna.chahud@gmail.com](mailto:bruna.chahud@gmail.com)

**Nunes Branco, Luiz Antônio Melgaço**

Professor Doutor da Universidade FUMEC  
[luizmelg@gmail.com](mailto:luizmelg@gmail.com)

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta a proposta de geometria de corpo de prova para ensaio de tração paralela às fibras da madeira e adotado na NBR-7190 e a proposta de dimensionamento, pelo Método Semi-Probabilístico, de uma peça de madeira submetida à tração paralela às fibras. Exemplo de dimensionamento com dados de resistência oriundos de pesquisa experimental, nacional e internacional é apresentado.

**Palavras Chaves:** Tração paralela. Ensaio. Dimensionamento.

#### **ABSTRACT**

This paper presents the proposal of a test specimen geometry for traction test parallel to the fibers of the wood and adopted in the NBR-7190 and the proposal for dimensioning, by the Semi-Probabilistic Method, a piece of wood subjected to traction parallel to the fibers. An example of dimensioning with resistance adopters from experimental, national and international research is presented.

**Keywords:** Parallel traction. Test. Dimensioning.

\* Este trabalho foi apresentado no “Colloquia 85”, em Buenos Aires e é reapresentado nesta Revista para dar ampla divulgação do tema.

## 1 - Introdução

O dimensionamento à tração paralela às fibras da madeira, não era incorporado ao texto da NN-11 (1950) e no texto da NBR-7190 (1982). Com a aprovação da NBR-7190 Projeto de Estruturas de Madeira, o ensaio para determinação da resistência à tração paralela é especificado e o dimensionamento de peças tracionadas, segundo o método semi-probabilístico, é contemplado.

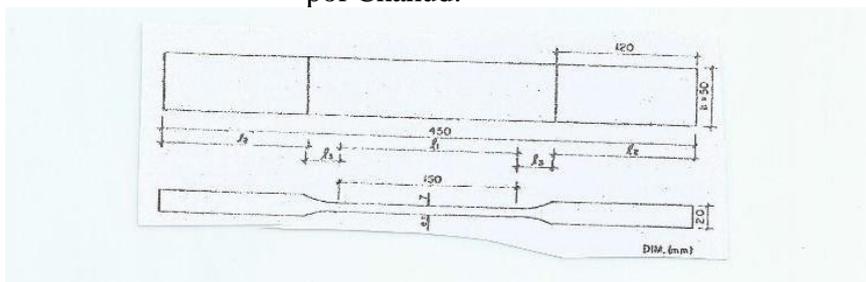
Este trabalho apresenta um dos estudos desenvolvidos na época da revisão da NBR-7190, que contribuiu para a discussão e a definição do processo de dimensionamento hoje adotado. O estudo foi desenvolvido em 1985 e é reapresentado objetivando uma documentação histórica do desenvolvimento dos estudos que embasaram a atual NBR-7190.

## 2 - Proposta para o ensaio de peças de madeira á tração paralela às fibras

Sugere-se para o ensaio à tração paralela às fibras, conforme Chahud, as seguintes recomendações:

- geometria do corpo de prova: ver Figura 1;
- número mínimo de corpos de prova: 32, obtidos aleatoriamente, de pelo menos 3 árvores;
- umidade dos corpos de prova no momento do ensaio: umidade igual ou superior ao ponto d saturação das fibras;
- velocidade de aplicação de carga: 10 MPa/min;
- determinação da força que produziu a ruptura em kN:  $F_R$
- determinação da resistência à tração paralela às fibras de cada corpo de prova:  $f_{t0}$  em MPa;
- determinação da resistência média à tração paralela às fibras do lote de madeira:  $f_{t0,m}$  em MPa;
- determinação da resistência característica à tração paralela às fibras do lote de madeira:  $f_{t0,k} = f_{t0,m} - 1,645 * s$ , onde  $s$  é o desvio padrão da amostra, em MPa.

**Figura 1** – Esquema do corpo de prova para ensaio à tração paralela às fibras, proposto por Chahud.



### 3 – Valor característico da resistência da madeira à tração paralela às fibras.

O valor característico de uma variável aleatória qualquer, associada à segurança das estruturas, é o valor que tem uma certa probabilidade, fixada a priori, de não ser ultrapassada por valores desfavoráveis.

Para a determinação dos valores característicos de uma variável, é necessário o conhecimento da função de probabilidade ou da função densidade de probabilidade, em geral, dependentes de um ou mais parâmetros.

Segundo o CEM (Comitê Europeu – Internacional do Concreto), de onde muitas sugestões são aceitas no decorrer deste trabalho, a resistência característica de materiais estruturais, admitindo distribuição normal, é calculada através d expressão:

$$f_k = f_m - n*s$$

onde:

$f_k$  = resistência característica;

$f_m$  = resistência média da amostra;

$n$  = coeficiente dependente da probabilidade de serem obtidos resultados inferiores a  $f_k$ , correspondente ao limite inferior de 5% da distribuição considerada;

$s$  = desvio padrão da amostra

Para a resistência à tração paralela às fibras, utilizando a norma “Símbolos Gráficos para Projeto de Estruturas”, tem-se:

$$f_{wt0,k} = f_{wt0,m} - n*S_{wt}$$

onde:

$f_{wt0,k}$  = resistência característica à tração paralela às fibras;

$f_{wt0,m}$  = resistência média à tração paralela às fibras da amostra;

$n$  = coeficiente dependente da probabilidade de serem obtidos resultados inferiores a  $f_k$ , correspondente ao limite inferior de 5% da distribuição considerada;

$S_{wt0}$  = desvio padrão da amostra de resistências à tração paralela às fibras.

