

7

Análise dos Resultados Teóricos e Experimentais

Neste capítulo, os resultados experimentais são confrontados com os resultados teóricos. Desta forma, são analisados os resultados referentes à resistência e deslocamentos, apresentado o gráfico Momento fletor x Deformação para o modelo teórico e experimental.

7.1. Resistência

- **Momento Fletor**

O momento fletor produzido pelo peso próprio da viga mista, mais sistema de transmissão de carga foi de 16,5 kN.m para VM-01, e de 15 kN.m para VM-02. Este valor foi somado ao momento produzido pela carga aplicada máxima (2P) durante o ensaio.

O momento fletor total, correspondente a todas as cargas atuantes nos modelos, é descrito como M_{exp} . Na Tabela 7.1, são apresentados os momentos fletores resistentes elásticos e plásticos, teóricos e experimentais.

Tabela 7.1 - Momentos fletores resistentes teóricos e experimentais.

Vigas	M_{re} exp.	M_{re} teórico	M_{rpl} exp.	M_{rpl} teórico
	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m
VM-01	104	127	139	143
VM-02	140	123	165	196

M_{re} – momento fletor resistente de início de escoamento da viga mista.
 M_{rpl} – momento fletor resistente último.

Tabela 7.2 - Relação entre momentos fletores resistentes, teóricos e experimentais.

Vigas	M _{re} exp. / M _{re} teórico	M _{rpl} exp. / M _{rpl} teórico
VM-01	82%	97%
VM-02	114%	84%

A comparação feita na Tabela 7.2 mostra que os valores de momento resistente último medido durante os ensaios foram menores que os estimados teoricamente. O ensaio da viga VM-01 atingiu 97% do momento resistente esperado pelo modelo analítico, e o ensaio da VM-02 atingiu 84%. Indicando, assim, que o modelo de cálculo considerando a plastificação da seção com abertura de alma, representa bem o comportamento do modelo de vigas mistas proposto.

Em relação ao momento de início do escoamento da viga mista, o modelo VM-01 atingiu 82% do valor previsto teoricamente, e a VM-02 ultrapassou o valor estimado em 114%.

- **Carregamento Distribuído**

Com o valor do momento resistente último obtido experimentalmente, foi calculado a carga distribuída por m² através da equação (7.1). Na Tabela 7.3 são apresentados os resultados do carregamento distribuído que provoca a ruína da viga mista de acordo com cada modelo, e o valor minorado do carregamento distribuído calculado pela equação (3.17) avaliado teoricamente.

$$q_{\text{exp}} = \frac{M_{rpl} \cdot 8}{b_c \cdot L^2} \quad (7.1)$$

Tabela 7.3 - Carregamento distribuído devido ao momento resistente último.

Vigas	L m	q _{exp} (1) kg/m ²	q _{teórico} (2) kg/m ²	(1) / (2) %
VM-01	6,18	2426	1569	155
VM-02	5,85	3214	2393	134

A viga mista VM-01 apresentou 155% a mais de resistência que o valor utilizado em projeto, enquanto que a viga VM-02, 134%.

• Esforço Cortante

A solicitação de esforço cortante nos protótipos foi calculada considerando-se a carga última (2P) obtida experimentalmente, o peso próprio das vigas mistas (g) e o peso próprio das vigas de transmissão (p). O valor máximo da força cortante é dado pela equação (7.2).

$$V_{\text{exp}} = 2P + \frac{g \cdot L}{2} + 2 \cdot p \quad (7.2)$$

Na Tabela 7.4 são apresentados os valores do esforço cortante solicitante (V_{exp}) e a força cortante resistente correspondente ao estado de plastificação da alma por cisalhamento (V_{pl}) na seção com abertura, para cada protótipo. Também é apresentado o valor do cisalhamento (V_{q}) devido à carga distribuída obtida experimentalmente.

Tabela 7.4 - Esforço cortante teórico e experimental.

Vigas	V_{exp} kN	V_{pl} kN	V_{q} kN	$V_{\text{exp}} / V_{\text{pl}}$ %	$V_{\text{q}} / V_{\text{exp}}$ %
VM-01	80,34	125	89,97	64,3	112
VM-02	105,59	125	112	84,5	106

O modelo de viga mista, VM-01, atingiu 64,3% da sua capacidade resistente ao cisalhamento vertical. Já o protótipo VM-02, 84,5%. Deve-se salientar, que o cálculo da resistência ao cisalhamento vertical não leva em consideração a contribuição da laje de concreto, devendo a alma do perfil responsabilizar-se por toda capacidade resistente.

