

Uma implementação do método de elementos finitos à análise de problemas dinâmicos de interação solo-estrutura.

André Victor S. Gomes e Euclides de Mesquita Neto

Departamento de Mecânica Computacional
Faculdade de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Campinas, SP, Brasil



UNICAMP

FEM
Faculdade de
Engenharia Mecânica

Resumo

A motivação deste trabalho está ligada à problemática da exploração de petróleo em águas profundas, em particular o estudo da interação dinâmica entre dutos e o solo marinho. Para analisar essa interação dinâmica foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF). A representação dos dutos é baseada em modelos de elasticidade bidimensional usando a simulação do comportamento dinâmico dos sistemas e adotou-se uma lei constitutiva linear elástica para representar o comportamento do material. As hipóteses de estado plano de tensões foram adotadas. Para representação do solo, foram desenvolvidos modelos contínuos, com comportamento dinâmico elástico linear, fazendo-se análises para diferentes configurações de contato e penetração. Para a análise transiente do acoplamento solo estrutura foi utilizado o método de integração passo a passo de Newmark. Avaliou-se o carregamento mecânico gerado pelo solo sobre a estrutura quanto ocorre o contato entre os meios, visando à determinação das tensões dinâmicas para posterior avaliação da vida em fadiga desta estrutura.

1. Introdução

Atualmente a simulação de problemas realistas de engenharia é possível graças aos métodos numéricos e à disponibilidade de capacidade computacional a custos baixos. Um dos aspectos que deve ser contemplado na formação de um engenheiro é uma capacitação para lidar com métodos numéricos. Na área de mecânica dos sólidos e estruturas, um dos métodos mais importantes é o Método dos Elementos Finitos (MEF). Neste projeto buscamos ter acesso a este método, aprender seus fundamentos, e utilizá-lo na realização de pesquisas nestes tópicos.

O tema amplo escolhido foi a interação estática e dinâmica estacionária entre dutos, com fluido o circundando e solo o sustentando. Estes dutos (risers) são tubulações utilizadas na exploração de petróleo. A motivação está ligada a um problema da indústria brasileira de petróleo, em particular na exploração de petróleo em águas profundas.

Para a indústria petrolífera a busca por novas reservas de petróleo é sempre um grande desafio. Porém, ainda mais desafiador tem sido a extração desse bem energético de modo seguro, de forma que os riscos ecológicos sejam reduzidos a níveis considerados adequados, pois, dessa maneira, além de se assegurar o crescimento sustentável será possível também maximizar os lucros no processo extrativo. Nesse sentido é que os estudos para a extração de petróleo em reservas offshore têm se atentado cada vez mais na busca por ferramentas que descrevam o comportamento desses sistemas a fim de tornar essas estruturas mais seguras. Assim, o estudo do comportamento dinâmico de risers, analisado sob a óptica da interação solo-estrutura, é relevante para a área.

