

UNICAMP

# Análise estática e dinâmica da interação solo-riser-fundação

Aluno: Marcelo Nogueira Grimberg  
Orientador: Prof. Dr. Renato Pavanello

Departamento de Mecânica Computacional – Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp

E-mail: marcelo.grimberg@gmail.com

Agradecimento:



## Resumo

A temática ampla do projeto é o estudo estático de estruturas submersas modeladas pelo método dos Elementos Finitos. O objetivo específico desta iniciação científica foi estudar, implementar e testar um modelo que represente o solo marinho de forma aproximada, com vistas à solução do problema de análise estática de risers. O modelo leva em conta as cargas estáticas de empuxo, o peso próprio do riser. O estudo concentrou-se no problema de equilíbrio estático, considerando a não linearidade do sistema, e o contato com o solo.

Todas as implementações foram feitas internamente ao programa ANSYS, tendo em vista a disponibilidade de uso de um elemento específico para esta análise, e a familiaridade do aluno com o uso da linguagem APDL de programação do ANSYS.

## Introdução

Um dos pontos críticos no projeto de risers para águas ultra-profundas refere-se à complexa interação da estrutura, o riser, com seus arredores, a água e o solo. Uma configuração bastante comum é a de contato Riser solo marinho antes da conexão com a ancoragem da fundação do poço, o que gera condições de contato conforme ilustrado na Figura 1. Este caso ocorre para as configurações em catenária, para risers flexíveis e também podem ocorrer para risers rígidos, em função da movimentação da plataforma na superfície, das correntes marinhas e outras cargas.

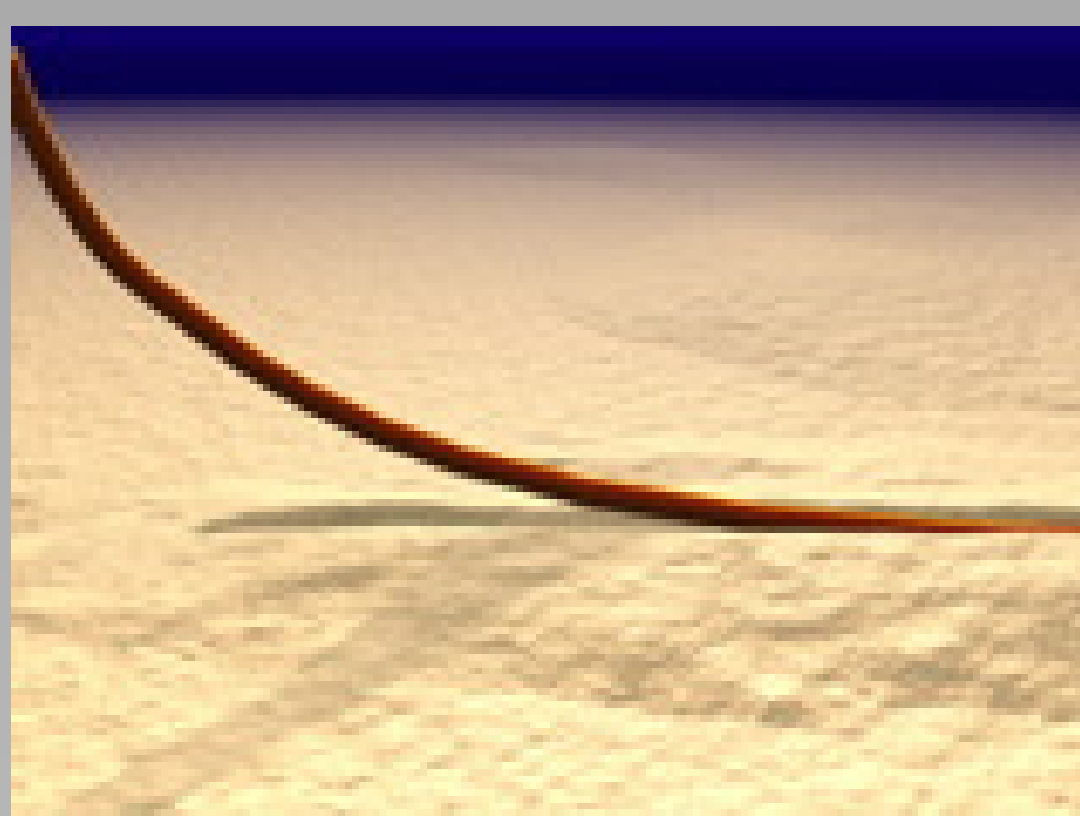


Figura 1 – Condições de contato solo-fluido-estrutura

O foco deste trabalho está na descrição do problema de interação solo-fundação-riser, desprezando inicialmente o efeito dos fluidos.

