

CORRELAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DA MADEIRA DE *PINUS SP.* EM CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS E PEÇAS ESTRUTURAIS

CORRELATION TO COMPRESSION STRENGTH PARALLEL TO GRAIN OF THE WOOD OF *PINUS SPP.* IN SPECIMENS WITHOUT DEFECTS AND STRUCTURAL PARTS

Lorenzo L. dos Santos ⁽¹⁾ (A), **Perla de C. Lima** ⁽²⁾, **Antônio A. Dias** ⁽³⁾, **Carlito C. Junior** ⁽³⁾

(1) Doutorando em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo EESC-USP, São Carlos, Brasil.

(2) Engenheira Civil, Colaboradora do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras LaMEM-EESC-USP, São Carlos, Brasil.

(3) Prof. Dr., Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

Endereço de contato: lls@usp.br; (A) Apresentador

Código de identificação: T3-15

Resumo

A madeira de *pinus sp.* possui grande incidência de defeitos, dos quais destacam-se os nós. Quando utilizada em situações estruturais, a presença dos defeitos pode alterar significativamente a resistência do material. O objetivo deste trabalho foi correlacionar a resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *pinus sp.* em peças estruturais com e sem defeitos e em corpos de prova sem defeitos. Foram utilizadas 100 tábuas com dimensões 3,8x8,9x396cm, classificadas visualmente e divididas em 5 grupos, com 20 peças cada. De cada tábua foi retirada uma peça de tamanho estrutural, dimensões 3,8x8,9x205cm, com a presença dos maiores nós, e um corpo de prova isento de defeitos, dimensões 3,8x3,8x11,4cm. Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações das normas ISO 13910:2013 e da ABNT NBR 7190:1997 e evidenciaram uma grande diferença entre a resistência nos dois casos, que supera 70% de minoração para a peça estrutural, nas piores situações.

Palavras chave: madeira; compressão; defeitos; nós

Abstract

The timber of pinus sp. has a great incidence of defects, of which the knots stand out. When used in structural situations, the defect incidence can alter significantly the strength of the material. The objective of this paper was to correlate the compression strength parallel to the grain of the pinus sp. in structural timber with and without defects and in small specimens without defects. For that were used 100 boards with dimension 3,8x8,9x396cm, that were visually classified and divided in 5 groups with 20 pieces each. Of each board were cut a structural specimen, with dimensions 3,8x8,9x205cm and with the worse knots of the initial board, and a smaller specimen without defects with dimensions of 3,8x3,8x11,4cm. The tests were carried out following the recommendations of ISO 13910:2013 and ABNT NBR 7190:1997 standards and showed a great difference between the resistance in the two cases, which exceeds 70% of reduction for the structural specimens in the worst situations.

Keywords: timber; compression; defect; knots

1. INTRODUÇÃO

A classificação visual e mecânica é imprescindível para a utilização adequada das madeiras, principalmente aquelas provenientes de manejo florestal, como é o caso do pinus. Segundo [1], é comum encontrar diferenças de resistência acima de trezentos por cento entre duas peças de mesma espécie e mesma dimensão. Esta diferença pode ser correlacionada com a variação da densidade e principalmente com os defeitos presentes nas peças, tais como os nós.

Quanto à classificação mecânica, atualmente a norma brasileira NBR 7190:1997 [2] não dispõe de métodos para classificação estrutural da madeira. Nesta norma são apresentados apenas métodos de ensaios com corpos de prova isentos de defeitos e com dimensões reduzidas, tendo como base a utilização da resistência à compressão paralela às fibras para delimitação das classes de resistência da madeira. No entanto, quando se trata da madeira de pinus e das coníferas em geral, este método pode não ser suficiente para inferir suas características mecânicas, ainda que a norma estipule coeficientes de segurança para a sua utilização.