Comparando-se o esquema estático, os valores de esforço cortante quando se leva em conta o carregamento distribuído são maiores que aqueles da configuração de teste que considera as cargas concentradas, ver Figura 4.35 e Figura 4.36. Para a viga VM-01 este aumento foi de 112% e para a viga VM-02 de 106%.

7.2.
Deslocamentos

Na Tabela 7.5, são apresentados os valores do deslocamento vertical, no meio do vão, para cada modelo ensaiado. Estes dados foram obtidos teoricamente pela equação (6.2) e experimentalmente, todos para um carregamento de $2P = 40$ kN. Também é mostrado o deslocamento devido ao peso próprio, calculado pela equação (6.1).

Tabela 7.5 - Deslocamentos teóricos e experimentais para um carregamento $2P = 40$ kN.

Vigas	d experimental	d teórico	d experimental/ d teórico	d peso próprio
	mm	mm	%	mm
VM-01	18,04	18,28	99%	2,98
VM-02	11,90	10,02	119%	1,64

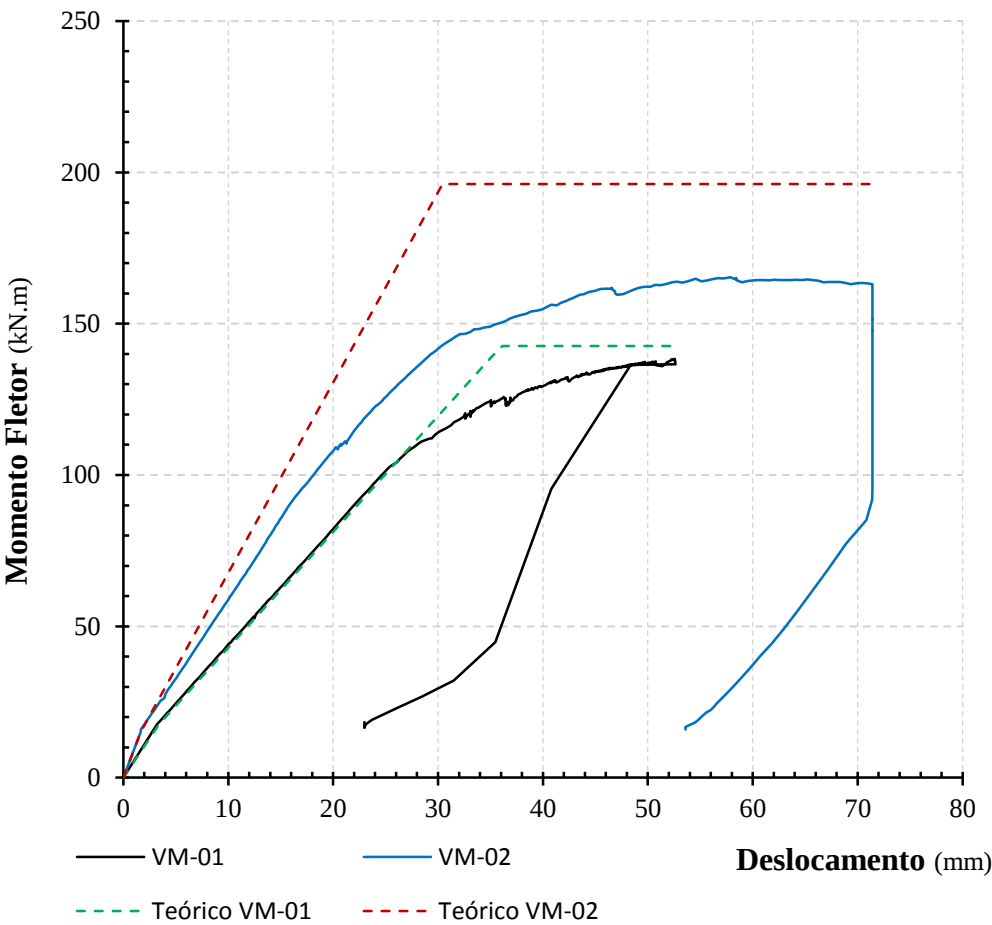


Figura 7.1 - Flecha teórica e experimental.

