

ANÁLISE NUMÉRICA VIA ELEMENTOS FINITOS NA MODELAGEM DE DEFEITOS EM DUTOS

Thiago Martins D'Albuquerque

Universidade de Brasília
tdalbuquerque@hotmail.com

Jorge Luiz de Almeida Ferreira

jorge@unb.br

Resumo: *A solução mais vantajosa economicamente para transporte e armazenamento de líquidos e gases em longas distâncias é a utilização de dutos. No Brasil, cerca de 40% da rede dutoviária tem mais de 20 anos de operação, por isso a grande necessidade de pesquisar e desenvolver métodos de otimizar o processo de reparos, ou seja, é muito importante para a indústria o estudo do processo de manutenção das tubulações de modo que seja o mais rápido e seguro possível diminuindo assim o tempo de interrupção do fluxo.*

São várias as causas que podem oferecer danos às tubulações, desde corrosão, erosão interna ou externa, amassamento; acarretando prejuízo não somente pelo custo do próprio reparo, mas também pela necessidade de interrupção do fluxo para conserto. Independente da técnica utilizada, os dutos avariados sofrem uma alteração significativa em suas propriedades mecânicas, principalmente em relação à rigidez. Por isso, a importância de se analisar se os reparos propostos são capazes de recuperar essa propriedade sem acarretar problemas indesejados, como estrangulamento na região do reparo e aumento excessivo de massa.

Em especial, na modelagem de defeitos em tubulações industriais surge a necessidade de identificar e quantificar com segurança os níveis de tensões próximos a esses defeitos. Na maioria dos casos, questões como o travamento (locking) devido às deformações cisalhantes e a deficiência de posto da matriz de rigidez global devem ser analisados com cuidado. Neste contexto, o presente trabalho descreve uma proposta de estudo numérico da limitação de utilizar os elementos finitos tridimensionais e elementos de casca na análise de defeito em dutos.

Palavras-chave: *Tubos, Análise de Tensões, Elementos Finitos.*

1. INTRODUÇÃO

As tubulações e dutos são utilizados para o transporte de fluidos entre o ponto de geração ou armazenamento e o ponto de demanda do fluido. Segundo Telles (1996), o valor das tubulações representa, em média, de 20 a 25 % do custo total da instalação industrial, e 45 a 50% do custo total da montagem de equipamentos e os projetos representam em média 20% do custo total do projeto industrial.

Como geralmente o ponto de geração e o ponto de demanda são distantes, surgem avarias nas tubulações (por exemplo, corrosão, erosão interna ou externa, amassamentos, etc.). Tais avarias podem comprometer a integridade estrutural dos membros causando rompimentos da parede ou soldas e tendo como conseqüências sérios vazamentos com perigos de explosão e danos ecológicos.

Devido a grande importância das tubulações nos ativos da indústria e a ocorrência de avarias, Diniz et al (2002), explica que o aumento dos investimentos em metodologias para avaliação da integridade de dutos com defeitos são motivadas pelo o aumento do rigor da legislação ambiental, a influência que os acidentes possam causar na imagem da empresa, o aperfeiçoamento dos métodos de inspeção, resultando na diminuição da incerteza quanto à existência, localização e magnitude de defeitos em dutos, o envelhecimento da malha dutoviária e o final da vida útil prevista em projeto, contrastando com a possibilidade de continuar operando um duto, se considerado ainda íntegro, já tendo seus custos de construção/lançamento amortizados.

O comportamento de um defeito real pode ser estimado a partir de um defeito com geometria semelhante, como mostra Denny and Robert (2000). Porém, para possibilitar que metodologias analíticas complexas sejam analisadas, algumas simplificações geométricas e de propriedades mecânicas têm que ser feitas. Isso gera a necessidade de aplicação de fatores de segurança embutidos nas equações empíricas/analíticas, tornando-as reconhecidamente conservativas.

Devido à complexidade da geometria dos defeitos existentes e a dificuldade de se encontrar soluções elastoplásticas para resolver o problema de ruptura por esgotamento de ductilidade de dutos que surge a necessidade de empregar os métodos de elementos finitos validados por resultados experimentais, Drik (1999).

A análise numérica através de um programa de elementos finitos é realizada com utilização de curvas de Tensão x Deformação do material, reproduzindo assim o comportamento do duto durante e após o reparo e fornece as tensões e deformações na estrutura após a aplicação de uma nova carga.

Com o surgimento de novas técnicas de inspeção e o avanço da microinformática, justifica-se o investimento em pesquisa e no desenvolvimento de metodologias numéricas mais fiéis ao comportamento mecânico do defeito, mantendo a segurança dos dutos e assegurando a competitividade econômica de suas operadoras.

Com o advento de novos materiais, como os materiais compósitos, o reparo de dutos começaram a ser realizados sem a necessidade de interrupção do processo de transporte de fluido mesmo durante a operação de reparo da tubulação. Com isso, placas e cascas assumem funções estruturais cada vez mais importantes, e assim, o conhecimento de seus comportamentos mecânicos passa a ser de fundamental importância nos projetos.

Placas e cascas constituem casos particulares de sólidos tridimensionais, nos quais uma das dimensões, a espessura, é muito menor do que as demais. Desde quando o método dos elementos finitos começou a ser estudado e desenvolvido, existe consenso de que a representação de tais estruturas através de elementos finitos tridimensionais não fornece bons resultados: se poucos elementos finitos são considerados ao longo da espessura, a descrição da variação do campo de tensão ao longo desta descrição se torna pobre, comprometendo a qualidade da solução. Por outro lado, a consideração de um número mais elevado de elementos ao longo da espessura, resulta em um custo computacional excessivamente elevado, aliado à possibilidade de se observar problemas sérios de condicionamento do sistema de equações resultantes.

