

ANÁLISE DA RESPOSTA DE MODELOS NUMÉRICOS DE VIGAS MISTAS AÇO-CONCRETO

Larissa D. Kirchof¹, Jorge Munaiar Neto², Maximiliano Malite² e
Roberto M. Gonçalves²

¹ Aluna de Pós-Graduação em Estruturas (Mestrado) da EESC/USP

² Professor Doutor junto ao Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 – CEP 13.566-590 – São Carlos, SP – Brasil.

Tel +55.16.273-9455 Fax: +55.16.273-9482

e-mail: laridk@sc.usp.br, jmunaiar@sc.usp.br, mamalite@sc.usp.br, gongalve@sc.usp.br

Palavras-chave: estruturas mistas, vigas mistas aço-concreto, análise numérica.

Resumo. *A utilização do elemento estrutural viga mista aço-concreto, que consiste da associação de vigas de aço (perfil do tipo I) com lajes de concreto (maciça ou com forma de aço incorporada), têm sido considerável nas obras de engenharia civil, tanto no contexto mundial como no Brasil. Parte da eficiência desse elemento estrutural está diretamente relacionada ao trabalho em conjunto de ambos os materiais, ou seja, do tipo de interação entre aço e concreto. Para um comportamento estrutural adequado das vigas mistas, essa interação é garantida por meio de elementos metálicos denominados conectores de cisalhamento, cujas principais funções consistem em transferir forças de cisalhamento longitudinais do concreto para o aço na interface entre laje e viga, bem como impedir a separação vertical entre laje de concreto e perfil metálico, movimento conhecido como “uplift”. A norma brasileira NBR 8800/86, intitulada “Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios” trata do dimensionamento, em temperatura ambiente, de elementos estruturais de aço, inclusive de vigas mistas aço-concreto, nesse caso, apenas para conectores de cisalhamento dos tipos pino com cabeça (stud bolt) e perfil “U” laminado. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal elaborar modelos numéricos tridimensionais para viga mista por meio da utilização do código de cálculo ABAQUS versão 6.3-1, com vistas a simular satisfatoriamente seu comportamento estrutural, cujos resultados serão confrontados com valores, obtidos numérica e experimentalmente, extraídos de trabalhos apresentados por outros pesquisadores.*

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas estruturais compostos como, por exemplo, as *lajes mistas aço-concreto* (lajes de concreto com fôrma de aço incorporada), os *pilares mistos aço-concreto* (pilares de aço revestidos ou protegidos e preenchidos com concreto) e as *vigas mistas aço-concreto* (lajes de concreto sobre vigas de aço), têm sido bastante utilizados tanto no contexto mundial, como nos Brasil, em diversas obras de engenharia civil.

No contexto mundial⁸, os estudos referentes aos sistemas compostos tiveram seu início na Inglaterra, antes da primeira grande guerra, com base em uma série de ensaios para pisos. Entre os anos de 1922 e 1939, foram construídos edifícios e pontes que adotavam o sistema de vigas compostas. No Brasil, a construção mista limitou-se a alguns edifícios e pequenas pontes, na década de 50. Nos últimos anos, com o aumento considerável da produção de aço no Brasil e objetivando novas soluções arquitetônicas e estruturais, sua utilização vem crescendo consideravelmente, na construção de edifícios industriais, comerciais, pontes, etc, bem como pesquisas sobre o assunto em questão, a partir do final da década de 80.

A utilização do sistema misto se torna viável e de grande vantagem, pois como se sabe o aço trabalha bem à tração, enquanto que o concreto trabalha bem a compressão (com menor custo). Além disso, a associação dos elementos aço e concreto resulta em um acréscimo de resistência e rigidez para o sistema misto, proporcionando a redução da altura dos elementos estruturais e por conseqüência, a economia dos materiais envolvidos.

As vigas mistas *aço-concreto*, objeto de estudo do presente trabalho, são elementos estruturais constituídos pela associação de vigas de aço (perfil I) solidarizadas a laje de concreto armado de piso ou de cobertura, pré-fabricados ou não. Esta associação deverá ser garantida por meio de elementos metálicos denominados de *conectores de cisalhamento*, de modo que o conjunto trabalhe para resistir a esforços de flexão em torno de um eixo perpendicular ao plano médio da alma.

A norma brasileira NBR 8800/86, intitulada “*Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*” trata do dimensionamento, em temperatura ambiente, de elementos estruturais de aço, inclusive de vigas mistas aço-concreto, nesse caso, apenas para conectores de cisalhamento dos tipos pino com cabeça (stud bolt) e perfil “U” laminado.

Também merece ser mencionado, apesar de não ser objeto de estudo do presente trabalho, a questão do aço em situação de incêndio para fins de projeto em estruturas metálicas. Com a publicação da norma NBR 14323/99, intitulada “*Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio*” e da norma NBR 14432/00, intitulada “*Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações*”, muitos são os assuntos de interesse que estão surgindo com relação à resistência dos elementos estruturais de aço e mistos em situação de incêndio.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal à elaboração de um modelo numérico tridimensional de viga mista, por meio da utilização do código de cálculo *ABAQUS versão 6.3-1*, elaborado com base no Método dos Elementos Finitos, objetivando simular satisfatoriamente seu comportamento estrutural em temperatura ambiente, cujos resultados serão confrontados com valores obtidos por meio de ensaios experimentais, extraídos de trabalhos apresentados por outros pesquisadores⁷.