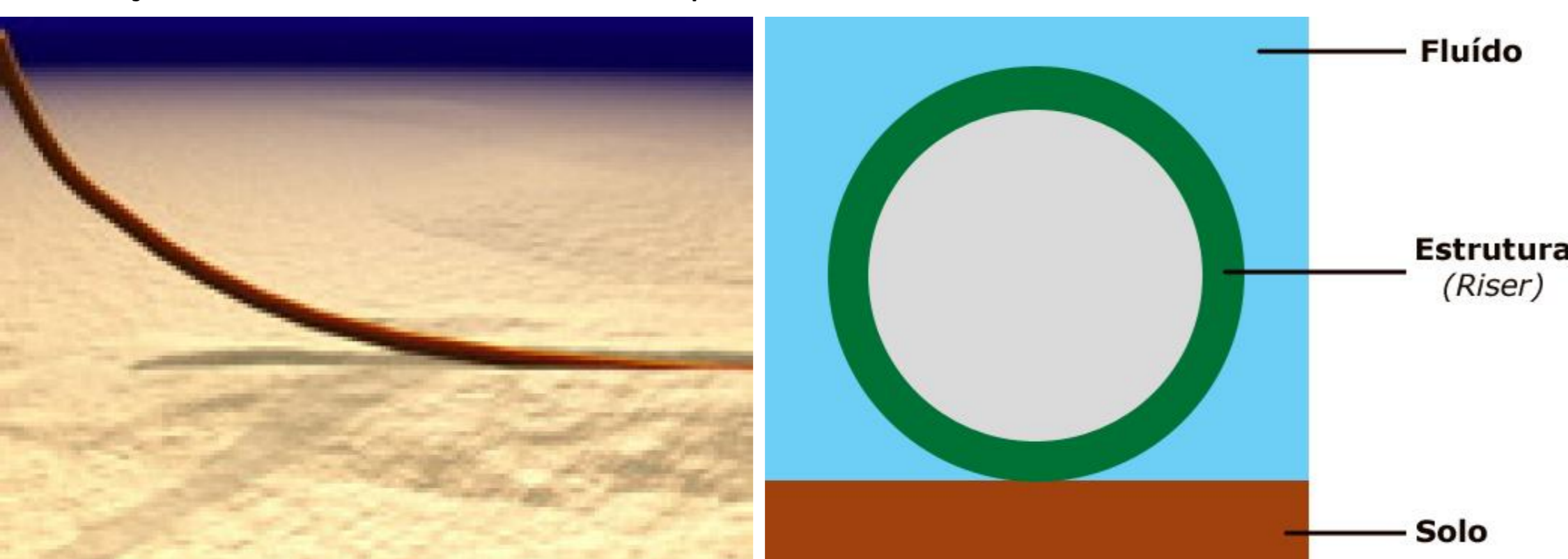


Figura 1: Região de contato riser-solo e, corte típico para análise

2. Métodos e Resultados

O estudo do Método dos Elementos Finitos (MEF) foi a primeira atividade de nosso projeto. Com ele conseguimos determinar o estado de tensões de um sólido sofrendo um determinado carregamento. O algoritmo desenvolvido se divide em 3 partes:

- **Pré Processamento** – foram desenvolvidas nesta etapa as malhas do modelo em estudo. Elas nos fornecem os dados de posição de cada elemento no espaço, dados geométricos e propriedades do material da estrutura. Uma fatia plana transversal do sistema foi o modelo utilizado.