Diferentemente da norma brasileira, a ISO 13910:2013 [3] preconiza a realização de ensaios com peças em dimensões estruturais. Estas dimensões podem ser variáveis, de acordo com o padrão de corte da sua seção transversal. Além de propor os ensaios com dimensões estruturais, é sugestivo que os principais defeitos das peças estejam presentes nos mais diversos ensaios, como no teste à compressão paralela às fibras. Neste ensaio, a norma estipula que, quando não for possível a realização do procedimento com a peça em tamanho estrutural, a seção selecionada para a obtenção da resistência nesta solicitação deve conter, obrigatoriamente, o pior nó (defeito) presente na peça. Somente assim é possível realizar uma estimativa real da resistência de peças estruturais com defeitos, estimando então a resistência de forma mais adequada.

De forma geral, sugere-se que a resistência de peças com defeitos e preconizadas pela norma [3] seja inferior que àquelas isentas de defeitos, tal como estipulado por [1], sendo importante a comparação entre as duas para verificar a existência de correlações. No entanto, como os defeitos possuem tamanhos e formas diferentes, a classificação visual é imprescindível para que sejam separados grupos com defeitos semelhantes, favorecendo então a aquisição de resultados positivos.

Para classificar visualmente as peças pode ser utilizado o método proposto por [4], que determinou critérios para a classificação visual de peças estruturais de pinus sp., sugerindo cinco classes visuais: SS, S1, S2, S3 e F. Para o agrupamento nas classes são considerados a intensidade e o tamanho dos defeitos, principalmente dos tamanhos dos nós encontrados em função das dimensões das peças de madeira, de forma que na classe SS são consideradas peças estruturais com menor intensidade e tamanho de defeitos. As demais classes apresentam progressão na relação dos defeitos, sendo que a classe F é considerada como madeira desclassificada para utilização estrutural por apresentar defeitos extremamente prejudiciais à resistência da madeira.

Os critérios de classificação visual para coníferas podem ser realizados de acordo com outras referências, tais como as normas americanas ASTM D-245: 1993, a chilena NCh 1207:1990 e a argentina CIRSOC 601 (IRAM,2013). Ainda existe muita discussão acerca da quantidade de classes visuais necessárias para a classificação mais eficiente das madeiras, no entanto, como as características das árvores podem ser completamente diferentes de acordo com o clima e o solo em que são cultivadas, optou-se por escolher o trabalho realizado por [4] como base da classificação visual deste trabalho.

Este trabalho teve como objetivo correlacionar a resistência à compressão paralela às fibras da madeira a partir dos ensaios preconizados pelas normas [1] e [3], com corpos de prova isentos de defeitos e peças estruturais classificadas visualmente em cinco grupos, tal como recomenda [4].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras, do Departamento de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (LaMEM-SET-EESC-USP). Nele serão dispostos resultados preliminares de uma classificação estrutural completa da madeira de pinus sp., desenvolvida em parceria com a indústria Berneck S. A. Painéis e Serrados.

Para a obtenção dos resultados foram utilizadas 100 tábuas de um lote com 2600 peças. Originalmente, cada uma possuía 3,96 metros de largura e seção 3,8 x 8,9 centímetros. Todas as peças foram secas em estufa ainda na indústria e possuíam umidade padronizada em 12±1%, aferidas com equipamento elétrico M52 da marca Marrari®. De cada uma das tábuas foram retirados dois corpos de prova, um com tamanho estrutural de 205 x 3,8 x 8,9cm seguindo as recomendações da norma [3] e outro prismático com dimensões 11,4 x 3,8 x 3,8 segundo preconiza a norma [1].

As tábuas passaram por classificação visual quando ainda possuíam seu tamanho inicial, e foram seccionadas de forma que os piores defeitos fossem compreendidos no corpo de prova estrutural. Já os corpos de prova prismáticos foram retirados de partes adjacentes isentas de quaisquer defeitos. As medidas de todos os 200 corpos de prova foram aferidas, assim como as respectivas massas, de forma a obter valores de densidade que foram posteriormente comparados.

