

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE *RISERS* VERTICAIS COMPLACENTES

Michele A. L. Martins^a, Camila S. Vieira^a, Fábio M. G. Ferreira^a, Marcos D. S. V. Arruda^a, David A. C. Dantas^a, Reberth D. B. Cavalcante^a, Beatriz R. Barboza^a, Eduardo N. Lages^a, Eduardo S. S. Silveira^a, Márcio M. Mourelle^b, Stael F. Senra^b

^aLaboratório de Computação Científica e Visualização, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió, Alagoas, Brasil
micheleagra, camila, fabio.ferreira, diegoarruda, dacd, rdcb, beatrizbarboza, enl, eduardosetton@lccv.ufal.br, http://www.lccv.ufal.br

^bCentro de Pesquisas da Petrobras – CENPES, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ – Brasil
mourelle, stael@petrobras.com.br

Palavras-chave: *Risers* rígidos, *risers* verticais complacentes, análise paramétrica.

Resumo. *Risers* verticais complacentes (CVAR) consistem em uma alternativa relativamente recente para exploração de petróleo em águas ultra-profundas. A geometria do arranjo CVAR se apresenta predominantemente vertical com um *offset* horizontal entre o topo e a base. Sua configuração característica é obtida a partir da utilização de um trecho com revestimento de peso adicional na parte mais superior do *riser* e outro trecho com flutuadores, neste caso na região mais inferior. A disposição desses trechos ao longo da estrutura proporciona o aumento da tração ao longo do *riser*, mantendo os trechos verticais e atenuando a dinâmica da linha. O *offset* entre o topo e a base bem como a diferença de flutuação na região intermediária do *riser* geram uma leve curvatura nessa região. O dimensionamento do arranjo CVAR é determinado pela definição de 7 variáveis: diâmetro dos flutuadores, comprimento do trecho de flutuadores, espessura do revestimento pesado, comprimento do trecho de revestimento pesado, posição do conjunto revestimento pesado/flutuadores ao longo da linha, *offset* do poço e comprimento total da linha. Visando obter uma melhor compreensão do comportamento do arranjo CVAR, apresenta-se um estudo paramétrico do mesmo em função de suas variáveis de projeto características. O comportamento estrutural do *riser* é avaliado em termos de tensão combinada de von Mises, tração efetiva e raio de curvatura, observando-se a tendência de variação desses parâmetros de resposta a partir da variação das variáveis de projeto identificadas. Os resultados de um exemplo hipotético são apresentados e discutidos, aprimorando o conhecimento acerca de *risers* verticais complacentes e contribuindo no direcionamento do dimensionamento de tais estruturas.

1 INTRODUÇÃO

Uma alternativa relativamente recente de configuração de *riser* para exploração de petróleo em águas profundas e ultra-profundas é o *riser* vertical complacente (*Compliant Vertical Access Riser - CVAR*). Devido à sua geometria característica, obtida pela utilização de trechos de flutuador e de peso adicional distribuídos em regiões específicas ao longo do *riser*, além de um excesso de comprimento, é possível proporcionar uma considerável complacência ao sistema. Em virtude dessa complacência, esse tipo de *riser* dispensa a utilização de mecanismos de compensação do movimento e de tensionadores, simplificando e reduzindo o custo do sistema. Reforçando a competitividade desse novo conceito, a geometria proposta permite intervenção direta no poço, viabilizando as operações de *workover* direto da plataforma, dispensando a contratação de unidades específicas para esse tipo de serviço. Tendo em vista as altas taxas diárias dessas unidades e a carência de equipamentos, essa facilidade simplifica as operações de intervenção, o que se traduz em economia de gastos e ganho de tempo. Ishida *et al.* (2001) descrevem o sistema de *workover* com aplicação em um CVAR-FPSO.

Uma das principais características do arranjo em estudo é uma região central flutuante quase-neutra, perto de um ponto de inflexão que tende a isolar os movimentos da região superior do *riser* dos movimentos da região inferior. Uma característica fundamental na concepção deste estudo é a atenuação da dinâmica da linha. Além disso, o arranjo CVAR tem a vantagem de ser predominantemente vertical nas suas extremidades inferior e superior, permitindo dessa forma acesso vertical ao poço.

A viabilidade técnica do arranjo CVAR para águas profundas já foi avaliada e comprovada. Ishida *et al.* (2001) estudaram a aplicação do arranjo CVAR acoplado a um FPSO, demonstrando a viabilidade do arranjo e ainda a possibilidade de utilizá-lo com completação seca. A mesma avaliação foi feita por Mungall *et al.* (2004) para aplicação do arranjo CVAR em plataformas semi-submersíveis.

O dimensionamento do arranjo CVAR é definido por sete variáveis: diâmetro dos flutuadores, comprimento do trecho de flutuadores, espessura do revestimento pesado, comprimento do trecho de revestimento pesado, posição do conjunto revestimento pesado/flutuadores ao longo da linha, *offset* do poço e comprimento total da linha. Como etapa inicial de estudo, propõe-se uma análise paramétrica do arranjo em questão, de modo obter uma melhor compreensão do seu comportamento estrutural quando submetido a ações extremas. Dessa forma, obtém-se um melhor direcionamento do dimensionamento de tais estruturas com o objetivo final de se estabelecer uma configuração básica que possa satisfazer aos critérios de resistência e condições operacionais pré-estabelecidas. A sensibilidade do modelo é avaliada a partir da resposta da estrutura em termos de tensão combinada de von Mises, raio de curvatura e tração efetiva. Para tanto, observa-se a tendência de variação desses parâmetros de resposta a partir da variação dos parâmetros característicos de dimensionamento do arranjo CVAR.

