

ANÁLISE DE UMA TUBULAÇÃO COM MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS DE TUBO E DE CASCA FINA.

Petrus Gorgônio B. da Nóbrega
Júlio Ricardo Barreto Cruz
Carlos Alexandre de J. Miranda

COPESP - EMGEPRON
COPESP - IPEN-CNEN/SP
COPESP - IPEN-CNEN/SP

COPESP - Coordenadoria para Projetos Especiais
Rua Lineu Prestes, 2242
Cidade Universitária
São Paulo - SP 05508-900

RESUMO

Descreve-se a análise por elementos finitos de um trecho de tubulação, utilizando-se um modelo com elementos de tubo e um segundo modelo com elementos de casca fina. As tensões resultantes no primeiro modelo (9 elementos) possuem valores acima do máximo admissível, implicando na necessidade de se instalar um suporte rígido a fim de reduzi-las a um nível tolerável. Opta-se por reanalisar o mesmo trecho de tubulação, agora considerando elementos finitos de casca fina (modelo com 2300 elementos), mais preciso e realista, obtendo-se valores de tensão abaixo do limite admissível, o que dispensa a instalação do suporte.

ABSTRACT

A piping analysis by the finite element method is described, using two different models: one with pipe elements and the other with thin shell elements. In the first model (9 elements) the stresses are beyond the allowable limit, causing a rigid support to be placed in order to reduce their values. The piping is re-analyzed considering a bigger and more refined model of thin shell finite elements (2300 elements). In this last case the stresses are within the allowable limits, and the support becomes unnecessary.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de resfriamento principal (SRP) possui a função de fazer circular água para resfriar o condensador. Este sistema é constituído basicamente por 3 tubulações, chamadas de linha de sucção, intermediária e de descarga. A figura 1 apresenta, de forma esquemática, o SRP.

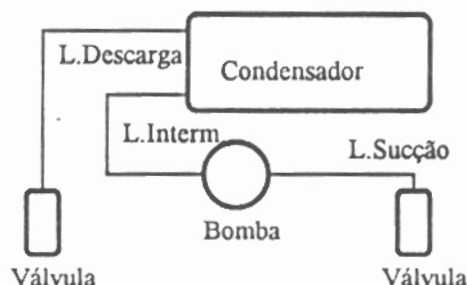


Figura 1. Esquema do sistema de resfriamento principal

Os principais carregamentos envolvidos na análise do SRP são a expansão térmica, o peso próprio e uma carga dinâmica impulsiva. Inicialmente, discretiza-se este sistema em elementos finitos de tubo, por meio de um programa computacional específico para tubulações, [1], e comparam-se as tensões atuantes com a norma ANSI/ASME B31.1 Power Piping Code, [2], adequada para o caso em questão.

A análise de frequências do SRP indica que os valores das frequências naturais são suficientemente altos para que se possa considerar este sistema como rígido para a carga impulsiva aplicada, a qual pode ocorrer em qualquer uma das três direções, x , y ou z , isoladamente. Desta forma, o carregamento dinâmico é substituído por uma carga estática equivalente. Os valores finais de tensão atuantes na estrutura são obtidos a partir daqueles causados por uma aceleração "unitária" ($1g$) igual a $9,81 \text{ m/s}^2$ atuando em uma dada direção; e posteriormente multiplicadas por um fator f_c , que corresponde ao valor máximo de aceleração do pulso de excitação dividido por 9,81.

As análises de expansão térmica e peso próprio indicam que o arranjo e a suportaçõ do sistema são adequados. Todavia, quando da consideração da carga dinâmica simplificada, e utilizando os elementos finitos de tubo reto, curva, válvula, etc., as tensões elevam-se de tal maneira que se faz necessária a instalação de um suporte rígido ao lado das válvulas das linhas de sucção e descarga para que as tensões fiquem aquém do valor admissível. Entretanto, este suporte é inconveniente do ponto de vista de arranjo, devido à limitação de espaço disponível.

Opta-se por reanalisar a linha (sem este suporte rígido) a partir da geração de um modelo mais refinado, utilizando-se elementos de casca fina e fazendo-se uma distribuição de massa e uma representação dos vínculos do sistema de forma mais realista. O programa utilizado para a construção deste modelo é o ANSYS 5.0 [3].

Por esta nova abordagem, são verificados os níveis das tensões de membrana e membrana + flexão, obtidos com o modelo, os quais são menos conservadores que aqueles resultantes das equações de combinação de carregamento da norma ANSI/ASME B31.1 [2], antes adotada.

