

Modelagem computacional para dimensionamento de vigas de MLC reforçadas com fibra

Juliano Fiorelli

Faculdade de Zootecnia – UNESP – Campus de Dracena
Rua Bahia, 332
17900-000, Dracena, SP
E-mail: fiorelli@dracena.unesp.br

Malton Lindquist, Antonio Alves Dias

Escola de Engenharia de São Carlos, USP
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590, São Carlos, SP
E-mail: malton@sc.usp.br, dias@sc.usp.br

Introdução

O temo Madeira Laminada Colada (MLC) é utilizado para nomear estruturas confeccionadas a partir de pequenas peças de madeira, que unidas por meio de um adesivo, formarão elementos com as mais variadas formas e dimensões (figura 1).



Figura 1: Viga de MLC reforçada com fibra de vidro

Com relação aos métodos de dimensionamento existentes para vigas de MLC, [2] afirma que as principais normas internacionais estabelecem métodos empíricos para dimensionamento, os quais levam em consideração a resistência à flexão de corpos-de-prova isentos de defeitos e estabelecem coeficientes de modificação relacionados aos defeitos existentes nas peças. O autor conclui dizendo que vigas de MLC reforçadas possuem uma complexidade na ruptura, o que dificulta o uso de soluções empíricas.

Este trabalho apresenta um modelo para cálculo da resistência e da rigidez à flexão de vigas de MLC reforçadas.

Modelo numérico

O modelo numérico admite a validade da hipótese de distribuição linear de deformações ao longo da altura da viga, e considera um comportamento elásto-frágil-linear da madeira na tração paralela às fibras e bi-linear na compressão paralela às fibras

(inicialmente elástico e, posteriormente, inelástico, com declividade negativa do diagrama tensão x deformação), a figura 2 ilustra as considerações do modelo de cálculo.

O valor de deformação no nível de tensão correspondente à resistência na tração e na compressão (f_{t0} e f_{c0} , respectivamente), é obtido a partir desses valores e do módulo de elasticidade (E), de acordo com a equação 1.

$$\varepsilon_{tu} = \frac{f_{t0}}{E} \quad \varepsilon_{cy} = \frac{f_{c0}}{E} \quad (1)$$

Para o cálculo do momento fletor resistente, após a determinação da posição da linha neutra (L.N.) é possível avaliar as forças atuantes em cada lâmina de madeira da seção transversal da viga de MLC.

Com relação ao modo de ruptura por tração, considera-se que o estado limite último é atingido quando a tensão atuante máxima na madeira atinge o valor da resistência à tração (f_t).

Quanto ao modo de ruptura por compressão, após a tensão na borda comprimida atingir o valor de f_c , ocorre plastificação gradativa da seção, provocando um abaixamento da linha neutra. Nota-se um incremento do valor do momento resistente, até atingir um máximo, ocorrendo uma diminuição, posteriormente. O estado limite último quanto à compressão é considerado no ponto onde o momento resistente atinge o valor máximo.

A rigidez à flexão foi determinada pelo método da seção transformada, conforme indica a equação 2.

$$\bar{E}I = \sum \left(\frac{E_i \cdot b \cdot h_i^3}{12} + E_i \cdot b \cdot h_i \cdot d_i^2 \right) \quad (2)$$

Onde:

E_i – Módulo de elasticidade da lâmina i

\bar{E} – Módulo de elasticidade máximo

h_i – altura da lâmina i

b – Largura da viga

d_i – distância do C.G. da lâmina ao C.G. da viga.