A modelagem da estrutura e do solo é feita pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) utilizando o programa ANSYS. A implementação realizada consiste na base para o tratamento de problemas estáticos, dinâmicos estacionários e transientes, no âmbito de análises lineares e não-lineares.

## Metodologia

A fim de estudar a influência dos parâmetros adotados na modelagem do solo sobre o comportamento do riser, foi feita uma análise de sensibilidade simplificada dos parâmetros que caracterizam o solo, como, módulo de elasticidade e coeficiente de atrito. As propriedades do riser modelado representam um caso típico de aplicação de riser em catenária. O solo foi modelado como meio contínuo e suas propriedades foram ajustadas ao longo do trabalho. Os dados referentes à geometria e propriedades do solo e do riser são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. A Figura 2 ilustra as dimensões do riser.

Propriedades do material	Valor
Poisson	0,3
Módulo de elasticidade [N/m <sup>2</sup> ]	2,08E11
Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	7850

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do riser.

Propriedades Geométricas	Valor
Diamêtro Externo [m]	0,2731
Diamêtro Interno [m]	0,2318
Comprimento Total [m]	2066,7
Região em contato com o solo [m]	734,46
Lâmina d'água [m]	932,84
Ângulo de topo [graus]	20

Tabela 2 – Propriedades geométricas do riser.

Propriedades Solo	Valor
Espessura [m]	2,731
Comprimento [m]	793,22
Módulo de elasticidade [N/m <sup>2</sup> ]	2E6 – 2E8
Coefficiente de Poisson	0,25
Coefficiente de atrito	0,2 – 0,4

Tabela 3 – Propriedades do solo.