Para que se tenha uma idéia da diferença de grandeza e precisão dos modelos feitos com o primeiro programa [1] e o ANSYS 5.0, percebe-se que no primeiro geraram-se 10 nós e 9 elementos (seis graus de liberdade por nó), e no segundo cerca de 2300 nós e 2300 elementos (seis graus de liberdade por nó).

Espera-se, desta forma, uma redução no nível máximo de tensão atuante na tubulação suficiente para que o suporte rígido não se faça necessário.

2. MODELOS DE ANÁLISE

Modelo de Elementos Finitos de Tubo

O trecho do SRP próximo à válvula (é idêntico para as linhas de sucção e descarga) é mais detalhadamente representado na figura 2. Observe-se a existência e a localização da válvula, dos flanges, do tubo reto, do suporte rígido (que se deseja retirar) e da ancoragem. Esta ancoragem é que permite o desacoplamento da análise deste trecho, em relação ao restante do SRP.

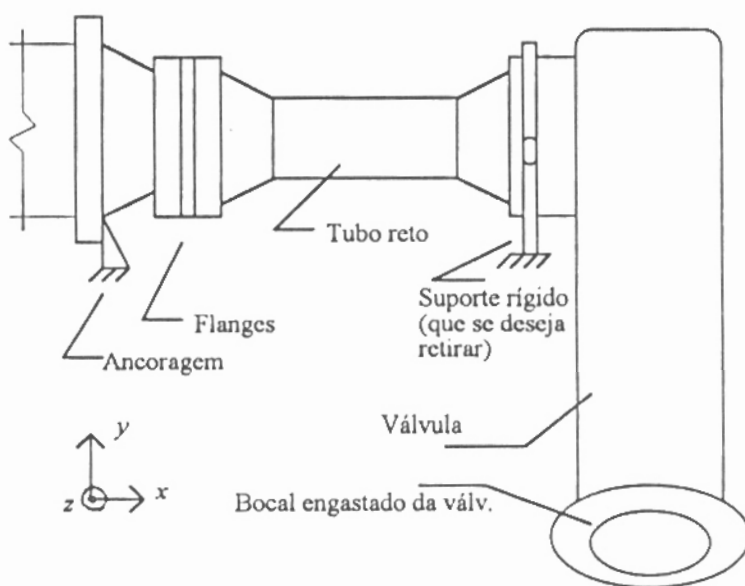


Figura 2. Trecho da linha a ser suportado

O modelo de elementos finitos está representado na figura 3, onde faz-se uma apropriada distribuição da massa e especificação das espessuras, diâmetros, e demais características exigidas pelo programa.

Considera-se que o bocal da válvula (nó 2), a ancoragem (nó 20) e o suporte (nó 18) possuam as 3 translações e as 3 rotações restringidas.

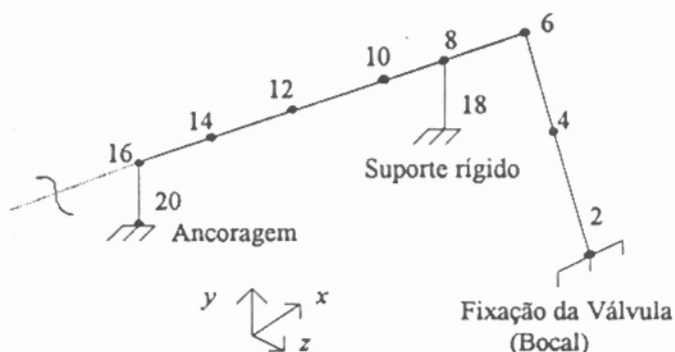


Figura 3. Modelo de elementos finitos de tubo para o trecho em estudo

Modelo de Elementos Finitos de Casca

Para a geração do modelo de elementos finitos de casca, primeiramente cria-se um modelo geométrico da estrutura utilizando-se o recurso de modelagem sólida do ANSYS 5.0. Opta-se pela construção no estilo "bottom-up", ou seja: parte-se de entidades primitivas (cilindros, cones, coroas circulares, etc.), e utiliza-se as operações "booleanas" de "soma", "subtração", superposição, etc., entre estas entidades.

