

MODELOS NUMÉRICOS PARA A ANÁLISE DE TRELIÇAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Joel D. Martins, M. Sc^a, Arlene M. S. Freitas, D. Sc^b.

^a *Departamento de Edificações, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas, Avenida Michael Pereira de Souza, 3007, Bairro: Campinho, Congonhas, MG, Brasil, joel.donizete@ifmg.edu.br, <http://www.ifmg.edu.br>*

^b *Departamento de Engenharia Civil - DECIV, Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Universitário Morro do Cruzeiro, Bauxita, 35400-000 - Ouro Preto, MG - Brasil, arlene.freitas@gmail.com, <http://www.propec.ufop.br>*

Palavra-Chave: Trelizas mistas, Análise numérica, Perfis tubulares.

Resumo. Neste trabalho é realizado um estudo com duas treliças mistas compostas por perfis metálicos tubulares nas diagonais e banzo inferior associados a uma laje de concreto maciço. Como banzo superior será utilizada uma barra chata com seção retangular na qual serão soldados conectores de cisalhamento “perfobond”. Em uma das treliças será utilizado um perfil tubular circular no banzo inferior, enquanto na outra será utilizado um perfil em seção quadrada ambos com áreas de seção transversal com valores próximos. Para análise destas estruturas são propostos dois modelos numéricos em elementos finitos dos quais o primeiro utiliza apenas elementos de barra na discretização de todos os elementos estruturais. No segundo modelo utilizou-se para a laje o elemento finito tridimensional de sólido com oito nós e com três graus de liberdade por nó. Este elemento tem a capacidade de representar a não-linearidade do concreto, considerando a deformação plástica, a fissuração e o esmagamento na região comprimida. Neste modelo foram utilizados elementos independentes para a armadura da laje. Os banzos, os conectores, e as diagonais foram modelados utilizando elementos de casca com o objetivo de capturar eventuais efeitos localizados que ocorrem em nós de ligação de elementos feitos em seções tubulares. Os modelos numéricos utilizados apresentaram bons resultados para a treliça mista com o banzo inferior em perfil tubular circular. Mostrou-se também neste trabalho que o primeiro modelo deve ser utilizado apenas nas treliças nas quais não há riscos de haver problemas localizados como ocorreu na treliça mista analisada que tinha o banzo inferior em perfil tubular quadrado. O modelo numérico 2 apresentou resultados mais precisos e confiáveis conseguindo avaliar a perda de estabilidade da estrutura por plastificações na parede do banzo inferior.

1 INTRODUÇÃO

As treliças mistas são estruturas que vêm ganhando destaque quando torna-se necessária a execução de pisos com grandes vãos livres. Em relação aos vigamentos mistos apresentam vantagens adicionais, pois permitem a passagem de diversas instalações por meio das aberturas entre os banzos e podem ter certa altura sem, no entanto, diminuir visibilidade nos espaços em que forem instaladas, conferindo à estrutura maior momento de inércia, o que minimiza as flechas. No entanto, estas estruturas não têm sido pesquisadas como as demais estruturas mistas talvez por dificuldades na confecção de modelos experimentais que exigem a avaliação da estrutura como um todo e não de módulos da mesma nas análises. A mesma dificuldade pode ser encontrada na criação de modelos numéricos que exigiriam uma modelagem mais refinada para possibilitar a avaliação do comportamento global da estrutura e de possíveis influências de plastificações localizadas sobre este comportamento. Portanto, neste estudo apresenta-se dois modelos numéricos com níveis de detalhamentos diferentes que serão utilizados com duas treliças mistas com configurações diferentes. Os resultados obtidos com os modelos numéricos foram comparados entre si e com resultados obtidos utilizando expressões numéricas propostas nas Normas Brasileira (NBR 8800, 2008) e canadense (CAN/CSA, 2003) que trazem recomendações gerais sobre estruturas metálicas e mistas.

2 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS PARA ANÁLISE

Para o dimensionamento de treliças mistas à flexão para os estados limites últimos recomenda-se utilizar um modelo da seção plastificada (Figura 1) na qual são utilizados apenas a laje de concreto e o banzo inferior. Considera-se, neste caso, o braço de alavanca, d_2 , que separa os dois elementos. Em relação aos demais elementos da treliça mista, recomenda-se que os conectores de cisalhamento sejam dimensionados de forma que transfiram integralmente (NBR 8800, 2008) e/ou parcialmente (CAN/CSA, 2003) à laje de concreto os esforços desenvolvidos no banzo inferior. Estes esforços são transferidos por meio de cisalhamento pelos conectores de forma a haver o equilíbrio do esforço de tração no banzo inferior com o de compressão desenvolvido na laje. As diagonais e montantes devem ser dimensionados considerando-se que estes elementos resistirão integralmente aos esforços de cisalhamento da treliça mista para os carregamentos totais previstos, desprezando-se a participação dos demais elementos na resistência a estes esforços. O banzo superior deve ser dimensionado para ações atuantes antes da cura do concreto. A NBR 8800 (NBR 8800, 2008) recomenda ainda que a linha neutra plástica da estrutura esteja posicionada dentro da laje de concreto, ou seja, $a \leq t_c$ (ver Figura 1).