2 DESCRIÇÃO DO MODELO

O arranjo em estudo consiste em um *riser* vertical complacente cuja geometria se apresenta predominantemente vertical com um *offset* horizontal entre o topo e a base (Figura 1). Tal configuração é obtida com a utilização de trecho com revestimento de peso adicional na parte mais superior do *riser* e outro trecho com flutuadores na parte mais inferior. A disposição desses trechos ao longo da estrutura proporciona o aumento da tração ao longo do *riser*, mantendo os trechos verticais e atenuando a dinâmica da linha. Em contrapartida, o *offset*

entre o topo e o solo bem como a diferença de flutuação na região intermediária do *riser* geram uma leve curvatura nessa região.

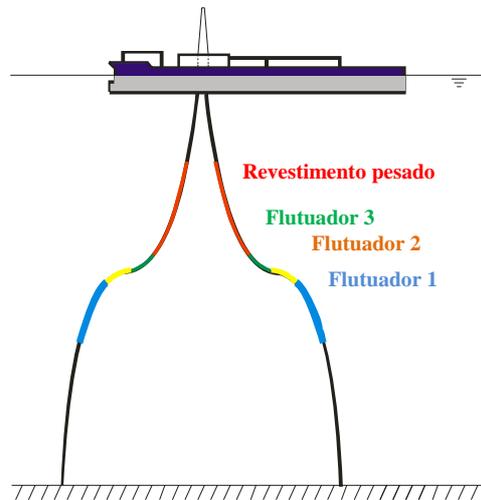


Figura 1 – *Riser* vertical complacente.

A profundidade da lâmina d'água na qual a estrutura está localizada, assim como o azimute da linha, são dados conhecidos do problema. Por sua vez, a distância horizontal entre o topo e a base do *riser* consiste em uma das variáveis da configuração em estudo. A geometria e as propriedades físicas do *riser* são predefinidas com exceção do comprimento do mesmo.

Para a realização das análises estáticas e dinâmicas do *riser*, o arranjo é modelado no programa ANFLEX (2009) usando seis segmentos do tipo *rigid tube* e dois do tipo *stress joint*. Na Tabela 1 são relacionados os trechos dos segmentos que compõem o modelo.

Trecho	Material
1	<i>Stress joint</i>
2	<i>Riser</i>
3	Flutuador 1
4	Flutuador 2
5	Flutuador 3
6	<i>Riser</i> com revestimento pesado
7	<i>Riser</i>
8	<i>Stress joint</i>

Tabela 1: Trechos que compõem o *riser*.

Com relação às condições de conexão, a base do *riser* encontra-se engastada em um ponto localizado no nível do solo marinho e o topo do mesmo, engastado na embarcação, possui deslocamentos e rotações prescritos em função do movimento da unidade flutuante. Considera-se que nas proximidades dessas conexões são utilizadas *stress joints*.

Os flutuadores são distribuídos em três regiões com diâmetros diferentes, sendo o diâmetro do primeiro trecho maior que o do segundo, que por sua vez é maior que o diâmetro do terceiro flutuador. Essa mudança gradual de diâmetro proporciona uma atenuação na curvatura formada na região intermediária, característica da configuração do *riser*

investigado, reduzindo o momento de flexão nessa região e conseqüentemente a tensão resultante.

3 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO AMBIENTAL

Para a análise extrema do arranjo, o mesmo é avaliado para condições de estado de mar centenário. Por simplificação, as variáveis ambientais de onda e corrente são consideradas atuando de forma colinear nas direções relativas ao *riser* nas condições *near*, *far* e *transverse*.

O cenário ambiental extremo considerado é determinado pela atuação conjunta de onda centenária e corrente centenária. Vale ressaltar ainda que nas análises aqui descritas são utilizados os dados de corrente de superfície e também de corrente a meia água. Para as análises extremas realizadas é adotado um *offset* estático correspondente a um percentual da lâmina d'água.

4 ESTUDO DE SENSIBILIDADE DA RESPOSTA DO RISER

Um estudo de sensibilidade é realizado com o objetivo de compreender o efeito causado na resposta do *riser* pela variação de cada uma das variáveis de projeto características do modelo. Neste estudo são avaliadas como respostas de interesse as máximas tensões combinadas de von Mises na parede externa, a mínima tração efetiva e o menor raio de curvatura.

São apresentados, a seguir, o estudo de sensibilidade do *riser* em relação à variação de cinco variáveis de projeto: comprimento do trecho com flutuador e comprimento do trecho com revestimento pesado (que correspondem à variação do volume desses dois componentes), posição do conjunto revestimento pesado/flutuador ao longo do *riser* (obtido a partir da variação do comprimento dos trechos de *riser* superior e inferior), comprimento total da linha e *offset* do poço. Neste estudo as demais variáveis de projeto são fixadas.

Neste trabalho são analisadas apenas as condições *near* e *far* por serem as condições críticas da estrutura. Os resultados obtidos da análise de sensibilidade de cada variável servem como referência para as análises subseqüentes.

4.1 Sensibilidade quanto à variação do comprimento do trecho com flutuadores

Nesta primeira análise considera-se a existência de apenas um trecho de flutuador. Para analisar a influência do comprimento do trecho com flutuador são fixados os comprimentos dos trechos restantes, com exceção do trecho de *riser* adjacente ao flutuador. Este trecho tem seu comprimento diminuído na mesma proporção de crescimento do trecho em estudo para que seja mantido constante o comprimento total do *riser*.

Na é mostrada a configuração neutra obtida para as configurações analisadas, destacando-se o trecho com flutuador. Na Figura 3 é apresentada a tendência de variação do menor raio de curvatura ao longo da linha a partir do aumento do trecho de flutuador, considerando estados de mar com período de retorno anual. Nota-se que os resultados são coincidentes para a análise dinâmica e estática tanto na condição *far* quanto na condição *near*. Na Figura 4 e Figura 5 são apresentadas a tendência de variação da máxima tensão de von Mises na parede externa para análise extrema. Na Figura 6, mostra-se a variação da mínima tração efetiva.

Verifica-se a partir da Figura 3 que o comportamento da linha em relação ao raio de curvatura é semelhante tanto para condição *far* como *near*, crescendo com o aumento do volume de flutuador. Para as análises realizadas também se observa que o raio de curvatura mínimo ocorre no trecho de flutuador.

