

Influência do Comprimento de Corpos-de-Prova na Obtenção do Módulo de Elasticidade E_{c0}

Marília da Silva Bertolini, Diogo Aparecido Lopes Silva,
Amós Magalhães de Souza, Carlito Calil Neto, Francisco Antonio Rocco Lahr

Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM, Departamento de Engenharia de Estruturas – SET,
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP

RESUMO

As dimensões de corpos-de-prova para caracterização da madeira são estabelecidas sempre buscando situações em que seja anulada a interferência do atrito nas medidas de deformação. A NBR 7190 (ABNT, 1997) - Anexo B adota corpos-de-prova para o ensaio de compressão paralela às fibras com relação 1:3 entre uma aresta da seção transversal (50 mm) e o comprimento, enquanto a COPANT 464 (COPANT, 1972) e ASTM D 143 (ASTM, 1982) estabelecem a de 1:4. Este trabalho objetivou determinar se as proporções 1:3, 1:4 e 1:5 nos corpos-de-prova, referentes aos comprimentos de 150, 200 e 250 mm, respectivamente, influenciam o E_{c0} obtido na compressão paralela às fibras. As análises foram realizadas nas espécies Canelão (*Nectandra membranacea*), *Corymbia citriodora* e Angelim (*Vatairea* sp.). Os valores de E_{c0} para as espécies citadas apresentaram-se estatisticamente equivalentes entre si, ao nível de 5% de significância, demonstrando que as variações nos comprimentos dos corpos-de-prova não afetaram esta propriedade.

Palavras-chave: madeira - compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade, comprimento de corpos-de-prova.

Influence of the Length of Test Specimens in Obtaining Modulus of Elasticity E_{c0}

ABSTRACT

The dimensions of test specimens employed in wood characterization are always established searching situations where friction interference is annulled in deformation measurements. NBR 7190 norm (ABNT, 1997) - Annex B adopts specimens to compression parallel to grain tests with 1:3 ratio between the side (50 mm) of cross section and length, while COPANT 464 (COPANT, 1972) and ASTM D 143 (ASTM, 1982) establish 1:4 ratio. The purpose of this research was to determine whether 1:3, 1:4 and 1:5 ratios in the specimens, referring respectively to 150, 200 and 250 mm lengths could influence the E_{c0} obtained in compression parallel to grain test. Analyses were performed in 'Canelao' (*Nectandra membranacea*), *Corymbia citriodora* and 'Angelim' (*Vatairea* sp.) species. E_{c0} values for the mentioned species were statistically equivalent at 5% significance level, demonstrating that length variation did not affect the property values analyzed.

Keywords: wood - compression parallel to the grain, modulus of elasticity, length of specimens.

1. INTRODUÇÃO

Devido à diversidade de espécies com propriedades e usos diferenciados, as madeiras constituem-se em um dos principais materiais empregados em todas as etapas da construção civil (Cury & Tomazello Filho, 2011). Por caracterizar-se como um material heterogêneo, em termos de estrutura anatômica, e anisotrópico, torna-se necessário o conhecimento de suas propriedades mecânicas, para melhor direcionamento deste material, já que estas servem de critério para seleção e dimensionamento de peças estruturais.

Dentre as propriedades mecânicas, a compressão paralela às fibras fornece o módulo de elasticidade (E_{c0}) que determina a rigidez da madeira nesta direção, na fase de comportamento elástico-linear. Neste caso, a força é aplicada na direção paralela ao comprimento das células. Estas, em conjunto, proporcionam significativa resistência, em especial comparando-se à mesma solicitação na direção perpendicular. Geralmente, esta propriedade é empregada para dimensionamento de colunas e vigas, de ligações ou para comparação entre espécies.

Segundo Melo (2010), as normas referentes ao dimensionamento de estruturas utilizam os valores de resistência obtidos em ensaios de caracterização em pequenos corpos-de-prova sem defeitos, determinando as tensões para os cálculos devido ao elevado custo na caracterização de peças de tamanho estrutural. Além disso, estes pequenos corpos-de-prova permitem a eliminação da influência de defeitos como nós, rachaduras, inclinação das fibras e teor de umidade nestes ensaios.

