

## AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE *ROLLING SHEAR* EM ELEMENTOS DE MLCC COM CAMADAS DE ESPESSURAS DIFERENTES

Bianca Aiko Pacheco Kiyota

Julio Cesar Molina

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

bbiancakiyota@usp.br

### Objetivos

Este trabalho teve como objetivo avaliar experimentalmente os parâmetros de rigidez ( $G_{vt}$ ) e resistência ( $f_{vt}$ ) ao rolling shear, por meio de ensaios de cisalhamento em corpos de prova e de flexão, além de analisar a equação proposta por Molina (2023) para o cálculo de rigidez ao cisalhamento ( $GA$ ).

### Métodos e Procedimentos

Para o ensaio de flexão, cada painel de MLCC apresentava 3 camadas, sendo: 2 camadas externas longitudinais com 3 cm de espessura e uma camada central transversal com 2 cm de espessura.

A ABNT NBR 7190-7:2022 prevê para painéis de MLCC de 5 camadas com mesma espessura a rigidez ao cisalhamento ( $GA$ ), através da equação abaixo:

$$(GA)_{MLCC} = k \cdot b \cdot t_i \cdot (3 \cdot G_0 + 2 \cdot G_{vt}) \quad (1)$$

Onde  $b$  é largura do painel;  $t_i$  é espessura da camada;  $G_0$  é módulo de elasticidade transversal;  $G_{vt}$  é módulo de cisalhamento transversal (*rolling shear*) e  $k$  é o fator de cisalhamento igual a 1 para painéis de 5 camadas.

Na equação (1), os coeficientes 3 e 2 representam, respectivamente, o número de camadas que não sofrem e que sofrem o efeito *rolling shear*. Para adequar o cálculo aos

painéis de três camadas, a equação adaptada da seguinte maneira:

$$(GA)_{MLCC} = k \cdot b \cdot t_i \cdot (2 \cdot G_0 + 1 \cdot G_{vt}) \quad (2)$$

Molina (2023), propôs as equações (3) e (4) para a determinação da rigidez ao cisalhamento ( $GA$ ) em painéis de três camadas com espessuras diferentes.

$$(GA)_{MLCC} = k \cdot b \cdot t_{tot} \cdot (0,643 \cdot G_0 + 0,351 \cdot G_{vt}) \quad (3)$$

Utilizou-se para essa avaliação o fator de cisalhamento  $k = 0,25$  que se baseia na norma BS EN 16351 (2021).

O ensaio de cisalhamento em corpos de prova verticais foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7190-7:2022 com base nas equações (4) e (5). Foram ensaiados um total de 20 corpos de prova neste caso.

$$G_{vt} = \frac{(F_2 - F_1) \cdot t_{cam}}{(\delta_1 - \delta_2) \cdot b \cdot c} \quad (4)$$

$$f_{vt} = \frac{F_{max}}{b \cdot c} \quad (5)$$

Onde  $F_2$  e  $F_1$  são as forças correspondentes a 40% e 10% da força máxima, respectivamente, assim como os deslocamentos  $\delta_2$  e  $\delta_1$ ;  $t_{cam}$  é a espessura total da camada.

Foram realizados 6 testes de flexão em painéis de MLCC de 3 camadas e 20 testes de

cisalhamento em corpos de prova, conforme a Figura 1.

FIGURA 1 - Ensaio de flexão e de cisalhamento.



O ensaio de flexão consiste em submeter o corpo de prova a carregamento em quatro pontos, de modo a gerar região de flexão pura no centro do vão. Os deslocamentos são medidos a fim de determinar a rigidez à flexão ( $EI$ ) e a rigidez ao cisalhamento ( $GA$ ) do painel.

## Resultados

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de cisalhamento e flexão, são apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1 - Resultados do ensaio de cisalhamento em corpo de prova.

| Parâmetro | Valor médio |
|-----------|-------------|
| Gvt (MPa) | 145,90      |
| fvt (MPa) | 2,39        |

TABELA 2 - Resultados do ensaio de flexão.

| Equação | Parâmetro | Valor médio |
|---------|-----------|-------------|
| 1       | Gvt (MPa) | 3275,8      |
| 2       | Gvt (MPa) | 7717,1      |
| 3       | Gvt (MPa) | 26746,46    |

fvt (MPa) 2,69

Os ensaios de flexão realizados nos painéis de MLCC apresentaram resultados discrepantes para o  $G_{vt}$ . Por outro lado, os ensaios de cisalhamento apresentam concordância com os valores obtidos por Silva (2023) e Pontalti (2024), que obtiveram resultados 157 MPa e 197,2 MPa, respectivamente.

## Conclusões

Por fim, conclui-se que o método mais adequado de se obter os parâmetros de resistência e rigidez ao *rolling shear*, é a partir do ensaio de cisalhamento em corpos de prova. Pelo ensaio de flexão, as equações (1), (2) e (3) deram valores elevados e discordantes entre si e entre os valores presentes na literatura.

## Agradecimentos

As Pró-Reitorias de Graduação, Pesquisa e Inovação, Cultura e Extensão Universitária e Inclusão e Pertencimento da Universidade de São Paulo pelo financiamento da pesquisa

## Referências

- ABNT NBR 7190-7. Projeto de estruturas de madeira - Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- MOLINA, J. C. Estudo teórico, numérico e experimental de elementos de madeira lamelada colada cruzada (MLCC). 2023.
- PONTALTI, S. P. da S. Estudo da resistência e da rigidez ao rolling shear em painéis de MLCC de 3 camadas com diferentes espessuras. 2024.
- SILVA, J. V. F. Estudo numérico da resistência e rigidez ao rolling shear de elementos de MLCC. 2023.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. EN 16351: timber structures – cross laminated timber – requirements, 2021.