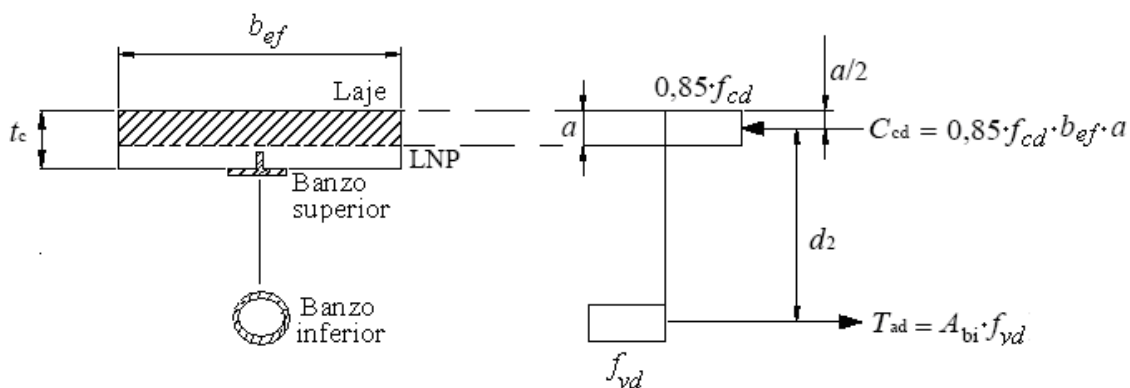


Figura 1: Forças de equilíbrio na seção de uma treliça mista

Para os estados limites de utilização quanto às deflexões máximas que uma treliça mista pode apresentar, a NBR 8800 (NBR 8800, 2008) recomenda calcular o momento de inércia da seção mista, I_{mista} , transformando a área efetiva da laje de concreto em uma área equivalente de aço (utilizando as razões entre os módulos de elasticidade dos dois materiais), desprezando-se a zona tracionada do concreto e o banzo superior. Para considerar o efeito das deformações por cisalhamento nos elementos metálicos, recomenda-se subtrair do valor do momento de inércia calculado para a seção mista 15% do valor do momento de inércia da seção obtido ao se considerar apenas os elementos metálicos da treliça, I_{met} , obtendo-se o momento de inércia efetivo, I_{ef} , como mostra a Equação (1). Esta expressão foi proposta inicialmente por Chien & Ritchie (Chien & Ritchie, 1984). A CAN/CSA (CAN/CSA, 2003) apresenta uma expressão para o cálculo do momento de inércia efetivo um pouco diferente. Esta expressão está indicada na Equação (2) na qual o fator “P” leva em consideração o grau de interação entre os elementos de aço e a laje de concreto. Caso haja interação total este fator pode ser considerado igual a 1,0.

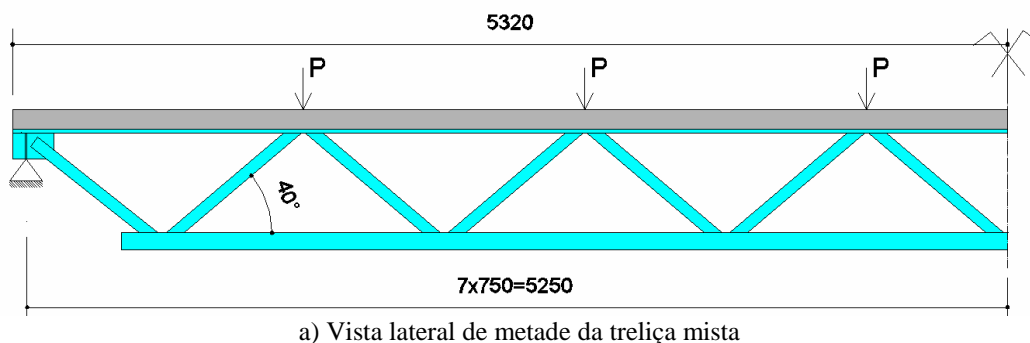
$$I_{ef} = I_{mista} - 0,15I_{met} \quad (1)$$

$$I_{ef} = 0,15I_{met} + 0,85P^{0,25}(I_{mista} - 0,15I_{met}) \quad (2)$$

3 ANÁLISE NUMÉRICA

3.1 Treliças mistas analisadas

As análises numéricas consideraram duas treliças mistas com 10500 mm de vão (Figura 2a) tendo a laje de concreto 2000 mm de largura e 100 mm de espessura. Nos elementos das diagonais foram considerados perfis em seção tubular circular (CHS 60,3 x 8,7). Para ligar a laje aos elementos das diagonais foi utilizado um conector de cisalhamento em placa perfurada “perfobond” contínuo com 50,8 mm de altura e 12,7 mm de espessura com furos circulares com 30 mm de diâmetro. Este conector foi soldado uma barra chata com largura igual a 88,9 mm e 15,88 mm de espessura que também está soldada aos elementos das diagonais. No banzo inferior foi utilizado um perfil em seção tubular circular (CHS 88,9 x 7,6 - Figura 2b) na treliça mista com a primeira configuração e em seção tubular quadrada (SHS 110 x 110 x 4,8 - Figura 2c) na treliça mista com a segunda configuração. Os elementos desta treliça foram dimensionados considerando-se carregamentos concentrados acima dos nós superiores da treliça e prevendo-se que o colapso da estrutura ocorresse por flexão com o banzo inferior escoando por tração seguindo-se as recomendações da NBR 8800 (NBR 8800, 2008) e da CAN/CSA (CAN/CSA, 2003).



