



V CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
V NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
25 a 28 de agosto de 2008 – Salvador – Bahia - Brasil
August 25 – 28, 2008 - Salvador – Bahia – Brazil

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PEÇAS DE TUBULAÇÃO TIPO Y, CONFORME O CÓDIGO ASME, SECTION VIII, DIVISION 2

Miguel Mattar Neto, mmattar@ipen.br¹

Carlos Alexandre de Jesus Miranda, cmiranda@ipen.br¹

Gerson Fainer, gfainer@ipen.br¹

¹IPEN-CNEN/SP – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP 05508-000, São Paulo, SP, BRASIL

Resumo: Por questões de arranjo físico muitas vezes são utilizadas peças não padronizadas nas tubulações industriais. Essas peças não padronizadas não têm os fatores de flexibilidade e os índices de tensões disponibilizados nos códigos e normas aplicáveis (como, por exemplo, a norma ASME B31.3 - Process Piping) necessários para as análises de flexibilidade e de tensões das linhas. Nessas situações as avaliações estruturais e de tensões podem ser desenvolvidas por meio de simulações numéricas com modelos de elementos finitos dessas peças. Nesse trabalho apresenta-se o estudo de peças tipo Y aplicáveis a linhas de tubulação de plantas petroquímicas. São empregados modelos de elementos finitos sólidos onde os carregamentos são a pressão interna, os esforços devido ao peso próprio e expansão térmica. As análises de tensões são realizadas de acordo com os requisitos do código ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2. Apesar de elevadas, as tensões calculadas nas condições de projeto e operação atendem os limites da norma. Como esperado, nesta geometria ocorre um elevado fator de intensificação de tensão nas regiões mais críticas.

Palavras-chave: tubulação, sistemas de tubulações, acessórios de tubulação, análise de tensões em tubulações

1. INTRODUÇÃO

A análise de tensões de sistemas de tubulação atende, em geral, aos padrões estabelecidos nas normas ASME B31.1 [2002] para plantas de potência convencionais, ASME B31.3 [2002] para plantas petroquímicas, ASME [2007], *Section III, Division 1*, NB, NC e ND para linhas de classe 1, 2 ou 3 de usinas nucleares. Essas normas contêm procedimentos padronizados para projeto e análise de tensões em tubulações e acessórios, tais como *Tee*, *Elbow*, *Weldolet*, *Sockolet*, *Reducer*, etc, de acordo com as condições de projeto e operação especificadas.

No entanto, para um acessório de tubulação como mostrado de modo esquemático na Figura 1, denominado “Peça Y”, nas normas citadas não há um procedimento que possa ser aplicado de modo a representar o campo de distribuição de tensões da referida peça, ou para se obter a tensão máxima atuante na peça.

Deste modo, a análise de tensões de uma linha incluindo a peça Y com um programa de análise de tensões de tubulação, tal como Triflex [2007] ou Caesar [2000], não vai capturar de modo correto as tensões reais atuantes na peça Y.

Neste caso, o acessório de tubulação “Peça Y” deverá ser analisado estruturalmente com modelo específico, de modo a se obter o campo de distribuição de tensões da peça em todos os seus detalhes, sendo necessário o mapeamento da sua geometria, incluindo os carregamentos aplicados, condições de contorno, realizar uma simulação numérica e analisar os resultados obtidos.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO: GEOMETRIA

A geometria da peça Y é o resultado da interseção entre três trechos de tubos cilíndricos retos. Um deles é colocado centralizado sobre um eixo paralelo ao eixo X, o segundo trecho de tubo é centralizado sobre um eixo inclinado a 45° do eixo X e o terceiro trecho de tubo é centralizado sobre um eixo inclinado a -45° do eixo X.

Na figura 1 podemos ver um desenho esquemático da geometria de uma peça Y (linhas cheias), com os prolongamentos das pernas (linhas pontilhadas), necessários para se realizar o acoplamento da peça com os vínculos aplicados ao modelo, e a indicação das regiões “1” e “2” da peça Y, onde serão analisadas as tensões resultantes oriundas da simulação numérica aplicada ao modelo da peça Y.

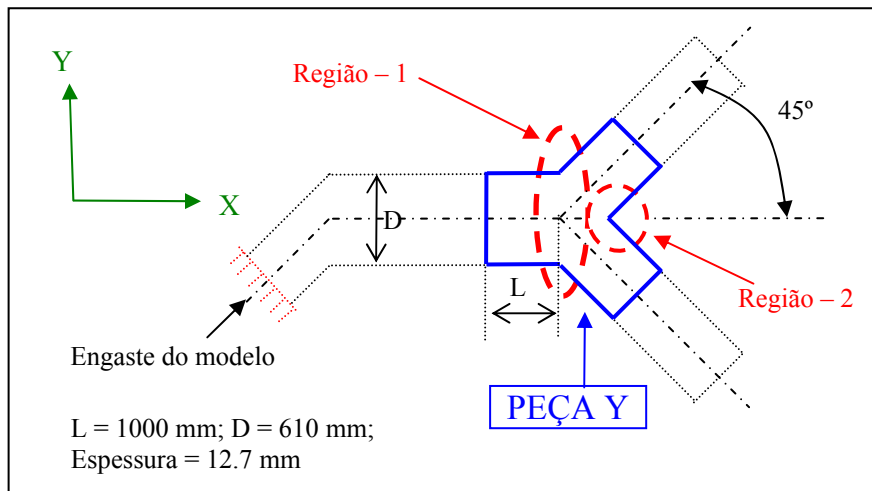


FIGURA 1: Modelo esquemático da Peça Y

3. MATERIAIS: PROPRIEDADES E LIMITES ADMISSÍVEIS

O material da peça Y é o aço carbono API-5L S1 x42 [B31.3, 2002], com as seguintes propriedades mecânicas:

- Módulo de elasticidade → E = 200 GPa
- Coeficiente de Poisson → $\nu = 0.34$
- Densidade → $\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$

Os limites de tensão admissíveis para o aço empregado na construção da peça Y, de acordo com as combinações de tensões definidas pelos itens 4-120 e 4-130 da referência [ASME, Appendix, 2007], são os seguintes:

- tensão primária geral de membrana (P_M) → S = 140 MPa
- tensão primária localizada de membrana (P_L) ou
tensão primária localizada de membrana (P_L) + tensão de flexão (P_b) → $1.5 \times S = 210 \text{ MPa}$
- tensão primária localizada de membrana (P_L) + tensão de flexão (P_b)
+ tensão secundária (Q) → $3.0 \times S = 420 \text{ MPa}$

4. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

A modelagem da geometria da peça Y, a simulação numérica e a análise dos resultados, foram desenvolvidas utilizando o programa de elementos finitos ANSYS versão 11.0 [ANSYS, 2007]. Por não haver simetria de geometria e carregamento simultâneos, a peça “Y” foi inteiramente modelada, figura 2, empregando-se o elemento finito sólido “SOLID95”, com 20 nós e três graus de liberdade por nó (deslocamentos: U_x , U_y e U_z), sendo que a espessura da peça foi discretizada com uma camada de elementos.

5. CONDIÇÕES DE CONTORNO e CARREGAMENTOS

As condições de contorno aplicadas ao modelo não podem influenciar as tensões resultantes da simulação numérica, portanto, deve-se realizar o desacoplamento do modelo em relação aos vínculos aplicados. Deste modo, as pernas da peça Y foram prolongadas, conforme recomendação do código ASME [ASME, Appendix, 2007], até uma distância “d”, Eq. (1), onde R é o raio e t a espessura do tubo em milímetros, e nos bordos livres foram definidas vigas radiais fictícias (sem massa) para manter a seção circular.

$$d \cong 2.5 * \sqrt{R * t} \quad (1)$$

A partir do modelo modificado, de acordo com a Eq. (1), as seguintes condições de contorno foram, então, aplicadas:

- * os deslocamentos nas direções X, Y e Z na posição “Engaste do Modelo” mostrada na Figura 1, foram restringidos para se evitar o movimento de corpo rígido do modelo;
- * foram aplicadas cargas mecânicas na extremidade das outras duas pernas da peça Y, para simular o fechamento do modelo quando se aplica o caso de carga de pressão interna mais peso próprio.

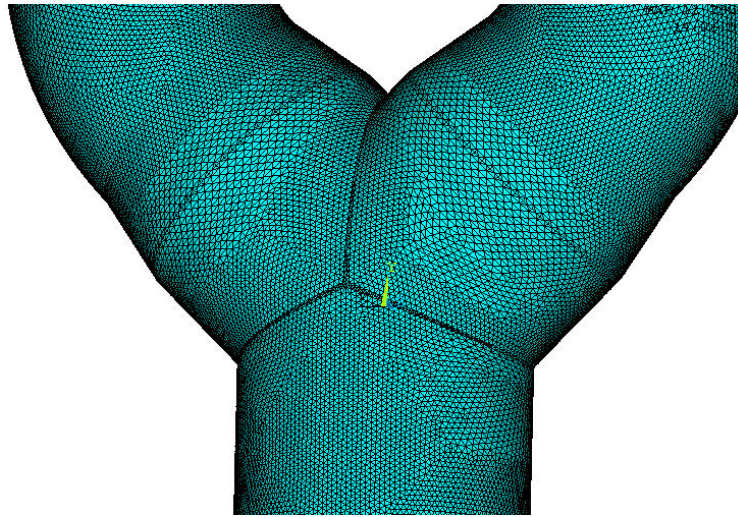


FIGURA 2: Malha de elementos finitos do modelo de cálculo da Peça Y

Os carregamentos aplicados ao modelo estão mostrados na tabela 1.

Tabela 1: Carregamentos aplicados ao modelo de cálculo da Peça Y

Tipo de carregamento	Valor
Pressão interna, p	3 N/mm ²
Temperatura de operação	120 °C
Peso próprio	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (aceleração da gravidade)

As combinações entre os carregamentos aplicados ao modelo, de acordo com as condições de projeto e operação da planta, para as verificações requeridas pelo código ASME [ASME, Appendix, 2007], estão mostradas na tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Condição da planta, aplicadas ao modelo de cálculo da Peça Y

Condição da Planta	Casos de Carga	Classificação de tensões ¹⁾	Limite admissível ²⁾
Projeto	Pressão Interna + Peso Próprio	Pl ou Pl + Pb	1.5 x S = 210 N/mm ²
Operação	Pressão Interna + Peso Próprio + Temperatura de Operação	Pl + Pb + Q	3.0 x S = 420 N/mm ²

¹⁾ – item 4-120 da referência [ASME, Appendix, 2007]

²⁾ – item 4-130 da referência [ASME, Appendix, 2007]

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o modelo de elementos finitos mostrado acima, foi realizada uma análise linear elástica, simulando as condições de projeto e operação da planta, onde foi analisada a distribuição de tensões da peça Y nas regiões “1” e “2”, conforme indicadas no desenho da figura 1.