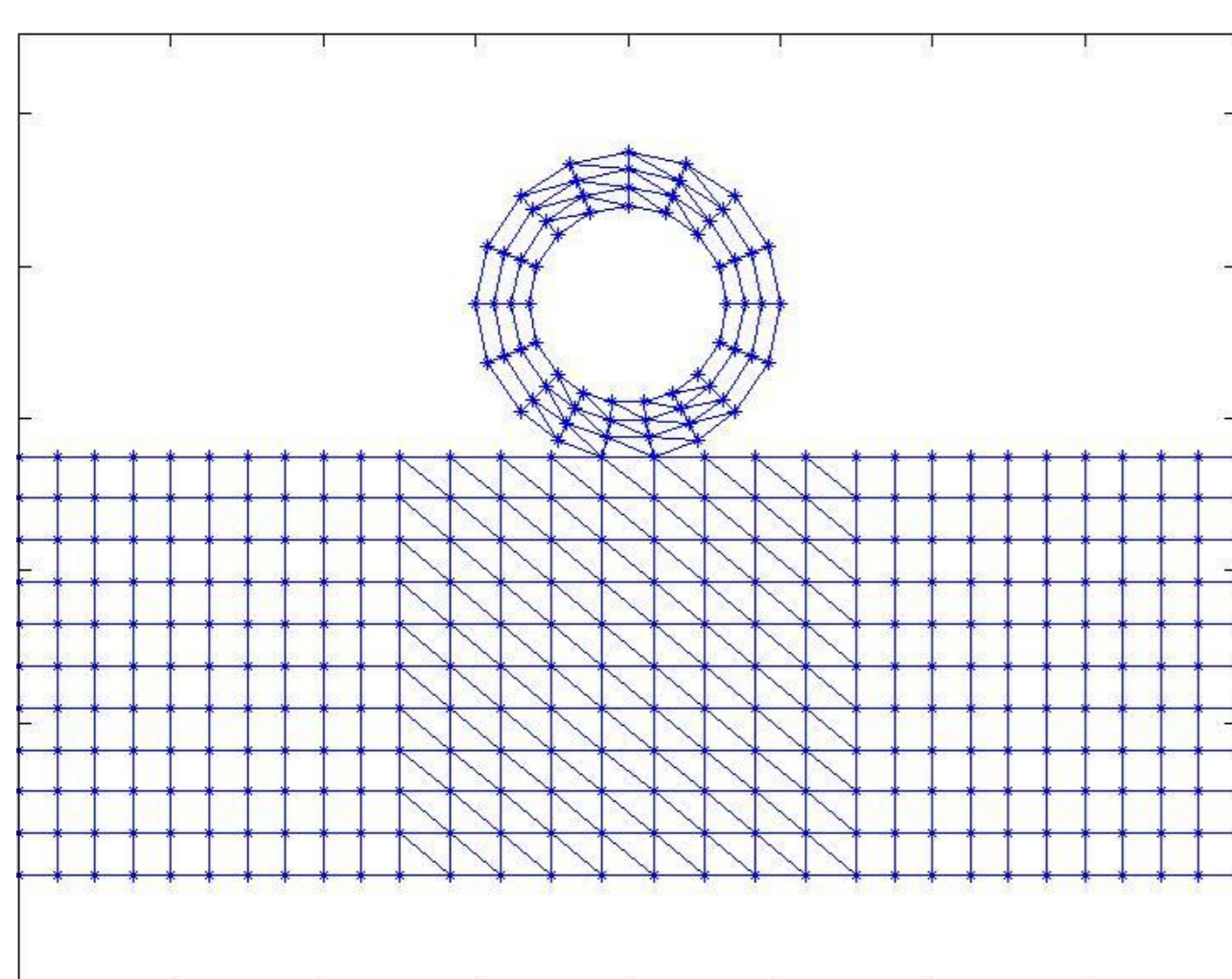


Figura 2: Malha desenvolvida para a simulação, destaque para a região de contato.

- **Módulo de Cálculo** – nesta etapa do programa, conseguimos calcular o estado de tensão de cada elemento presente na malha, devido ao carregamento que sofre. Com o método dos elementos finitos conseguimos definir as deformações e a distribuição de tensão encontradas na malha. Para isso são definidas as matrizes de rigidez de cada elemento.

- **Pós Processamento** – terminado os cálculos do estado de tensões de cada elemento, é apresentado o gradiente de tensões do modelo em análise.

Para validar o nosso algoritmo, comparamos o resultado de nosso algoritmo para a solução de um problema simples de uma viga simplesmente engastada com o resultado do software comercial Ansys®.