2 PRINCIPAIS ASPECTOS SOBRE VIGAS MISTAS AÇO – CONCRETO

Como já mencionado anteriormente, as vigas mistas aço-concreto são constituídas pela associação de vigas de aço (perfil I) solidarizadas com lajes de concreto. Esta associação é garantida por elementos mecânicos denominados “*conectores de cisalhamento*”, com vistas ao trabalho em conjunto entre viga e laje de modo a resistir mais eficientemente à flexão. A figura 1, extraída de Malite⁸, apresenta os dois tipos de vigas mistas mais empregadas nas edificações.

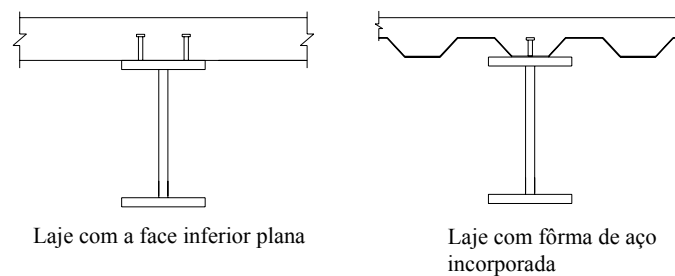


Figura 1 – Tipos usuais de vigas mistas Aço-Concreto.

Alguns fatores, tais como: resistência à compressão do concreto, espessura da laje de concreto (piso ou cobertura), tipo de aço da viga, existência ou não de escoramento na concretagem das lajes (fase de construção), interação entre viga e laje, etc., estão diretamente associados com a eficiência da viga mista para resistir a esforços de flexão.

Dentre os citados anteriormente, enfatiza-se o aspecto da interação entre viga de aço e laje de concreto. Malite⁸ menciona que a interação entre estes elementos estruturais é garantida por meio de utilização de *Conectores de Cisalhamento*, os quais são interligados à mesa superior da viga de aço por meio de processo de soldagem. Estes elementos estruturais cumprem a função de transmitir o fluxo de cisalhamento longitudinal que se gera na interface aço-concreto, bem como a de impedir o afastamento vertical entre viga e laje, fenômeno este conhecido como *uplift*. Diversos tipos de conectores já foram analisados e empregados em edifícios e pontes, sendo os perfis U laminados e os conectores tipo pino com cabeça (stud bolt), ambos do tipo flexível, e ilustrados na figura 2, extraída de Malite⁸, os mais utilizados e os únicos previstos na NBR 8800/86.

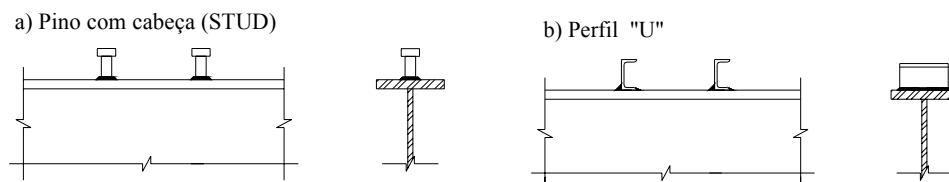


Figura 2 – Tipos de Conectores de Cisalhamento

Parte da eficiência do comportamento das vigas mistas na interface aço-concreto, ou seja, o tipo de interação existente (nula, completa ou parcial), está diretamente relacionado ao

trabalho em conjunto entre ambos materiais e está representada na figura 3, extraída de Malite⁸. Assim sendo, o termo Interação completa ou total é considerado quando se admite inexistência de escorregamento longitudinal relativo e afastamento vertical entre viga e laje. Já o termo interação parcial pode ser usado quando for admitido, de fato, a possibilidade de escorregamento relativo na interface aço – concreto.

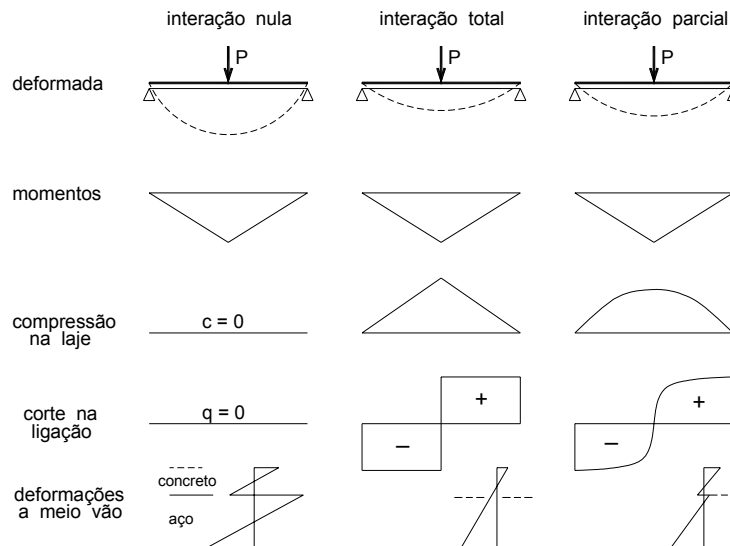


Figura 3 - Interação entre o aço e o concreto no comportamento de viga mista.

3 ASPECTOS DA MODELAGEM NUMÉRICA

É importante mencionar que a escolha pela simulação numérica para estudar o comportamento estrutural de vigas mistas, faz-se pelo fato de essa permitir uma análise mais detalhada dos aspectos de interesse desse elemento misto, (por exemplo, níveis de tensões no aço), sem a necessidade da utilização de modelos matemáticos, em geral, descritos por equacionamentos custosos, em razão da considerável complexidade da análise multiaxial, nos campos das tensões e das deformações, conforme verificado nos procedimentos de modelagem propostos por outros pesquisadores^{9,11}.