Nas figuras de 3 até 10 são mostradas as distribuições de tensões equivalentes ‘de Tresca’, ou ‘Stress Intensity’, SI, que é definida na ref. [ASME, Appendix, 2007] como sendo a máxima diferença entre as tensões principais, σ_1 , σ_2 e σ_3 , conforme Eq. (2).

$$SI = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_1 - \sigma_3|) \quad (2)$$

As figuras 3 e 4 mostram a distribuição das tensões SI no modelo completo (condições de projeto e operação) que são afetadas pelas condições de contorno. Já as figuras 5 a 10 mostram a distribuição das tensões SI nos elementos em volta das regiões “1” e “2” de interesse da análise, sendo: figuras de 5 a 8 – regiões “1” e “2” – condição de projeto; figuras de 9 a 10 – regiões “1” e “2” – condição de operação.

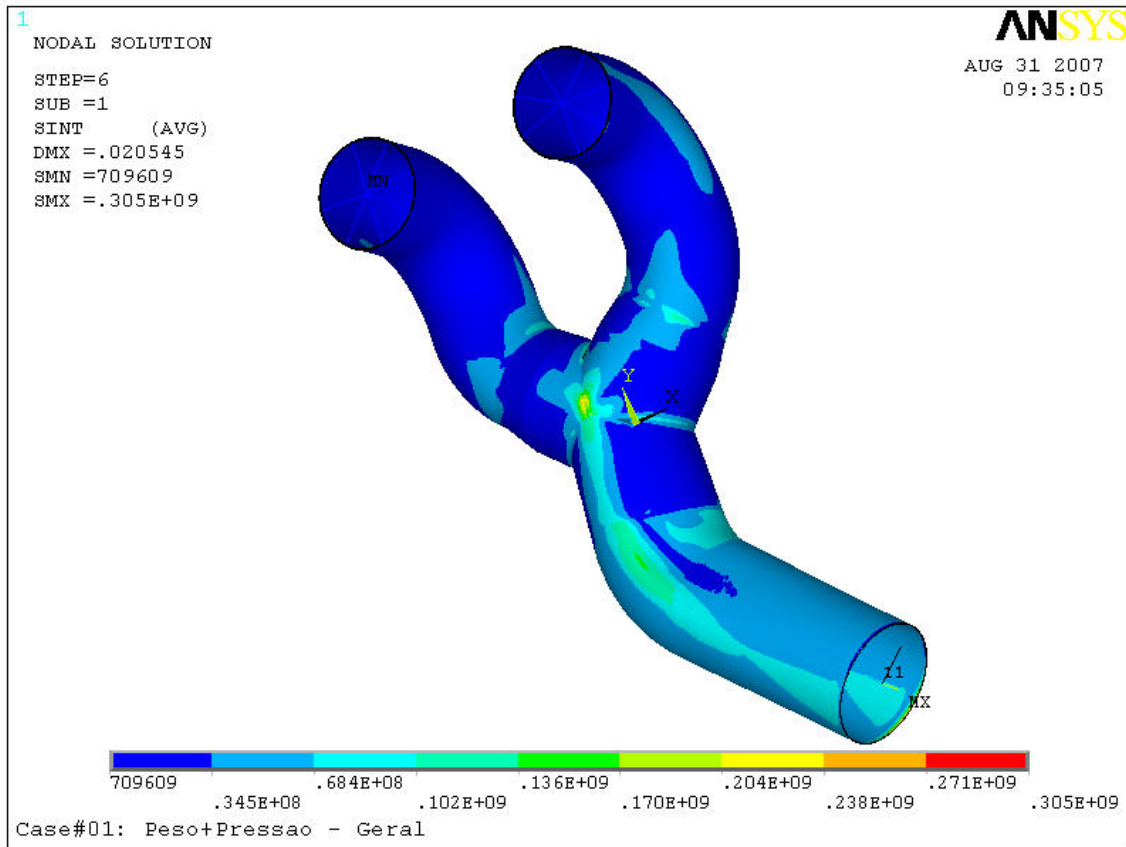


FIGURA 3: Distribuição de Tensões SI no modelo – Projeto (N/m^2)