Diversos autores apresentam justificativa para a utilização dessa expressão.

Chahud, 1982, demonstra que a resistência à tração paralela às fibras apresenta distribuição normal de frequência.

Segundo Fusco, 1977, “No caso de ser satisfatória uma alternativa com 95% de probabilidade conduza a um erro relativo do desvio padrão de no máximo 25%, a amostra a ser empregada deverá ter pelo menos, 32 exemplares”.

Hellmeister, 1973, conclui que o número de árvores, estaticamente aceitável para a caracterização de uma espécie de madeira, é três, no mínimo sendo elas obtidas aleatoriamente.

Considerando esses dados, tem-se:

$$f_{wt0,k} = f_{wt0,m} - 1,645*S_{wt}$$

#### 4 – Valor de cálculo da resistência da madeira à tração paralela às fibras.

Devido a possíveis erros de cálculo dos esforços solicitantes, da variabilidade das características físicas e mecânicas e da deformabilidade dos materiais do laboratório para a obra, os métodos atuais de segurança estrutural recomenda para o projeto, não o valor característico, mas o valor de cálculo das resistências.

O valor de cálculo das resistências te, então, a finalidade de cobrir as incertezas não consideradas pelo cálculo estatístico.

Segundo Fusco, os valores de cálculo são obtidos à partir dos valores característicos correspondentes, pela sua divisão por coeficientes de ponderação adequados.

Eles são determinados através da relação:

$$f_d = f_k / m$$

onde:

$f_d$  = resistência de cálculo

$f_k$  = resistência característica

$m$  = coeficiente de ponderação

O coeficiente  $m$  é função de três outros coeficientes ( $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$ ), segundo a NBR-8681 (Ações e Segurança nas Estruturas).

$m_1$  = leva em conta a variabilidade da resistência efetiva, transformando a resistência característica num valor de menor probabilidade de ocorrência;

$m_2$  = considera as diferenças entre as resistências efetivas do material da estrutura e a resistência obtidas convencionalmente em corpos de prova padronizados;

$m_3$  = considera as incertezas existentes na determinação das solicitações resistentes, seja em decorrência dos métodos construtivos, seja em virtude do método de cálculo empregado.

##### 4.1 – Estudo do coeficiente $m_1$ para a Madeira.

A resistência característica é definida como sendo o valor correspondente ao quantil inferior de 5% da distribuição normal de frequência da solicitação em estudo.

Determinando-se, através de um número suficiente de grandes amostras obtidas aleatoriamente do universo em estudo, as resistências características de cada amostra, tem-se a respectiva distribuição de frequência, suposta normal, com média igual à resistência característica do universo e desvio padrão conhecido.

Uma minoração da resistência característica pode ser considerada como o valor correspondente ao quantil inferior de 5% da distribuição de frequência das resistências características das amostras retiradas do universo original.

Em uma distribuição normal, o parâmetro  $z$  corresponde ao quantil inferior de 5% vale 1,645. Com ele é possível determinar o “valor característico” da distribuição normal das resistências características, obtidas com base em amostras retiradas do universo original.

Nos estudos das resistências da madeira e, mais especificamente, da resistência à tração da madeira, com vistas à definição dos valores de cálculo, sugere-se, em primeira aproximação, abrindo a possibilidade para novas discussões, o valor de  $m_1 = 1,65$ , que cobre as incertezas dos valores à tração paralela e dos valores característicos à tração paralela. Com isso se estabelece um ponto de partida para novas considerações a respeito desse coeficiente  $m_1$ , não apenas com relação à tração, mas também para as outras solicitações em peças de madeira.

#### 4.2 – Estudo do coeficiente $m_2$ para a Madeira.

O coeficiente  $m_2$  objetiva levar em conta as diferenças existentes na resistência do material de dimensões estruturais utilizado nas obras e o utilizado nos ensaios, ou seja, as diferenças entre os valores obtidos nos corpos de prova e os valores efetivos nas peças de tamanho estrutural.

Não foi possível a realização de ensaios de tração em peças de tamanho estrutural no transcorrer deste trabalho.

