

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) COMO MATERIAL ESTRUTURAL.

Mileny Suellen Garcia de Souza (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Leandro Vanalli (Orientador), Germano Francisco Simon Romeira (Co-orientador) e-mail: Mileny_garcia@outlook.com.

Universidade Estadual de Maringá / Departamento de tecnologia, Campus Regional de Umuarama, PR

Engenharias - Engenharia Civil – Estruturas – Estruturas de madeira

Palavras-chave: Madeira laminada colada, análise numérica, vigas.

Resumo

Atualmente tem aumentado na Construção Civil a preocupação em se utilizar materiais oriundos de processos que sejam ambientalmente seguros visando-se, sobretudo, a economia de energia na sua produção, destinação adequada de resíduos, bem como, a não extinção da fonte do recurso natural envolvido. Com a disponibilidade cada vez maior de madeiras oriundas de reflorestamento como Pinus e Eucalipto, a utilização da madeira laminada colada (MLC) se mostra como uma alternativa promissora para o incremento do uso da madeira no Brasil. Deve-se destacar, no entanto, que os modelos que descrevem os comportamentos, elástico e de resistência, desse material estão em constante aprofundamento teórico e verificação (numérica e experimental), buscando-se com isto modelos que interpretem de maneira mais realista o comportamento mecânico das vigas de MLC. O presente trabalho, objetivou o estudo de vigas de MLC de forma analítica e numérica, abordando seu comportamento mecânico através da aplicação do software HyperWorks. Foram analisadas seis vigas de MLC de Eucalipto, biapoiadas sendo as vigas sujeitas a um carregamento centrado. Os métodos empregados foram uma análise numérico analítico e uma análise numérico experimental. Os resultados mostraram um comportamento semelhante para a análise numérica analítica onde resultou em uma diferença proporcional entre as flechas de apenas 4,36%. Já a análise numérico experimental apresentou uma diferença proporcional de 7,2 % entre a rigidez experimental e a numérica. Sendo assim, pode-se observar que para o início do diagrama tensão x deformação há uma boa aproximação entre o regime linear e não linear para este material.

Introdução

A madeira laminada colada (MLC) é a denominação que se dá para um dos tipos de madeira engenheirada que existem, as quais passam por diversos processos industriais para a sua confecção. Os elementos de MLC são

fabricados por meio da sobreposição de lâminas com comprimentos menores se comparadas a peça final, coladas entre si de forma com que as fibras fiquem paralelas ao eixo longitudinal da peça resultante. Em sua composição, as peças são unidas por emendas longitudinais até se obter o comprimento.

De acordo com Pfeil et al (2003) a madeira é um material anisotrópico, devido a orientação das suas células em três direções principais denominadas longitudinal, radial e tangencial. Tendo raramente uma diferença importante entre as propriedades da direção radial e tangencial, bastando assim, apenas diferenciar as propriedades da direção longitudinal e da direção perpendicular.

Segundo Nogueira (2017), ao submeter a madeira a alguns processos de modificação, é possível alterar algumas de suas características fazendo com que este material que por natureza é heterogêneo e anisotrópico, fique com um comportamento mais homogêneo e isotrópico.

Desta forma, a utilização da modelagem numérica se mostra eficaz mediante o fato que ensaiar esses elementos em escalas reais requerem custos relativamente altos, diferentemente dos softwares que demandam baixos custos em menores períodos de tempo para a avaliação comportamental dessas estruturas.

Materiais e métodos

Foram utilizados os dados experimentais obtidos por Gomes (2018) em seu trabalho, extraíndo os valores obtidos dos ensaios de flexão das seis primeiras vigas de MLC de Eucalipto para serem feitas as análises. As vigas ensaiadas tinham 115 cm de comprimento com uma seção transversal de 5 x 5 cm composta por 5 lamelas de 1 cm cada. Na elaboração do trabalho foi utilizado o programa *HyperWorks*, para realizar duas análises, sendo a primeira uma numérica analítica e a segunda uma numérica experimental.

Na primeira análise, foram comparados os resultados dos valores das flechas obtidas por meio do cálculo analítico e da primeira modelagem numérica. O cálculo analítico foi feito por meio da equação da deflexão para vigas biapoiadas, submetidas a carregamento centrado, em que o valor da rigidez EI foi obtido de acordo com Azambuja et al. (2004), que aborda o cálculo da rigidez efetiva para a seção transversal de elementos de MLC constituídas de lâminas com diferentes módulos de elasticidade.

Para a primeira modelagem numérica, foram modeladas as seis vigas no programa *HyperWorks* com as propriedades do material no regime linear, para que fosse possível a comparação dos resultados com os obtidos analiticamente. Na comparação numérica experimental, foram modeladas novamente as seis vigas de MLC no software, porém, atribuiu-se as propriedades ortotrópicas as vigas para que se assemelha-se mais ao comportamento real. Contudo, esta modelagem também foi realizada no regime linear, devido à complexidade demandada para a modelagem no regime não linear. Desta forma, para esta análise foram comparadas a

rigidez do elemento devido aos resultados experimentais obtidos por Gomes (2018) e os resultados obtidos por meio da segunda modelagem numérica.