Embora os argumentos acima sejam apresentados em diversos bons textos de elementos finitos, não há na literatura recente um estudo caracterizando quantitativamente quais são as situações em elementos finitos tridimensionais que descrevem melhor comportamento mecânico da estrutura quando comparado com um elemento de casca e vice e versa.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar uma simulação numérica nas tubulações que sofreram perda parcial da parede na região central e foram reconstituídas avaliando metodologias numéricas para otimizar o processo de reparo dos dutos, ou seja, quantificar quais são as situações em que elementos finitos tridimensionais descrevem melhor comportamento mecânico da estrutura quando comparado com um elemento de casca e vice e versa. Os resultados serão analisados pelo programa de elementos finitos ANSYS e validados com resultados experimentais já desenvolvidos por outros autores e resultados analíticos obtidos através da teoria de cilindro de parede fina e parede espessa.

2. METODOLOGIA

Com o objetivo de comprar o comportamento de dutos desgastados foi feito um estudo de como os processos são realizados em cada caso. Conhecida a teoria envolvida, estudaram-se as formas de representação destes tubos em programas de elementos finitos de forma a garantir que o modelo representasse com fidelidade o modelo original.

O programa escolhido para solução numérica foi o programa de elementos finito ANSYS 10.0. O programa foi escolhido por ser um programa comercial confiável e por oferecer um sistema completo abrangendo tanto funções para construção do modelo (pré-processamento) e visualização dos resultados (pós-processamento).

Com o objetivo de familiarização com o programa, foram realizados testes simples onde já se conhecia a solução analítica. A simulação realizada foi a de uma placa com alguns tipos de carregamento e engastamento. Os resultados obtidos numericamente foram comparados com os resultados analíticos existentes com o objetivo de garantir a validação dos resultados.

Conhecendo as funcionalidades do programa e a teoria de representação através dos métodos de elementos finitos, realizaram-se testes em tubos analisando o comportamento de cada elemento finito. Todos os testes foram analisados de duas formas: analítica e numérica. Sendo a análise analítica obtida através da teoria de cilindro de parede fina. Com o intuito de analisar a eficiência e a precisão de todos os exemplos estudados, a análise numérica foi realizada utilizando as mesmas dimensões e propriedades dos materiais dos artigos e livros tomados como referência.

Propondo a utilização de comportamento já obtido experimentalmente para validação dos resultados, foram considerados dois tubos já analisados experimentalmente. Todos os resultados obtidos são apresentados de forma a representar o comportamento dos elementos, casca e tridimensional, em função da tensão e da deformação. Além disso, foram elaborados também gráficos de validação dos resultados para representação do comportamento do tubo em função do aumento de pressão.

2.1. Dimensões e propriedades

Para realização da simulação no ANSYS foram criados modelos propostos por MAIA (2003). O autor realizou experimentos em tubos de alumínio cujas dimensões estão fornecidas na Tab. 1.

Tabela 1. Dimensões dos tubos.

Tubos	Material	Comprimento l (mm)	Diâmetro externo D_{ext} (mm)	Diâmetro interno D_{int} (mm)	Espessura	Diâmetro externo da região desbastada (mm)	Diâmetro interno da região desbastada (mm)	Espessura da Região desbastada (mm)
1	6063-T5	1000	101,36	97,36	2	Tubos íntegros.		
2	6063-T5	1000	101,36	97,36	2	100,36	97,36	1,5

A fase inicial foi realizada com tubo íntegro com o objetivo de analisar o comportamento das malhas produzidas com elementos de casca e sólido do tubo sem qualquer tipo de desgaste. Desta forma, o tubo foi modelado sem desbaste e está representado na Fig. 1.



Figura 1. Representação dos tubos de espessura uniforme.

A próxima fase do projeto foi a modelagem de tubos desbastados na região longitudinal central com uma profundidade de 0,5 mm e sem qualquer tipo de reparo. A Figura 2 representa a configuração do tubo desbastado.

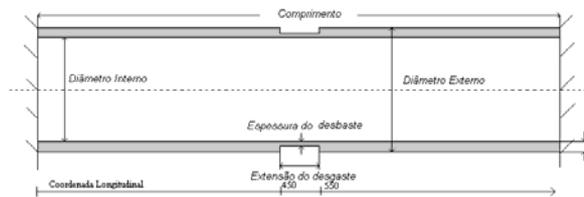


Figura 2. Representação do tubo desbastado.

2.2. Solução analítica

Quando os vasos de pressão são submetidos a pressões internas, surgem tensões nas três dimensões principais. A tensão axial acompanha a direção assimétrica, a tensão radial age no sentido da espessura e a tensão tangencial acompanha circunferencialmente à superfície cilíndrica. Para análise analítica de vasos de pressão normalmente são consideradas duas teorias: teoria dos cilindros de parede fina e teoria dos cilindros de parede espessa.

Não existe uma regra absoluta de quanto utilizar cada teoria. A literatura estabelece algumas considerações e parâmetros que norteiam o entendimento dos dois casos. Neste trabalho será adotada a teoria de parede fina para os vasos de pressão onde a proporção entre o diâmetro interno e a espessura for maior que 20. Sendo assim, foi utilizado à teoria de parede fina.