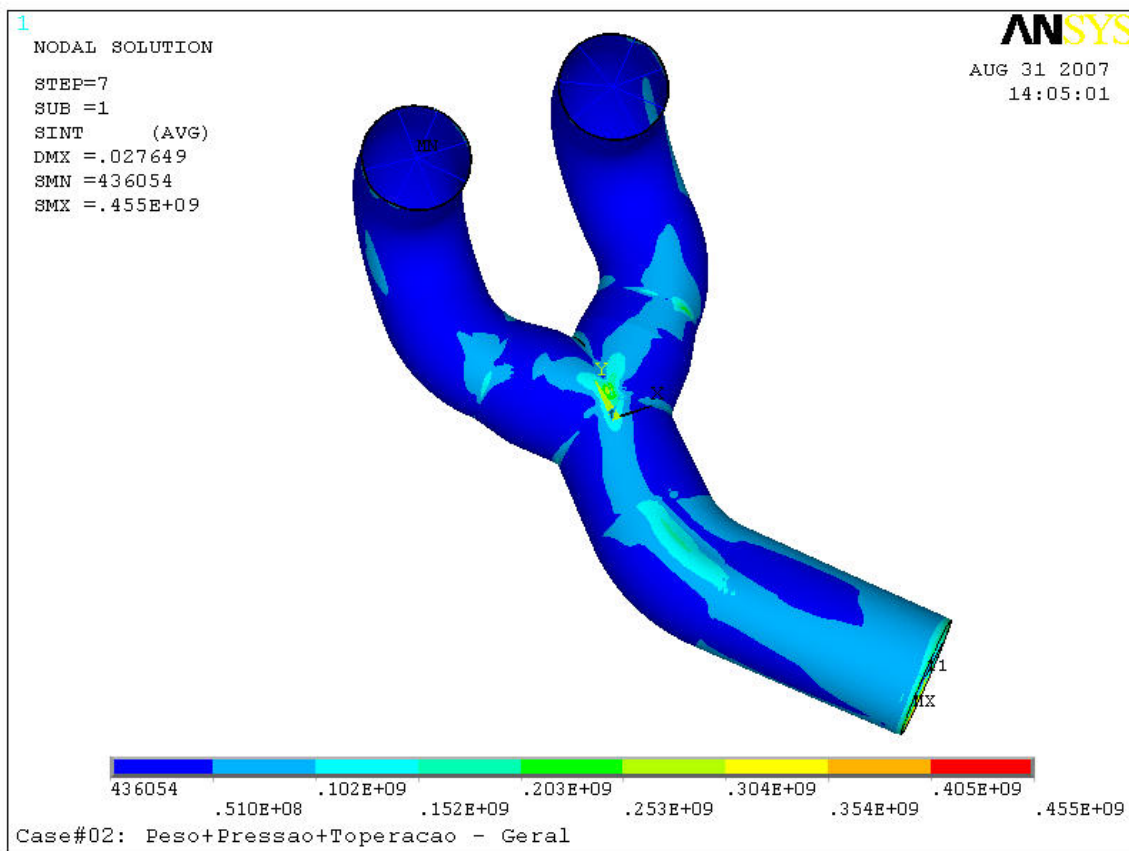


FIGURA 4: Distribuição de Tensões SI no modelo – Operação (N/m^2)

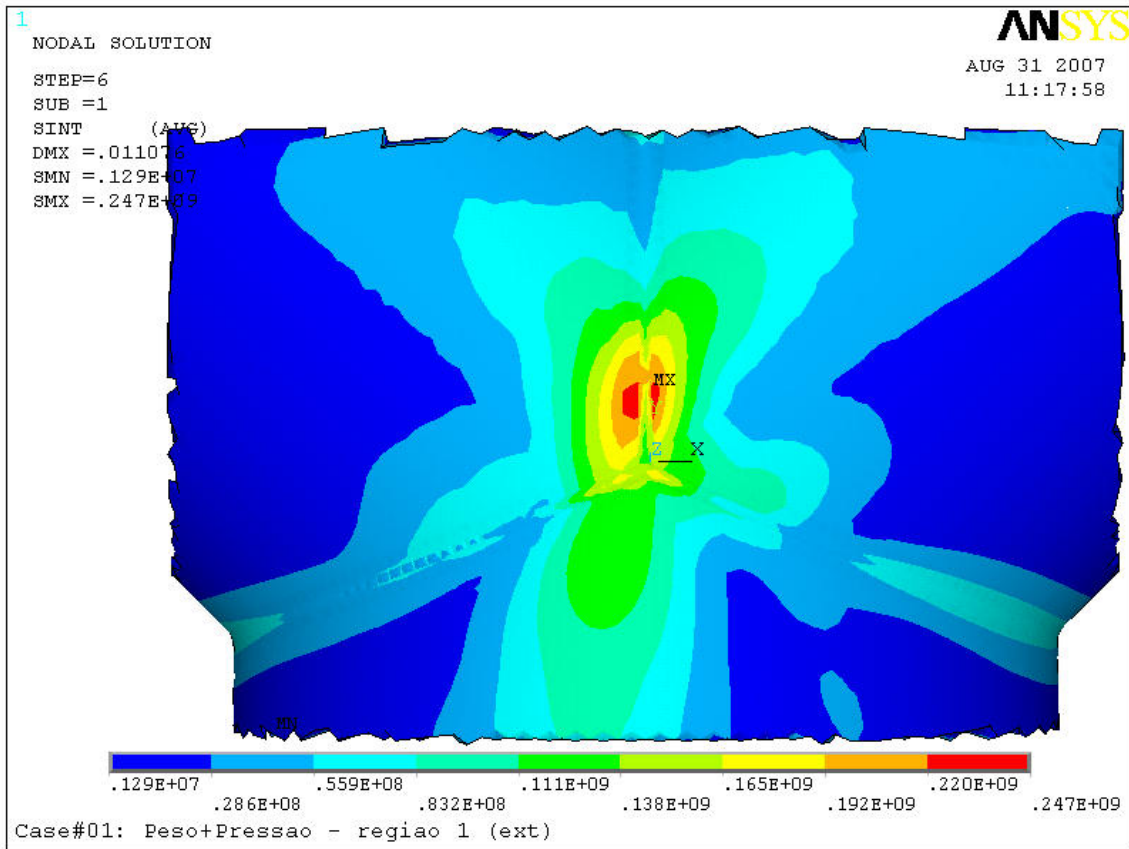


FIGURA 5: Distribuição de Tensões SI na região_1 – lado externo - Projeto (N/m^2)