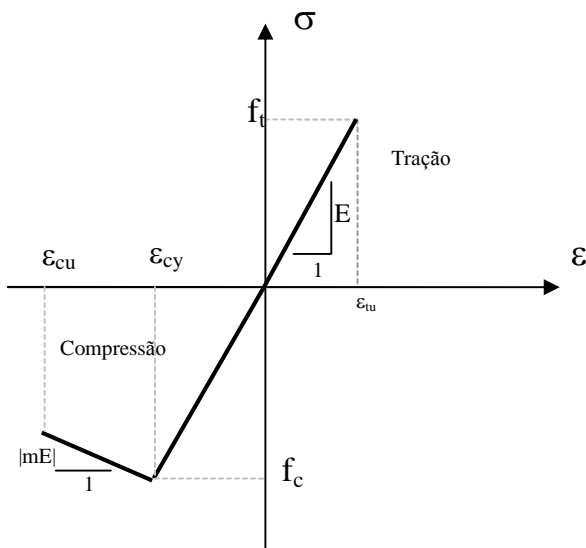


Figura 2: Relação entre tensão e deformação na tração e na compressão paralela às fibras da madeira

Programa computacional

O modelo de cálculo apresentado foi implementado em um programa em linguagem Borland C++ Builder, executado em ambiente windows, que determina o momento fletor resistente e a rigidez à flexão (EI) de vigas de MLC sem reforço e reforçadas com fibras.

Na entrada de dados do programa o usuário informa:

- A largura da viga, o número de lâminas de madeira que compõem a viga e a espessura de cada lâmina;
- O valor do módulo de elasticidade (E_{Mi}), da resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e da resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) de cada lâmina de madeira;
- A quantidade de fibra (espessura da camada de reforço sem considerar o adesivo) e o seu respectivo módulo de elasticidade (E_f);
- O coeficiente angular do trecho inelástico (m) na compressão (figura 2);

O programa considera sempre uma lâmina de madeira (lâmina "n") abaixo da camada de reforço.

Por meio de um processo iterativo de variação do ângulo "alfa" e da posição da Linha Neutra (L.N.), o programa determina o valor das forças normais atuantes nas lâminas de madeira e o valor do momento fletor resistente, considerando as propriedades de cada lâmina.

O programa estabelece o seguinte procedimento:

- 1 - adota um valor para o ângulo "alfa (α)";
- 2 - varia a posição da L.N., calculando para cada posição os valores das forças normais em cada lâmina de acordo com as leis construtivas dos materiais adotados, até ser verificado o equilíbrio de

forças normais;

3 - determina o valor do momento fletor resistente para esta situação;

4 - verifica se o momento fletor resistente é maior que o momento fletor resistente determinado pelo alfa anterior; caso isso ocorra, adota um novo "alfa", refazendo o processo; caso contrário, estabelece como momento fletor da viga, o valor determinado pelo "alfa anterior", finalizando o processo.

O programa adota um valor inicial para o ângulo "alfa" igual a $0,0001 \text{ cm}^{-1}$ e estabelece a metade da altura da viga como posição inicial da L.N., o que corresponde à deformação no topo da viga igual a $0,0001 * h/2$ conforme ilustrado na figura 3.

A partir deste ponto, o programa aumenta automaticamente o ângulo alfa com uma precisão de $0,00001 \text{ cm}^{-1}$, adota uma nova posição para a L.N. e determina o valor das forças normais atuantes nas lâminas de madeira e finalmente o programa determina o valor do momento fletor resistente.

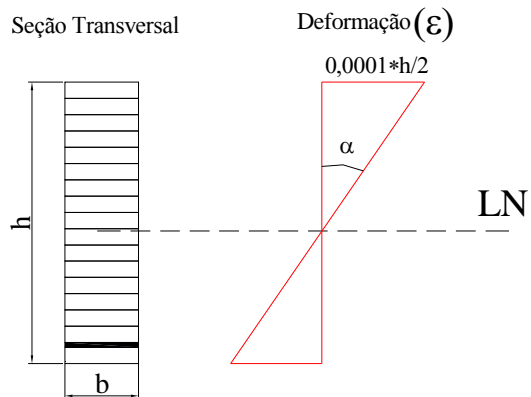


Figura 3: Valor inicial do ângulo alfa e posição inicial da L.N.

O estado limite último de tração da madeira é detectado quando, para determinado valor do ângulo alfa, ocorrerem valores de tensão superiores à resistência à tração. Nesse caso, o programa desconsidera a contribuição da seção da lâmina submetida às tensões superiores à resistência, no cálculo da força normal daquela lâmina. Isto acarreta um valor de momento resistente inferior ao calculado para o alfa anterior, finalizando o processo de cálculo. Este processo é realizado para comprovar que o momento fletor resistente calculado é menor que o anterior e também é utilizado para verificar o valor da tensão atuante na segunda lâmina, após a ruptura da primeira.