2.2.1. Teoria de parede fina

Na análise de tensões de parede fina a tensão radial é nula, $\sigma_r = 0$, restando apenas a tensão circunferencial e a tangencial. Esta teoria considera o raio médio para a posição radial para qual se deseja calcular os valores, sendo assim, não requer o conhecimento da posição exata do elemento de estudo. Os valores de tensão circunferencial e longitudinal são obtidos segundo as Eqs. (1) e (2), respectivamente.

$$\sigma_t = \frac{p \cdot r}{t} \quad (1)$$

$$\sigma_l = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad (2)$$

onde, p é a pressão interna, r o raio do tubo e t é a espessura.

A expressão que representa a tensão de Von Mises, em coordenadas cilíndricas, é expressa pela seguinte relação:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_t - \sigma_l)^2 + (\sigma_l - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2} \quad (3)$$

Para análise de deformação radial, tangencial e axial consideram as seguintes relações apresentadas pelas Eqs. (4) a (6), respectivamente.

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_l + \sigma_t)] \quad (4)$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma_t - \nu(\sigma_l + \sigma_r)] \quad (5)$$

$$\varepsilon_l = \frac{1}{E} [\sigma_l - \nu(\sigma_r + \sigma_t)] \quad (6)$$

2.3. Simulação ANSYS

Para análise com modelos de elementos sólidos utilizou-se o elemento SOLID95. Este elemento possui 20 nós, 03 graus de liberdade por nó, com deslocamentos permitidos nas direções principais x, y e z. Este elemento possui função de forma poligonais de quarto grau. O programa ANSYS utiliza o método da “Quadratura Gaussiana” na integração numérica. Sendo assim, a representação e o cálculo das integrais são realizados através das somas dos produtos de função e seus coeficientes “pesos”, em pontos selecionados, os “pontos de Gauss”. Os sentidos de tensão do elemento são paralelos ao sistema coordenado.

Para análise com modelos de elementos de casca utilizou-se o elemento SHELL91. Este elemento é definido por 08 nós, 06 graus de liberdade por nó e com deslocamentos e rotações permitidos nas direções principais x, y e z. As funções de forma deste elemento são poligonais de terceiro grau. E, no elemento, são considerados quatro “pontos de Gauss”. Os sentidos da tensão do elemento correspondem aos sentidos da coordenada do local da camada.

Outro elemento analisado foi o SHELL63 que é utilizado para modelagem de elementos de cascas elásticas. Este elemento possui 4 nós com 06 graus de liberdade por nó, com deslocamentos e rotações permitidos nas direções principais x, y e z. As funções de forma deste elemento são poligonais de terceiro grau. E, no elemento, são considerados quatro “pontos de Gauss”. Os sentidos da tensão do elemento correspondem aos sentidos da coordenada do local da camada.

O elemento SOLSH190 é utilizado para modelagem de elementos de casca para uma ampla gama de espessuras (de finas a espessas). Este elemento possui 8 nós com 03 graus de liberdade por nó, com deslocamentos permitidos nas direções principais x, y e z. O SOLSH190 permite mais de 250 camadas de materiais diferentes. Para evitar o travamento quando a casca possui espessura muito pequena, este elemento utiliza um conjunto especial de formulações cinemáticas. Entretanto, devido ao seu comportamento casca-sólido, pode apresentar falha quando houver distorções na direção da espessura. Este elemento é totalmente compatível com relações constitutivas tridimensionais. A precisão na modelagem de cascas compósitas é orientada pela teoria de primeira ordem da deformação cisalhante (conhecida também como a teoria de casca de Reissner-Mindlin). Quando comparados aos elementos clássicos de casca, que são baseados em tensões planas, o SOLSH190 fornece geralmente soluções mais exatas quando a casca é mais espessa. Os sentidos de tensão do elemento são dados por deslocamentos nodais incluídos geralmente na solução nodal global e elemento adicional. A Figura (3.9) representa os sistemas coordenados de saída de tensão do elemento SOLSH190.

3. RESULTADOS

Devido à simetria do problema, em todos os casos utilizou-se somente $\frac{1}{8}$ do tubo para diminuir o tempo de processamento. Para utilização de tal modelagem é necessário aplicar algumas condições de contorno de forma a representar a integridade do tubo.

Como visto na definição dos elementos no capítulo anterior, o elemento de casca é bidimensional. Com isso, o elemento é gerado a partir da superfície interna do duto real com a inclusão da espessura através de constantes definidas no momento da escolha do elemento. As condições devido aos planos de simetria são aplicadas nas linhas do contorno e a pressão interna é aplicada na área do tubo e na tampa. Como se trata de um elemento bidimensional é necessário informar como os resultados serão extraídos (raio interno, externo ou médio).

Já o elemento sólido é tridimensional, sendo assim, a modelagem feita através da criação do volume do sólido. Com isso, a modelagem do tubo íntegro foi realizada através da criação de um quarto do cilindro. As condições devido ao plano de simetria para o elemento tridimensional foram às mesmas utilizadas para o elemento de casca, porém em vez de serem aplicadas nas linhas foram aplicadas nas superfícies. Vale salientar que o elemento tridimensional não apresenta rotação, apenas deslocamento. A pressão foi aplicada da mesma forma, na área interna do tubo e da tampa.