Em consequência disto, um estudo preliminar a respeito do coeficiente  $m_2$  foi conduzido a partir de resultados de ensaios em corpos de prova da espécie Douglas -fir, apresentados por Hellmeister e nos resultados de ensaios de peças de tamanho estrutural, de Douglas-fir, apresentados por Johnson e Kunesh, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores de  $m_2$  em função das dimensões das peças

Dimensões da seção transversal	$m_2$
5,08 cm x 10,16 cm	1,27
5,08 cm x 15,24 cm	1,53
5,08 cm x 20,32 cm	1,90
5,08 cm x 25,40 cm	1,92

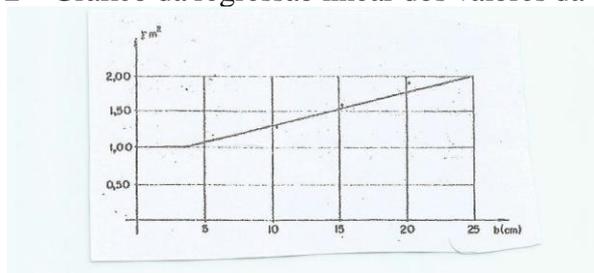
Os valores da Tabela 1 foram plotados em um gráfico, apresentado na Figura 2. Através de uma regressão linear, obtém-se a equação:

$$m_2 = 0,84 + 0,05*b$$

com  $R^2 = 91,50\%$  e  $b$  = largura da seção transversal.

Essa equação representa uma tentativa de buscar uma generalização para adoção do coeficiente  $m_2$  para a tração paralela às fibras da madeira.

**Figura 2** – Gráfico da regressão linear dos valores da Tabela 1.



#### 4.3 – Estudo do coeficiente $m_3$ para a Madeira.

À partir dos aspectos considerados para adoção de  $m_3$  apresentados anteriormente, optou-se por estabelecer uma abordagem inicial com base em experimentação desenvolvida no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Como se sabe, a maior frequência de peças tracionadas de madeira, ocorre em estruturas treliçadas. Rocco Lahr, estudando o comportamento, em modelo reduzido (escala 1:3) de uma tesoura para cobertura com vão de 30 metros, concluiu que a diferença entre os valores das tensões atuantes nas barras da treliça em questão, determinadas à partir do módulo de elasticidade longitudinal da barra multiplicada pela deformação específica registrada em um “strain meter”, e as tensões calculadas pela teoria, não ultrapassou 7%.

Rocco Lahr, apresenta estudos sobre o comportamento de arcos treliçados com vão de 27 metros, executados em escala 1:3, concluindo que as tensões obtidas experimentalmente não apresentam diferenças superiores a 10%, quando comparadas com as tensões calculadas pela teoria.

Por essas razões, foi adotado para o coeficiente  $m_3$ , o valor de 1,1, para as peças de madeira submetidas às trações paralelas às fibras.

A discussão sobre o assunto deve prosseguir, ampliando o conhecimento desse coeficiente e gerando subsídios para a revisão da Norma Brasileira.

#### 4.4 – Exemplo de cálculo.

Utilizando dados de ensaios apresentados por Chahud, para a espécie Jatobá e aplicando-se os conceitos discutidos nos itens anteriores, tem-se:

]

$$f_{wtk} = 71,1 \text{ MPa}$$

$$m_1 = 1,65$$

$$m_2 = 1,64$$

$$m_3 = 1,10$$

$$m = m_1 * m_2 * m_3 = 1,65 * 1,64 * 1,10 = 2,91$$

$$f_{wtd} = f_{wtk} / m = 77,1 / 2,91 = 23,9 \text{ MPa}$$

Os valores das tensões atuantes em uma peça de madeira não devem ser superior ao valor de  $f_{wtd}$ .

#### 5 – Conclusão.

Este trabalho, aqui reapresentado, tem função histórica na mudança de filosofia da NBR-7190 de 1982, pois foi um dos primeiros trabalhos a apresentar, para discussão, valores dos coeficientes de minoração da resistência à tração paralela às fibras da madeira.

#### Referências Bibliográficas

CHAHUD, E. “Tração Paralela às Fibras”, Dissertação. São Carlos, EESC-USP, 1982.

FUSCO, P. B. “Estruturas de Concreto: fundamentos do projeto estrutural. São Paulo, McGraw-Hill, 1977.

FUSCO, P. B. “Estruturas de Concreto: fundamentos estatísticos da segurança da s estruturas. São Paulo, McGraw-Hill, 1978.

HELLMEISTER, J. C. “Sobre a determinação das características físicas da madeira”. Tese. São Carlos, EESC-USP, 1973.

HELLMEISTER, J. C. “Tension and related properties of Douglas-fir”. Thesis Master of Science. New York, College os Forestry at Syracuse, State University, 1966.

PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS DE MADEIRA SUBMETIDA À TRAÇÃO  
PARALELA ÀS FIBRAS.  
CHAHUD, Eduardo, et, al.

JONHSON, J. W. & KUNESH, H., “Tensile strength os special Douglas-fir and Hein-fir 2-inch dimension lumber”. Wood and Fiber, 6 (4), 308-318, Winter, 1978.

ROCCP LAHR, F. A., “Tesoura de madeira: otimização de sua aplicação na construção civil brasileira”. São Carlos, EESC-USP, Relatório de Iniciação Científica, 1974.

ROCCP LAHR, F. A., “Arco treliçado d madeira”. Dissertação. São Carlos, EESC-USP, 1978.