A montagem do modelo geométrico segue os seguintes passos (em sintonia com o ilustrado na figura 2):

- 1.) geração de um cilindro e uma coroa circular que representam a válvula e o seu bocal engastado, respectivamente;
- 2.) criação de um segundo cilindro, trecho entre a válvula e o tubo reto, seguida da operação de "overlap"; visando determinar sua intersecção com a válvula, e ainda possibilitando o manuseio de cada uma das partes das primitivas isoladamente;
- 3.) geração de um terceiro cilindro (tubo reto), três coroas circulares (flanges e parte da conexão tubo reto - válvula), cone (transição para a ancoragem), e uma última coroa circular (ancoragem);
- 4.) identificação das superfícies de interesse e operações de "glue" entre as mesmas, para promover a continuidade do modelo completo.

A criação das diversas primitivas é facilitada pela utilização de diferentes "working-planes".

Uma vez gerado o modelo geométrico da estrutura, parte-se para a geração automática do modelo de elementos finitos . Utiliza-se o elemento de casca fina com 4 (ou 3) nós e 6 graus de liberdade por nó, denominado, na "biblioteca" de elementos finitos do ANSYS, de *SHELL63*. Vide as figuras 4 e 5 que ilustram o modelo completo gerado no ANSYS.

As condições de contorno aplicadas correspondem às vinculações indicadas na figura 2, ou seja, a ancoragem e o bocal engastado da válvula, acrescidas do acoplamento de graus de liberdade dos nós dos flanges.

Não há interesse, entretanto, na verificação das tensões em todos os nós deste modelo, mas somente naqueles situados entre o bocal da válvula conectado ao tubo reto e os flanges, como ilustrado na figura 6. Isto porque em análises específicas da válvula e dos flanges, usando-se modelos mais elaborados e realistas para estas estruturas, as tensões resultantes são admissíveis.

Na geração da malha de elementos finitos procura-se definir um elemento a cada 10° de curvatura aproximadamente. Tem-se, desta forma, o tubo com 36 elementos ao longo da circunferência, na região de interesse para este estudo.