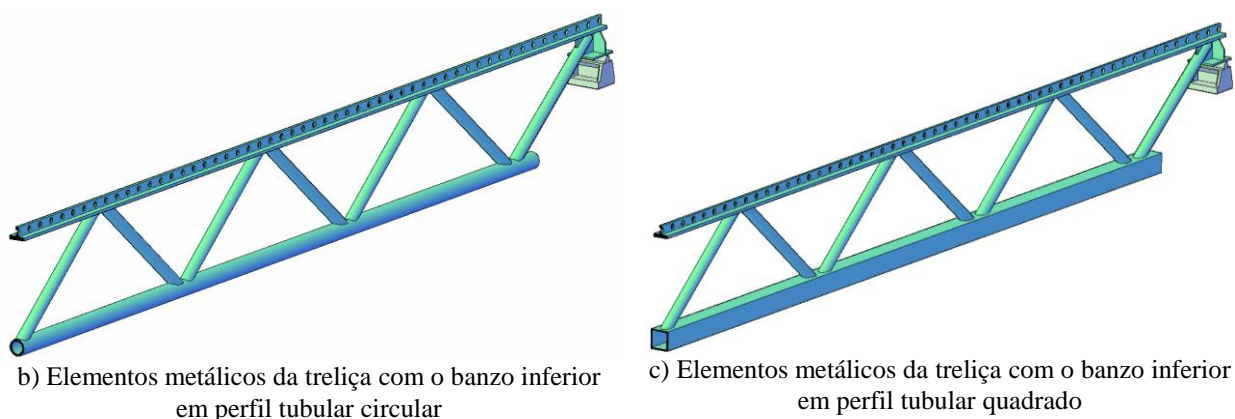


Figura 2: Detalhes das treliças mista avaliadas

3.2 Definição dos modelos numéricos

Para a análise numérica das treliças mistas são propostos dois modelos numéricos em elementos finitos, com dois níveis diferentes de detalhamento, utilizando o programa computacional ANSYS (Ansys, 2009). Os resultados obtidos com os modelos serão comparados entre si e com outros obtidos de forma analítica utilizando as prescrições normativas descritas no item 2. Na primeira modelagem é utilizado um pórtico plano com os elementos finitos de barras coincidindo com o eixo que passa pelo centróide da seção transversal dos elementos estruturais e considerando elementos ligados entre si por nós rígidos [(Merril, 1992), (Chien & Ritchie, 1984)]. Neste caso, o conector de cisalhamento em placa perfurada foi discretizado como uma série de elementos lineares com uma seção transversal baseada na seção média da nervura de aço existente entre os furos do conector. A Figura 3 ilustra esta primeira modelagem. Devido à simetria foi analisada apenas metade da estrutura aplicando-se condições de apoio na região de simetria que garanta um mesmo comportamento de uma treliça inteira.

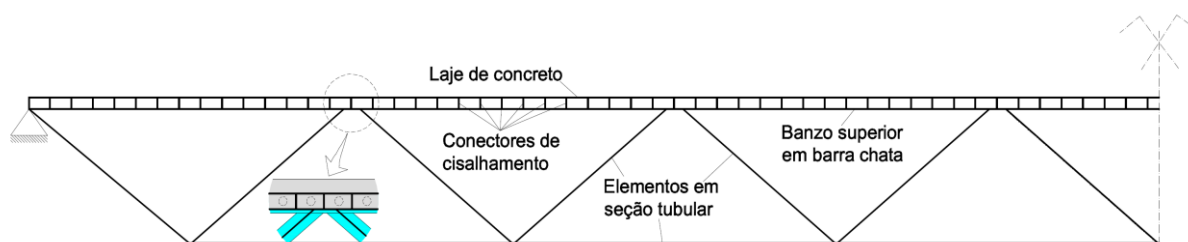


Figura 3: Detalhes do 1º modelo numérico utilizado.

Esta primeira modelagem é mais simples tem convergência rápida e pode apresentar bons resultados na avaliação global da estrutura à flexão. No entanto não consegue capturar os efeitos de esforços localizados que podem causar, por exemplo, a plastificação da parede do banzo em perfil tubular na região dos nós de ligação com os elementos das diagonais ou mesmo a perda de rigidez por fissuração da laje concreto. Neste primeiro modelo foi utilizado apenas o elemento finito de barra Beam 23 (Figura 4) disponível na lista de elementos finitos do programa computacional ANSYS. Este elemento tem dois nós e três graus de liberdade por nó com a capacidade de capturar a plastificação do material.

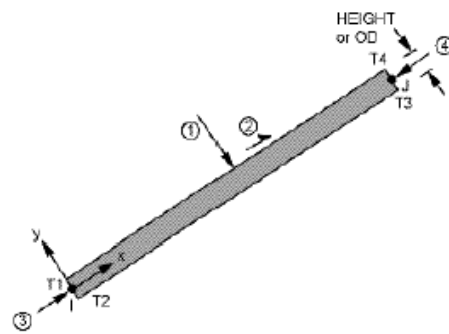


Figura 4: Geometria do Elemento Beam 23 (Ansys, 2009)

Na segunda modelagem foi feita uma análise tridimensional da estrutura. Foram utilizados elementos finitos específicos para cada componente estrutural da treliça mista, considerando o tipo de material e o comportamento em serviço destes componentes. Utilizou-se da simetria no plano transversal e também no plano longitudinal fatiando-se, virtualmente, a estrutura em quatro partes iguais (Figura 5) criando-se um modelo numérico com um quarto da estrutura, aplicando ao modelo condições borda de simetria que garantam que os resultados obtidos possam ser associados à estrutura como um todo.

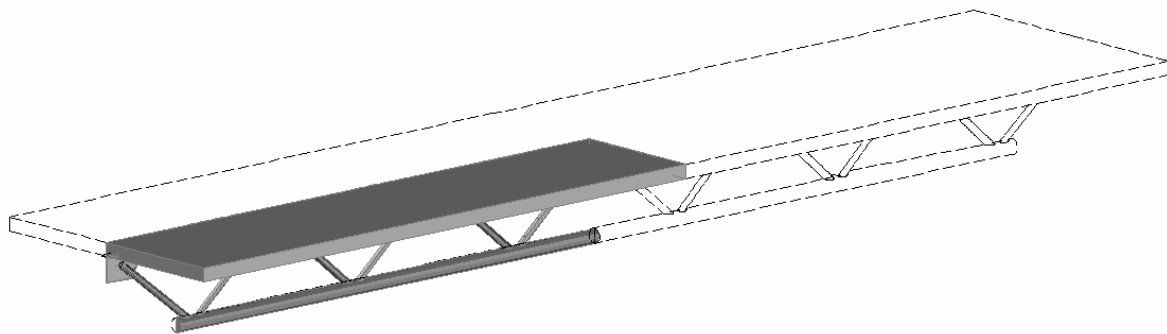


Figura 5: Fração da treliça mista utilizada como modelo na análise numérica

Na modelagem da laje utilizou-se o elemento finito tridimensional de concreto armado, Solid 65 (Figura 6a). Este elemento é definido por oito nós com três graus de liberdade por nó e tem a capacidade de representar as não-linearidades do material, considerando aspectos como a fissuração sob tração e o esmagamento sob compressão do concreto. Embora a armadura interna possa ser considerada difusa no elemento, optou-se por utilizar elementos independentes para a armadura que foi modelada utilizando o elemento finito Link 8 que tem dois nós com três graus de liberdade por nó (Figura 6b). A modelagem foi feita de forma que a posição de alguns nós dos elementos do concreto coincidisse com o alinhamento por onde passaria a armadura que foi modelada ligando estes nós como ilustra a Figura 6c. Este procedimento força uma condição de aderência perfeita entre a armadura e o concreto.