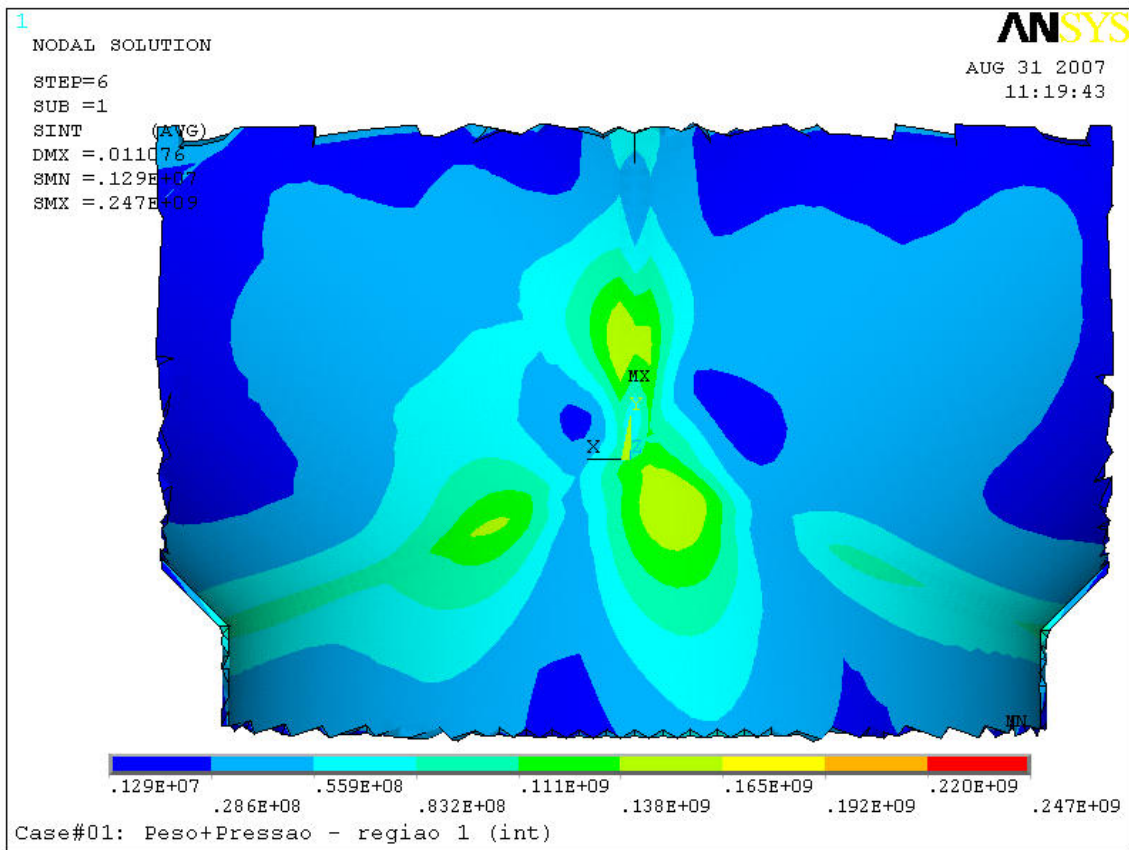


FIGURA 6: Distribuição de Tensões SI na região_1 – lado interno - Projeto (N/m^2)

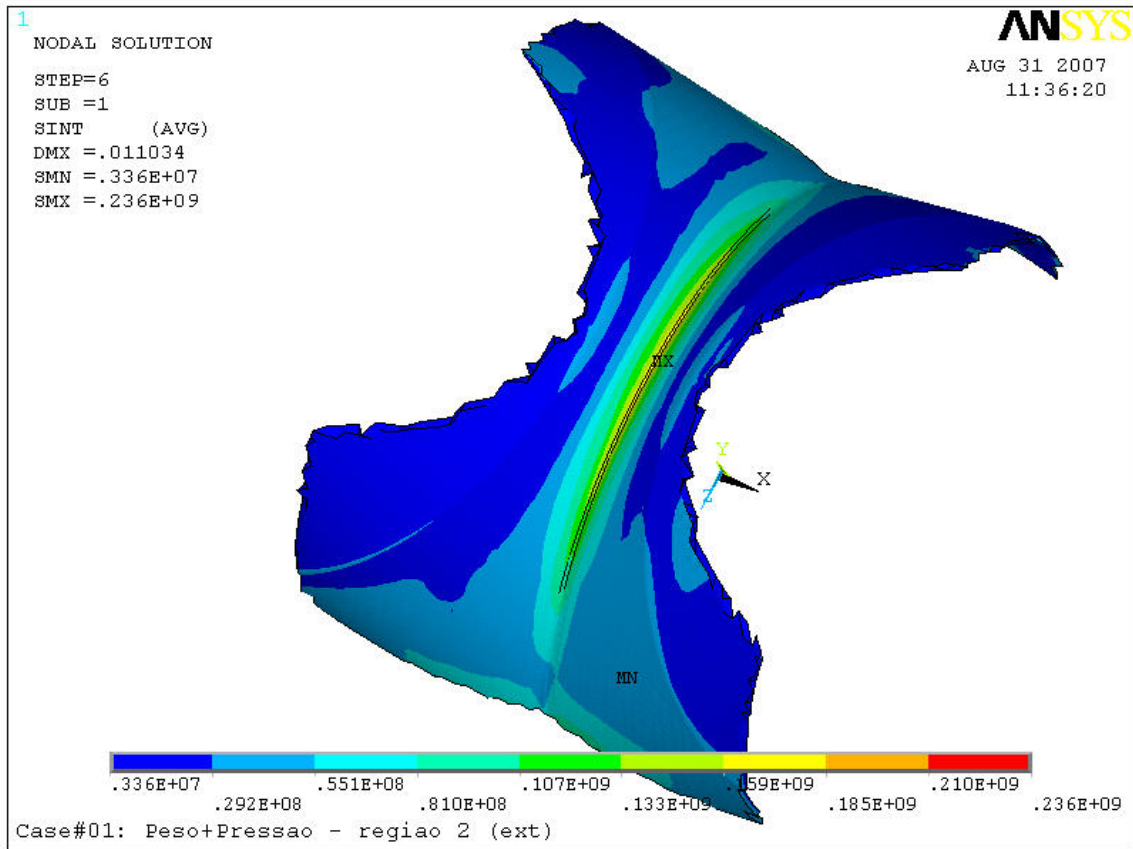


FIGURA 7: Distribuição de Tensões SI na região_2 – lado externo - Projeto (N/m²)

