

ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DE VIGAS T COMPOSTAS MADEIRA E CONCRETO

Lúcio Flávio Nunes Moreira – Universidade FUMEC – Faculdade de Engenharia e Arquitetura – luciof@fumec.br

Eduardo Chahud – Universidade FUMEC – Faculdade de Engenharia e Arquitetura – chahud@fumec.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o modelamento da viga T composta de alma de madeira e mesa de concreto solidarizada por pinos metálicos, submetida à flexão, através da utilização do programa de Elementos Finitos SAP 2000. A viga analisada numericamente foi executada em laboratório e em seguida ensaiada até a ruptura. Os resultados obtidos experimentalmente foram comparados com o da análise numérica.

Palavras chave: madeira, concreto, vigas mistas.

ABSTRACT

This work is concerned with the modelling of the “T” beam made out of wooden flange and concrete web brought together by metallic connectors under bending, through the use of the program of Finite Elements SAP.2000. The beam analyzed numerically was executed at laboratory and soon afterwards rehearsed until the rupture. The results obtained experimentally were compared with the one of the numeric analysis.

Keywords: wood, concrete, mixed beams

INTRODUÇÃO

Aplicar o material certo no lugar certo da estrutura, sem dúvida, é um dos requisitos básicos para um projeto ideal. Com este pensamento houve, nas décadas de 30 e 40, um grande desenvolvimento de estudos teóricos / experimentais para a

utilização de vigas mistas aço /concreto. Pode-se afirmar que a grande capacidade de resistência à compressão do concreto aliada à grande resistência à tração do aço tornou este tipo de estrutura, extremamente atrativa.

Mais recentemente, tem-se pesquisado outros tipos de estruturas compostas, sendo uma delas, a de madeira/ concreto. A madeira, como o aço, resiste bem a tração e sua combinação com o concreto passou a levar interesse em diversas pesquisas analíticas e experimentais.

Uma das possíveis soluções em novos projetos e especialmente em reconstrução de antigas obras com piso de madeira, é o uso de vigas compostas em seção T, de alma de madeira e mesa de concreto conectado com pinos metálicos. Sabendo que em sua grade maioria, as Normas Internacionais e as Normas Brasileiras não tratam deste assunto e que existem artigos a respeito da conexão deste tipo de estruturas, foi proposto um modelamento numérico utilizando o programa de Elementos Finitos SAP – 2000. A viga analisada numericamente foi executada em laboratório e ensaiada até a ruptura. Os resultados obtidos experimentalmente foram comparados com os obtidos numericamente.

OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

- Apresentar um modelo numérico, com auxílio do programa de computador SAP.2000.
- Apresentar resultados experimentais obtidos, em ensaios de flexão em vigas mistas madeira/concreto.
- Comparar resultados experimentais com os resultados analíticos e numéricos.

VIGA ANALIZADA EM LABORATÓRIO

A viga analisada em laboratório por MAGALHÃES (1997) foi composta com laje de concreto e alma de madeira Paraju (*Ventanea paniculata*).

A seção transversal da viga está apresentada na **Figura 1**.

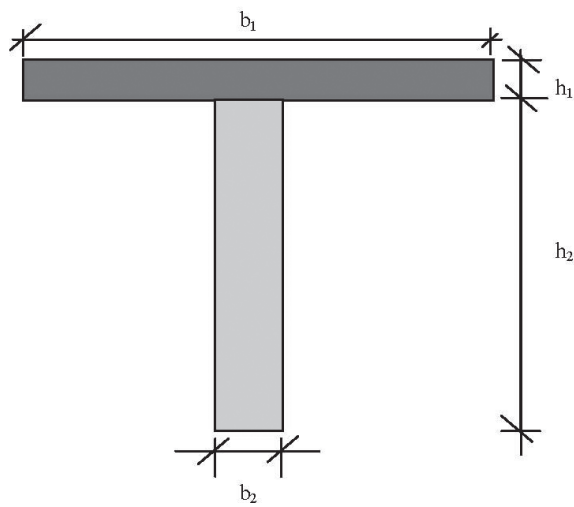


Figura 1: Seção transversal da viga.

Sendo :

$$b_1 = 550 \text{ mm}$$

$$h_1 = 50 \text{ mm}$$

$$b_2 = 150 \text{ mm}$$

$$h_2 = 150 \text{ mm}$$

Para a ligação da alma de madeira com a laje de concreto foram utilizados pregos com dimensões de $\varnothing 3,6 \times 52,7$.

O espaçamento adotado entre os pregos foi de 150 mm, constante ao longo da viga, sem a utilização da pré-furação.

O módulo de deslizamento da conexão foi estimado por JUNHO (1997) através de gráficos de carga x deslocamento, em $K = 3125 \text{ N/mm}$.

O módulo de elasticidade do concreto foi determinado em $E_1 = 28746 \text{ N/mm}^2$ e o módulo de elasticidade da madeira foi determinado em $E_2 = 21660 \text{ N/mm}^2$.