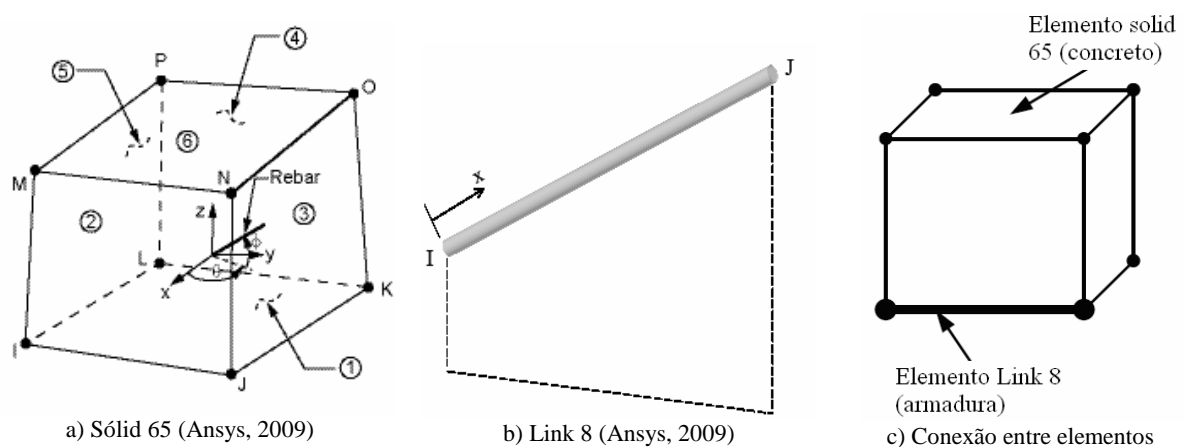


Figura 6: Geometria de elementos utilizados na modelagem da laje.

A modelagem dos banzos, conectores de cisalhamento e elementos da diagonal foi feita utilizando o elemento de casca Shell 181 (Figura 7a), que apresenta quatro nós com seis graus de liberdade por nó e que também tem a capacidade de simular o comportamento não linear do material. Optou-se pela utilização de elementos de casca para tornar possível a captura nas análises de eventuais plastificações localizadas que podem ocorrer nos nós de ligação de elementos feitos com perfis em seções tubulares. Este elemento vem sendo utilizado em estudos envolvendo estes perfis e tem apresentado bons resultados (Freitas, 2008). A modelagem foi feita de forma que a malha em elementos finitos interceptasse a parede do perfil tubular na distancia média entre a borda externa e a borda interna. A ligação da laje com os conectores de cisalhamento foi feita de forma que houvesse também uma coincidência de posição de nós dos elementos finitos da laje com nós dos elementos do conector de cisalhamento fazendo-se posteriormente o acoplamento destes nós forçando uma ligação rígida entre os dois elementos estruturais como mostra a Figura 7b. A Figura 8 mostra uma vista completa do modelo utilizado. Para facilitar a visualização de todos os elementos deixou-se na imagem a laje de concreto translúcida.

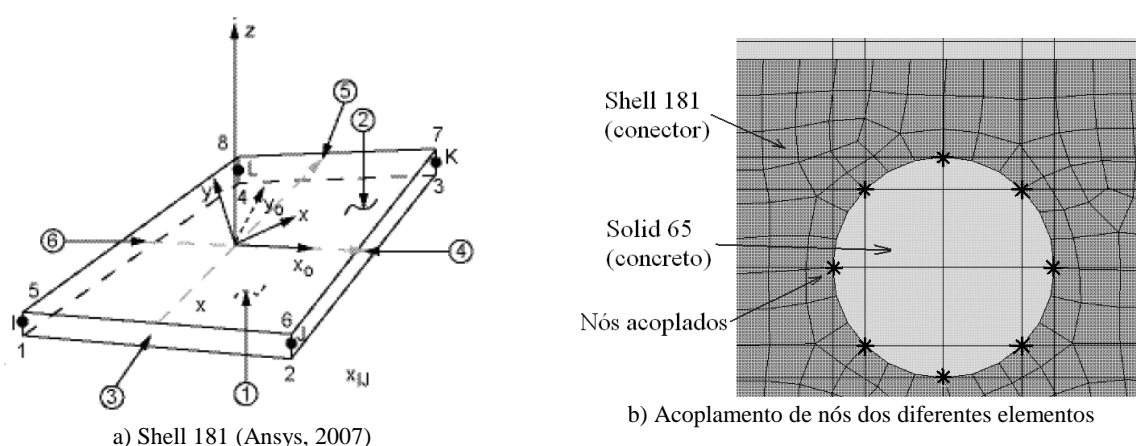


Figura 7: Detalhes do Elemento Shell 181 e da acoplagem de nós de elementos da laje e do conector

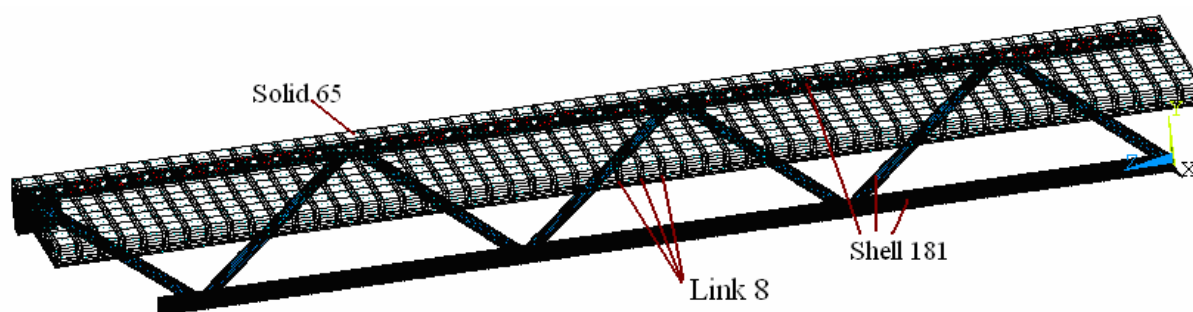


Figura 8: Vista geral do modelo numérico com a discretização em elementos finitos utilizada.