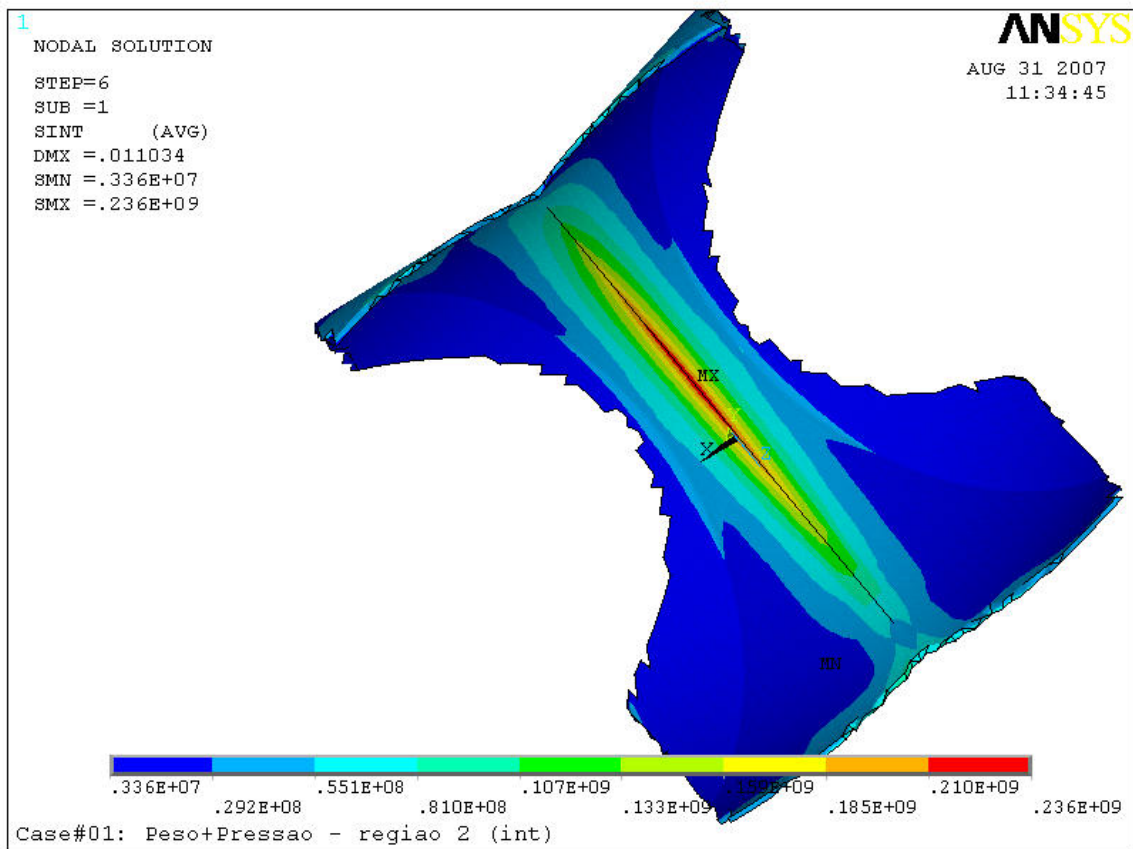


FIGURA 8: Distribuição de Tensões SI na região_2 – lado interno - Projeto (N/m²)