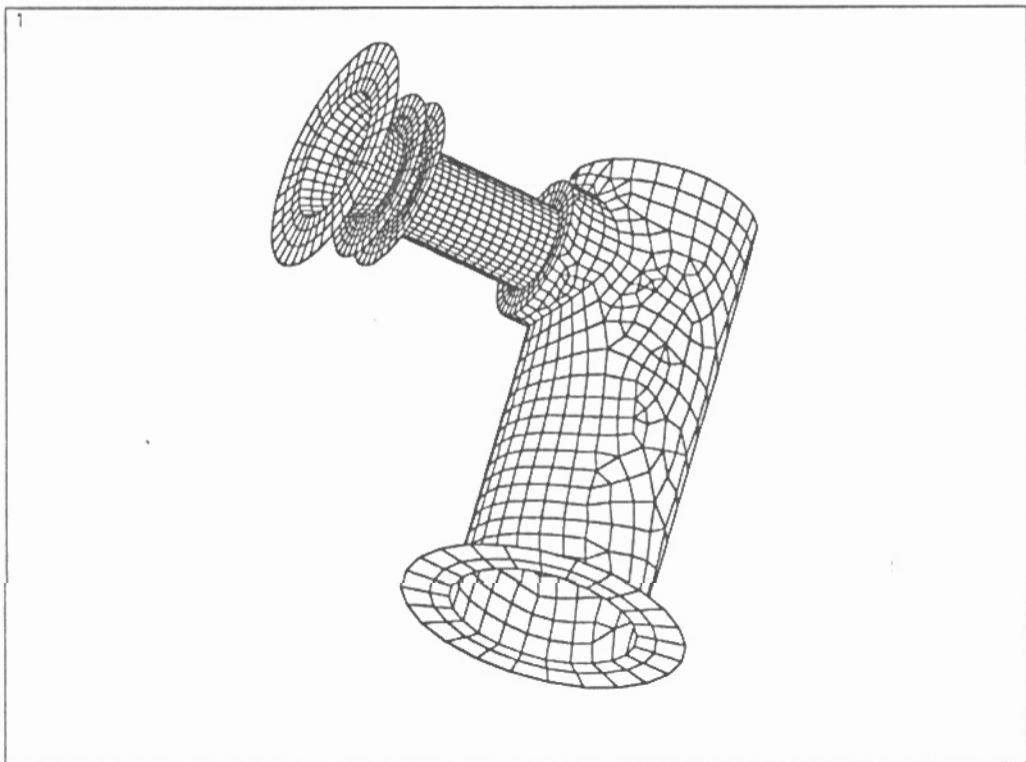


Figura 4. Modelo de elementos finitos de casca fina

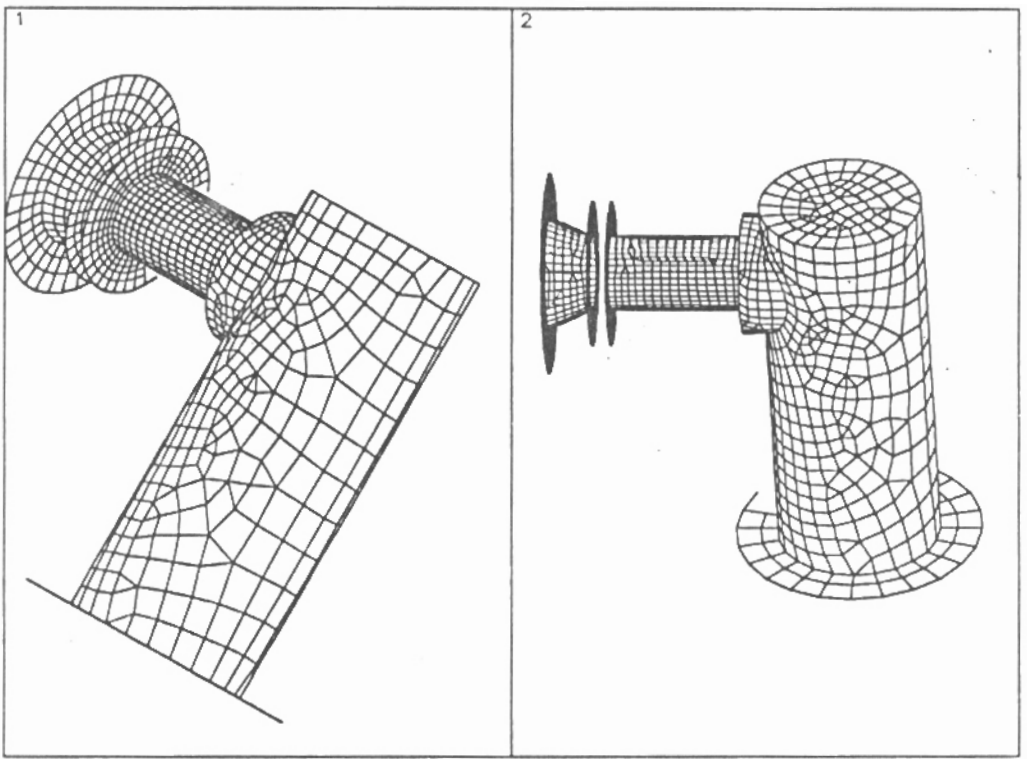


Figura 5. Modelo de elementos finitos de casca fina

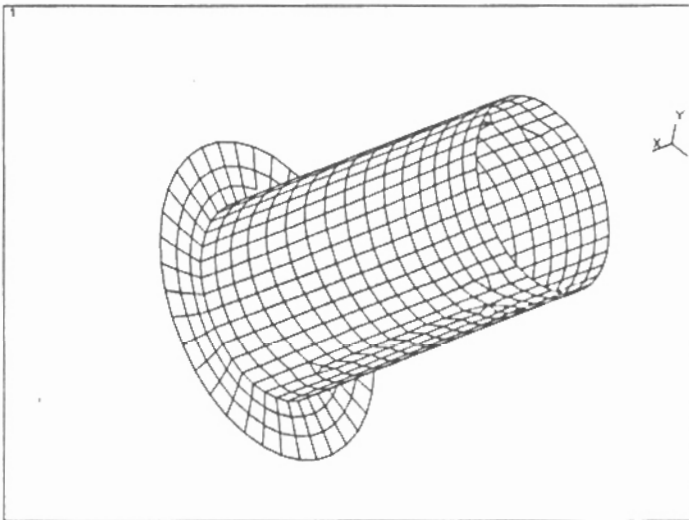


Figura 6. Trecho do modelo de interesse para a análise de tensões

3. ANÁLISE DE TENSÕES

Modelo de Elementos Finitos de Tubo

Comentou-se que para a análise do modelo da figura 3 considera-se a norma ANSI/ASME B31.1, e sua equação de combinação de carregamentos (neste caso, a 12A), que leva em conta os efeitos da pressão, peso próprio e outras cargas permanentes e ocasionais. Esta expressão é dada por:

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0,75i M_A}{Z} + \frac{0,75i M_B}{Z} \leq kS_h$$

onde P é a pressão, D_o é o diâmetro externo do tubo, t_n é a espessura do tubo, i é o fator de intensificação de tensões, M_A é o momento resultante devido às cargas permanentes, M_B é o momento resultante devido às cargas ocasionais, Z é o momento resistente da seção, k é um fator de majoração da tensão admissível (S_h) do material, considerando-se um carregamento estático.