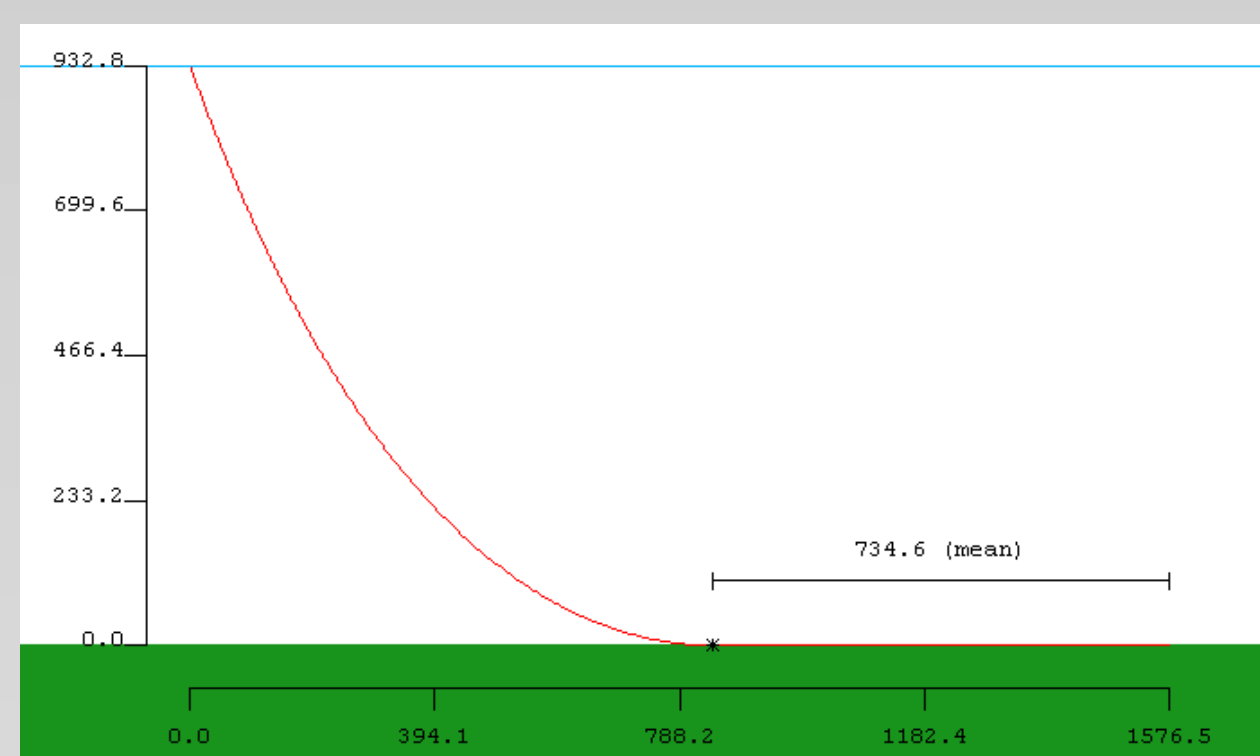


Figura 2 – Representação da catenária no programa Anflex

A discretização do solo e do riser foram feitas utilizando os elementos dos ANSYS denominados SOLID45 e PIPE59 respectivamente. O SOLID45 é um elemento para modelagem de sólidos estruturais tridimensionais. O PIPE59 é um elemento de pórtico próprio para a modelagem de tubos submersos. O elemento tem como diferencial uma formulação que inclui como carregamento as forças hidrostáticas (empuxo), hidrodinâmicas provenientes de fluidos internos (escoamento) e externos (forças oceânicas).

O contato entre as duas estruturas foi imposto pelos elementos TARGE170 e CONTA175. Eles funcionam de forma que quando um elemento de contato penetra na superfície alvo ocorre o contato, a partir do deslocamento referente à penetração é calculada uma força de reação normal as superfícies. Uma força de atrito de Columb, que pode ser do tipo

isotrópico ou ortotrópico, pode ser calculada tendo em vista os coeficientes de atrito e a força normal referente à reação do contato.

A fim de validar os resultados obtidos nas análises executadas no ANSYS procurou-se fazer simulações com o programa Anflex, da Petrobras, sob as mesmas condições do modelo implementado no ANSYS.

## Resultados

O riser comporta-se com cabo apresentando um momento fletor quase nulo ao longo de grande parte da extensão. No entanto, na região de TDP, o riser comporta-se como uma viga atingindo valores de momento descoláveis. Nessa região é observado um valor negativo no trecho em que há o descolamento do riser. Esses comportamentos são ilustrados na Figura 3.