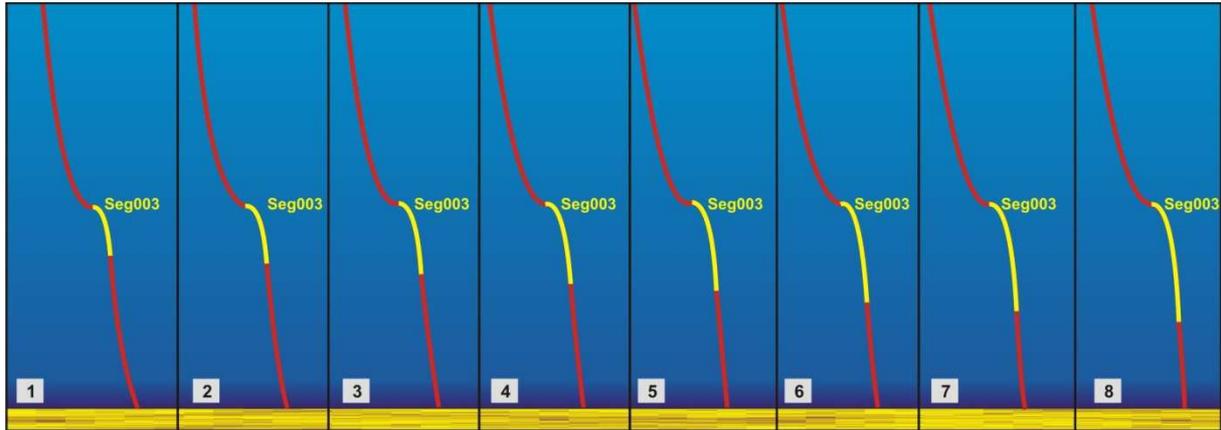


Figura 2 – Configuração do arranjo para cada configuração analisada.

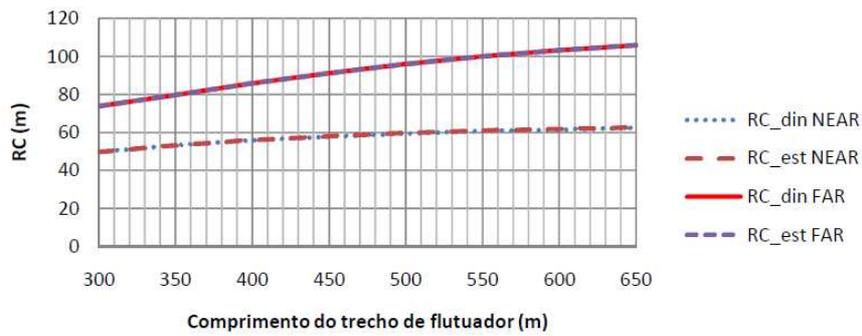


Figura 3 - Variação do raio de curvatura em função do comprimento do trecho de flutuadores.

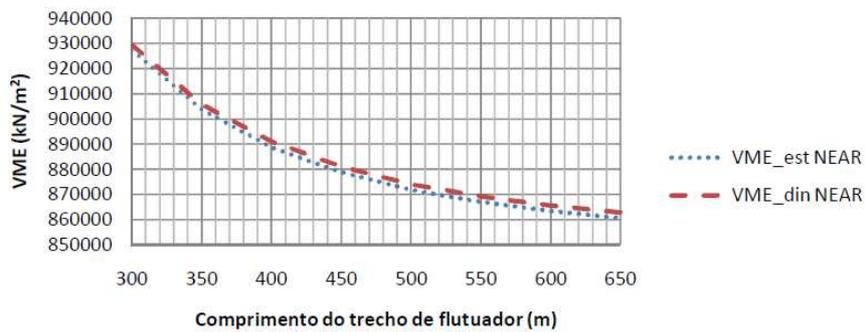


Figura 4 - Variação da tensão de von Mises em função do comprimento do trecho de flutuadores para a condição *near*.

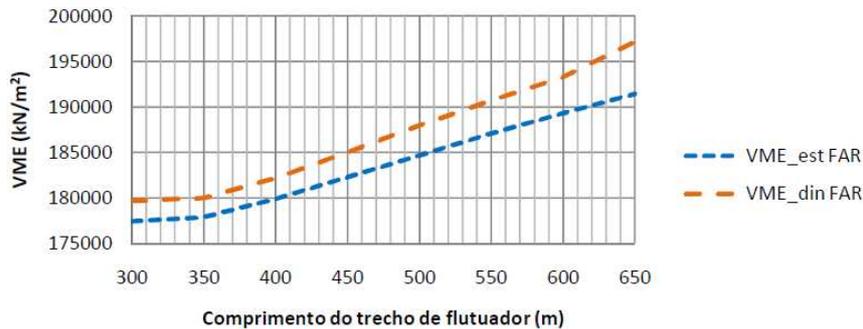


Figura 5 - Variação da tensão de von Mises em função do comprimento do trecho de flutuadores para a condição *far*.

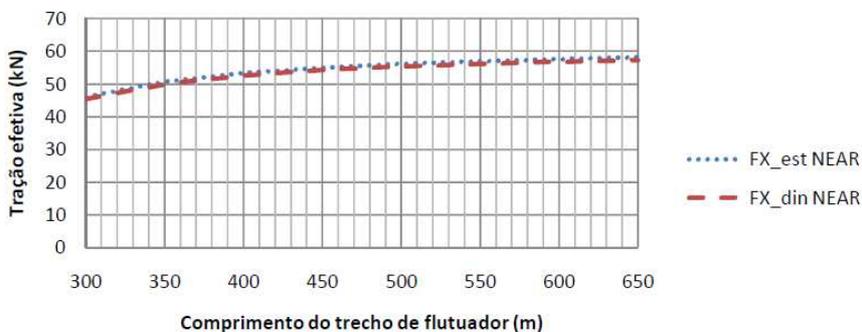


Figura 6 - Variação da tração efetiva em função do comprimento do trecho de flutuadores.