Atualmente, com a evolução dos micro-computadores e dos códigos de cálculo para análise estrutural, a análise multiaxial (plana ou tridimensional) para as estruturas de um modo geral deixa de ser um problema.

Desta forma, no presente trabalho é elaborado um modelo tridimensional de vigas mistas que simule satisfatoriamente, em temperatura ambiente, seu comportamento estrutural. Esta simulação numérica é realizada por meio da utilização do código de cálculo *ABAQUS* versão 6.3-1, elaborado com base no Método dos Elementos Finitos, o qual que disponibilize ao pesquisador os recursos necessários para a obtenção dos resultados de interesse.

A modelagem numérica da viga mista possui seção transversal constituída por laje de concreto, armada nas duas direções (transversal e longitudinal), apoiada na mesa superior da

viga metálica (seção tipo “I”), cuja ligação entre ambos elementos é feita por meio de conectores de cisalhamento do tipo stud bolt, conforme ilustra a figura 4, extraída de Chapman & Balakrishnan⁷.

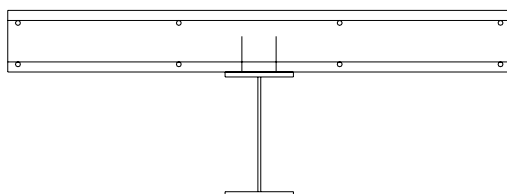


Figura 4 – Detalhes da seção transversal da viga mista (análise em temperatura ambiente)

A discretização dos elementos finitos adotados para a viga mista, as relações constitutivas utilizadas, as condições de contorno e sollicitação impostas, bem como as dimensões usadas para a seção transversal e comprimento do vão na análise, serão apresentados com maiores detalhes nos itens que seguem ao longo deste trabalho.

3.1 Elementos finitos adotados para o modelo proposto

O código de cálculo ABAQUS¹ possui uma extensa biblioteca de elementos finitos com o intuito de fornecer ao usuário ferramentas que possam ajudá-lo na resolução de diferentes problemas. A escolha dos elementos para a simulação numérica deve ser feita levando-se em consideração vários aspectos, como a família a qual o elemento pertence, graus de liberdade ativos, número de nós, e principalmente, o comportamento que ele apresenta perante a análise desejada.

Para a elaboração do modelo numérico em questão, foram escolhidos dois tipos de elementos finitos: elementos sólidos para o perfil de aço e laje de concreto, e o elemento treliça para discretizar as armaduras transversais e longitudinais.

O elemento sólido (ou contínuo), denominado por *C3D8R*, ilustrado na figura 5, é um elemento finito tridimensional que possui 8 (oito) nós, com 3 (três) graus de liberdade por nó, referentes às translações nas direções X, Y e Z (no caso, as coordenadas globais).

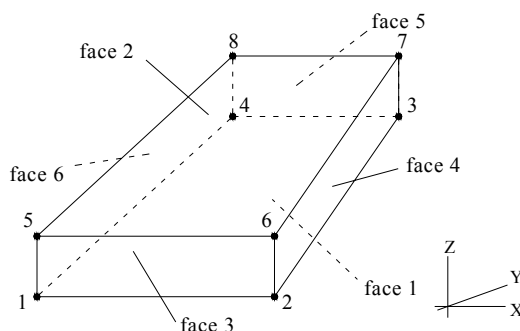


Figura 5 – Elemento finito sólido, denominado *C3D8R*

O elemento treliça $T3D2$, ilustrado na figura 6, é um elemento finito que possui 2 (dois) nós, apresentando 3 (três) graus de liberdade por nó, referentes às translações nas direções X, Y e Z. Este elemento é geralmente usado somente para transmitir forças axiais e, conseqüentemente, admite carregamentos apenas ao longo do eixo do elemento, visto que não possui rigidez para resistir a sollicitações perpendiculares ao seu eixo.

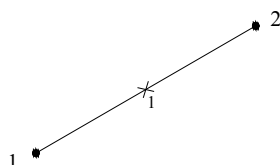


Figura 6 – Elemento finito treliça, denominado $T3D2$

Vale a pena salientar que a proposta inicial do trabalho era apresentar um modelo numérico tridimensional, que possibilitasse, não somente a análise global do comportamento da viga mista em temperatura ambiente, como também, permitir uma análise local no sistema, como por exemplo, a avaliação das concentrações de tensões na região dos conectores, conforme ilustra a figura 7 (vista geral e detalhe).

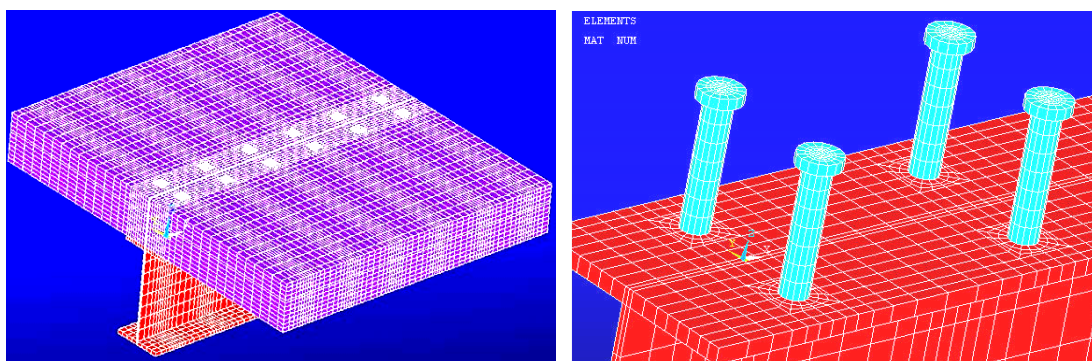


Figura 7 – Modelo numérico tridimensional com conectores de cisalhamento:
Vista geral do modelo e detalhe da discretização dos conectores pino com cabeça.