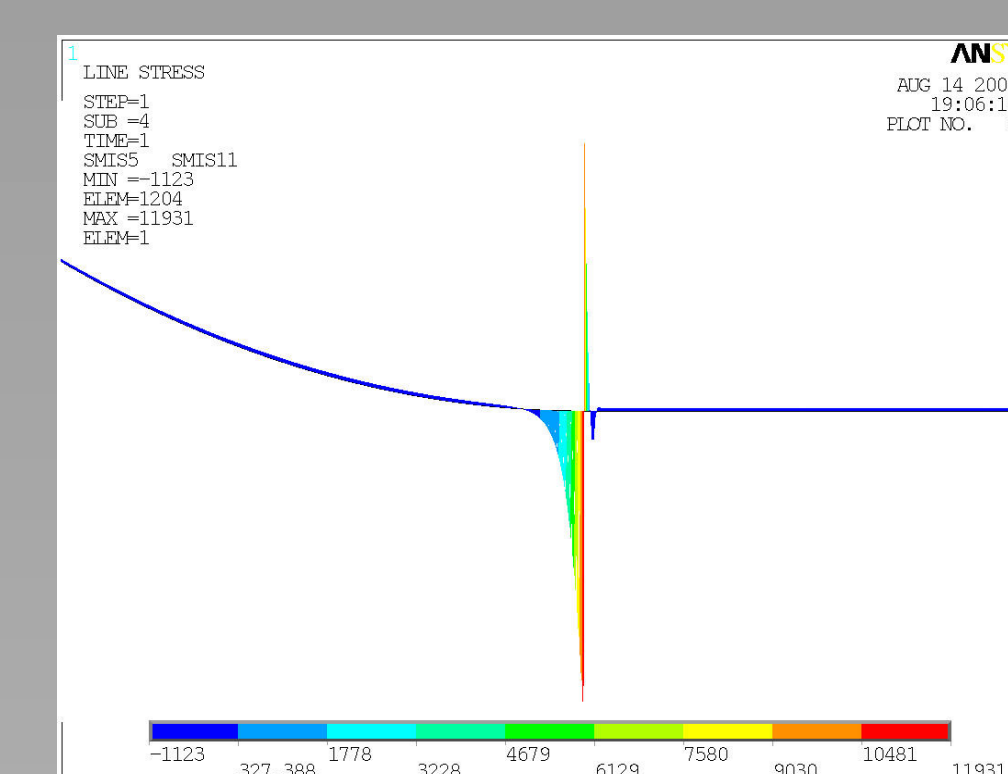


Figura 3 – Momento fletor do riser para um solo com módulo de elasticidade 252,5 Mpa.

A Figura 4 ilustra os resultados para um modelo de solo com módulo de elasticidade 252,5 MPa. Nota-se na Figura 26 que o ponto de máximo deslocamento ocorreu no ponto de toque da catenária TDP. Também foi observado que na região logo após o TDP não há contato do riser com o solo, dado que não existe o deslocamento do mesmo. Já na Figura 5, onde o solo possui um módulo de elasticidade relativamente pequeno, 5 Mpa, nota-se que não existe o descolamento do riser nessa situação.

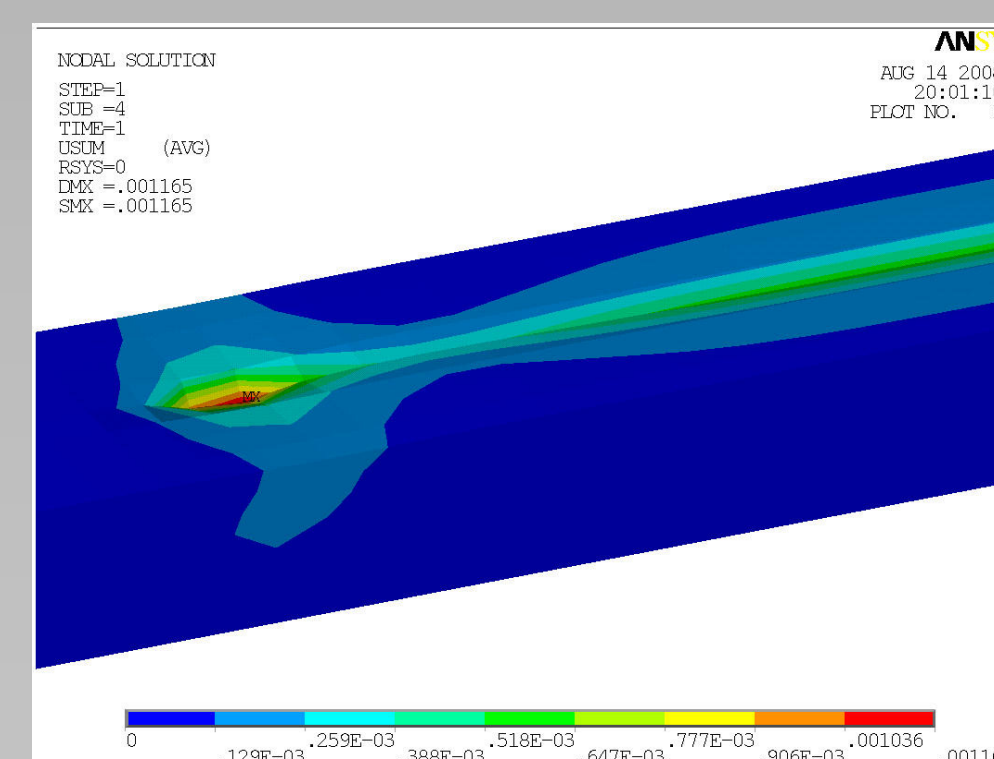


Figura 4 – Deslocamento do solo com módulo de elasticidade 252,5 Mpa.