Para o ensaio de compressão estrutural foi criado um dispositivo metálico robusto capaz de confinar a tábua sem grandes folgas e realizar o travamento para evitar o efeito de flambagem. Neste dispositivo, que pode ser observado na Figura 1-A, foi colocado um atuador hidráulico acoplado com uma célula de carga com capacidade de 25 toneladas, melhor observado na Figura 1-B. As leituras da célula de carga foram realizadas com auxílio de um dispositivo de leitura da marca Kyowa®. Já para a realização dos ensaios com corpos de prova isentos de defeito, foi utilizada uma máquina de ensaios AMSLER com escala de 10 toneladas, aferida com a mesma célula de carga utilizada no ensaio de compressão estrutural. A aplicação da carga foi realizada com uma rótula, conforme observado na Figura 1-C. Os valores de resistência são obtidos pelas relações diretas da resistência dos materiais, tal como prescrito nas normas e apresentado na Equação 1.

$$f_{co} = \frac{\text{Força máxima}}{\text{Area}} \quad (1)$$

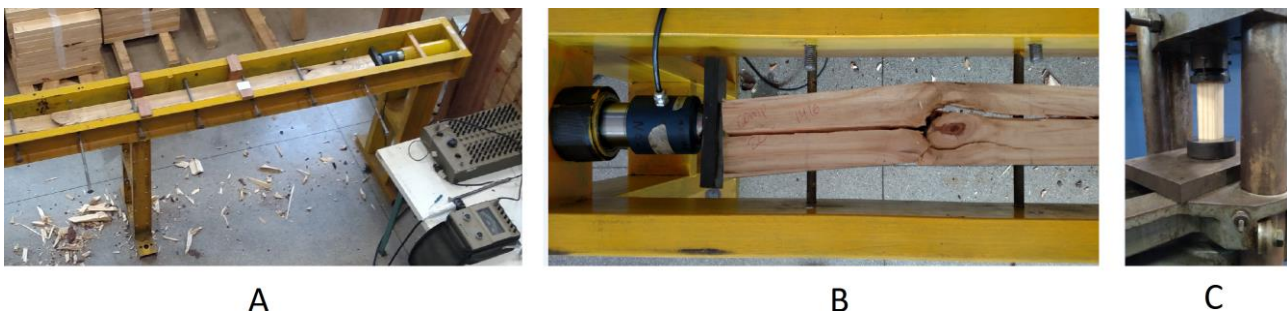


Figura 1: (A) Aparato de ensaio de compressão estrutural; (B) Detalhe de ruptura no nó e célula de carga acoplada ao atuador hidráulico; (C) Detalhe do ensaio de compressão na AMSLER.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira utilizada neste trabalho possuía alta qualidade de processamento isenção de defeitos como rachaduras, empenamentos, encurvamentos, torcimentos, arqueamentos, esmoados, e fendilhamentos. Os únicos defeitos presentes eram os nós, assim como a presença escassa de bolsas de resina e medula, ora desclassificadas estruturalmente, mas presentes nos ensaios como tábuas de classificação visual “F”. Nenhuma peça possuía ataques de insetos ou qualquer organismo xilófago.

Inicialmente foram comparados os valores de densidade dos dois corpos de prova. Assim como esperado, não houve uma diferença muito grande, com uma correlação de 85,58% entre os resultados. No entanto, quando realizado teste T estatístico, os valores se diferem a um nível de significância de 5%, tendo o valor $p=0,000436$ ($p<0,05$). A dispersão dos resultados pode ser observada na Figura 2.