O modelo estrutural ensaiado em laboratório está mostrado na Figura 2.

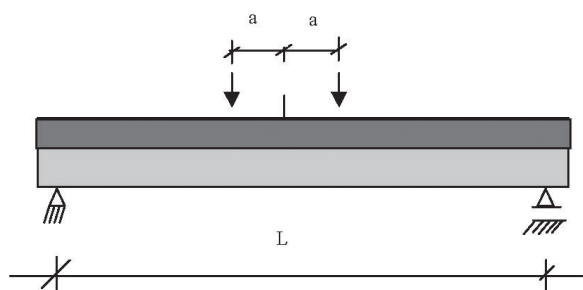


Figura 2: Esquema da viga mista madeira/concreto.

Sendo :

$$L = 3200 \text{ mm}$$

$$a = 375 \text{ mm}$$

A distribuição dos extensômetros utilizados para determinar as deformações na seção do meio do vão da viga está mostrada na Figura 3.

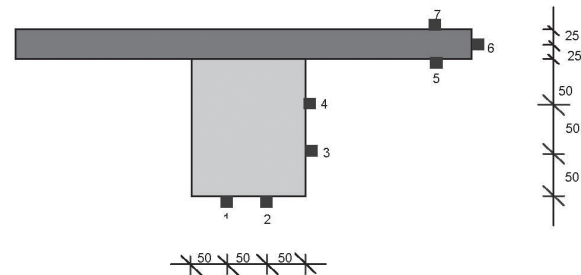


Figura 3: Posição dos extensômetros elétricos.

A aquisição de dados foi feita através de computador e os resultados obtidos estão mostrados na Figura 4 e na Tabela 1.

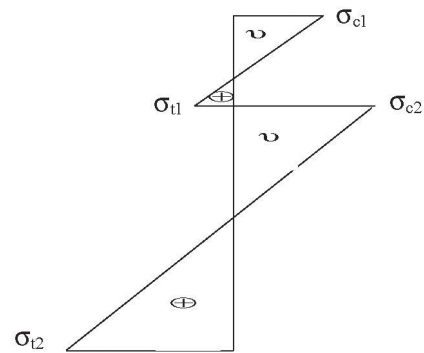


Figura 4: Diagrama das deformações.

Tabela 1 - Resultados experimentais das deformações

Carga 2P (N)	4658	6987	9316	11645	13974
σ_{c1} (N/mm ²)	-0,72	-1,27	-1,98	-1,63	-2,35
σ_{t1} (N/mm ²)	0	+ 0,53	+ 0,36	+0,71	+1,07
σ_{c2} (N/mm ²)	-1,47	-3,35	-4,42	-4,29	-6,04
σ_{t2} (N/mm ²)	+ 1,34	+4,30	+4,83	+4,56	+7,66
f (mm)	2,49	3,44	4,65	5,75	6,82

MODELAMENTO UTILIZANDO O PROGRAMA SAP – 2000.

Vários modelos poderão ser contemplados. Parece ser uma boa aproximação a discretização da mesa e da alma utilizando-se elementos **SHELL** retangulares de 4 nós e os pregos serem discretizados através do elemento **FRAME**. Os elementos **SHELL** funcionam como cascas, podendo distinguir os comportamentos de placa ou de membrana. O elemento **FRAME** é próprio para estruturas formadas por barras. As malhas de elementos para as mesas foram definidas no plano horizontal situada à meia espessura real da peça. No caso das almas, elas foram modeladas por uma malha no plano vertical, cuja espessura corresponde à da peça de madeira. A espessura do elemento finito gera um elemento de volume, importante para se considerar a rigidez da seção transversal. Esquema da discretização está apresentado na **Figura 5**.

C c

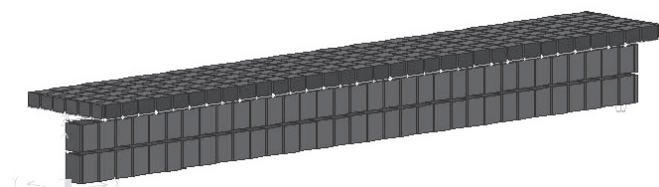


Figura 5: Discretização da viga.

Os pregos foram representados por elementos de barra com os respectivos diâmetros, e com os comprimentos iguais a meia espessura da mesa. Cada barra está vinculada a um nó na malha que modela a mesa e a outro nó na face superior da malha que modela a alma. Como uma das hipóteses básicas assumidas para a estrutura mista é que os pontos de qualquer seção transversal tenham o mesmo deslocamento vertical, os dois nós, de cada uma das barras, são restringidos utilizando o comando “**constraints**” O esquema da discretização dos pregos está apresentado na **Figura 6**.