O valor de kS_h é substituído por SP , valor da tensão admissível específico para carregamentos impulsivos. Para o cálculo de SP leva-se em conta o tempo de atuação do carregamento impulsivo, propriedades materiais do tubo, o máximo valor de excitação do carregamento, e outros parâmetros.

Na análise, utilizando-se o programa da referência [1], considera-se inicialmente apenas a aceleração "unitária" $1g$ ($9,81 \text{ m/s}^2$) na direção vertical (y), multiplicando-se as tensões resultantes pelo fator f_c , e a este resultado soma-se a tensão devido à pressão. O valor final é comparado com a tensão admissível SP .

Foi feita ainda uma segunda análise considerando-se a aceleração aplicada na direção horizontal (z).

Os resultados das tensões finais (inclusive a influência da pressão) estão ilustrados na tabela 1, na forma de porcentagem da tensão admissível SP . Aponta-se os resultados levando-se em conta a existência do suporte rígido, e também aqueles quando se desconsidera este suporte.

Modelo de Elementos Finitos de Casca

Para o modelo de elementos finitos de casca, também se aplicam 2 casos de carga separadamente: aceleração "unitária" $1g$ na direção vertical e na direção horizontal. O elemento utilizado - *SHELL63* - fornece as tensões de membrana e membrana + flexão para estes casos. Estas tensões, acrescidas da influência da pressão, devem ter como limite máximo admissível o valor SP .

As figuras 7 e 8 apresentam, como ilustração, os gráficos de isotensões no trecho do SRP de interesse para as tensões de membrana e membrana + flexão, quando se aplica a aceleração na direção vertical. A tabela 2 aponta a relação das tensões, devido a todo o carregamento - impulsivo e pressão - com o valor limite SP .

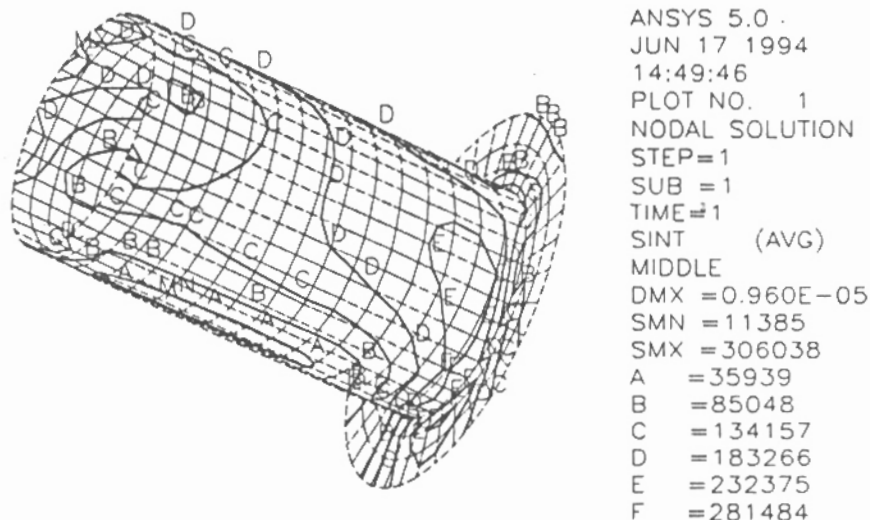


Figura 7. Diagrama de isotensões para a tensão de membrana com aceleração unitária aplicada na direção vertical