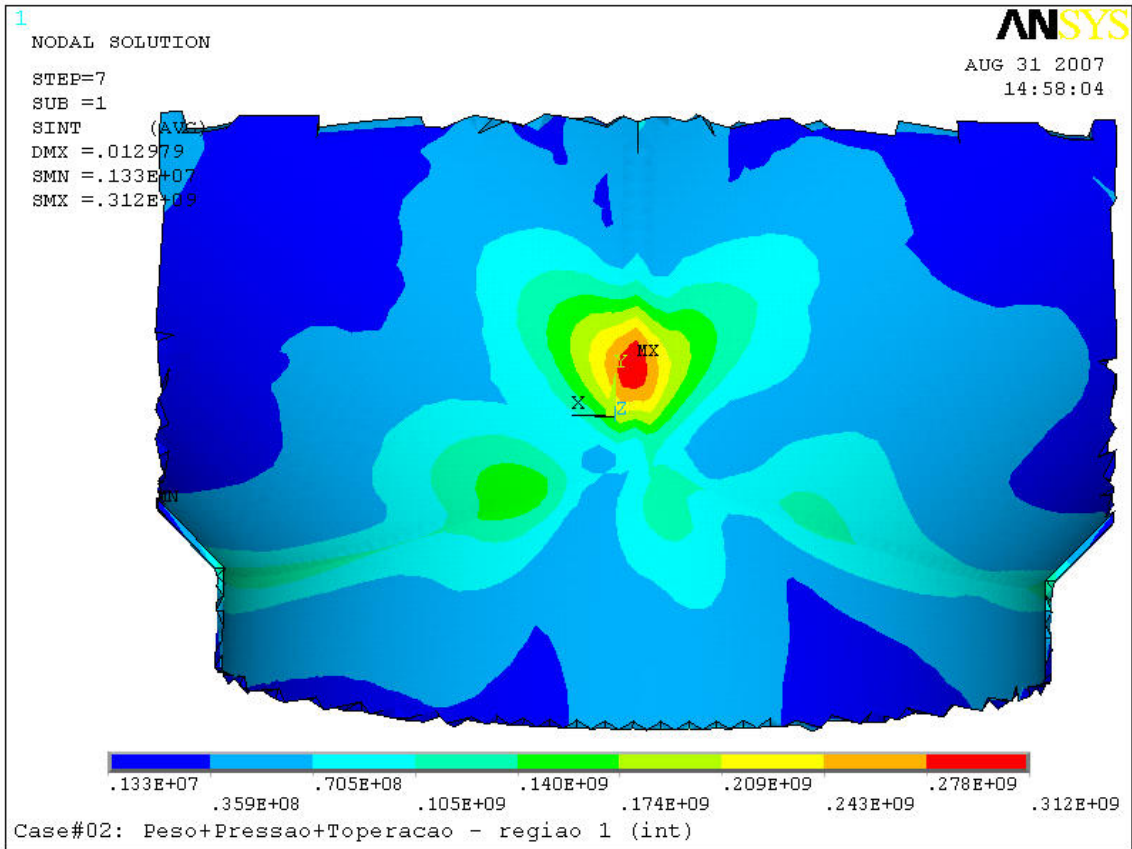


FIGURA 9: Distribuição de Tensões SI na região_1 – lado interno – Operação (N/m²)

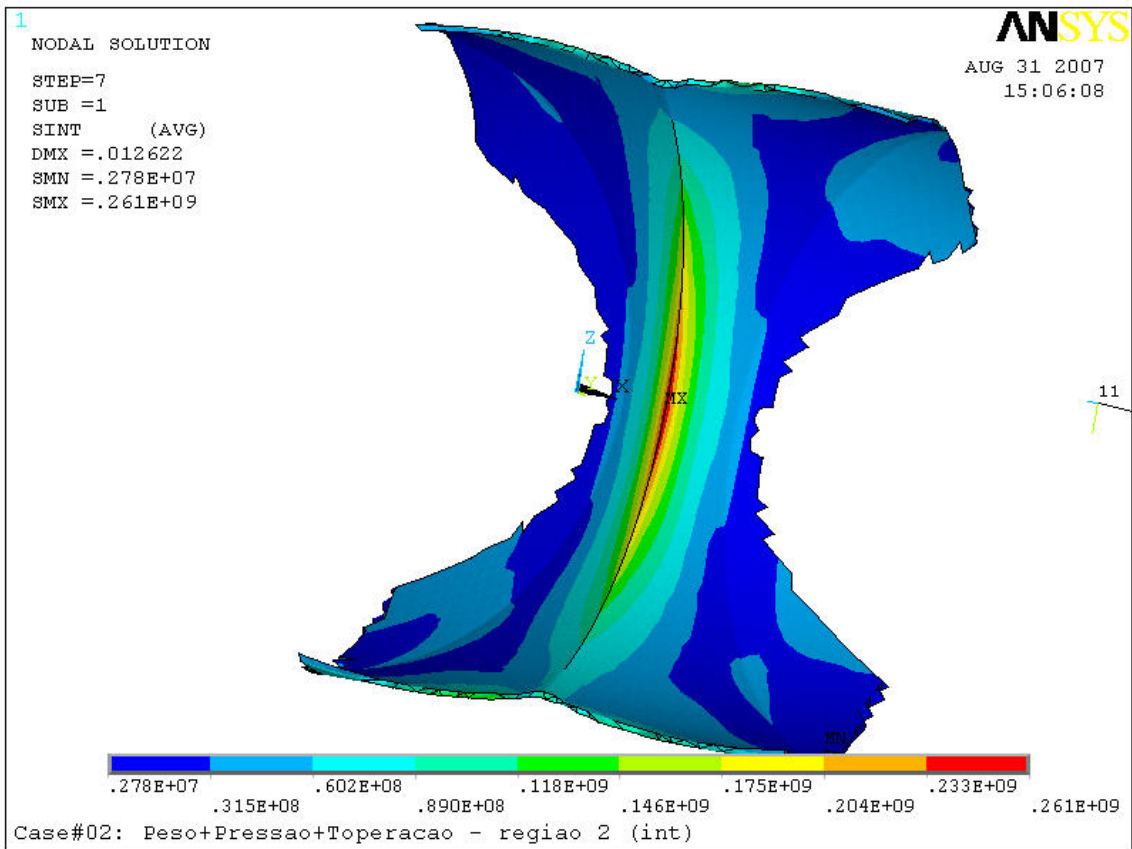


FIGURA 10: Distribuição de Tensões SI na região_2 – lado interno – Operação (N/m²)

Nas tabelas 3 e 4 estão mostrados os valores máximos de SI extraídos das figuras 5 a 10, para os casos de carga de projeto e de operação.

Tabela 3: Tensões calculadas para a Peça Y na condição de projeto

		PROJETO			
		Tensão (N/mm ²)	Tensão Média (N/mm ²)	Classificação de tensões ¹⁾	Limite Admissível ²⁾ (N/mm ²)
Região - 1	Figura 5	247	192.0	Pl	210.0
	Figura 6	138			
Região - 2	Figura 7	133	184.0		
	Figura 8	235			

¹⁾ – item 4-120 da referência [ASME, Appendix, 2007]

²⁾ – item 4-130 da referência [ASME, Appendix, 2007]

A tensão média indicada na tabela 3 foi obtida fazendo-se a média aritmética entre os valores máximos de tensão encontrados na superfície interna e externa de cada uma das regiões “1” e “2” analisadas da peça Y.