No entanto, em virtude de a proposta inicial de modelagem, ilustrada na figura 7, ter gerado um elevado número de elementos finitos, em especial, por conta do alto grau de refinamento utilizado na discretização dos conectores de cisalhamento, tal fato, por si só, inviabilizou o processamento do modelo numérico em questão devido ao grande esforço computacional exigido e verificado nos testes preliminares.

Sendo assim, optou-se pela utilização de um modelo mais simplificado (sem conectores de cisalhamento e se considerando interação total entre os elementos aço e concreto), cuja análise de resultados é somente feita, neste caso, dentro de um contexto global do sistema misto.

3.2 Modelos de não-linearidade física adotados para o aço e o concreto

A simulação do comportamento estrutural da viga de aço foi feita por meio de uma relação constitutiva $\sigma \times \varepsilon$ do tipo elasto-plástico multilinear com encruamento isótropo, enquanto que para o aço da armadura foi adotada uma relação constitutiva $\sigma \times \varepsilon$ do tipo elasto-plástico perfeito. Para ambas, foi empregado o critério de Mises, definido pelo ABAQUS por meio da relação entre as tensões uniaxiais e suas respectivas deformações plásticas equivalentes. Os diagramas tensão-deformação para viga de aço e armadura estão representados, respectivamente, nas figuras 8(a) e 8(b).

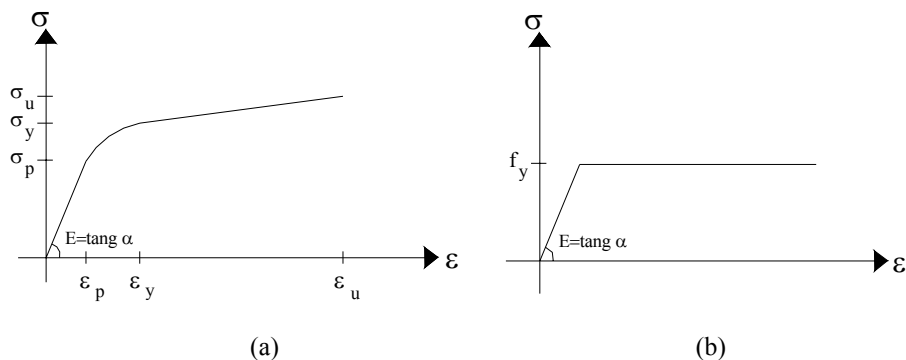


Figura 8 – (a) Modelo elasto-plástico multilinear com encruamento isótropo – viga de aço
(b) Modelo elasto-plástico perfeito - armaduras

Para a laje de concreto, adotou-se o modelo *CONCRETE* disponibilizado na biblioteca interna do programa ABAQUS. Seu comportamento estrutural na compressão é simulado por meio de uma relação constitutiva $\sigma \times \varepsilon$ do tipo elasto – plástico multilinear, conforme ilustra a figura 9(a). Já o comportamento do concreto na tração é definido pelo ABAQUS, por meio do parâmetro “*tension stiffening*”, representado na figura 9(b). Segundo Proença¹⁰, o concreto na presença de armadura, torna-se enrijecido quanto à sua contribuição na resistência à tração (“*tension stiffening*”) devido ao fenômeno de aderência.

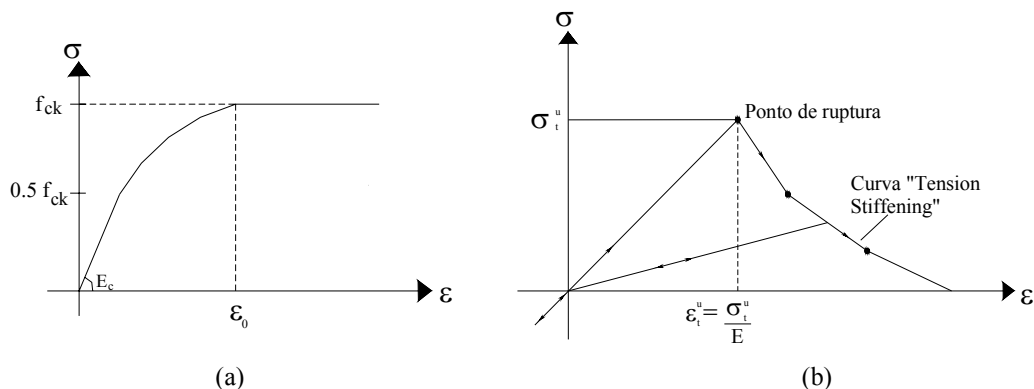


Figura 9 – (a) Diagrama tensão-deformação para o concreto na compressão
(b) Modelo “*tension stiffening*” para o comportamento do concreto na tração

O modelo *CONCRETE* é capaz de simular o esmagamento do concreto na compressão e fissuração na tração, com base no critério de ruptura para o estado multiaxial de tensões, conforme é ilustrado na figura 10.