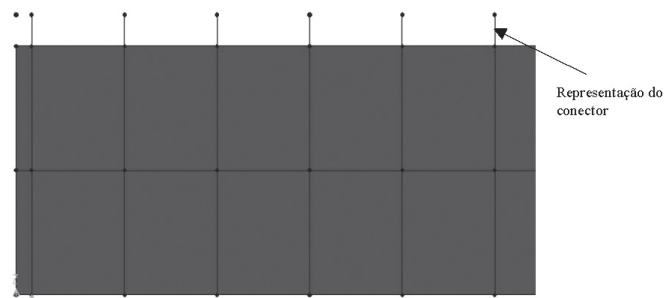


Figura 6: Discretização dos pregos.

Os dados de entrada para os materiais que constituíram os protótipos modelados foram aqueles vistos no item 3, exceto o material do conector. Para simular o deslizamento existente entre a alma e a mesa, considerou-se que o elemento de ligação está rotulado na mesa e engastado na alma e com isto tem um coeficiente de rigidez dado por:

$$K = (3EI)/(\lambda^2)$$

Sendo:

K = módulo de deslizamento da conexão determinado experimentalmente

λ = comprimento do elemento de barra

I = momento de inércia da seção transversal do prego.

E = módulo de elasticidade longitudinal do elemento de ligação

Através do módulo de deslizamento da conexão chegou-se ao módulo de elasticidade equivalente para o elemento de ligação. O primeiro nó situado na parte inferior da alma foi restringido verticalmente e horizontalmente para formar o apoio articulado fixo e o último nó foi restringido verticalmente para simular o apoio móvel, através do comando “**restraints**”.

O carregamento externo foi aplicado aos nós da mesa equidistantes do meio do vão das vigas, através de cargas concentradas com valores iguais à metade da carga do cilindro hidráulico.

Como resultado, o programa SAP 2000, fornece para:

- Nó da estrutura: três deslocamentos de translação e três rotações (**Figura 7**);
- Apoios: todas as reações;
- Barras: diagramas de esforços axiais e transversais;
- Elemento de casca: forças e tensões tangenciais e normais (**Figura 8**).

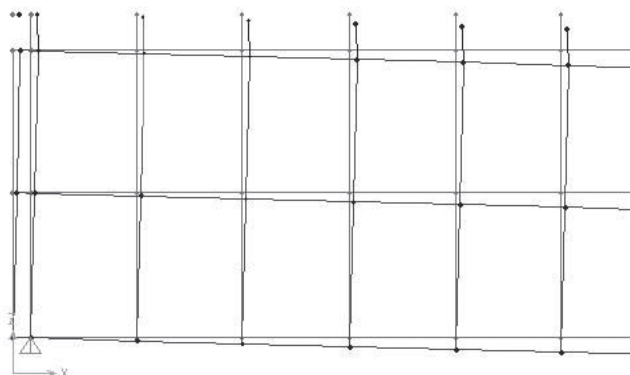


Figura 7: Esquema da viga deformada.

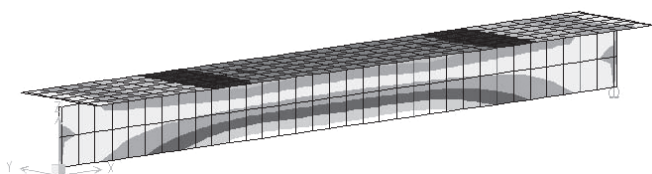


Figura 8: Esquema das tensões da viga.

RESULTADOS NUMÉRICOS UTILIZANDO O PROGRAMA SAP. 2000.

Os resultados obtidos para a seção no meio do vão da viga estão apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Resultados numéricos das deformações

Carga 2P (N)	4658	6987	9316	11645	13974
σ_{c1} (N/mm ²)	-3,24	-4,03	-4,82	-5,58	-6,35
σ_{t1} (N/mm ²)	+1,63	+2,05	+2,44	+2,88	+3,40
σ_{c2} (N/mm ²)	-4,69	-5,85	-7,00	-8,07	-9,31
σ_{t2} (N/mm ²)	+6,56	+8,15	+9,80	+11,40	+12,93
f (mm)	3,46	4,28	5,11	5,93	6,75

CONCLUSÕES

Analisando-se os dados obtidos, pode-se concluir:

- a utilização do modelamento numérico com o SAP2000, foi possível quando o módulo de elasticidade do conector (dado de entrada para o programa), é obtido através de ensaios de corpos de prova das ligações;
- Comparando-se os resultados experimentais (Tabela 1) com os resultados numéricos (Tabela 2) verificou-se que a utilização do programa de Elementos Finitos SAP –2000 é adequada para resolução de vigas T compostas madeira / concreto.

BIBLIOGRAFIA

JUNHO, A.S.(1997), *Análise Teórico – Experimental do Comportamento de Conectores Madeira / Concreto em Corpos de Prova de Cisalhamento : Efeitos da Variação do Tipo de Conector*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia da UFMG.

MAGALHÃES, L.N. (1997), *Vigas Compostas Madeira/ Concreto*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia da UFMG.

MOREIRA, L. F. N. (2001), *Dimensionamento à Flexão de Vigas Mistas Madeira/Concreto* Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da UFMG