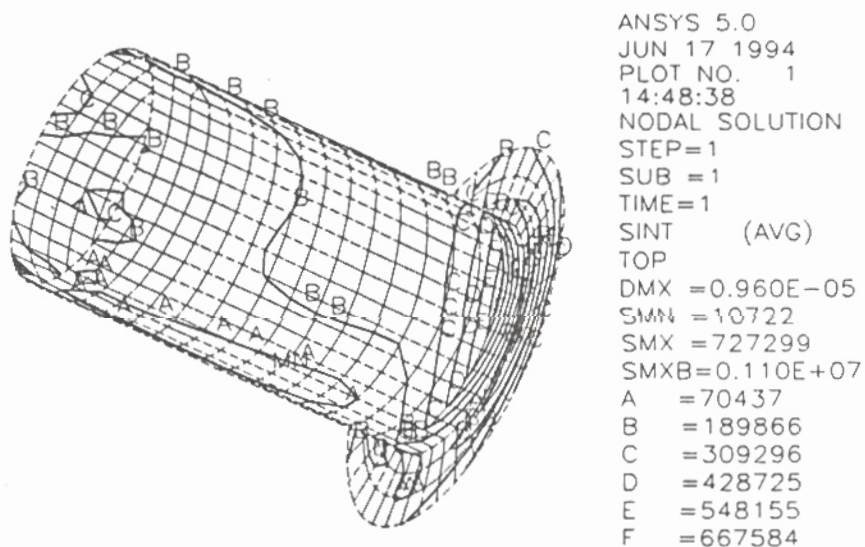


Figura 8. Diagrama de isotensões para a tensão de membrana + flexão com aceleração unitária aplicada na direção vertical

4. RESULTADOS

Modelo de Elementos Finitos de Tubo

A tabela 1 apresenta os valores das tensões nos nós de interesse para os casos em que se considera a existência, ou não, do suporte rígido, e causadas pela aceleração "unitária" multiplicadas pelo fator f_c . Percebe-se que sua inclusão faz as tensões decrescerem significativamente de valor. Entretanto, a sua presença é indesejável devido ao exíguo espaço disponível.

Tabela 1. Porcentagem da tensão admissível dos modelos com e sem suporte, utilizando elementos finitos de tubo, e devidas ao carregamento total

Nó	1g - Vertical		1g - Horizontal	
	Sem Suporte	Com Suporte	Sem Suporte	Com Suporte
10	185 %	85 %	176 %	90 %
12	139 %	56 %	134 %	60 %

Modelo de Elementos Finitos de Casca

As relações das tensões finais (máximas obtidas) com a admissível, no modelo representado na figura 6, devido a todo o carregamento, são apontadas na tabela 2.

Tabela 2. Porcentagem da tensão admissível do modelo sem suporte, no trecho de interesse, utilizando elementos finitos de casca e devidas ao carregamento total

1g - Vertical		1g - Horizontal	
Membrana	Membrana + flexão	Membrana	Membrana + flexão
53 %	98 %	75 %	86 %

5. CONCLUSÕES

As tensões resultantes máximas obtidas no modelo de elementos finitos de casca fina, de acordo com as tabelas 1 e 2, reduzem-se significativamente, indicando que a instalação do suporte rígido ao lado das válvulas não é necessária. O esforço despendido para esta segunda análise foi plenamente justificado.

Acredita-se que modelos como esse, embora demandem mais tempo em sua geração e tempo computacional para a solução, programas e máquinas de maior porte; enfim, um maior investimento, sejam válidos em situações críticas onde não há alternativas de arranjo ou suportação. Igualmente, quando houver intenção de otimizar o projeto, reduzindo número de suportes, custos, etc.

Nos casos onde as tensões elevadas são concentradas em determinados pontos da tubulação, como "weldolets", penetrações, ou bocais, pode-se reduzir significativamente esses valores com o emprego de modelos mais realistas, embora maiores.

  válido ressaltar que os novos recursos de modelagem sólida do programa ANSYS 5.0 tornam mais precisa e eficiente a geração de modelos tridimensionais.

Nota: Este trabalho, com algumas modificações, foi submetido à apresentação no 8  SIBRAT [4].

REFERÊNCIAS

[1] DST Computer Services S.A. **DST/PIPESTRESS, versão 3.4.03 - User's Guide**, fevereiro/1992, Genebra, Su a.

[2] American Society of Mechanical Engineers. **ANSI/ASME B31.1 Power Piping Code**, 1989, Nova Iorque, E.U.A.

[3] Swanson Analysis Systems, Inc. **ANSYS, versão 5.0 - ANSYS User's Manual for Revision 5.0**, dezembro/1992, Houston, E.U.A.

[4] Nóbrega, P. G. B. et al. **Análise de Tensões em Tubulações: Compara o entre Modelos com Elementos Finitos de Tubo e de Casca Fina**. 8  Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressão, Gramado/RS, 25 a 28 de setembro de 1994.