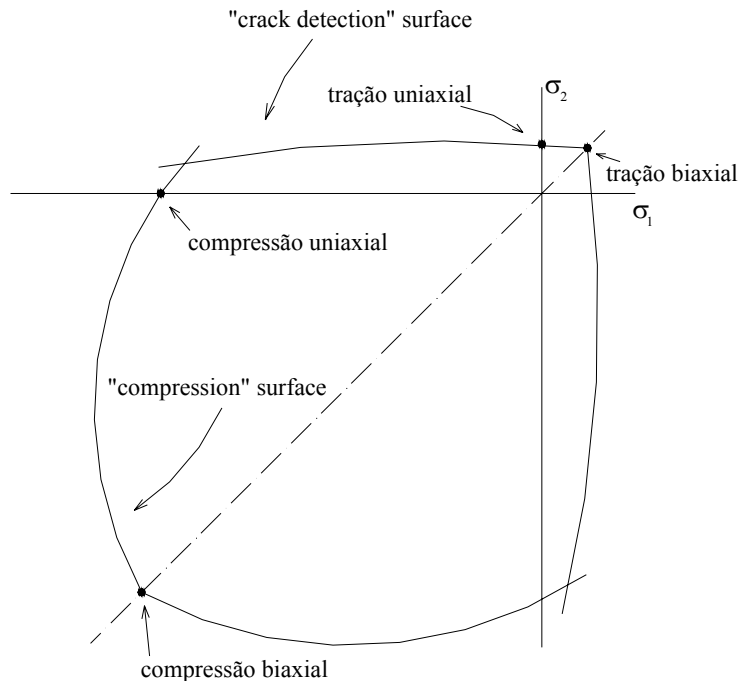


Figura 10 – Superfícies de ruptura no estado de tensões multiaxiais para o concreto

3.3 Condições de contorno e de solitação

Para o modelo numérico construído, foram adotadas condições de contorno e de carregamento em concordância com aquelas adotadas nos ensaios experimentais⁷, para posterior confronto de resultados. A figura 11, extraída da mesma referência, ilustra as condições de contorno e de solitação utilizadas no ensaio experimental em questão, para uma viga mista simplesmente apoiada, cujo carregamento distribuído ao longo do vão é aplicado de modo coincidente com o eixo da viga. A viga mista foi apoiada nas proximidades de suas extremidades sobre roletes, e o carregamento uniforme aplicado foi distribuído entre os apoios por meio de 18 (dezoito) macacos hidráulicos interconectados.

As figuras 12 e 13 ilustram o modelo numérico elaborado com as condições de contorno e de carregamento, com base nas considerações do modelo experimental⁷. As translações do apoio fixo (esquerdo) da viga mista foram restringidas nas 3 (três) direções globais (X, Y e Z), enquanto que para o apoio móvel (direito) foram impedidas as translações vertical e transversal (Y e Z), deixando livre a translação na direção axial. A solitação é aplicada e distribuída uniformemente entre os apoios na forma de pressão na face superior da laje de concreto.

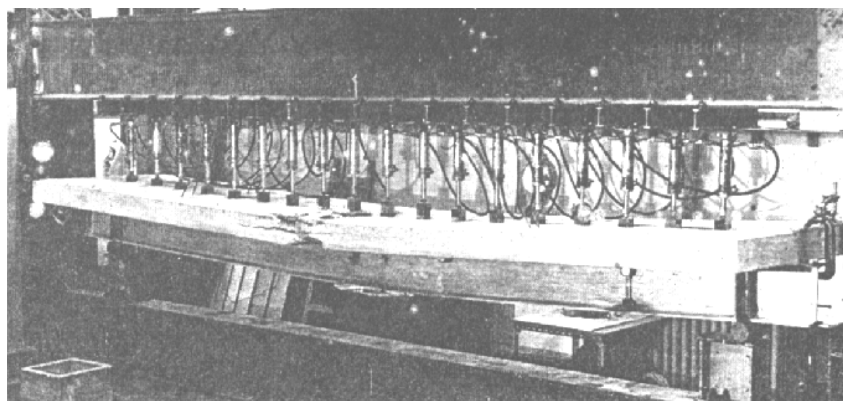


Figura 11 - Modelo U1 ensaiado por CHAPMAN & BALAKRISHNAN (1964)