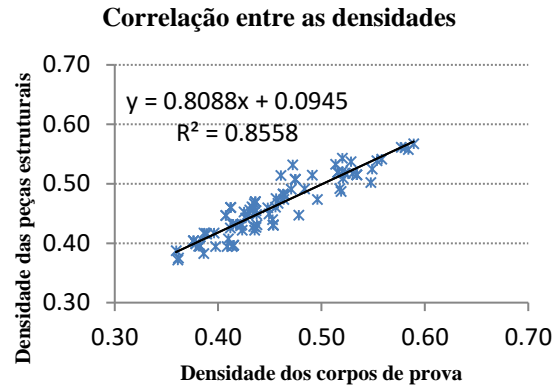


Figura 2: Dispersão e correlação entre os valores de densidade dos corpos de prova.

Quanto aos valores de resistência, é possível observar um fator importante: Quanto menor a incidência de defeitos presente nas peças, melhor é a correlação dos resultados entre os respectivos corpos de prova. Isso pode ser observado na Figura 3 e na Tabela 1, analisando as dispersões dos valores das resistências à compressão paralela às fibras nos corpos de prova isentos de defeitos ($f_{c0,cp}$) e da resistência a compressão paralela às fibras no ensaio estrutural ($f_{c0,est}$). A correlação de 93,89% entre as peças SS e os corpos de prova isentos de defeitos é considerada excelente e poderia ter sido melhor caso houvesse completa isenção de defeitos nas peças estruturais. A redução gradativa das porcentagens de correlações na medida em que a classe visual permite defeitos maiores demonstra que diferentes coeficientes de segurança podem ser aplicados de acordo com cada classe visual, e se tornam alvo de pesquisas futuras.

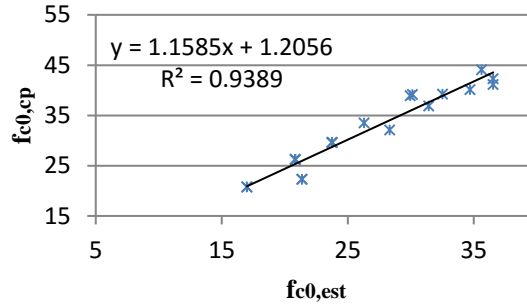
Quanto à minoração dos resultados no ensaio estrutural com peças com defeitos, também é possível afirmar que quanto maiores os defeitos piores são os resultados. O valor máximo de minoração chegou a 73,8% para uma peça 'F', apresentando média de 45,7% neste caso. Já para as melhores peças (SS), os resultados foram melhores, tendo máxima de 23,1% e média de 16,7%. No entanto, nenhum dos grupos de resultados pode ser considerado estatisticamente semelhante, uma vez que todos os valores de 'p' foram inferiores a 0,05 no teste T estatístico.

Assim como era esperado, as peças 'F', consideradas desclassificadas estruturalmente, apresentaram a pior correlação de resultados e os maiores índices de minoração das cargas. Estas peças não devem ser utilizadas em estruturas, a não ser que sejam retirados os piores defeitos e reaproveitadas, seja para outras finalidades ou com a unção axial a partir da colagem com emendas dentadas.

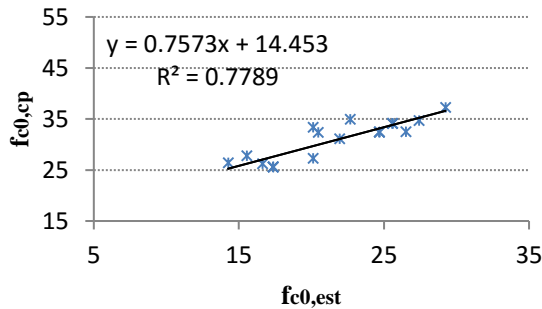
Tabela 1: Minoração dos resultados no ensaio estrutural, correlação dos resultados valor 'p' estatístico.