Para a região “1”, encontramos o valor máximo de SI do lado externo do tubo e o valor correspondente de tensão do lado interno, conforme indicado pelo símbolo “MX” nas figuras 5 e 6.

Para a região “2”, o valor máximo de SI está do lado interno do tubo e o valor correspondente de tensão do lado externo, conforme indicado pelo símbolo “MX” nas figuras 7 e 8.

Tabela 4: Tensões calculadas para a Peça Y na condição de operação

		OPERAÇÃO		
		Tensão (N/mm ²)	Classificação de tensões ¹⁾	Limite Admissível ²⁾ (N/mm ²)
Região - 1	Figura 9	312	Pl + Pb + Q	420.0
Região - 2	Figura 10	261		

¹⁾ – item 4-120 da referência [ASME, Appendix, 2007]

²⁾ – item 4-130 da referência [ASME, Appendix, 2007]

As tensões indicadas na tabela 4 são os valores máximos de SI para a região “1” e “2” da peça Y, do lado interno do tubo, de acordo com as figuras 9 e 10.

As tensões médias na espessura do tubo resultante das combinações de carregamentos aplicáveis ao modelo para as condições previstas de projeto, mostradas na tabela 3, e as tensões máximas previstas para a condição de operação, mostradas na tabela 4, atendem os limites admissíveis prescritos na referência [ASME, Appendix, 2007]: ARTICLE 4.1 – *Design based on stress analysis*.

Obs.: As tensões SI máximas indicadas nas figuras 3 e 4 não foram consideradas na análise da peça Y, porque elas aparecem na região dos vínculos do modelo.

6.1. Fator de intensificação de tensão, k

Com os resultados fornecidos pelas análises, podemos estimar o fator de intensificação de tensão k para a geometria da peça Y fazendo a relação entre a tensão média na espessura do tubo, P_L (tabela 3), que leva em conta a descontinuidade geométrica, e a tensão média calculada com a tensão teórica de membrana para um tubo reto, longe de singularidades geométricas, conforme a Eq. (3) onde p , R e t já foram definidos.

$$k \cong P_L / (p * R / t) \quad (3)$$

Aplicando-se os valores na Eq. 3, vamos obter um valor aproximado de 27 ($k \approx 27$), ou seja, um índice de intensificação de tensão bastante elevado, o que destaca a importância deste modelo de elementos finitos para a avaliação estrutural da peça Y.

Obs.: Em outros componentes mecânicos este fator k é o fator de concentração de tensões que não deve ser confundido com o fator intensidade de tensões, K , da mecânica da fratura.

7. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo de elementos finitos sólidos para se realizar o mapeamento da geometria de uma peça Y não-padrão, utilizada em linhas de tubulação de plantas petroquímicas, e a simulação numérica dos carregamentos de operação (pressão interna, peso próprio e expansão térmica) que forneceu resultados confiáveis para a avaliação estrutural conforme os requisitos do código ASME, *Section VIII, Division 2*. Apesar de elevadas, as tensões calculadas nas condições de projeto e operação atendem os limites da norma. Como esperado, nesta geometria ocorre um elevado fator de intensificação de tensão nas regiões mais críticas, tendo sido obtido um valor $k \approx 27$ (que é bastante elevado). Este fato destaca a importância da análise numérica por elementos finitos para a avaliação estrutural de peças não padronizadas como a peça Y deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

ASME B31.1, 2002, *Power Piping*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

ASME B31.3, 2002, *Process Piping*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

ASME, 2007, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1, Subsection NB: Class 1 Components*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

ASME, 2007, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1, Subsection NC: Class 2 Components*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

ASME, 2007, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1, Subsection ND: Class 3 Components*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

Triflex 3.1, 2007, *User's Guide*.

Caesar II, 2000, *Technical Reference Manual & User's Guide*.

ANSYS, 2007, versão 11.0, *ANSYS Structural Analysis Guide & Theory Reference Manual*.

ASME, Appendix, 2007, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2, Alternative Rules, Mandatory Appendices 4: ARTICLE 4.1 – Design based on stress analysis*. The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, USA.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STRUCTURAL ANALYSIS OF NON STANDARD “Y” FITTING, ACCORDING TO ASME, SECTION VIII, DIVISION 2

Miguel Mattar Neto, mmattar@ipen.br¹

Carlos Alexandre de Jesus Miranda, cmiranda@ipen.br¹

Gerson Fainer, gfainer@ipen.br¹

¹IPEN-CNEN/SP – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP 05508-000, São Paulo, SP, BRASIL

Abstract: *For layout reasons sometimes a non standard fitting might be applied in a commercial piping systems. In general, this kind of non standard fitting has no flexibility factor neither stress intensification factors (SIF) in the available codes (e.g., ASME code B31.3 – Process Piping) to perform flexibility and stress analysis of piping. In this case, structural evaluation and stress analysis can be performed through numerical simulation with finite element models of these pieces. The work developed here consist of the building model of a symmetrically shaped wye, usual in petrochemical plants, with solid finite element. The applied loads are internal pressure, thermal expansion and the forces due to the dead weight. Stress analysis are performed according to the requirements of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2. The results of the numerical simulations for the design and operational conditions indicate high stress levels, however within the ASME limits. As expected, high stress intensification factors were detected in this geometry, at the most critical points.*

Keywords: *piping, piping systems, fittings, piping stress analysis, solid (3D) finite element*