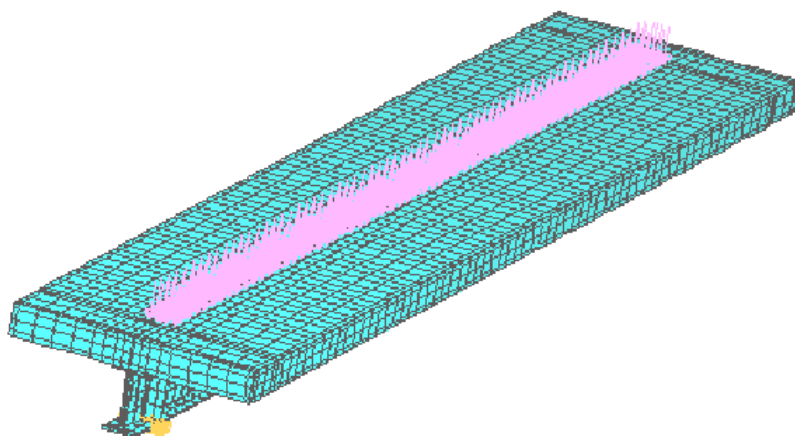


Figura 12 – Vista Geral do modelo numérico: viga de aço e laje de concreto

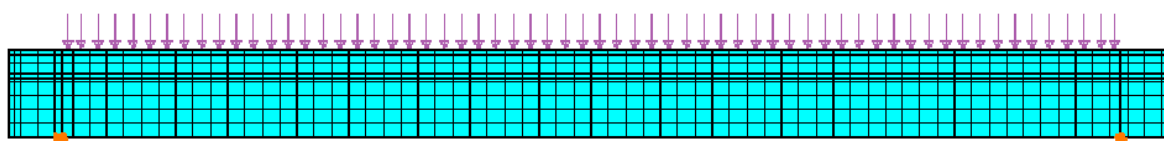


Figura 13 - Condições de vinculação e solicitação impostas ao modelo numérico

4 RESULTADOS DA ANÁLISE NUMÉRICA

Os resultados obtidos na análise numérica serão apresentados a seguir, para o modelo de viga mista simplesmente apoiada, cujas dimensões da seção transversal e comprimento do vão estão ilustrados na figura 14. Foram adotadas como hipóteses para a análise numérica, viga mista com interação total e análise em temperatura ambiente.

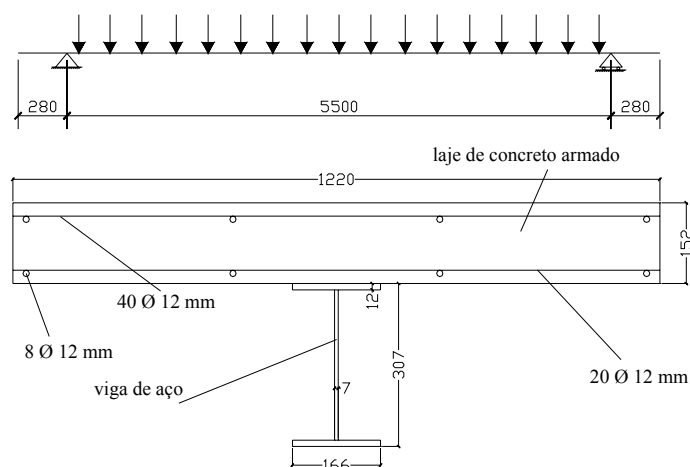


Figura 14 – Dimensões (unidade em mm) utilizadas no modelo numérico proposto.

Tabela 1. Propriedades do perfil metálico

MATERIAL	σ_p (KN/cm ²)	σ_y (KN/cm ²)	σ_u (KN/cm ²)	E (KN/cm ²)
Viga de aço	20,3	29,0	52,0	20500

Tabela 2. Propriedades do aço da armadura

MATERIAL	σ_y (KN/cm ²)	E (KN/cm ²)
Aço da armadura	60,0	20500

A tabela 3 apresenta as propriedades para o concreto, onde são especificadas as correspondentes resistências à compressão do concreto (f_{ck}) e a relação existente entre a resistência última à tração uniaxial (f_t) e a resistência última à compressão uniaxial (f_{ck}).

Tabela 3. Propriedades do concreto

MATERIAL	f_{ck} (KN/cm ²)	f_t/f_{ck}	E (KN/cm ²)
Concreto	4,20	0,12	3454,5

A figura 15 ilustra como resultado o confronto entre os valores numérico e experimental, entre o carregamento aplicado e os deslocamentos verticais que ocorrem no meio do vão da viga mista. Vale destacar que a relação f_t/f_{ck} adotada na tabela 3 está em concordância com valores obtidos para o concreto em ensaios de laboratório. Para este caso, o modelo numérico apresentou uma convergência satisfatória dos resultados numéricos quando comparado com os experimentais até um nível de carregamento correspondente a 549,56 kN. O procedimento adotado foi do tipo “incremental-iterativo”, utilizando-se como parâmetro de convergência o resíduo força, com tolerância de 0,01.

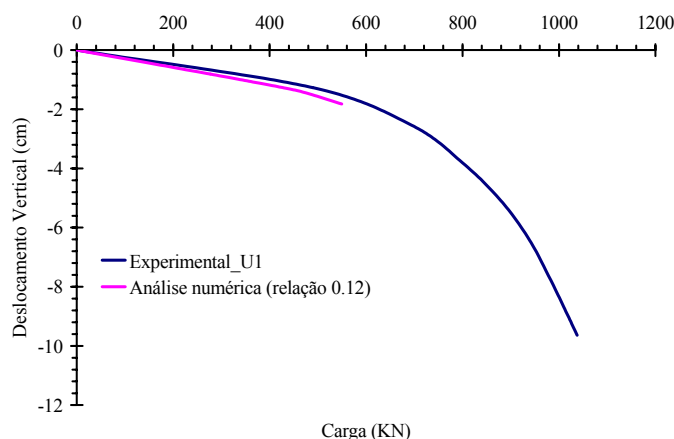


Figura 15 – Confronto entre resultados Numérico e Experimental, para $f_t/f_{ck} = 0,12$

Após análises feitas com referência aos aspectos de não-linearidade de ambos os materiais, verificou-se que os problemas de instabilidade numérica ocorreram em razão do material concreto, principalmente como consequência de elevadas tensões de tração, aspectos estes associados, provavelmente, a possíveis limitações do modelo “*CONCRETE*” disponibilizado para o concreto.