Classe visual	Média	Máximo	Mínimo	Correlação	p valor
SS	16,70%	23,10%	4,20%	93,89%	$8,29 \cdot 10^{-10}$
S1	29,90%	46,00%	18,40%	77,89%	$3,96 \cdot 10^{-14}$
S2	27,80%	42,00%	0,30%	51,16%	$2,83 \cdot 10^{-8}$
S3	40,4%	61,00%	21,50%	40,39%	$7,03 \cdot 10^{-11}$
F	45,70%	73,80%	16,40%	4,21%	$7,34 \cdot 10^{-8}$

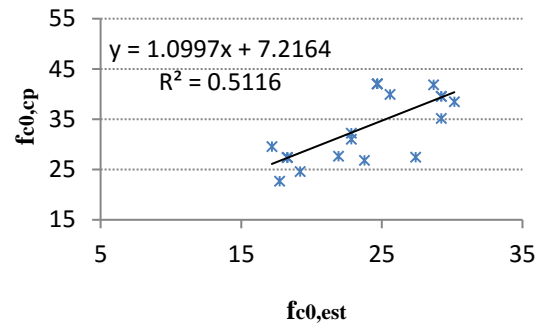
Correlação entre $f_{c0,cp}$ e $f_{c0,est}$ CV-SS



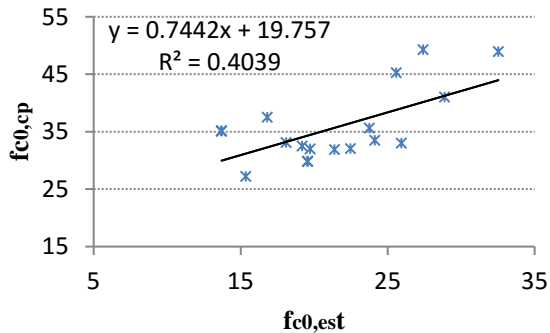
Correlação entre $f_{c0,cp}$ e $f_{c0,est}$ CV-S1



Correlação entre $f_{c0,cp}$ e $f_{c0,est}$ CV-S2



Correlação entre $f_{c0,cp}$ e $f_{c0,est}$ CV-S3



Correlação entre $f_{c0,cp}$ e $f_{c0,est}$ CV-F

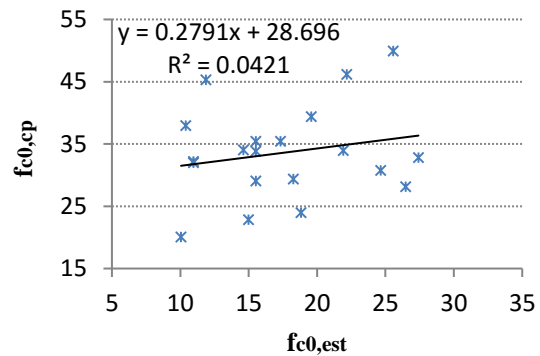


Figura 3: Dispersões e correlações entre os ensaios de compressão paralela às fibras em corpos de prova isentos de defeitos ($f_{c0,cp}$) e estruturais ($f_{c0,est}$) variando a classificação visual (CV) de SS a F.

4. CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados é possível concluir que a incidência de defeitos, principalmente os nós, afeta diretamente a resistência à compressão paralela às fibras da madeira. Assim como a realização da classificação visual se torna de suma importância na inferência de possíveis coeficientes de segurança as estruturas.

É possível concluir também que a atual NBR 7190:1997 dispõe de métodos ineficientes para a classificação estrutural de espécies coníferas com grande incidência de defeitos, principalmente para a estudada neste trabalho, sendo assim a ISO 13910:2013 uma melhor alternativa para classificar esse tipo de madeira.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira, do Departamento de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (LaMEM-SET-EESC-USP) e principalmente à indústria Berneck S. A. Painéis e Serrados, pelo aporte material e financeiro, imprescindíveis para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Carrera, M. R., Dias, A. A. Critérios para classificação visual de peças estruturais de pinus sp. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos v. 8, n. 34, p.17-43, 2006.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7190. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 13910 - Structural timber – Characteristic values of strength – graded timber – Sampling, full-size testing and evaluation. 2013
- [4] CARREIRA, M. R. (2003). Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus Sp. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.