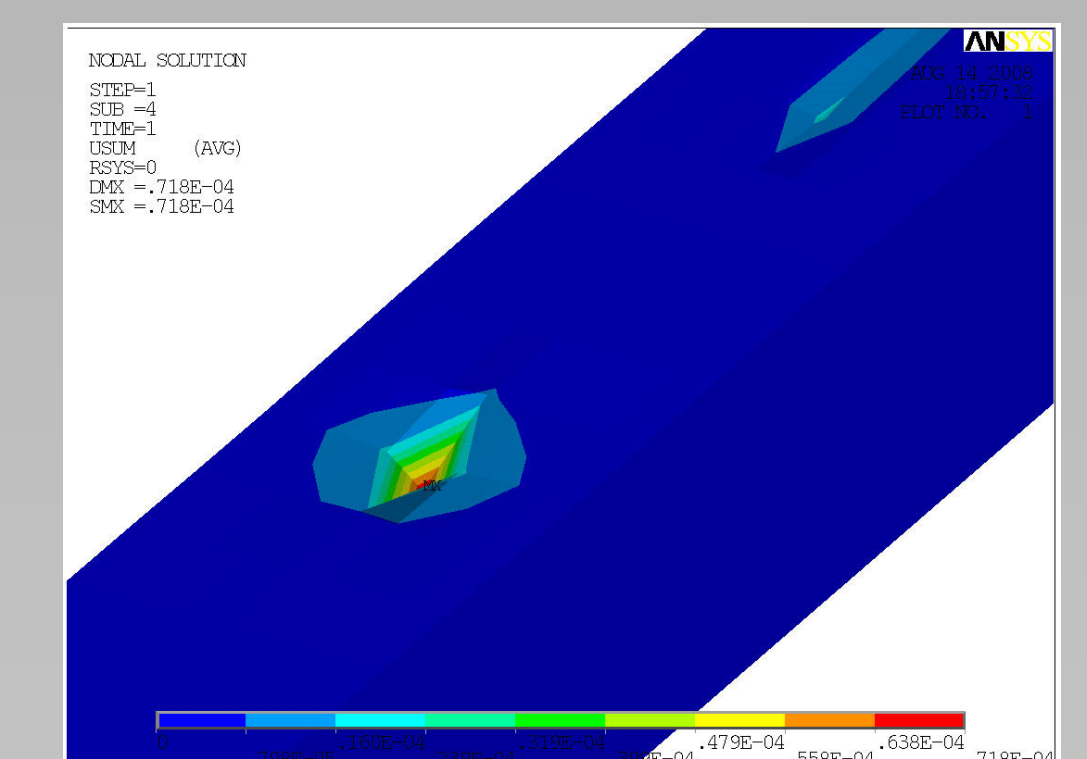


Figura 5 – Deslocamento do solo com módulo de elasticidade 5 Mpa.

O gráfico da Figura 6 é referente ao estudo da influência que o módulo de elasticidade do solo exerce na tensão de Von Mises máxima na região próxima ao primeiro ponto de toque da catenária, "touch down point", (TDP). A força gravitacional foi aplicada, os efeitos de bóia e de atrito não foram considerados e um deslocamento foi aplicado ao topo da catenária para simular o deslocamento da plataforma. O módulo de elasticidade variou entre 4 MPa à 500 MPa. Observa-se que a tensão máxima de Von Mises e o momento fletor tendem a diminuir com o aumento do módulo de elasticidade.