Para a modelagem com elemento sólido do tubo desbastado, utilizou-se uma metodologia um pouco diferente da utilizada para construção do tubo íntegro. Para esta modelagem construiu-se a área lateral do tubo com desgaste, em seguida gerou-se a malha utilizando o elemento plano, PLANE182. Por fim, extrudou-se a área e a malha gerada em relação ao eixo longitudinal gerando o volume juntamente com a malha utilizando o elemento SOLID95. Por fim, excluiu-se a malha do elemento plano restando assim o elemento sólido. Outra mudança realizada foi a substituição da tampa por uma pressão na área onde a tampa matinha contato.

A modelagem com elemento de casca para o tubo desbastado utilizou-se a mesma metodologia para o tubo íntegro, porém, a superfície foi gerada através da rotação da linha lateral do tubo em relação ao eixo longitudinal. Para modelar o desgaste utilizaram-se espessuras diferentes no momento da definição das constantes.

3.1. Tubo íntegro

Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se os gráficos de convergência do tubo íntegro. Estes gráficos representam o comportamento da deformação circunferencial e da tensão de Von Mises, respectivamente, em relação ao número de elementos. Em todos os casos foram considerados os seguintes elementos: elementos de casca SHELL 91 e SHELL 63, elemento sólido SOLID95 e o elemento SOLSH190 que é uma combinação do elemento sólido e o elemento de casca e em alguns casos a solução analítica.

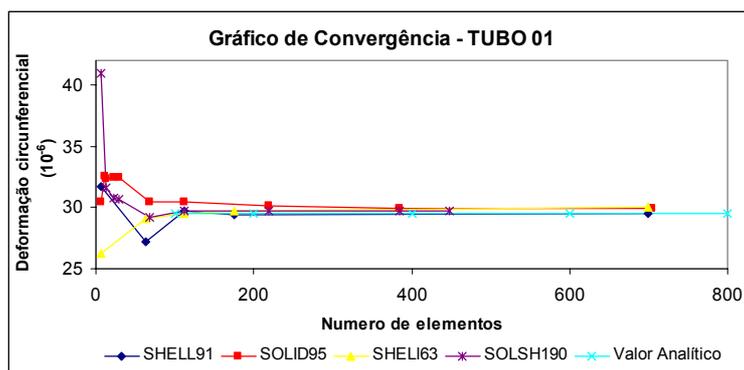


Figura 3. Gráfico de Convergência – Deformação Circunferencial.

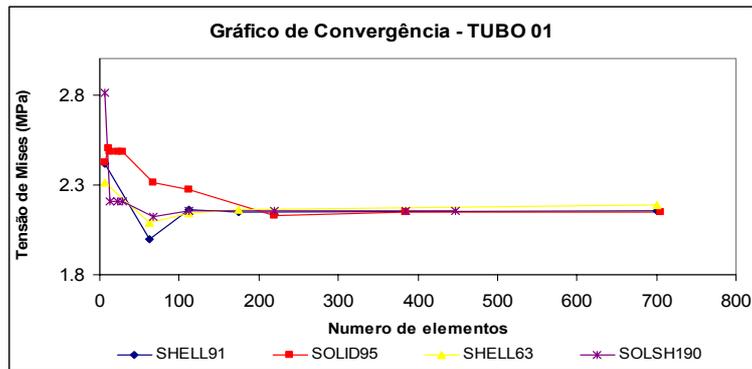


Figura 4. Gráfico de Convergência – Tensão de Mises.

Para validação dos resultados, foram elaborados gráficos comparativos com os resultados obtidos na simulação com o programa ANSYS 10.0, análise analítica e os resultados experimentais obtidos por Maia (2003). Os resultados experimentais fornecidos, para este caso, são apenas para deformação circunferencial. Na análise numérica foram considerados 175 elementos para o elemento de casca e 705 elementos para elemento sólido. Esta modelagem foi obtida de acordo com a análise gráfica de convergência realizada. Nesta configuração já é garantida a convergência em todos os casos.

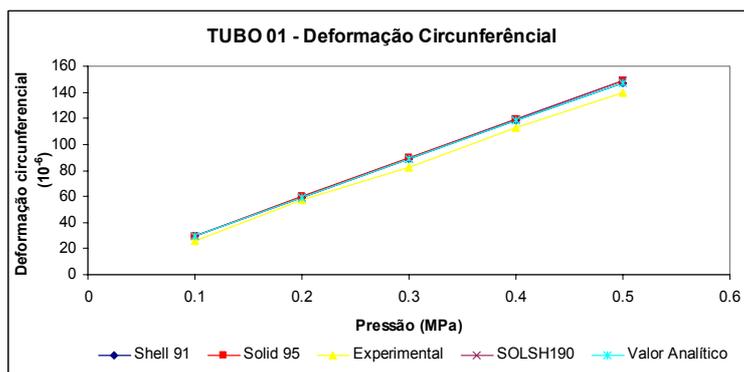


Figura 5. Gráfico Deformação Circunferencial Vs Pressão.

3.2. Tubo desbastado

Assim como nos casos anteriores, primeiramente realizou-se uma análise de convergência de malha. Porém, esta análise foi realizada de uma forma um pouco diferente das anteriores. Como neste caso possuíamos vários pontos importantes, a análise de convergência foi realizada em todos os pontos da região longitudinal. Desta forma, garante-se a validação dos resultados de todo o modelo. Nas Figuras 6 e 7 apresentam-se a análise de convergência utilizando o elemento SOLID95 e SHELL91, respectivamente. Como o objetivo principal é a análise na região do desgaste, todos os resultados estão apresentados apenas nesta região.