A variação da máxima tensão de von Mises apresenta comportamento diferente para as condições *near* e *far*, tendendo a diminuir para a primeira e a crescer para a segunda. Isso ocorre pois a máxima tensão combinada se dá em lugares e por razões diferentes para essas duas condições de análise. Na condição *near* a máxima tensão ocorre no trecho de flutuador, uma vez que é nessa seção que ocorre o menor raio de curvatura. Como o aumento do volume de flutuador tende a aumentar o raio de curvatura, conseqüentemente essa máxima tensão tende a diminuir. Na condição *far* a máxima tensão passa a ocorrer no topo do *riser*, dado que essa é a região submetida aos maiores esforços de tração.

Quanto à tração efetiva ao longo da linha, para todos os exemplos analisados não se verifica compressão em nenhum ponto. Essa é uma condição desejada, de modo a evitar a ocorrência de flambagem do *riser*. Na Figura 6 é apresentada a variação da mínima tração efetiva apenas para a condição *near*, pois é para essa condição que esse parâmetro de resposta apresenta-se crítico. É possível observar que a tração efetiva tende a crescer com o aumento do volume de flutuadores. Verifica-se ainda que a mínima tração efetiva ocorre sempre no final do trecho de flutuador, na conexão com o trecho de revestimento pesado.

Devido aos elevados valores de tensão centenária observados, propôs-se a utilização de trechos de flutuadores com diferentes diâmetros, considerando-se até três trechos. Com a utilização dessa gradação no trecho de flutuador busca-se a obtenção de uma configuração mais suave do *riser*, objetivando o aumento do raio de curvatura e, conseqüentemente, a redução das tensões nessa região.

Para a avaliação com dois diferentes trechos assume-se que o trecho total de flutuador é composto por 60% do primeiro flutuador e 40% do segundo. Para a avaliação com três diferentes trechos assume-se que o trecho total de flutuador é composto por 40% do primeiro flutuador, 30% do segundo flutuador e 30% do terceiro flutuador. Na Figura 7 são mostradas as configurações obtidas com a utilização de um, dois e três flutuadores.

Na Figura 8 e na Figura 9 são apresentados os resultados obtidos apenas para *near*, visto que esse é apontado como crítico para o estudo realizado.

A partir da Figura 8 verifica-se que a gradação proposta gera o resultado esperado de aumento do raio de curvatura, proporcionando tensões menores na região crítica de curvatura. Dessa forma, para os demais estudos de sensibilidade, considera-se o flutuador composto por três trechos com diferentes diâmetros.

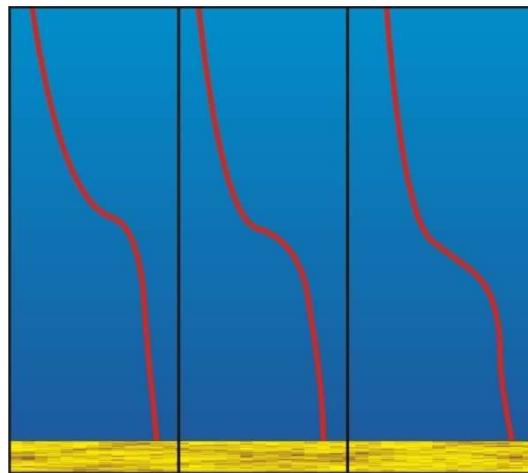


Figura 7 - Configuração do arranjo para o caso de (a) um flutuador, (b) dois flutuadores e (c) três flutuadores.

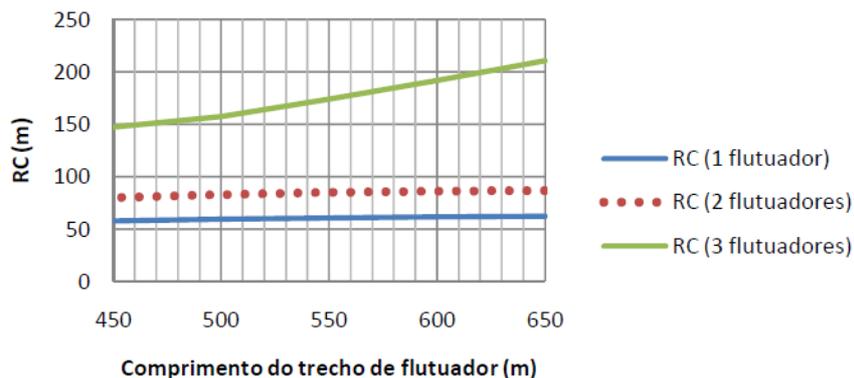


Figura 8 - Raio de curvatura para diferentes composições de flutuadores.

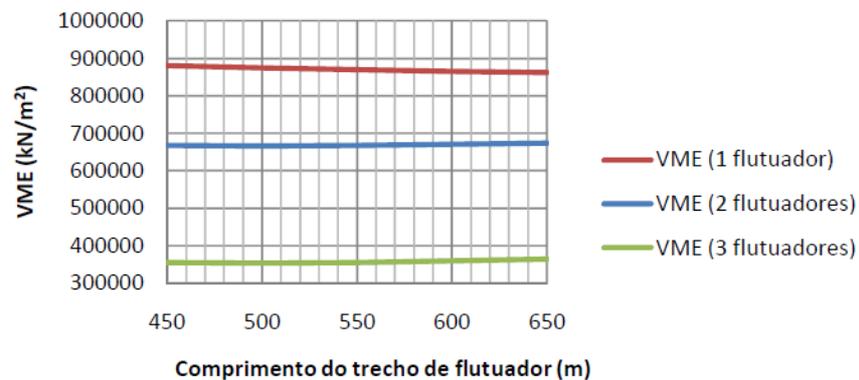


Figura 9 - Tensão combinada para diferentes composições de flutuadores.