Na Figura 9 mostram-se detalhes dos modelos nas regiões de alguns nós. As Figuras 9a e 9b mostram detalhes de nós superiores onde se pode perceber como foram dispostas as armaduras em malha passando pelos furos do conector. Transversalmente aos conectores foram utilizadas 4 barras de aço que na região logo acima dos nós da treliça foram dobradas em forma de estribo para melhorar as condições de ancoragem do conector na laje e dar um melhor confinamento para o concreto nesta região. Em função da dobragem da armadura nesta região, passam pelos furos do conector duas barras, o que explica uma maior seção transversal da armadura nesta região. Pode-se perceber também nas Figuras 9c e 9d que na região dos nós da treliça houve uma melhor discretização dos elementos metálicos.

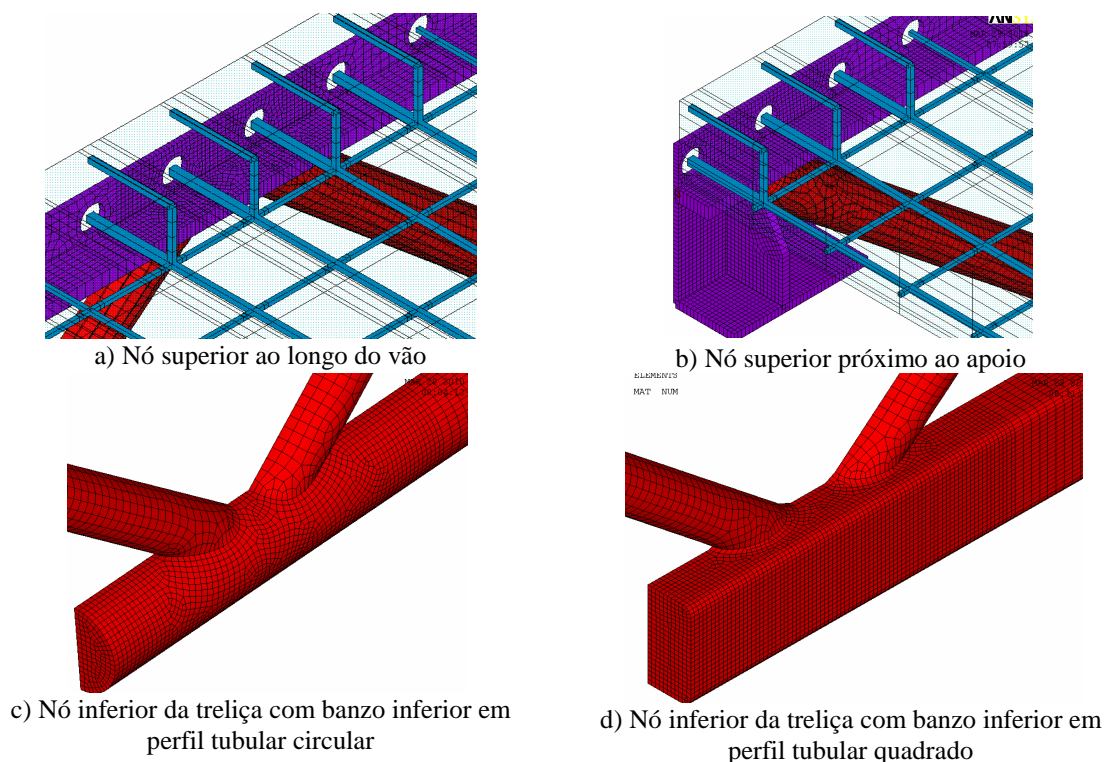


Figura 9: Detalhes da discretização nos nós de ligação utilizados na segunda modelagem.

Para a inserção das propriedades mecânicas dos materiais extrapolando-se o limite elástico de comportamento, utilizou-se de curvas de tensão x deformação não-lineares considerando o material isotrópico. Para o concreto esta curva foi definida seguindo-se as recomendações da Norma Brasileira de Concreto Armado (NBR 6118, 2007) com uma resistência à compressão, f_{ck} , igual a 25 MPa (Figura 10a). Foram fornecidos outros dados, como a resistência à tração e

módulo de elasticidade do concreto definidos a partir da resistência à compressão, seguindo as recomendações da mesma norma; o coeficiente de Poisson que foi adotado igual a 0,2; e coeficientes relativos à transferência de tensões de cisalhamento nas fissuras para os quais foram adotados os valores 0,3, para fissuras abertas, e 0,6, para fissuras fechadas. Para os elementos metálicos da treliça foi utilizada uma curva de tensão deformação obtida em ensaios com um dos materiais em geral utilizados na confecção de perfis em seção tubular. Este material apresentou um início de plastificação em torno de 300 MPa com um pequeno patamar de escoamento em torno de 310 MPa como ilustra a Figura 10b.

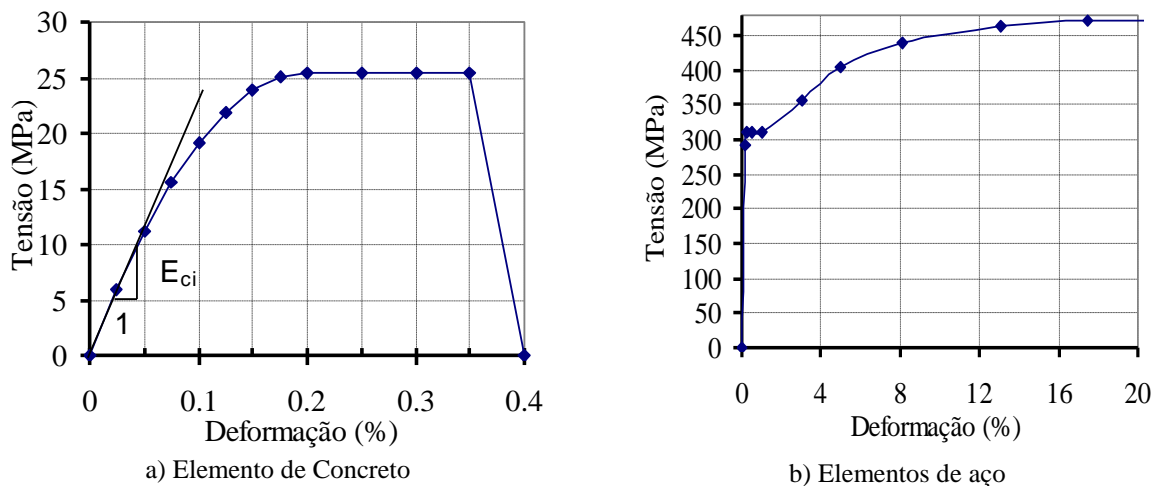


Figura 10: Curvas de tensão x deformação utilizadas como propriedades dos materiais.