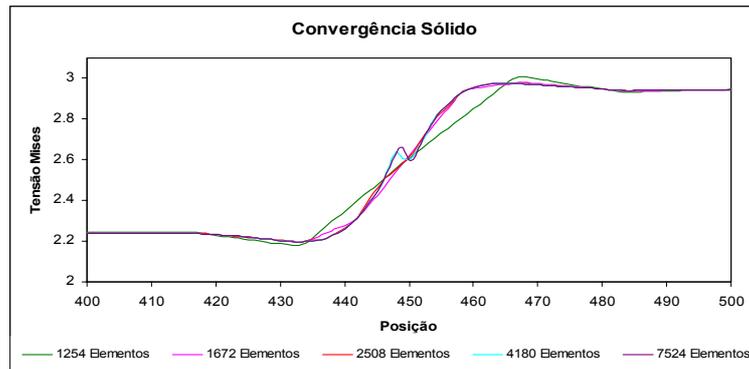


Figura 6. Gráfico de Convergência – Elemento Sólido – Tensão de Mises.

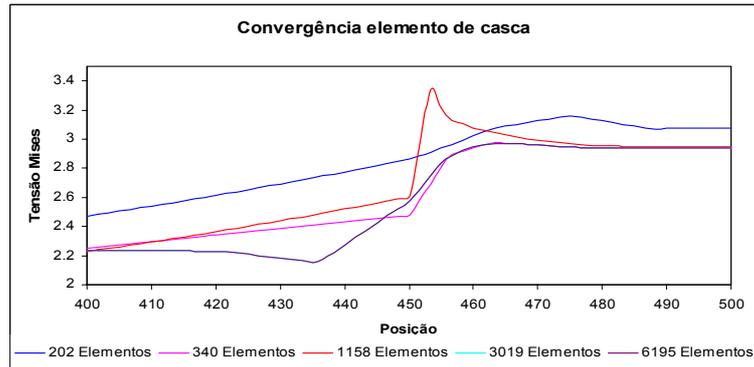


Figura 7. Gráfico de Convergência – Elemento de casca – Tensão de Mises.

A partir dos dados acima, pode-se garantir a convergência dos resultados para 7524 elementos para o modelo com elemento sólido e 6195 para o elemento de casca. Com isso, todos os resultados obtidos no decorrer deste projeto foram obtidos com estas configurações de malhas. A malha para o elemento sólido possui uma discretização de 3 vezes ao longo da espessura do desgaste. Na região do tubo foi utilizada uma discretização 4 vezes ao longo da espessura.

Através das malhas percebe-se que a substituição da modelagem da tampa por uma pressão utilizando o elemento sólido possibilitou um refinamento da malha na região do desgaste e a utilização de uma malha mais pobre na região do tubo. Esta modelagem foi utilizada visando um menor custo computacional. Porém, como a modelagem do elemento de casca foi realizada utilizando-se a modelagem da tampa, foi necessário um refinamento mais uniforme em toda a extensão do tubo.

Os resultados da malha final foram utilizados para validar o modelo. Assim, como para os tubos íntegros, utilizaram-se resultados experimentais obtidos por Maia (2003). Para garantir a consistência dos resultados, foram utilizados os mesmos pontos utilizados no aparato experimental. A comparação entre o resultado experimental com resultados numéricos obtidos, e consequentemente a validação dos resultados, está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação entre resultados numéricos com experimental – Tubo03.

	Deformação		Diferença percentual	
	Circunferencial	Longitudinal	Circunferencial	Longitudinal
Experimental	3.70E-05	7.00E-06		
SHELL91	3.81E-05	7.26E-06	3%	4%
SOLID95	3.80E-05	7.50E-06	3%	7%

3.3. Comparação entre os resultados com o elemento de casca e o elemento sólido

As Figuras 8 a 14 apresentam as tensões e deformações radiais, circunferenciais e longitudinais, respectivamente, para comparação entre o elemento de casca e o elemento sólido.

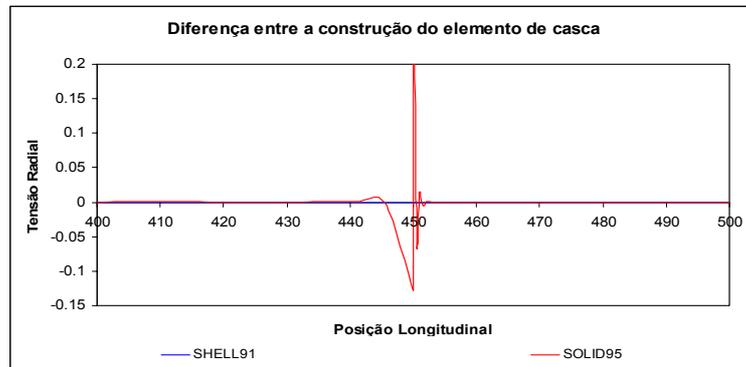


Figura 8. Gráfico da posição da aquisição da tensão radial do elemento SHELL91.

Como pode ser visualizado na Fig. 8, o elemento de casca não percebe a variação da tensão radial na região do desgaste.