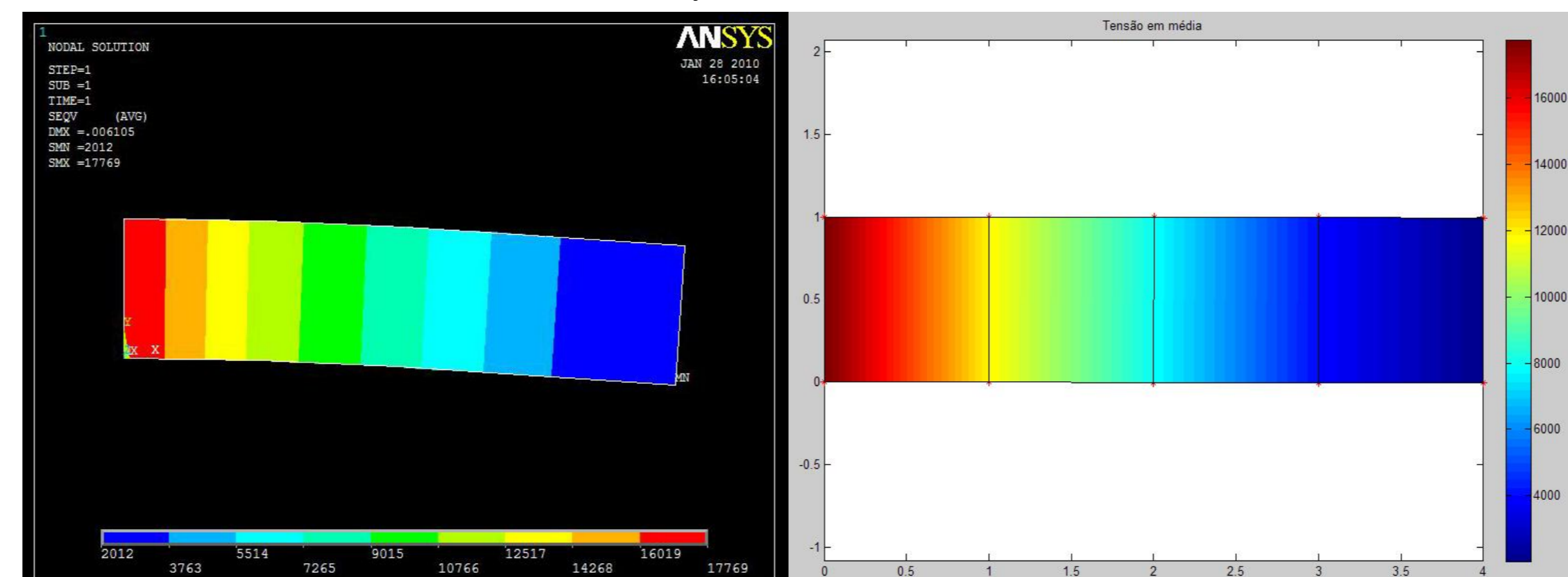


Figura 3: Comparativo do software comercial com o algoritmo desenvolvido.