A Figura 7.1 ilustra de forma comparativa os valores de flecha máxima obtidos experimentalmente e analiticamente para as vigas mistas ensaiadas. Os valores são resultantes da soma da flecha devido ao peso próprio e da carga aplicada, e as flechas medidas durante o ensaio.

Na Figura 7.1, a fase inicial dos gráficos representa o comportamento dos modelos submetidos ao peso próprio. A mudança nas curvas indica o início da aplicação do carregamento de ensaio pelos atuadores nas vigas mistas. Esta mudança é incorporada ao modelo teórico, calculado de acordo com a norma canadense CAN/CSA-S16-10.

Para o modelo VM-01 os valores de deformações obtidos experimentalmente na fase elástica atingiram 99% dos resultados teóricos. Já VM-02 atingiu 119% dos deslocamentos teóricos. Pelos gráficos da Figura 7.1, o protótipo VM-01 apresentou uma grande proximidade entre o modelo teórico e o experimental, o que não é observado nos gráficos do protótipo VM-02.

7.3. Inspeção dos Protótipos Após os Ensaios

- **Ligação aparafusada da viga VM-01**

A ligação adotada no ensaio 1 permitiu a rotação nas extremidades além do esperado. A Figura 7.2 mostra a configuração final da ligação.

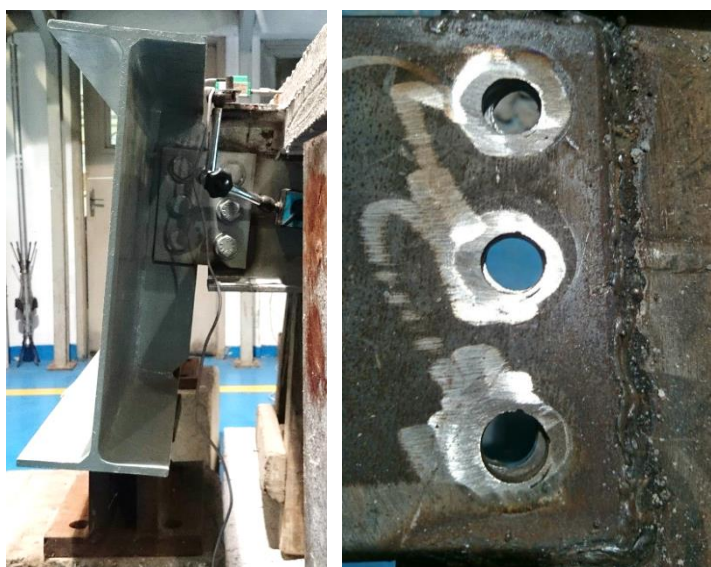


Figura 7.2 - Ligação da VM-01 com o apoio após o ensaio.

- **Abertura de alma do protótipo VM-02**

Na viga VM-02 ocorreu um maior deslizamento na interface aço-concreto, levando à ruptura do concreto que preenche as aberturas próximas das extremidades. Com o objetivo de analisar esta região, foi feita a inspeção da laje neste local.



Figura 7.3 - Inspeção da laje de concreto na região de abertura de alma próxima da extremidade da viga VM-02.

Embora tenham ocorrido danos ao concreto na face inferior da laje, não foi observado nenhum agravo no restante da laje, nem nas armaduras tão pouco no perfil celular. A Figura 7.3 mostra a região da abertura inspecionada.

- **Perfis celulares**

Após o termino dos dois ensaios, foi removida a laje de concreto de ambas as vigas. No perfil V-01 não foi encontrada nenhuma avaria em relação às instabilidades locais, somente foi observada deformação devida à flexão, como mostrado na Figura 7.4.



Figura 7.4 - Perfil celular V-01 após o ensaio.

Na viga V-02 além da deformação devida à flexão pode-se observar a ruptura da solda no perfil de reforço, mas não foi constatada problemas na alma do perfil ou na mesa superior. A Figura 7.5 mostra a V-02 apoiada em uma superfície plana.



Figura 7.5 - Perfil celular V-02 após o ensaio.