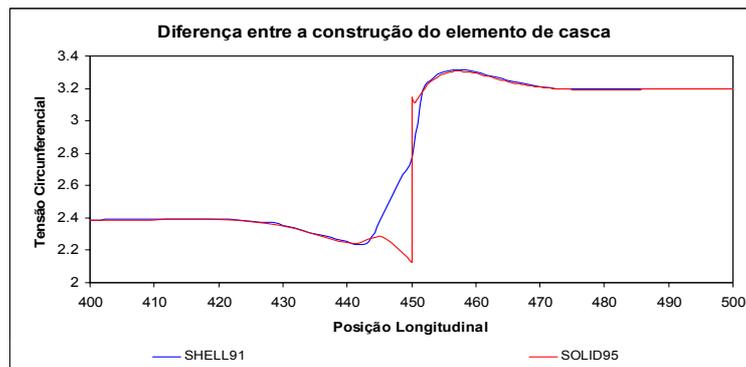


Figura 9. Gráfico da posição da aquisição da tensão circunferencial do elemento SHELL91.

Analisando a tensão circunferencial, Fig. 9, percebe-se que o elemento de casca apresenta um pico de tensão maior que o elemento de sólido, apesar da diferença ser muito pequena. Ainda sobre esta figura, pode-se perceber que o elemento de casca não capta as tensões de flexão.

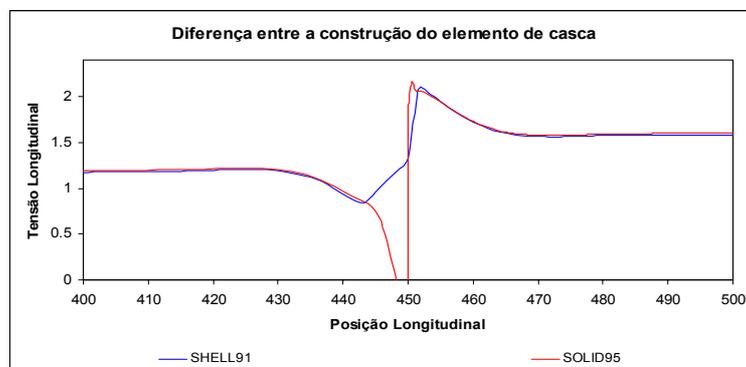


Figura 10. Gráfico da posição da aquisição da tensão longitudinal do elemento SHELL91.

Diferentemente da tensão circunferencial, a tensão longitudinal, Fig. 10, apresenta um pico de tensão maior para o elemento sólido. Neste caso, o comportamento da tensão devido à flexão também só pode ser captada pelo elemento sólido.

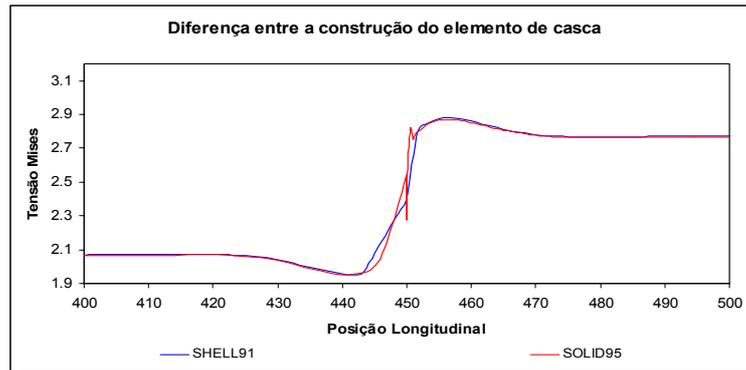


Figura 11. Gráfico da posição da aquisição da tensão de mises do elemento SHELL91.

A tensão de Von Mises é uma composição dos três casos de tensão acima estudados, radial, circunferencial e longitudinal e como a tensão circunferencial é maior que as outras duas tensões, a tensão de mises sofre uma influência maior desta tensão, como pode ser visto na Fig. 11.

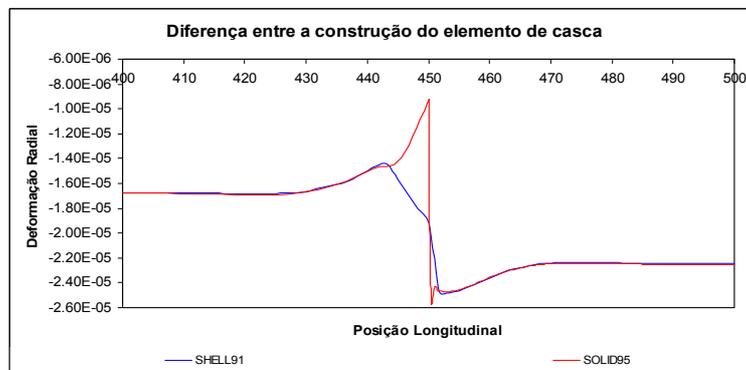


Figura 12. Gráfico da posição da aquisição da deformação radial do elemento SHELL91.

Diferente da tensão radial, o salto de deformação radial devido ao desgaste pode ser percebido com os dois elementos. As diferenças surgidas entre os dois elementos são verificadas devido às tensões de flexão.

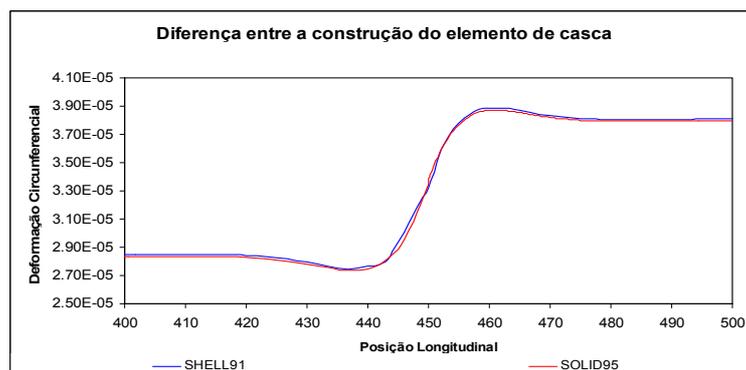


Figura 13. Gráfico da posição da aquisição da deformação circunferencial do elemento SHELL91.