3.3 Análise dos modelos

A aplicação do carregamento foi feita de forma localizada em regiões da laje acima dos nós superiores da treliça como mostra a Figura 2a. Optou-se por aplicar o carregamento por meio de incrementos de carga em função das não linearidades dos materiais utilizados e também para permitir uma coleta de resultados para cada carregamento crescente aplicado. Foi permitido ao programa ANSYS a escolha automática do valor incremento de carga, de forma que este incremento pudesse ser aumentado ou reduzido dependendo da velocidade de convergência do modelo durante as análises. No entanto, foram informados valores mínimo e máximo para estes incrementos respectivamente iguais a 1% e 10% do valor do carregamento de ruptura previsto. Foi utilizada uma análise com pequenos deslocamentos sendo o método de resolução do sistema de equações não-lineares e os critérios de convergência definidos automaticamente pelo programa. Para avaliação dos elementos de concreto o programa utiliza o critério de ruína de William e Warnke *apud* (ANSYS, 2009) para considerar o esmagamento e/ou fissuração do concreto. Este critério define uma superfície de ruptura tridimensional a partir dos valores das resistências à tração e à compressão do concreto informados previamente. O esmagamento ou fissuração do concreto ocorre quando todas as tensões principais de compressão ou alguma tensão de tração, respectivamente, corresponderem a pontos situados fora da superfície de ruptura.

3.4 Resultados obtidos

Ao se observar as curvas de carga x deflexão obtidas nas análises da treliça que tem o banzo inferior em perfil tubular circular (Figura 11a) percebe-se que a estrutura apresentou comportamento dúctil até a ruptura. Foi observado que os resultados obtidos nas análises, com

ambos os modelos numéricos aproximaram-se bem entre si e daqueles obtidos analiticamente seguindo-se as recomendações da norma Canadense (CAN/CSA, 2003), havendo uma pequena divergência dos resultados obtidos seguindo-se as recomendações da norma Brasileira (NBR 8800, 2008). Após ser atingida a carga teórica limite, no regime elástico, a partir da qual se inicia o escoamento do banzo inferior ocorre também uma perda de linearidade nos resultados de carga x deflexão obtidos numericamente. Houve um aumento no carregamento aplicado em aproximadamente 5,0 kN desde que iniciou-se o processo de plastificação do banzo inferior até a plastificação total da seção quando se atingiu o carregamento limite obtido com o modelo proposto na Figura 1. Nas análises numéricas foi possível avançar além deste carregamento limite de forma que a estrutura deformasse plasticamente até a perda de convergência na análise. Como o segundo modelo numérico consegue capturar possíveis plastificações localizadas houve uma perda de convergência mais rápida em relação ao primeiro modelo.

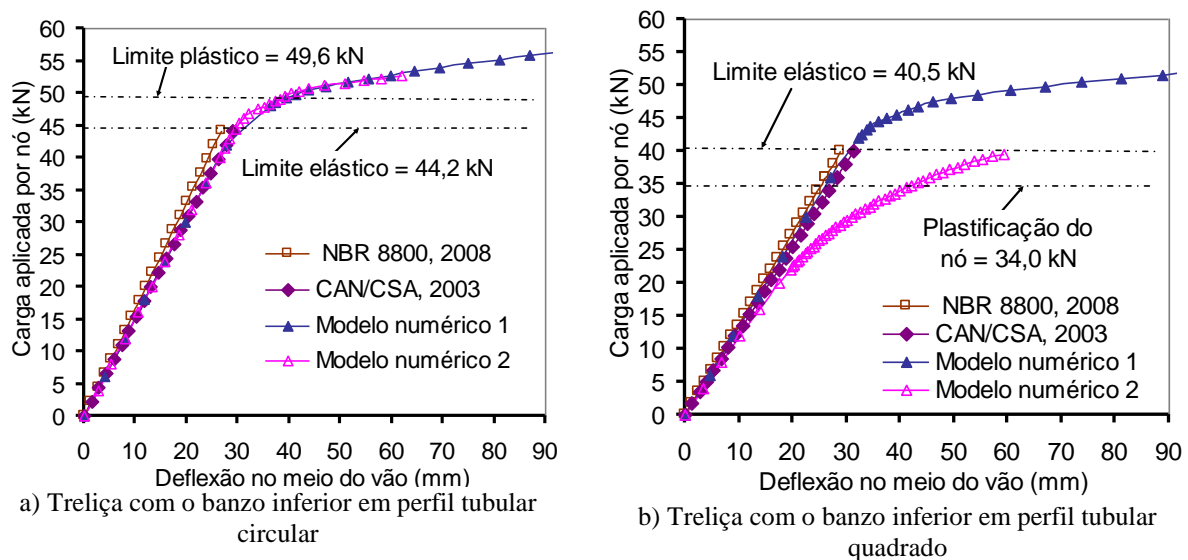


Figura 11: Curvas de carga x deflexão obtidas numericamente e de forma analítica

Nas análises da treliça mista com o banzo inferior em perfil tubular quadrado percebe-se, nas curvas de carga x deflexão (Figura 11b), que para os carregamentos iniciais também ocorre uma aproximação entre os resultados obtidos com os modelos numéricos e com as expressões propostas por normas. Uma divergência de resultados é observada com modelo numérico 2 aproximadamente a partir do carregamento 20,0 kN onde se observa uma perda gradativa de rigidez da estrutura. Isto ocorreu devido a plastificações localizadas nas paredes do banzo inferior na região dos nós de ligação com os elementos das diagonais como pode ser observado na Figura 12b. Na Figura 11b é indicado o valor de carregamento que teoricamente levaria o primeiro nó a se plastificar que seria de 34,0 kN. Este carregamento foi definido utilizando expressões apresentadas inicialmente na literatura (Packer, 1992) e posteriormente incluídas, com certas adaptações, no Eurocode (Eurocode, 2005) e também no AISC (AISC, 2003). Estas expressões foram obtidas de forma empírica, utilizando expressões matemáticas e calibradas com dados experimentais considerando o nó de ligação totalmente plastificado. Percebe-se que é de fundamental importância que se avalie também nas análises os efeitos localizados nos nós de ligação quando se utiliza treliças confeccionadas em perfis tubulares, pois, neste caso, pode haver uma perda de rigidez da estrutura antes de se atingir a carga limite teórica prevista.