Como procedimento para verificação dos aspectos limitantes mencionados, foram adotados outros valores para relação f_t/f_{ck} , no caso, 0,25 e 0,50, objetivando atingir com o modelo numérico, níveis de carregamento acima daquele identificado na figura 15.

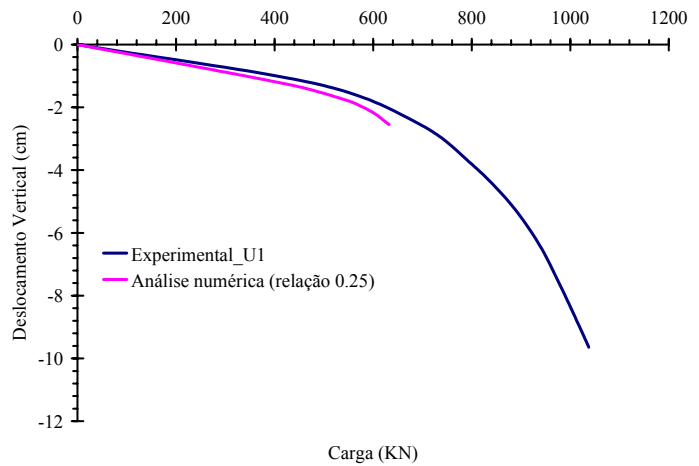
Nas figuras 16a e 16b, são apresentados os resultados obtidos para valores de $f_t/f_{ck} = 0,25$ e $f_t/f_{ck} = 0,50$. É importante deixar claro, que esta relação não possui sentido físico, pois como se sabe o concreto é um material frágil que resiste a tensões de tração muito baixas (da ordem de 10% da resistência última à compressão). Estas relações são utilizadas “apenas” como estratégia numérica, no sentido de se desconsiderar possíveis limitações do modelo *CONCRETE* no referente às tensões de tração e, conseqüentemente, um melhor ajuste entre resultados.

Por meio de análises com referência às figuras 16(a) e 16(b), é possível perceber que o processo de convergência, em ambos os casos, atinge valores de carregamento iguais a 632,17 kN e 756,70 kN, respectivamente, e com concordância bastante satisfatória entre resultados numérico e experimental até os níveis de carregamento mencionados.

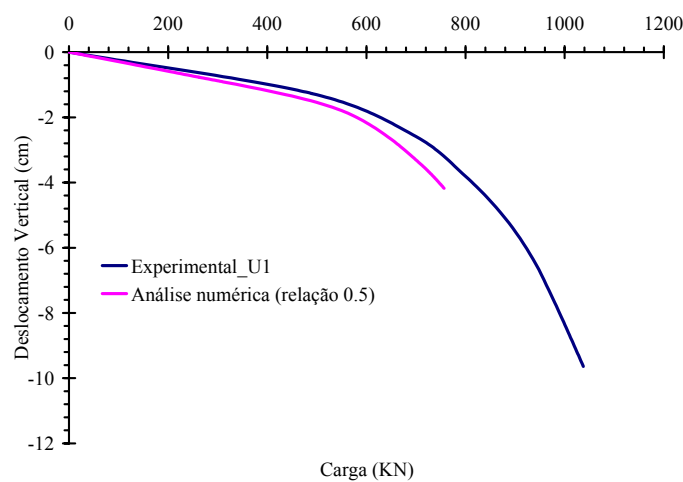
É importante mencionar que Owen¹¹ adotou como procedimento para a análise do comportamento global de vigas mistas, a desconsideração da resistência do concreto à tração. Esta hipótese tem sido bastante razoável no tocante à análise numérica, uma vez que as tensões de tração na laje de concreto são identificadas em uma região localizada no centro do vão da viga.

Ressalta-se ainda que a Norma Brasileira NBR 8800 (1986)¹ também adota a simplificação mencionada anteriormente para o dimensionamento de vigas mistas, por meio da desconsideração da parte tracionada na laje de concreto. Em contrapartida, para análises referentes a efeitos localizados (concentração de tensões, por exemplo), esta estratégia

numérica pode perder (ou perde, de fato) significado.



(a)



(b)

Figura 16 – Confronto entre resultados Numérico e Experimental:
(a) para $f_t/f_{ck} = 0,25$ e (b) para $f_t/f_{ck} = 0,50$

A figura 17 ilustra o comportamento do modelo numérico proposto quando a resistência do concreto à tração é desprezada. É possível perceber que o processo de convergência atinge valor de carregamento igual a 946 kN, e com concordância bastante satisfatória entre resultados numérico e experimental.

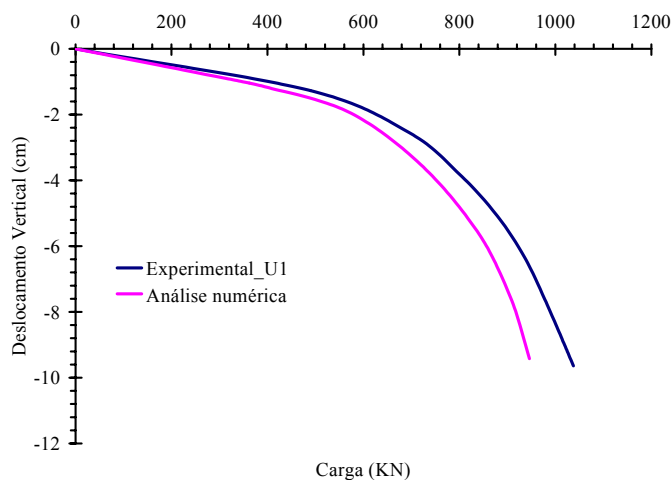


Figura 17 – Confronto entre resultados numérico e experimental:
Desconsideração da resistência à tração para o concreto

5 CONCLUSÕES

A proposta do presente trabalho objetivou avaliar o comportamento global de vigas mistas com interação total e em temperatura ambiente, quando submetidas a carregamento uniformemente distribuído ao longo do vão, por meio de análise numérica tridimensional.