Como pode ser visto na Fig. 13, a deformação circunferencial apresenta o mesmo comportamento tanto para o elemento de casca quanto para o elemento sólido.

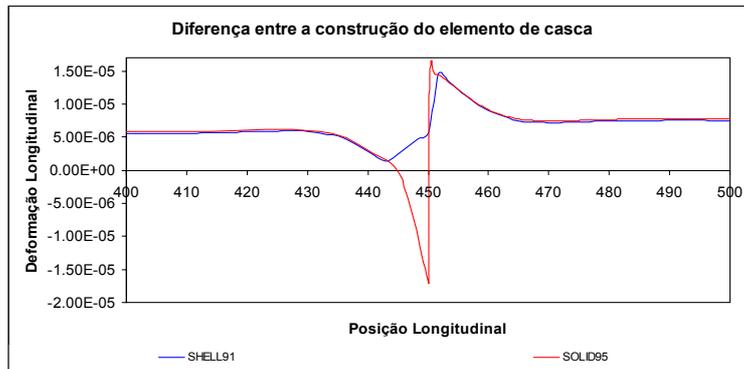


Figura 14. Gráfico da posição da aquisição da deformação longitudinal do elemento SHELL91.

Como pode ser visto na Fig. 14, a deformação longitudinal obedece praticamente o mesmo comportamento verificado na tensão longitudinal. A próxima seção apresentará a diferença percentual em se utilizar cada tipo de modelamento.

3.4. Diferença entre os elementos de casca e o elemento sólido para relações entre as medidas das espessuras pelos diâmetros (t/D)

Através dos gráficos realizados pode-se perceber que a modelagem utilizando elemento de casca pode ser utilizada para modelar um duto, seja ele íntegro ou com alguma avaria. Porém, como já foi discutido neste projeto, a modelagem com elemento de casca só pode ser utilizada quando a relação entre a espessura e o diâmetro é muito pequena. Sendo assim, as Figs. 15 e 16 apresentam as diferenças relativas, Eq. 7, em se utilizar o elemento de casca e o elemento sólido para modelagem de um duto. Tomou-se como referência o elemento de casca, sendo assim, os resultados cuja diferença fornece valores negativos representa valores cujos resultados utilizando o elemento de casca são maiores que os obtidos com elemento sólido.

$$Diferença = \frac{(Sólido - Casca)}{Casca} \quad (7)$$

Em todas as figuras abaixo se utilizou três pontos de análise. O primeiro localizado entre a tampa e o desgaste onde os concentradores de tensão referente a tampa e o desgaste não podem ser sentidas (posição longitudinal de 100 mm). O segundo situado depois do desgaste onde o concentrador de tensão referente ao desgaste não pode mais ser verificado (posição longitudinal de 500 mm). Por fim, apresenta-se a diferença entre os valores máximos.

Sendo assim, as Fig. 15 e 16 apresentam diferenças de modelagem com elemento de casca e elemento sólido para a tensão de Von Mises e deformação circunferencial, respectivamente, para diversos valores de t/D .

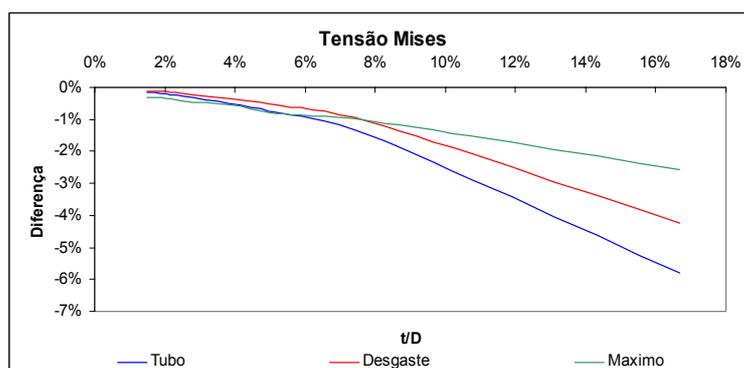


Figura 15. Gráfico da diferença entre a tensão mises para diversos valores de t/D .

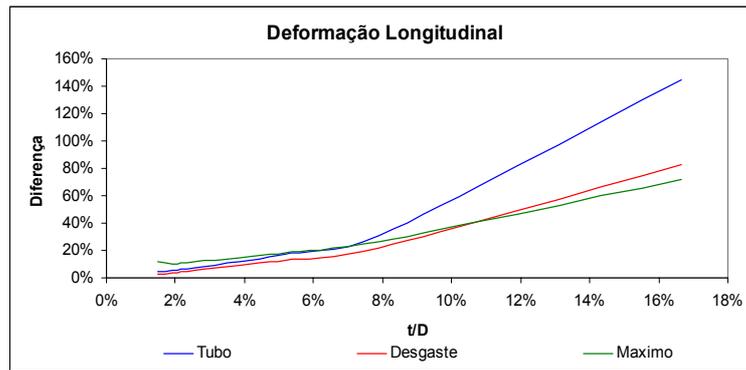


Figura 16. Gráfico da diferença entre a deformação longitudinal para diversos valores de t/D.