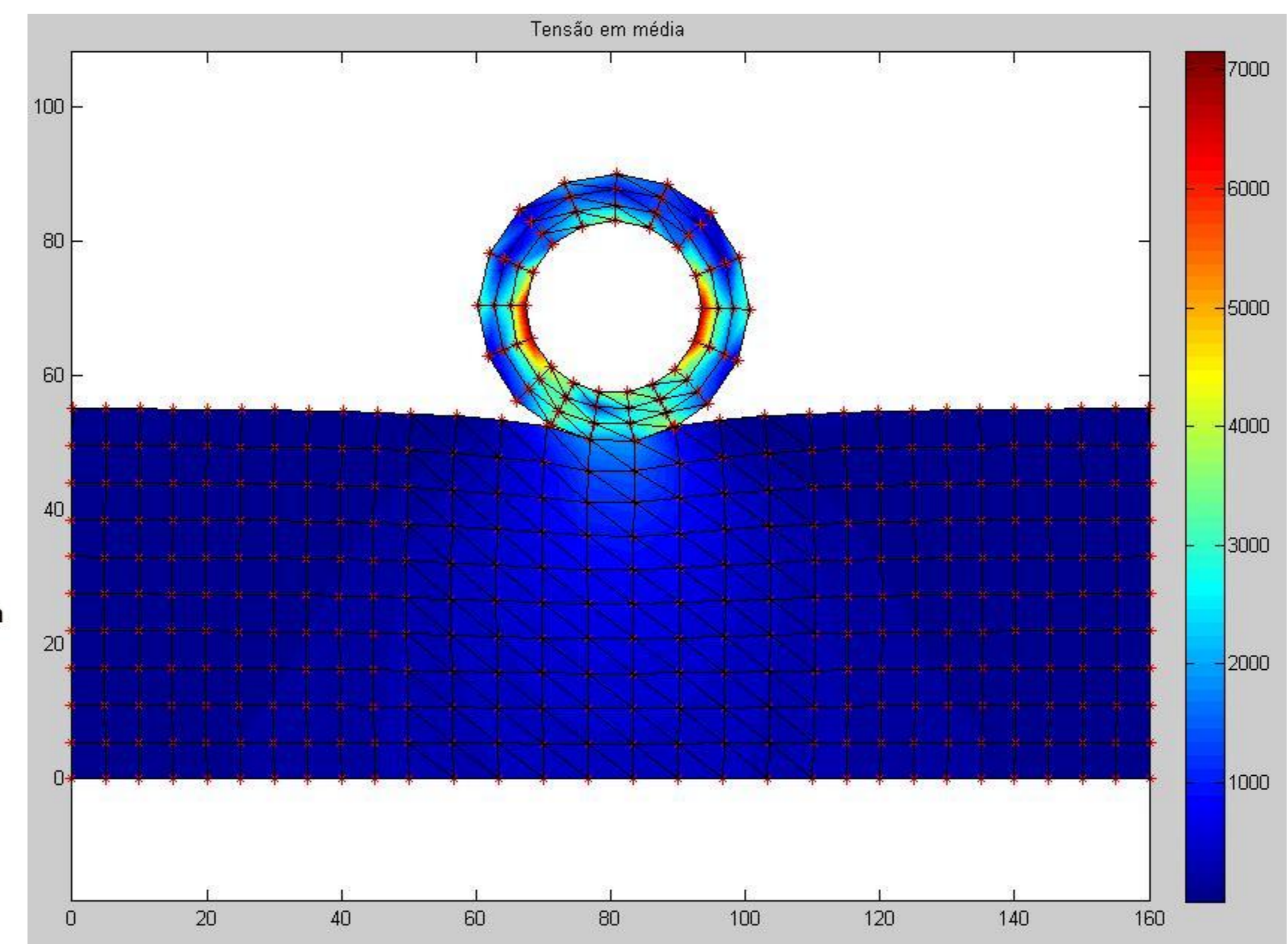


Figura 4: Distribuição de tensões encontradas no modelo em estudo.

3. Análise dinâmica

Depois de implementado o algoritmo da análise dinâmica utilizando o método de integração passo a passo de Newmark, realizamos sua validação.

Tendo validado nosso integrador, o aplicamos na estrutura do tubo para verificar se ele se adequava de maneira satisfatória a geometria estudada em nosso projeto e analisar se as soluções obtidas eram satisfatórias. Para isto, realizamos um teste onde ao tubo gerado pelo gerador de malhas adicionamos dois elementos de barra, simulando o efeito de molas, aplicamos um carregamento constante no topo do tubo. Foi admitido que os nós inferiores das barras estão engastados (graus de liberdade na direção x e y presos) e foi admitido um coeficiente de amortecimento genérico apenas para avaliarmos a resposta do sistema. Para o um nó originalmente em x=0 metros obtivemos o seguinte gráfico de deslocamento vertical no tempo, o valor do deslocamento esta em metros.