4.2 Sensibilidade quanto à variação do comprimento do trecho com revestimento pesado

Nesta etapa do estudo são fixados os diâmetros e comprimentos dos três trechos de flutuador, continuando também fixados o *offset* do poço e a espessura do revestimento pesado com os mesmos valores utilizados na seção anterior. A Figura 10 ilustra a configuração neutra obtida para as configurações analisadas, destacando o trecho de revestimento pesado que está sendo variado.

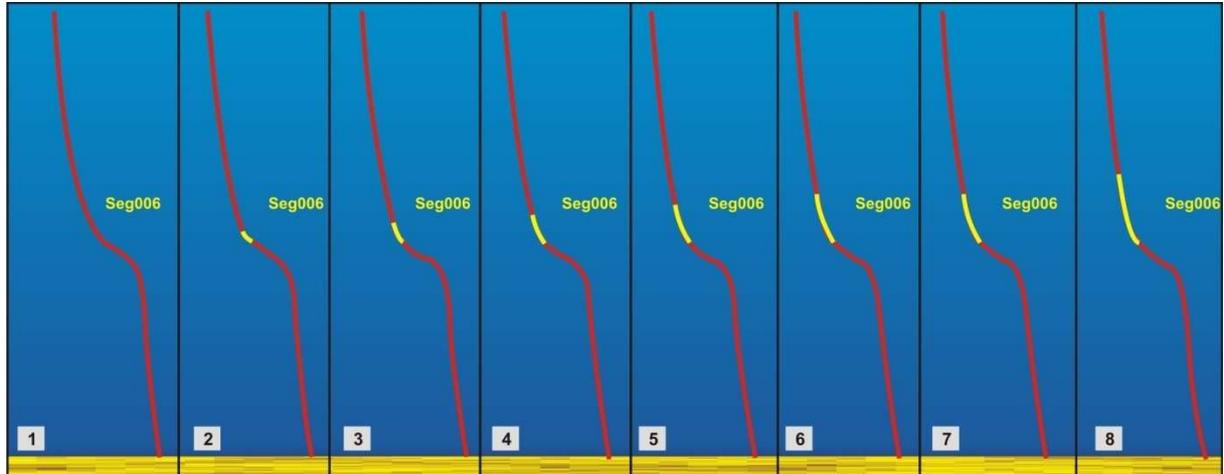


Figura 10 - Configuração do arranjo para as configurações analisadas.

Na Figura 11 é mostrada a tendência de variação do raio de curvatura com o aumento do comprimento do trecho com revestimento pesado. Observa-se que o comportamento da linha é semelhante tanto para condição *far* como *near*, crescendo com o aumento do comprimento do trecho de revestimento pesado. Nota-se também que os resultados são coincidentes para a análise dinâmica e estática nas condições *far* e *near*.

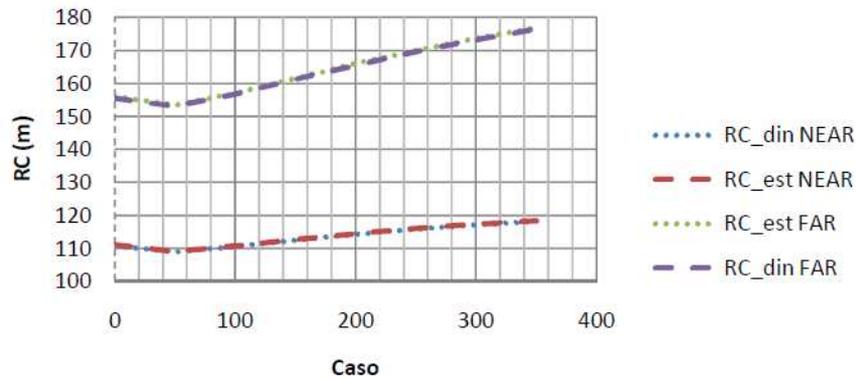


Figura 11 - Variação do raio de curvatura em função do comprimento do trecho de revestimento pesado.

Na Figura 12 e na Figura 13 são mostradas as tendências de variação da máxima tensão de von Mises com o aumento do trecho com revestimento pesado para as condições *near* e *far*, respectivamente. Percebe-se que as tensões tendem a diminuir na condição *near* e a crescer na condição *far*. Nesses casos também se observa que a máxima tensão ocorre na seção de menor raio de curvatura (região dos flutuadores) no caso *near*, enquanto que para *far* essa região crítica é transferida para o topo.

A Figura 14 apresenta a variação da mínima tração efetiva para a condição *near*, mostrando uma tendência de crescimento desse parâmetro com o aumento do trecho de revestimento pesado. Em nenhum ponto se verificou a compressão da linha. Para os casos analisados verifica-se ainda que a mínima tração efetiva ocorre sempre no final do segundo trecho de flutuador e início do trecho do terceiro flutuador.

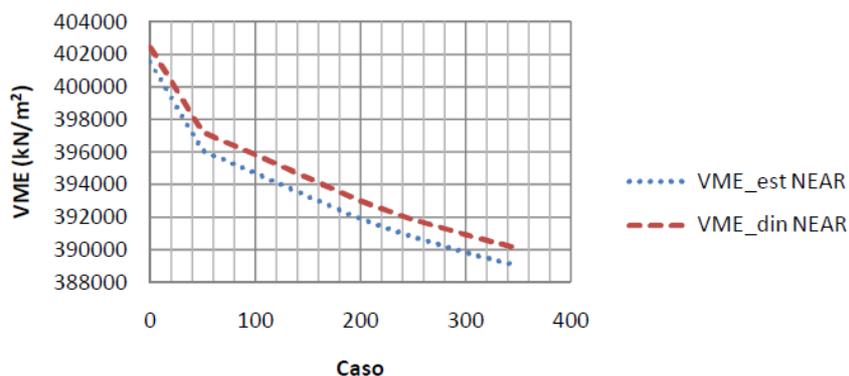


Figura 12 - Variação da tensão de von Mises em função do comprimento do trecho de revestimento pesado para a condição *near*.