Para tanto, tomou-se como ponto de partida a elaboração de um modelo numérico tridimensional, que possibilitasse ao pesquisador, analisar o comportamento da viga mista não somente no contexto global, mas também permitir uma análise local, como por exemplo, a avaliação das concentrações de tensões na região dos conectores. No entanto, esta proposta inicial de modelagem resultou inviável quando do seu processamento, em virtude do elevado número de elementos finitos gerados, em especial, por conta do alto grau de refinamento utilizado na discretização dos conectores de cisalhamento. Sendo assim, optou-se pela utilização de um modelo mais simplificado, com vistas a avaliar apenas o comportamento global da viga mista.

De uma maneira geral, os resultados do modelo numérico com referência a relação entre a força aplicada e o deslocamento vertical no meio do vão, para a relação proposta de $f_t/f_{ck} = 0,12$, apresentou uma convergência satisfatória dos resultados numéricos quando comparado aos valores experimentais até um nível de carregamento correspondente a 549,56 kN. A partir deste ponto, verificou-se que alguns problemas de instabilidade numérica ocorreram em razão do material concreto, principalmente como consequência de elevadas tensões de tração, aspectos estes associados, provavelmente, a possíveis limitações do modelo disponibilizado para o concreto.

Desta forma, objetivando atingir com o modelo numérico proposto níveis de carregamento acima daquele identificado anteriormente e em concordância com os resultados experimentais, foram adotados outros valores para a relação f_t/f_{ck} iguais a 0,25 e 0,50. Com estes valores foi

possível obter um melhor ajuste entre resultados numérico e experimental até níveis de carregamento de 632,17 kN e 756,70 kN, respectivamente.

É importante ressaltar que as hipóteses adotadas com referência às relações (0,25 e 0,50), não possuem sentido físico, tratando-se “apenas” de uma estratégia numérica que inicialmente demonstra poder ser utilizada, sem implicar em perda significativa de precisão, quando da análise de resultados referentes ao comportamento global da viga mista. Em contrapartida, para análises referentes a efeitos localizados (concentração de tensões, por exemplo), esta estratégia numérica adotada pode perder (ou perde, de fato) significado.

Também se adotou como procedimento para a análise do comportamento global da viga mista, a desconsideração da resistência do concreto à tração. Esta hipótese tem sido bastante razoável no tocante à análise numérica, uma vez que as tensões de tração na laje de concreto são identificadas em uma região localizada no centro do vão da viga. É possível perceber que o processo de convergência atinge valor de carregamento igual a 946 kN, e com concordância bastante satisfatória entre resultados numérico e experimental.

Finalmente, vale mencionar que para futuros trabalhos, pretende-se inserir o elemento mola na interface laje de concreto-viga de aço, objetivando simular não somente a interação total, como também permitir a consideração de interação parcial ou nula, e conseqüentemente, a possibilidade de avaliação do escorregamento relativo existente entre ambos materiais.

Um outro aspecto de interesse é a inserção do efeito da temperatura na análise numérica, com vistas a simular o comportamento de vigas mistas em situação de incêndio, bem como, se possível, avaliar os procedimentos de cálculo proposto pela nova norma brasileira NBR 14323/99 intitulada “*Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio*”, objetivando futuras sugestões ou eventuais ajustes, quando do seu processo de revisão.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem à *FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo* pelo apoio concedido ao desenvolvimento da pesquisa em questão.

7 REFERÊNCIAS

- [1] ABAQUS, ABAQUS theory manual & users manual, Version 6.3, Pawtucket, RI, USA: Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc., (2002).
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios*, Rio de Janeiro, (1986).
- [3] British Standard Institution, *BS 5400: Steel, concrete and composite bridges. Part 5: Code of practice for design of composite bridges*, London, (1979).
- [4] European Committee for Standardization, *EUROCODE 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings ENV 1994-1-1*, Brussels, (1994).

- [5] G.A. Tristão, *Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise da resposta numérica*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 114p, (2002).
- [6] G.M. Alva, *Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço – concreto*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 277p., (2000).
- [7] J.C. Chapman, & S. Balakrishnan, Experiments on composite beams, *The Structural Engineering*, vol. 42(11), pp 369-383, (1964).
- [8] M. Malite, *Sobre o cálculo de vigas mistas aço – concreto: Ênfase em edifícios*, Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 144p, (1990).
- [9] N. Gattesco, Analytical modeling of nonlinear behavior of composite beams with deformable connection, *Journal of Constructional Steel Research*, Italy, vol.52, pp 195-218, (1999).
- [10] S.P.B. Proença, *Sobre modelos matemáticos do comportamento não-linear do concreto: análise crítica e contribuições*, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 163p., (1988).
- [11] V.A. Owen, I.W. Burgess, R.J. Plank, A.A. Abud Wali, An analytical model for the analysis of composite beams with partial interaction, *Computers & Structures*, Elsevier Science Ltd., v.62, n.3, pp 493-504, (1997).