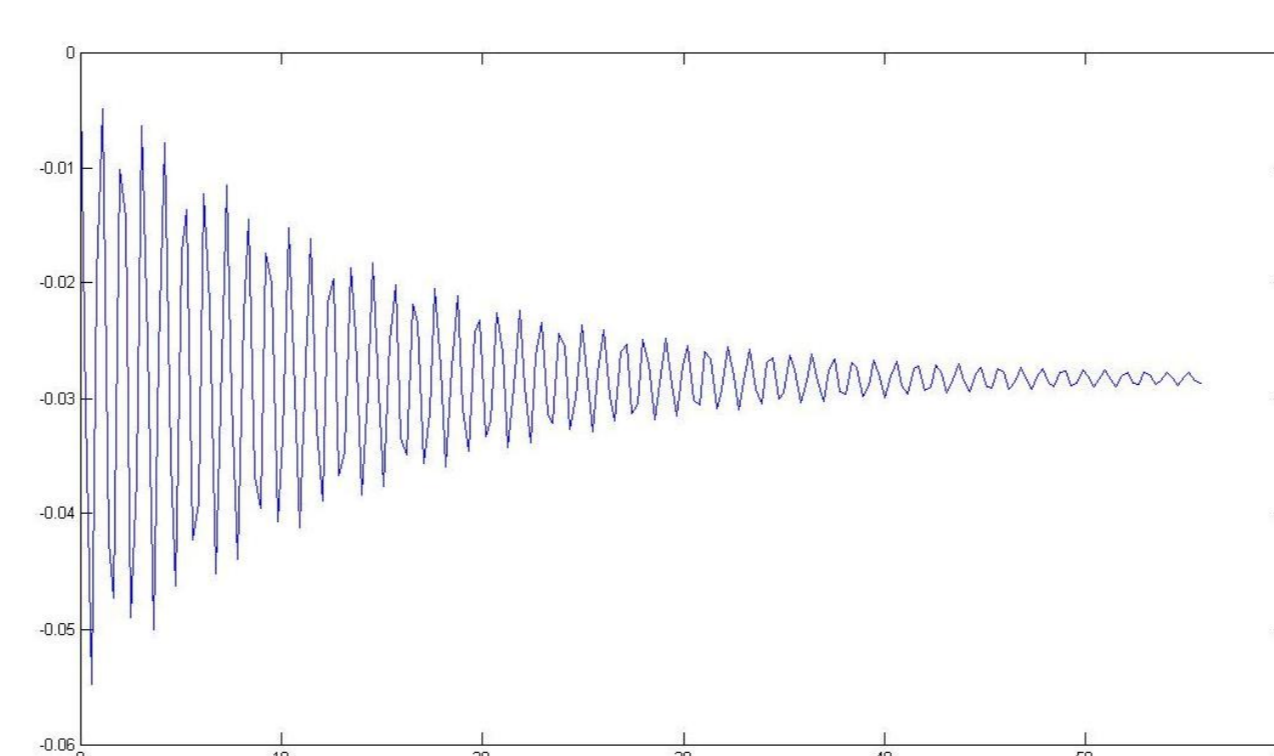


Figura 5: Deslocamento vertical do nó ao longo do tempo.

Podemos observar que o resultado é coerente, uma vez que era esperado que o sistema se comportasse como um sistema massa-mola amortecido como obtido. Abaixo temos a figura da configuração testada na condição deformada (os elementos de barra são representados como linhas vermelhas em baixo do tubo), além do mapa de tensões de Von Mises. Os valores de tensão então em MPa.