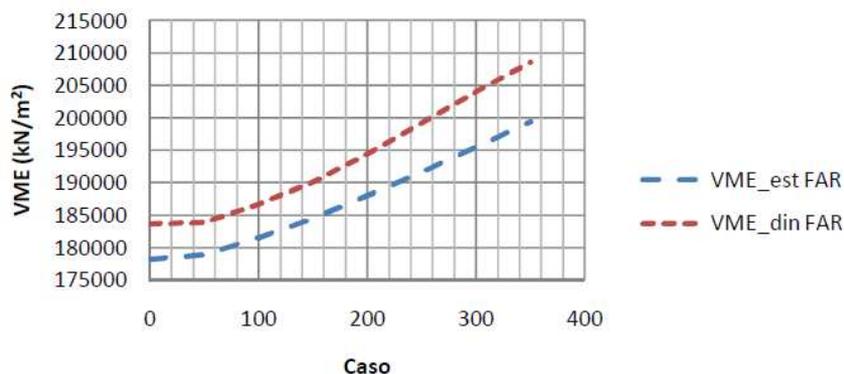


Figura 13 - Variação da tensão de von Mises em função do comprimento do trecho de revestimento pesado para a condição *far*.

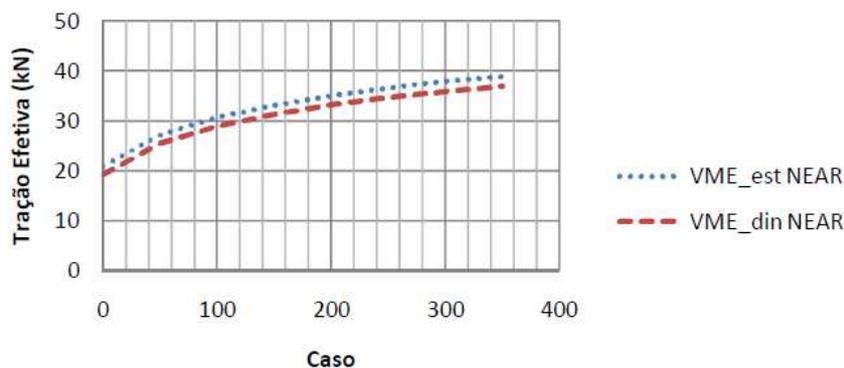


Figura 14 - Variação da tração efetiva em função do comprimento do trecho de revestimento pesado.

Com base nos resultados obtidos observa-se que o aumento do volume de revestimento pesado na composição do *riser* em estudo traz uma melhora no comportamento do mesmo em relação às respostas de interesse para a condição *near*. Em contrapartida, para a condição *far*, verifica-se o aumento da máxima tensão combinada.

4.3 Sensibilidade quanto à variação da posição do conjunto revestimento pesado/flutuadores

Nesta etapa é avaliada a variação da resposta do *riser* em função da posição do conjunto revestimento pesado/flutuador ao longo do mesmo. Para tal avaliação são fixadas as espessuras e os comprimentos dos trechos de revestimento pesado e flutuador, equivalentes aos usados nas seções anteriores. O comprimento do trecho de peso adicional é assumido igual ao que apresentou menor raio de curvatura e menor tensão de von Mises na condição *near* do estudo anterior. A Figura 15 apresenta a configuração neutra obtida para as configurações analisadas.

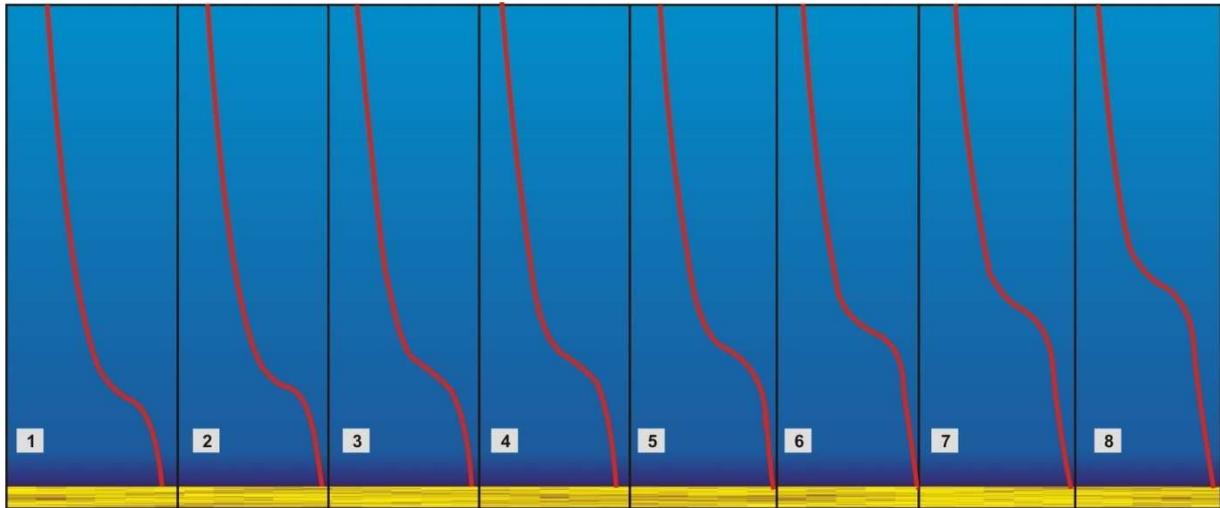


Figura 15 - Configuração do arranjo para as configurações analisadas.