As dimensões dos espécimes empregados na caracterização da madeira são estabelecidas pelos documentos normativos, sempre buscando alcançar situações em que seja anulada a interferência do atrito nas medidas de deformação dos corpos-de-prova, o que provocaria influência direta no valor módulo de elasticidade longitudinal (E). A norma NBR 7190 (ABNT, 1997), em seu Anexo B, adota para a compressão paralela a relação 1:3 entre lado da seção transversal e comprimento. Os documentos normativos COPANT 464 (COPANT, 1972) e ASTM D 143 (ASTM, 1982) estabelecem a proporção de 1:4 para as mesmas dimensões.

Poucos são os estudos que abordam a influência das dimensões dos espécimes nas propriedades da madeira.

Dias & Lahr (1995) estudaram a variação das dimensões de corpos-de-prova na propriedade de compressão normal às fibras de diferentes espécies, nas condições de 12% de umidade e condição saturada. Os corpos-de-prova apresentavam seção quadrada de 40×40 mm e 50×50 mm, e relações de seção: comprimento de 1:2 e 1:3. Os autores concluíram que, as amostras de dimensões $50 \times 50 \times 100$ mm, conforme prescreve a NBR 7190 (ABNT, 1997) possibilitaram maior precisão de esquadro na preparação dos corpos-de-prova e menor instabilidade no ensaio.

Melo (2010) abordou em seus estudos a influência das dimensões de corpos-de-prova das espécies Cumaru (*Dipterix odorata*), Jequitibá (*Allantoma lineata*) e Quaruba (*Vochysia guianensis*), com 5 variações nas seções transversais, a cada 10 mm, de 50×50 mm até 10×10 mm e proporcionalmente seus comprimentos, com base na relação da norma COPANT 464 (COPANT, 1972). Quanto à compressão paralela às fibras, observou-se uma diminuição na tensão de ruptura para corpos-de-prova de menores dimensões, comprovados pela diferença estatística a 5% de significância entre si, para ambas as espécies.

O trabalho em questão objetiva o estudo das variações dos comprimentos de corpos-de-prova das espécies tropicais Canelão (*Nectandra membranacea*), *Corymbia citriodora* e Angelim (*Vatairea* sp.), no módulo de elasticidade longitudinal obtido pelo ensaio de compressão paralela às fibras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Foram utilizadas, para este estudo, as espécies tropicais Canelão (*Nectandra membranacea*), *Corymbia citriodora* e Angelim (*Vatairea* sp.). Para determinação da propriedade de rigidez na compressão paralela às fibras, conforme Anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997), retiraram-se 6 corpos-de-

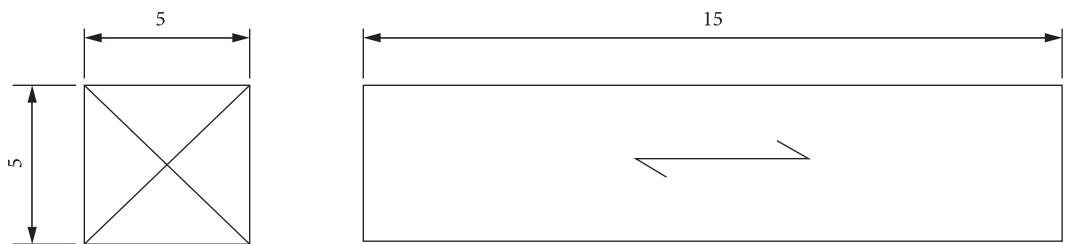


Figura 1. Dimensões do corpo de prova de compressão paralela às fibras, em centímetros.

Figure 1. Dimensions of specimen to compression parallel to the grain tests, in centimeters. Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

prova de cada espécie, todos com seção transversal de 50×50 mm e relação entre seção transversal e comprimento de 1:5, 1:4 e 1:3, sendo os comprimentos de 250, 200 e 150 mm, respectivamente. A Figura 1 ilustra o corpo de prova na relação de 1:3, conforme preconiza a norma brasileira.

As caracterizações foram realizadas em máquina universal de ensaios AMSLER, com capacidade de carga de 250 kN. As deformações foram medidas empregando-se relógios comparadores, com precisão de 0,001 mm. Inicialmente, foram ensaiadas as amostras de maior comprimento (250 mm) e das mesmas retiradas as demais para análise, de 200 e 150 mm. Determinou-se a carga de ruptura por meio do rompimento de um corpo de prova de cada espécie, sendo os demais ensaiados com carga até 50% deste valor estimado, ou seja, dentro do regime elástico. A Figura 2 apresenta o ensaio realizado.