Na Figura 12 é apresentado o desenvolvimento dos esforços máximos observados nos elementos metálicos das treliças para o carregamento último. Para a treliça com o banzo inferior em perfil tubular circular (Figura 12a) percebe-se no banzo superior com o conector de cisalhamento uma concentração de esforços na região dos nós de ligação. Em relação aos elementos das diagonais os maiores esforços foram observados nos elementos próximos do apoio, como era de se esperar. No banzo inferior, apesar de algumas áreas com concentração de esforços nos nós de ligação, os maiores esforços são observados no meio do vão mostrando que realmente houve a ruptura deste elemento por plastificação como definido previamente em projeto. Para a treliça com o banzo inferior em perfil tubular quadrado (Figura 12b) observa-se que houve a ruptura por plastificação na região dos nós inferiores antes da plastificação do banzo inferior no meio do vão, o que forçou também a geração de maiores esforços nos elementos das diagonais.

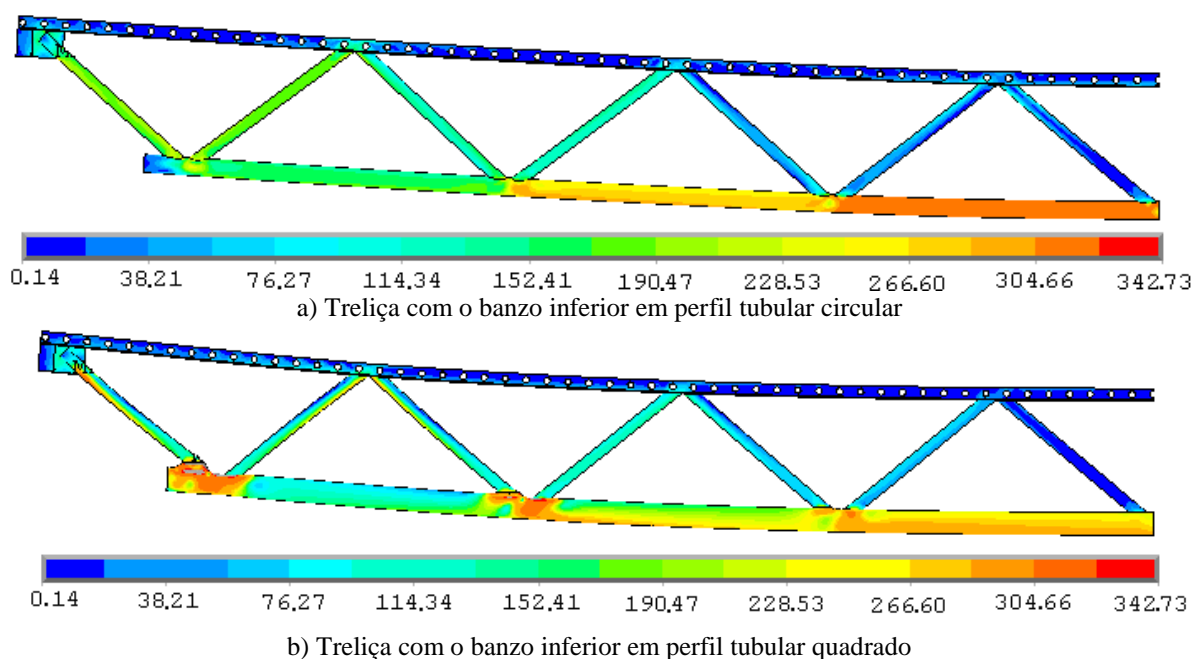


Figura 12: Diagrama em cores das tensões de Von Mises (em MPa) em cada elemento das treliças

Na Figura 13b mostra-se que este processo de plastificação na região do nó realmente iniciou-se para um carregamento próximo de 20 kN a partir do qual começa-se a observar um aumento gradativo de deformações no local com o crescimento do carregamento aplicado. Estas plastificações localizadas influenciaram o comportamento da estrutura como um todo como já observado na curva de carga x deflexão obtida com o modelo numérico 2 (Figura 11b), como pode ser observado ao se comparar as estruturas deformadas nas Figuras 12a e 12b e também no padrão de fissuração da laje mostrado na Figura 14. Na Figura 14 pode-se observar que em ambas as treliças houve a formação de fissuras na região dos nós superiores causadas por esforços de cisalhamento principalmente no segundo nó da esquerda da treliça para a direita. No caso da treliça com o banzo inferior em perfil tubular circular pode-se perceber que há uma maior formação de fissuras no meio do vão na face inferior da laje causadas pela flexão da estrutura. No caso da treliça com o banzo inferior em perfil tubular quadrado há uma progressão das fissuras causadas por cisalhamento indicando um possível fendilhamento da laje próximo do apoio até o segundo nó superior. Há também uma concentração de fissuras próxima do segundo e do terceiro nó superior da treliça e que se

estenderam ao longo da largura da laje. Estas fissuras podem ter sido causadas pela flexão da laje com a perda de rigidez do nó inferior plastificado.