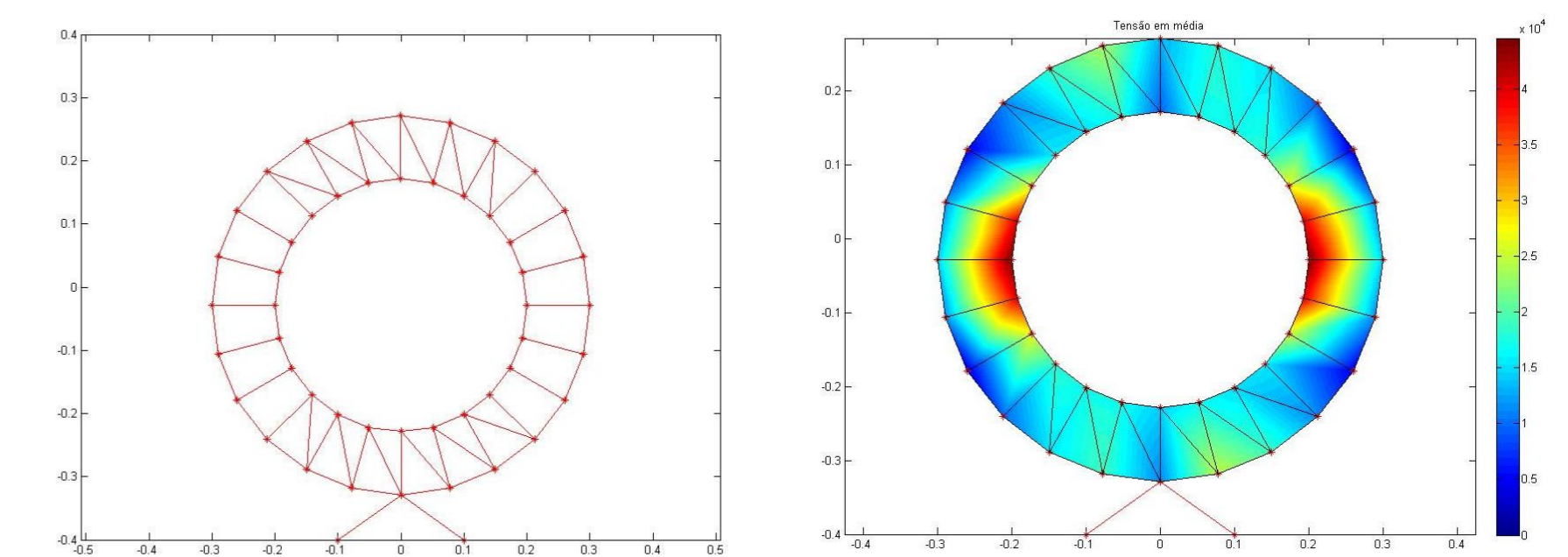


Figura 5: Configuração utilizada no teste e a distribuição de tensão média

Como o objetivo deste projeto é avaliar o contato de riser com o solo, no teste seguinte refinamos um pouco a malha do tubo e introduzimos uma série de elementos de barra verticais na parte inferior do tubo simulando o efeito do solo. Não fomos rígidos quanto ao valor de rigidez destes elementos de barras, pois ainda estávamos interessados em testar o algoritmo. O resultado obtido foi bastante satisfatório, pois atingimos a convergência do problema como esperávamos. Na figura abaixo mostramos a configuração testada.

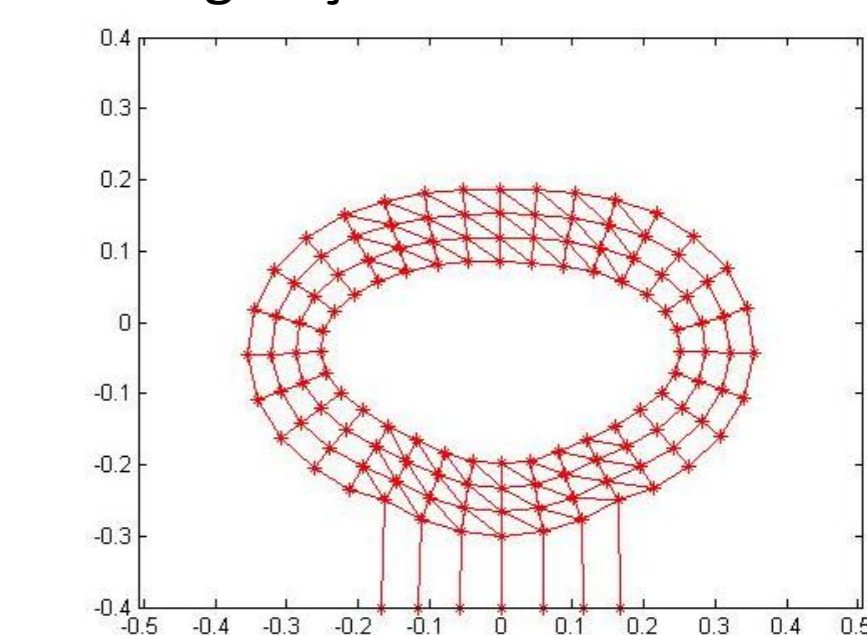


Figura 6: Configuração utilizada no teste

Dados os bons resultados obtidos nos testes anteriores, realizamos nesta última etapa uma simulação de um contato real de um tubo com o solo. Para isto utilizamos uma malha bastante refinada e introduzimos elementos de barra verticais apenas em uma pequena porção da superfície inferior do tubo. A rigidez destes elementos de barra foi admitida como sendo muito alta (cerca de mil vezes a ordem de grandeza da rigidez do tubo) para que pudéssemos comparar o resultado com o resultado descrito na literatura para uma situação real de contato nesta geometria. Na figura abaixo mostramos a configuração adotada e o mapa de tensões obtido, os valores de tensão estão em MPa.