Os resultados foram expressos por meio dos valores médios e coeficientes de variação. Os valores obtidos foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (entre médias), ao nível de 5% de significância, empregando o *software* Minitab 16.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores médios e coeficientes de variação da propriedade de módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (E_{c0}), das diferentes espécies e nos comprimentos analisados. A análise estatística foi realizada comparando-se os comprimentos analisados em relação à cada espécie.

Quanto ao valor médio da propriedade analisada, verificou-se que, para as espécies Canelão e Angelim, o E_{c0} aumentou com a diminuição do

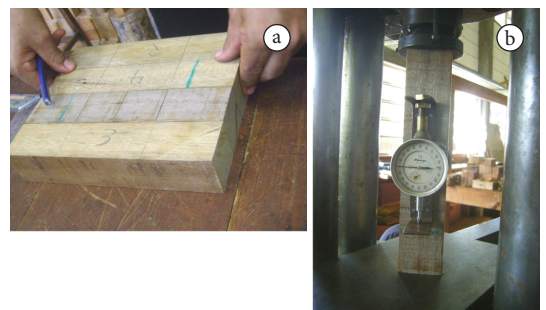


Figura 2. Determinação da compressão paralela às fibras: corpos-de-prova (a) e ensaio (b).

Figure 2. Compression test parallel to the grain: specimens (a) and test (b).

comprimento, contrariamente ao ocorrido com o *Corymbia citriodora*. Além disso, não se observou o efeito de flambagem durante o ensaio dos corpos-de-prova de maior comprimento.

Contudo, o módulo de elasticidade nos comprimentos analisados não diferiu estatisticamente entre si, para ambas as espécies, mesmo na relação de 1:5, a qual não é estabelecida por nenhuma das normas citadas. Os coeficientes de variação apresentaram-se coerentes com o aconselhado de 18% para as resistências e esforços normais, pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Objetivando analisar a influência do atrito nas medidas de deformação na compressão paralela às fibras, Xavier et al. (2012) ensaiaram corpos-de-prova da espécie *Pinus pinaster* Ait. com variações na seção transversal (20×20 , 30×30 e 40×40 mm) e comprimentos ($L = 30$, 60 e 120 mm), resultando em 9 tratamentos. Os autores avaliaram experimentalmente o módulo de elasticidade longitudinal real (E_L), considerando-se dois métodos para a obtenção das deformações, através do DIC (correlação digital de imagem), também chamado de *stereovision method*, e também por medidas por

Tabela 1. Valores de módulo de elasticidade (E_{c0}) obtidos na compressão paralela às fibras.**Table 1.** Modulus elasticity (E_{c0}) values obtained in compression parallel test.

Espécies	E_{c0} (MPa)					
	250 mm		200 mm		150 mm	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Canelão	18.410a	6	18.578a	9	19.394a	16
<i>Corymbia citriodora</i>	16.186a	15	15.682a	7	15.960a	15
Angelim (<i>Vatairea</i> sp.).	19.238a	15	20.687a	12	20.193a	15

Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

extensômetros, conforme a norma ASTM D 143 (ASTM, 1982) (método convencional). Além disso, obtiveram-se medidas de deslocamento relativo das placas de compressão, por um transdutor diferencial variável linear (LVDT).

Os autores concluíram que o valor de módulo de elasticidade longitudinal (E_L) encontrado para os métodos de DIC e convencional são semelhantes, determinado pela equivalência estatística por meio do teste t (95% de probabilidade). Embora os valores das deformações (E_L) obtidas pelos dois métodos tenham se mostrado semelhantes, os valores do módulo de elasticidade (E_L^{DIC}), determinado com base no DIC, e do módulo de elasticidade aparente (E_L^a), determinado com base nas deformações do LVDT, apresentaram diferença estatística entre si Xavier et al. (2012) relacionaram esta diferença aos possíveis efeitos de atrito e de dano na microestrutura da madeira originado pelo contato entre os corpos-de-prova e as placas da máquina de ensaios, utilizada para aplicação de carga.