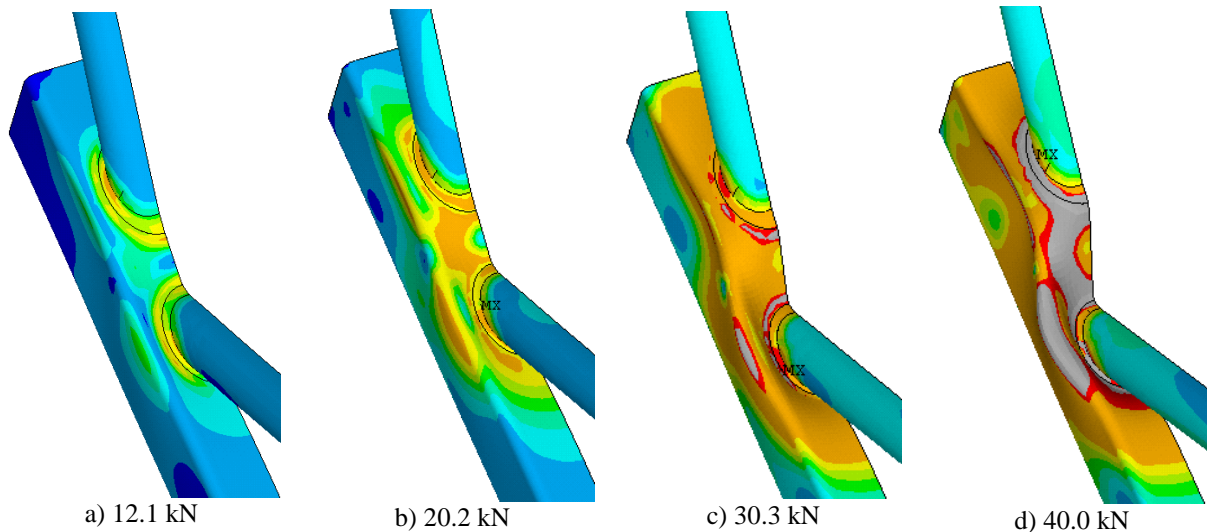


Figura 13: Diagrama em cores com o processo de plastificação do primeiro nó inferior com o crescimento do carregamento aplicado

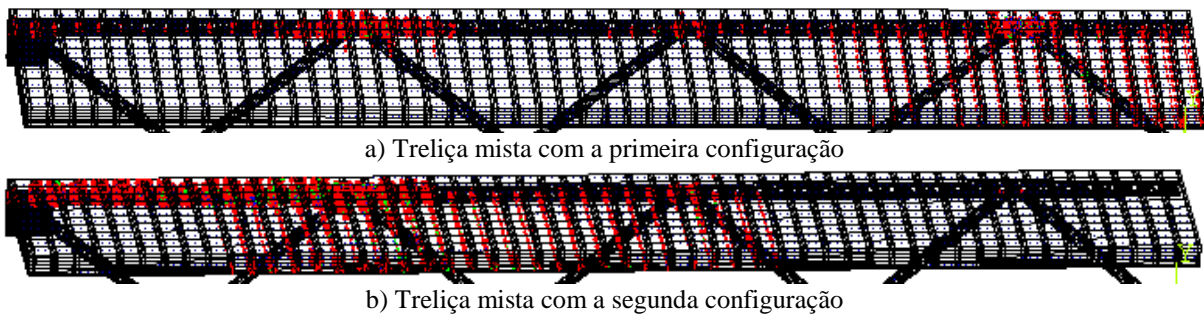


Figura 14: Processo de fissuração observado na laje para os carregamentos últimos

4 CONCLUSÕES

Os modelos numéricos utilizados apresentaram bons resultados para a treliça mista com a primeira configuração (banzo inferior em perfil tubular circular). O primeiro modelo é mais simples, tem um processamento mais rápido e pode conduzir a bons resultados uma vez que se obtêm os esforços em cada elemento, em tempo real, para cada carregamento; e permite de acordo com a rigidez do elemento ou de sua ligação que o mesmo absorva possíveis esforços de flexão localizados. No entanto este modelo pode apresentar problemas ao ser utilizado naquelas treliças mistas nas quais haja fissurações excessivas na laje. Mostrou-se também neste trabalho que este tipo de modelo deve ser utilizado nas treliças nas quais não há riscos de haver problemas localizados nos nós como é o caso de treliças confeccionadas utilizando perfis tubulares e como ocorreu na treliça mista analisada com a segunda configuração (banzo inferior em perfil tubular quadrado). O modelo numérico 2 apresentou resultados mais precisos e confiáveis, mas requer um trabalho maior na modelagem e um tempo de processamento da estrutura também maior. Este modelo conseguiu avaliar a perda de estabilidade da estrutura por plastificação na parede do banzo inferior. Foi possível observar que nos nós de ligação das treliças mistas pode haver uma concentração de esforços principalmente quando se utiliza nestas estruturas perfis em seção tubular. Já em relação às

formulações propostas em normas para avaliar o comportamento de treliças mistas, percebe-se que em relação à treliça mista na qual não havia a previsão de problemas localizados os resultados obtidos aproximaram-se dos resultados numéricos, com uma aproximação melhor dos resultados obtidos com as formulações apresentadas pela norma canadense (CAN/CSA, 2003). Conforme mostrado estas formulações não devem ser utilizadas isoladamente nas treliças nas quais existe a possibilidade de ocorrer problemas localizados. O estudo também mostrou que a utilização de uma barra chata no banzo superior pode ser uma opção mais compatível com o conceito adotado no dimensionamento de treliças mista no qual o banzo superior é desconsiderado para os carregamentos últimos, e pode ter um comportamento estrutural totalmente favorável trabalhando em conjunto com o conector de cisalhamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP, CNPq, FAPEMIG.

REFERENCIAS

- ABNT, NBR 8800. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT, NBR 6118, Projeto de Estruturas de Concreto-Procedimento, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, Rio de Janeiro, 2007.
- AISC, AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*. Chicago, 2003.
- ANSYS. User's manual for revision 11: *Swanson Analysis Systems*. Inc. Houston, PA, 2009.
- CAN/CSA-S16-01: CANADIAN STANDARD ASSOCIATION. *Limit States Design of Steel Structures*. 2003.
- CHIEN, E. Y. L.; RITCHIE, J. K. Design and Construction of Composite Floor Systems, Chapter 5 – Composite Open Web Steel Joists and Trusses. *Canadian Institute of Steel Construction*. Ontário, 1984.
- EUROCODE 3. *Design of steel structures - Part 1-8: Design of Joints*. prEN 1993-1-8:2005
- FREITAS, A.M.S; MENDES, F.C.; STEVES, S. Numerical analysis of hollow section T joints with residual stresses *Proc. of XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. Santiago, Chile, 2008.
- MERRIL, S. O. Design of Composite Trusses. *The Steel Construction Institute*. SCI-083. Ascot, 1992.
- PACKER, J.A.; et all. Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. *Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire*. Germany, 1992.