Resultados e Discussão

Apesar da madeira ser um material homogêneo e anisotrópico, vimos que a MLC por possuir uma orientação padronizada de suas lâminas pode atribuir a esse material uma característica mais homogênea e isotrópica. Foram plotados gráficos por meio dos valores obtidos na primeira análise, os quais apresentaram um comportamento linear devido a forma como se comportam os elementos no regime elástico, onde o comportamento é descrito conforme a lei de Hook. Desta forma, para essa análise ambos os métodos foram verificados no regime linear.

Além disso, uma diferença notável obtida entre os gráficos foi nos valores das cargas de ruptura, podendo se dar ao fato da forma como esses esforços foram obtidos experimentalmente. Contudo, as deformações de certa forma apresentaram-se proporcionais aos seus respectivos valores de carga de ruptura, sendo as maiores deformações obtidas pelas maiores cargas e as menores deformações pelas menores cargas. Notou-se que a diferença proporcional entre os valores das flechas resultou em valores muito pequenos e próximos a 4,36%, mostrando assim que a utilização da equação para o cálculo da rigidez equivalente se faz muito eficiente. Ademais, apesar dos resultados da deflexão se apresentarem bem próximos, para a modelagem numérica foram maiores do que os do comportamento analítico. Isso se dá ao fato de que na modelagem numérica o valor da deformação leva-se também em consideração a contribuição da cortante e não apenas do momento fletor, diferente da analítica que considera apenas o momento fletor.

O motivo da segunda análise numérica ser feita para materiais ortotrópicos se dá no fato de que o ensaio experimental leva em consideração as condições reais das propriedades deste material, que por natureza é ortotrópico com comportamento não linear. Apesar disso, para esta análise também foram modeladas as vigas para um regime linear. Tal consideração fica evidente no comportamento entre os gráficos, onde o numérico é representado por uma reta, enquanto o experimental apresenta uma curva. Apesar da análise feita ter sido linear, pôde-se verificar uma boa aproximação dos resultados para valores baixos de carregamento, pois no regime não linear primeiramente o material se comporta como linear, até que se atinja um determinado valor de carregamento que começam a provocar deformações permanentes no elemento até que ocorra a ruptura.

Desta forma, foi comparada a rigidez entre os elementos para o regime linear. A diferença proporcional entre os valores apresentou em média um aumento de 7,2 % entre o experimental e o numérico, sendo assim, pode-se observar que para o início deste diagrama há uma boa aproximação entre o regime linear e não linear para este material, mostrando mais uma vez que é possível realizar essa simplificação de linearidade para elementos de MLC. Outra possível justificativa para diferença nesta análise pode se dar ao fato

de que no experimento, Gomes (2018) não utilizou transdutores de deslocamento para a realização do ensaio de flexão, sendo assim os resultados obtidos por ele foram apenas os registrados pelo pistão de força da própria EMIC (máquina universal de ensaios com capacidade de 300 kN).

Conclusões

Para a primeira análise, os resultados obtidos entre a modelagem numérica isotrópica e o cálculo analítico foram muito semelhantes, mostrando desta forma que a utilização da equação da rigidez equivalente apresentada por Azambuja et al. (2004), garante uma boa aproximação. Além disso, apesar dos resultados se apresentarem bem próximos, os valores das flechas, para a modelagem numérica foram maiores do que as do comportamento analítico, isso se dá ao fato de que na modelagem numérica o valor da deformação leva em consideração também a contribuição da cortante e não apenas do momento fletor. Vale ressaltar que a contribuição da cortante só é desprezível em elementos com o comprimento muito maior que sua altura, sendo relevante para elementos curtos. Na segunda análise, a comparação feita se mostrou eficiente para o início do trecho do diagrama de força x deformação, onde ambos os gráficos estão se comportando no regime linear, mostrando assim que a simplificação da MLC como um material linear é válida para baixos valores de carregamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Araucária pela concessão de bolsa PIBIC para a aluna Mileny Suellen Garcia de Souza.

Referências

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2003.

NOGUEIRA, Rodrigo de Souza. **Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL**. 2017. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 2017.

GOMES, Nádia Barros. **Análise de elementos estruturais de MLC na flexão com base na versão de revisão da norma ABNT NBR 7190:2013**. 2018, Dissertação (Mestre em engenharia mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá, 2018.

AZAMBUJA, M. A.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; FIORELLI, J.; CARRASCO, E. V. M.; DUARTE, R. S.; DIAS, G. L.; SZÜCS, C. A.; VALLE, A. Proposta de normalização para a Madeira Laminada Colada (MLC). **Madeira: arquitetura e engenharia**, São Paulo, v. 5, n. 13, 2004.