4. CONCLUSÃO

Inicialmente foram modelados tubos íntegros sem qualquer desgaste ou reparo. Sendo os resultados obtidos nesta fase do projeto utilizados apenas para avaliar a convergência com elemento de casca e elemento sólido validados por análise analítica e experimental. A próxima fase do projeto consistiu da análise do comportamento de tubos desbastados na região longitudinal central e sem qualquer tipo de reparo.

Para atingir os objetivos do projeto foram elaborados gráficos que representaram o comportamento dos elementos finitos de casca e elementos finitos tridimensionais. Além deste, foram criados também gráficos para validação dos resultados com o intuito de garantir a consistência dos resultados obtidos. Sendo estes gerados de forma a comparar os resultados numéricos obtidos com resultados experimentais existentes e, quando possível, a solução analítica para vasos de pressão submetidos a pressão interna calculada através da teoria de tubo de parede fina.

Todos os resultados de tensão e deformação para os tubos íntegros foram obtidos na região central tanto em relação à espessura como em relação à posição longitudinal de forma que nesta posição o efeito de borda entre a tampa e o tubo não é mais captado. Esta metodologia mostrou que longe dos efeitos de borda tanto o elemento de casca como o elemento tridimensional podem ser utilizados para modelar um tubo. Sendo que o elemento de casca precisa de um menor número de elemento para garantir a convergência dos resultados.

A modelagem de dutos desgastados mostrou que o elemento de casca não capta tensão radial nem a tensão de flexão devido ao desgaste. Analisando a tensão e deformação máxima em cada modelagem, percebe-se que a circunferencial o elemento de casca fornece resultados maiores que o elemento sólido e que a longitudinal o elemento sólido gerou resultados maiores que o elemento de casca. Além disso, percebeu-se que o ponto de máximo é diferente para os dois casos, principalmente para a longitudinal.

Por fim, ao analisar o comportamento da diferença entre o elemento de casca com o elemento tridimensional, verificou-se que o aumento da relação espessura diâmetro interna gera diferenças maiores entre os dois elementos. Sendo assim, o elemento de casca só pode ser utilizado quando a relação entre a espessura e o diâmetro interno é muito pequena, por volta de 5% a 10%.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força em todos os momentos e aos meus pais por todo carinho e apoio. Agradeço também a todos os professores do Departamento de Engenharia mecânica da Universidade de Brasília pelos ensinamentos durante toda a minha graduação, principalmente aos professores Jorge e Dianne pela dedicação e confiança em todas as fases deste projeto. Agradeço ainda aos meus amigos e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram para o sucesso deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- DENNY, R.S., and ROBERT B.F., “A Review and Evaluation of Remaining Strength Criteria for Corrosion Defects in Transmission Pipelines”, ETCE, 2000.
- DINIZ, J.L.C., VIEIRA, R.D., FREIRE, J.L.F., and CASTRO, J.T.P., “Análise experimental e numérica da ruptura de dutos”, Departamento de Engenharia Mecânica PUC - RIO , VII SAET – Simpósio de Análise Experimental de Tensões, Salvador, 2002.
- DRIK, T., “Simulação do Comportamento de um defeito em um Duto”, Projeto de Graduação, CEFET – RJ, 1999.
- MAIA, G.C., “Comportamento Elástico de cilindros com e sem reparos circunferencial de carbono/epóxi”, dissertação de mestrado - Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica, 2003.
- PÉREZ, G.E.G., “Estabelecimento de critério para evitar a perfuração na soldagem de tubulações em operação de pequena espessura”, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- TELLES, Pedro C. da Silva, “Tubulações Industriais”, 4ª edição, Editora LTC, 1996.
- Release 10.0 Documentation ANSYS, ANSYS Multiphysics.
- <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/aa_causas.asp> CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Acessado 10 de maio de 2007.
- <<http://www.clockspring.com>>. Acessado 25 de setembro de 2006.

NUMERICAL ANALYSIS SAW FINITE ELEMENTS IN THE MODELING OF DEFECTS IN DUCTS

Thiago Martins D'Albuquerque

Universidade de Brasília
tdalbuquerque@hotmail.com

Jorge Luiz de Almeida Ferreira

jorge@unb.br

Abstract. *The most advantageous solution economically for transport and storage of liquids and gasses in long distances is the ducts use. In Brazil, 40% of the net ducts have more than 20 years of operation, therefore the great need to research and to develop methods of optimizing the process of repairs, in other words, it is very important for the industry the study of the process of maintenance of the tubings so that it is the fastest and safe possible reducing like this the time of interruption of the flow.*

They are several the causes that can offer damages to the tubings, since corrosion, erosion, interns or external, kneading; causing damage not only for the cost of the proper repair, but also for the need of interruption of the flow for repair. Therefore, the importance of being analyzed if the proposed repairs are capable to recoup this property without causing problems not desired, as strangulation in the region of the repair and excessive increase of mass.

Especialy, in the modeling of defects in industrial tubings the need appears of to identify and to quantify with safety the levels of tensions next to these defects. In the majority of the cases, questions with the locking due to the deformations shear and the deficiency of rank of the matrix of global rigidity should be analyzed with care. In this context, the present work describes a numeric study proposal of the limitation of using the three-dimensional finite elements and shell elements in the defect analysis in ducts.

Keywords. *Ducts, Analysis of Tensions, Finite Elements.*