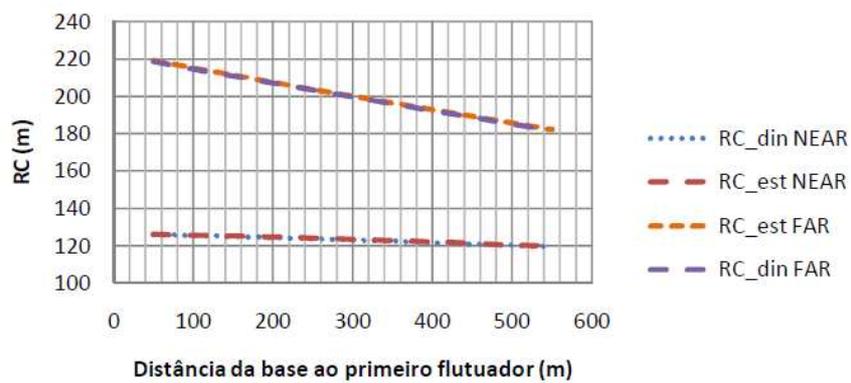


Figura 16 - Variação do raio de curvatura em função da posição do conjunto revestimento pesado/flutuador.

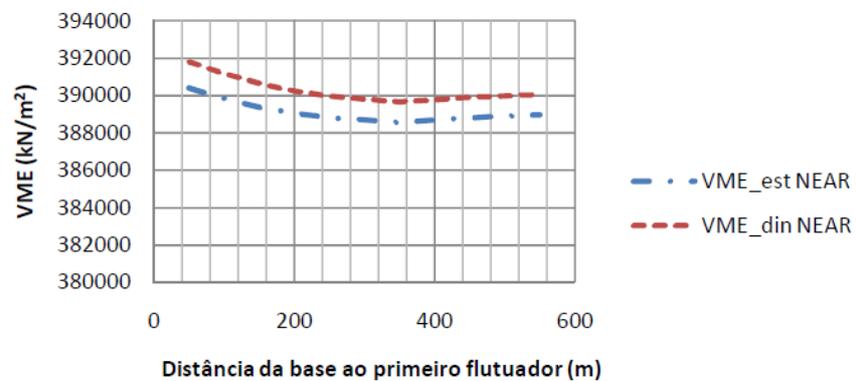


Figura 17 - Variação da tensão de von Mises em função da posição do conjunto revestimento pesado/flutuador para a condição *near*.

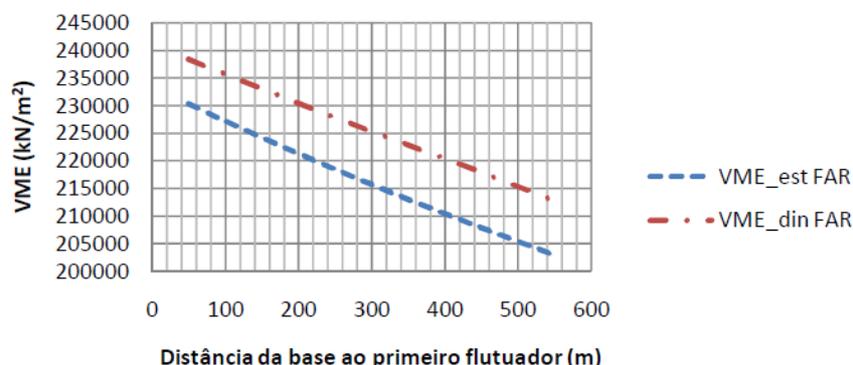


Figura 18 - Variação da tensão de von Mises em função da posição do conjunto revestimento pesado/flutuador para a condição *far*.

Para a variação de posição imposta ao conjunto de revestimento pesado/flutuador observa-se que o raio de curvatura (Figura 16) decresce à medida que esse conjunto se aproxima do topo do *riser*, tanto para *near* quanto para *far*. Como consequência, a tensão de von Mises anual tende a crescer para essa mesma condição. Nota-se ainda que os resultados obtidos na análise dinâmica e na estática são coincidentes tanto na condição *far* quanto na condição *near*.

Por outro lado, verifica-se que as tensões centenárias (Figura 17 e Figura 18) decrescem para ambas as condições *near* e *far* quando o conjunto citado se aproxima do topo do *riser*. Assim como nos demais casos analisados, essa máxima tensão ocorre na seção de menor raio de curvatura (região dos flutuadores) para caso *near* e no topo do *riser* para a condição *far*.

Na Figura 19 é mostrada a variação da tração efetiva ao longo da linha para a condição *near*, mostrando uma tendência de crescimento desse parâmetro à medida que o revestimento pesado e os flutuadores se aproximam do topo do *riser*. Em nenhum ponto da linha foi verificada a ocorrência de compressão.

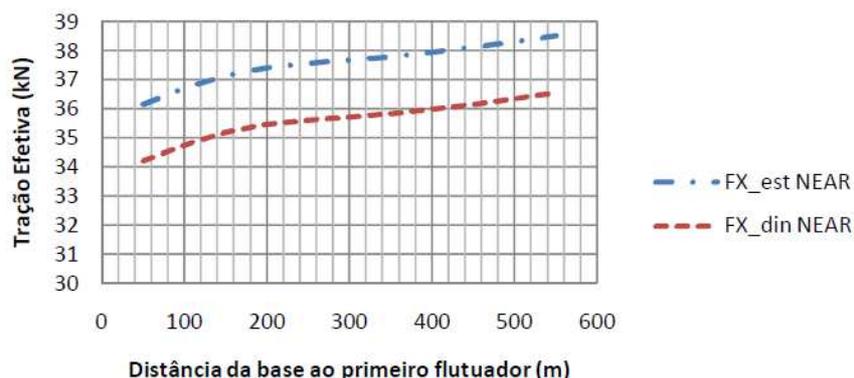


Figura 19 - Variação da tração efetiva em função da posição do conjunto revestimento pesado/flutuador.

Para os casos analisados verifica-se ainda que a mínima tração efetiva ocorre sempre no final do segundo trecho de flutuador e início do trecho do terceiro flutuador. Com base nos resultados obtidos observa-se que a proximidade do revestimento pesado e dos flutuadores ao topo da linha proporciona uma melhora na resposta do *riser* para eventos extremos, a partir da redução da máxima tensão de von Mises na condição *far*. Para condição extrema em *near* a

resposta em termos de tensão apresentou menor sensibilidade. Por outro lado, essa proximidade provoca uma diminuição do raio de curvatura e conseqüente aumento de tensão para a condição de operação (anual).