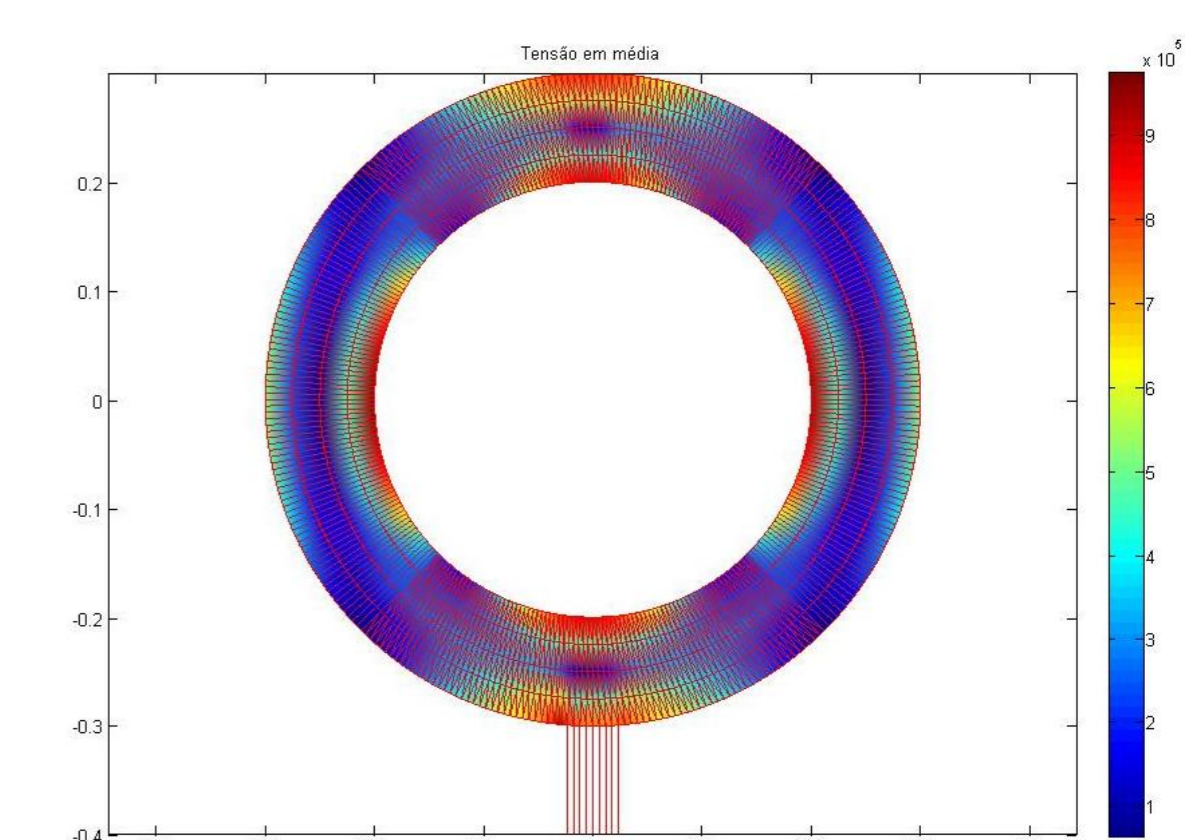


Figura 7: Distribuição de tensão média na configuração testada

O resultado obtido foi coerente com o esperado na literatura para a situação de contato de um tubo com o solo.

4. Conclusão

Com a implementação do algoritmo de análise linear estática, foi possível aprender a estrutura básica de um programa de MEF, desde a maneira mais apropriada de alocar os dados de entrada e informações geométricas do problema, até os procedimentos de cálculo. Nesta etapa conseguimos desenvolver um programa capaz de calcular as deformações e tensões atuantes na estrutura, apresentando os resultados graficamente. Conforme mostrado, os resultados deste algoritmo foram validados em comparação com os resultados de um programa comercial, de forma que foi provada a eficácia do programa desenvolvido. Aplicamos este algoritmo na estrutura riser-tubo, alvo de nosso estudo, onde foi possível analisar os resultados de tensões e deformações para diferentes configurações de contato.

Em continuidade ao plano de pesquisa foi implementado um algoritmo do MEF linear dinâmico, onde foi utilizado o método de integração passo a passo de Newmark. Com este algoritmo, foi possível analisar a evolução das respostas de deslocamento e tensão ao longo do tempo, sendo que este também foi validado em comparação com a literatura. Aplicamos este algoritmo na simulação do contato do tubo com o solo, onde foi possível analisar o resultado de tensão e comparar com o resultado encontrado na literatura para esta configuração.