Posteriormente, os efeitos de atrito e de dano localizados foram quantificados, respectivamente, por um modelo numérico construído no ANSYS, que tem como base o modelo de elementos finitos, e por um modelo analítico de molas. No entanto, Xavier et al. (2012) constataram que o efeito do atrito na superfície do corpo de prova se torna insignificante com o aumento da altura (h) do corpo de prova, sendo que, desta maneira, a discrepância entre os valores dos módulos de elasticidade E_L^{DIC} e E_L^a é devida aos danos na microestrutura da madeira provocada pelo contato entre a placa de carga e o corpo de prova. Além disso, corpos-de-prova com seções de 20×20 mm e alturas maiores que 60 mm acarretam valores mais consistentes do módulo de elasticidade; coincidentemente as dimensões de $20 \times 20 \times 60$ mm têm sido propostas na ASTM D143 - padrão (ASTM, 2000), conforme mencionam Xavier et al. (2012). Estes autores afirmam que o *stereovision method* para

a determinação da deformação axial na madeira foi vantajoso por ser menos sensível à heterogeneidade da madeira.

No trabalho em questão, apesar da alteração nos comprimentos dos corpos-de-prova não afetarem os valores da propriedade de módulo de elasticidade, comprovada pela equivalência estatística, o fato de ocorrerem pequenas variações, no sentido de aumentar-se o valor de E_{c0} com a diminuição do comprimento foi observada somente no caso do Canelão e Angelim, podendo associar-se o comportamento do *Corymbia citriodora* com uma possível ocorrência do fenômeno de “zona de contato danificada” com perdas em relação à microestrutura da madeira, conforme descrito por Xavier et al. (2012).

4. CONCLUSÕES

Conclui-se, por meio do trabalho desenvolvido, que a variação nas relações entre seção transversal e comprimento de corpos-de-prova das espécies estudadas não afetou o módulo de elasticidade obtido na compressão paralela às fibras. As pequenas variações desta propriedade nos diferentes comprimentos de ensaio, não consideráveis estatisticamente, podem estar relacionadas a possíveis danos na microestrutura da madeira em contato com as placas do equipamento durante o ensaio.

Menores proporções de comprimento e também seção transversal dos corpos-de-prova, em relação àquelas estudadas neste trabalho, deverão ser objeto de futura avaliação a fim de se analisar a influência dos efeitos de atrito e de danos nas superfícies das amostras no ensaio de compressão paralela às fibras, objetivando o emprego de menores amostras devido a possíveis dificuldades em obtê-las isentas de defeitos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial - FIPAI pelas bolsas concedidas, e aos técnicos do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM, SET, USP.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 29/08/2011

Aceito: 07/02/2012

Resumo publicado online: 22/03/2012

Artigo completo publicado: 30/06/2012

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Marília da Silva Bertolini

Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM,
Departamento de Engenharia de Estruturas – SET,
Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo – USP,
Av. Trabalhador São-carlense, 400, CP 359,
CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil
e-mail: marilia.bertolini@usp.br

Francisco Antonio Rocco Lahr

Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira – LaMEM,
Departamento de Engenharia de Estruturas – SET,
Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo – USP,
Av. Trabalhador São-carlense, 400, CP 359,
CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil
e-mail: frocco@sc.usp.br

REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials - ASTM. *ASTM D143*: Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia: ASTM; 1982.

American Society for Testing and Materials - ASTM. *ASTM D143-94*: Standard methods of testing small clear specimens of timber. In: American Society for Testing and Materials. *Annual books of standards*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials; 2000. vol. 04. 10.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR 7190*: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas - COPANT. *COPANT 464*: Método de determinación del la compresión axil o paralelo al grano. Buenos Aires: COPANT; 1972.

Cury G, Tomazello Filho, M. Descrição anatômica de espécies de madeira utilizadas na construção civil. *Floresta e Ambiente* 2011;18(3): 227-236. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2011.042>

Dias AA, Lahr FAR. Proposta de método para ensaio de compressão normal às fibras da madeira. In: *Anais do V Encontro Nacional de Madeiras e Estruturas de Madeira - EBRAMEM*; 1995; Belo Horizonte. São Carlos: IBRAMEM; 1995. v. 2.

Melo JE. *Influência das dimensões de corpos-de-prova e da velocidade de ensaio na caracterização de três espécies de madeiras tropicais* [tese]. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília; 2010.

Xavier J, Jesus AMP, Morais JLL, Pinto JMT. Stereovision measurements on evaluating the modulus of elasticity of wood by compression tests parallel to the grain. *Construction and Building Materials* 2012; 26(1): 207-215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.012>