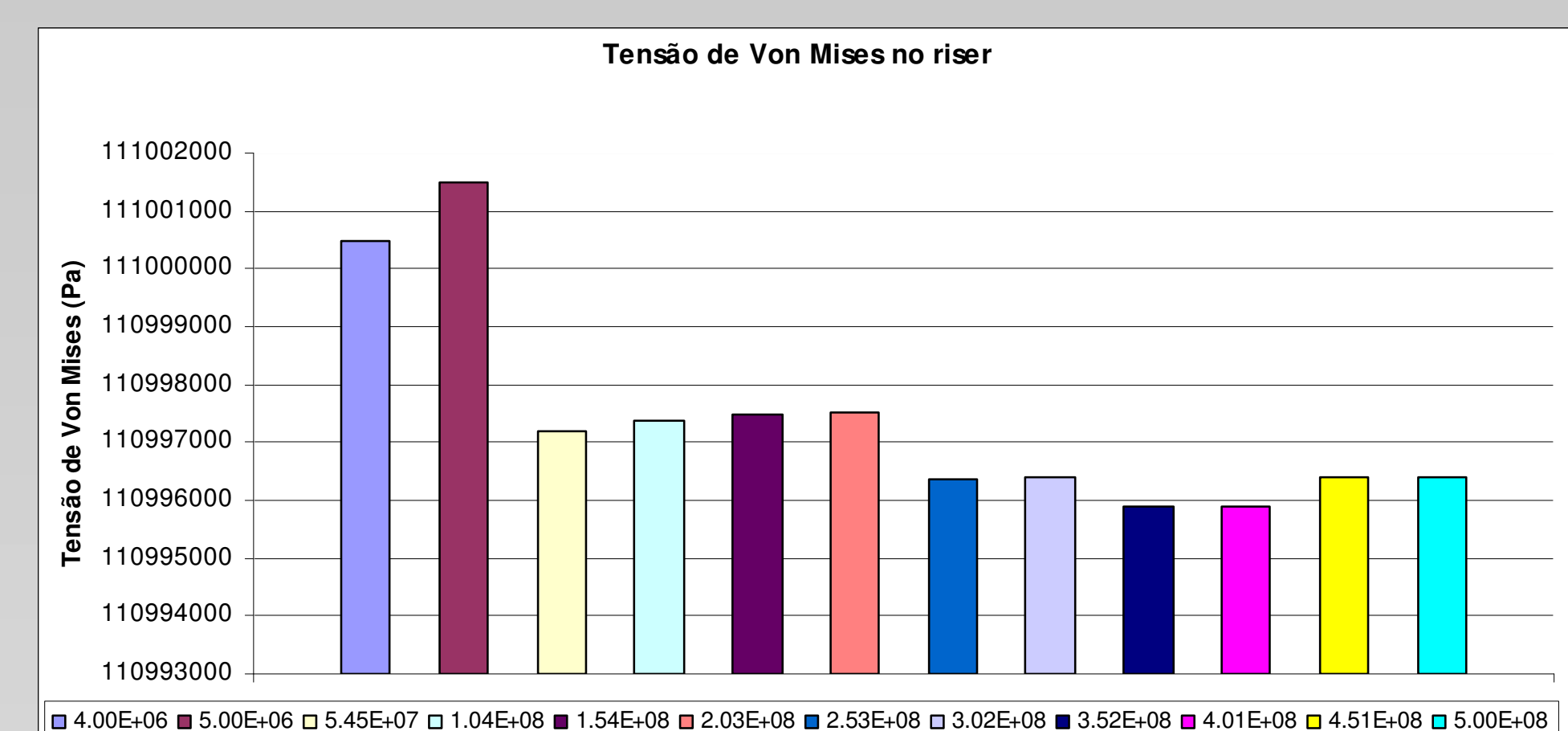


Figura 3 – Influência do módulo de elasticidade do solo na tensão máxima de um riser não submerso.

## Conclusão

O presente trabalho abordou a análise estática da interação solo-riser modelada pelo Método dos Elementos Finitos, utilizando o programa ANSYS e visando o comportamento do riser configurado na forma de catenária. Foi feito um estudo simplificado da sensibilidade do riser aos parâmetros que caracterizam o solo, módulo de elasticidade e coeficiente de atrito; e por final, alguns resultados foram comparados com os obtidos no programa Anflex, programa de elementos finitos desenvolvido pela Petrobras.

As tensões axiais obtidas ao longo da catenária foram satisfatórias quando comparados os resultados do ANSYS com os do Anflex, apresentando um erro máximo de 0,75%.

A dificuldade que o programa apresentou para convergir as simulações foi a maior desafio encontrado no trabalho. Esse problema explica o fato dessa ferramenta, o ANSYS, não ser utilizada com frequência nesse tipo de análise. Na prática o uso de ferramentas dedicadas para este tipo de análise parece ser mais conveniente.