Considera-se que o estado limite último de compressão é atingido quando, ao se aumentar a plastificação, ocorre uma diminuição do momento fletor resistente.

Como resultado o programa fornece o valor de momento fletor resistente, diagramas de força, deformação e tensão, mostrando os respectivos valores

atuantes em cada lâmina de madeira e a rigidez à flexão (EI) da viga de MLC.

As figuras 4, 5 e 6 ilustram as janelas do programa.

Resultados obtidos e análise

Para aferir o modelo de cálculo proposto os autores realizaram ensaios em vigas de MLC reforçadas com fibra de vidro.

As vigas avaliadas possuíam seção transversal de 7x20 cm e 7x30 cm e comprimento de 4 metros. O reforço de fibra foi colado na última linha de cola da região tracionada. Resultados obtidos indicaram uma boa concordância entre valores experimentais e teóricos, tanto para momento fletor resistente como para rigidez à flexão, comprovando a validade do modelo proposto [1].

Referências

[1] J. Fiorelli, Estudo teórico e experimental de vigas de Madeira Laminada Colada reforçadas com fibra de vidro. São Carlos, 2000. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

[2] R. F. Lindyberg, ReLAM: A nonlinear, probabilistic model for the analysis of reinforced glulam beams in bending. Maine-USA, 2000. Tese (Doutorado) - University of Maine.

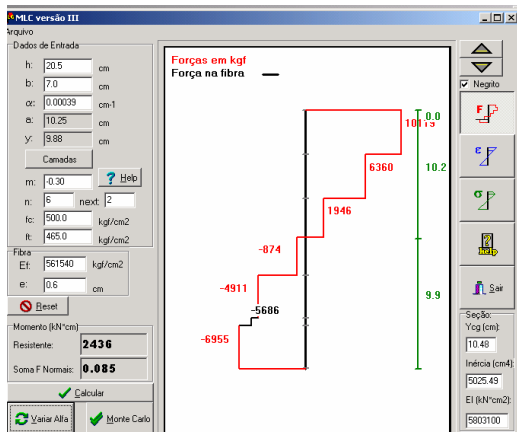


Figura 4: Diagrama de forças atuantes na seção transversal da viga.

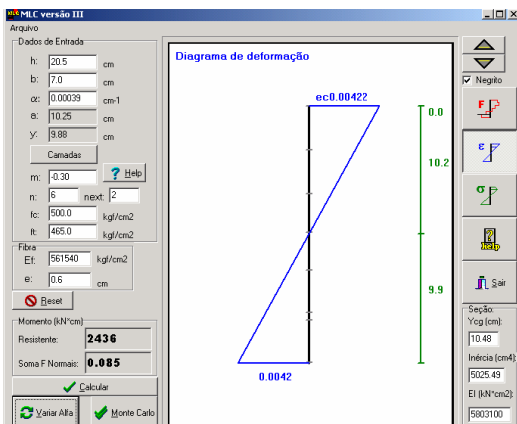


Figura 5: Diagrama de deformação

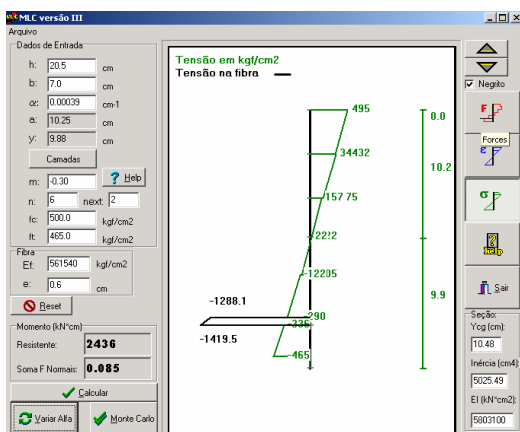


Figura 6: Diagrama de tensão