4.4 Sensibilidade quanto à variação do comprimento total da linha

Neste caso varia-se apenas o comprimento total da linha, fixando-se todos os outros parâmetros. Deve-se ressaltar que para todos os comprimentos analisados manteve-se a mesma proporção do trecho de revestimento pesado e flutuador em relação ao comprimento total da linha. Na Figura 20 é mostrada a configuração de cada caso.

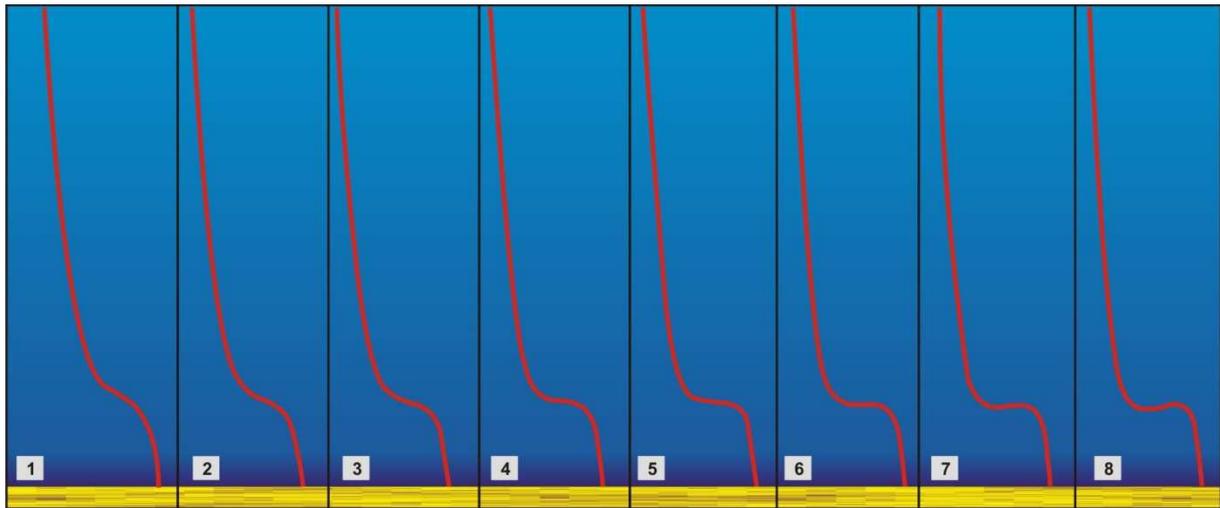


Figura 20 - Configuração do arranjo para as configurações analisadas.

Para cada comprimento de linha avaliado é calculado o parâmetro *overlength fraction*, dado por

$$OF = \frac{CL - d}{d} \quad (1)$$

onde CL é o comprimento da linha e d é a distância em linha reta entre a cabeça do poço e o topo da linha.

Os resultados obtidos (Figura 21 e Figura 22) indicam que o aumento do *overlength fraction*, que reflete no aumento do comprimento total da linha, acarreta a diminuição do raio de curvatura e conseqüente aumento da tensão de von Mises. Observa-se, também, que os resultados da análise estática coincidem com aqueles da análise dinâmica tanto para a condição *near* quanto *far*.

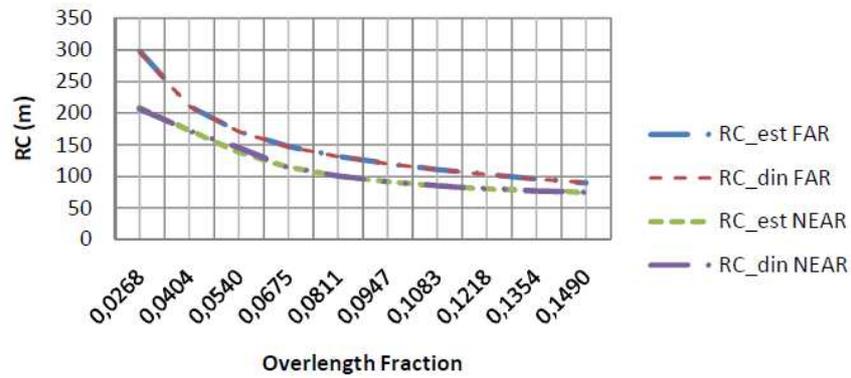


Figura 21 - Variação do raio de curvatura em função do *overlength fraction*.

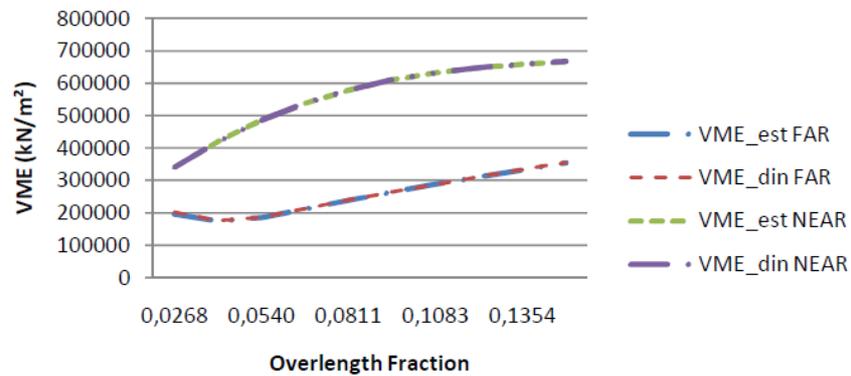


Figura 22 - Variação da tensão de von Mises em função do *overlength fraction*.

Na Figura 23 é mostrada a variação da mínima tração efetiva para a condição *near*, mostrando uma tendência de diminuição desse parâmetro com o aumento do *overlength fraction*. Não houve compressão em nenhum ponto ao longo da linha.

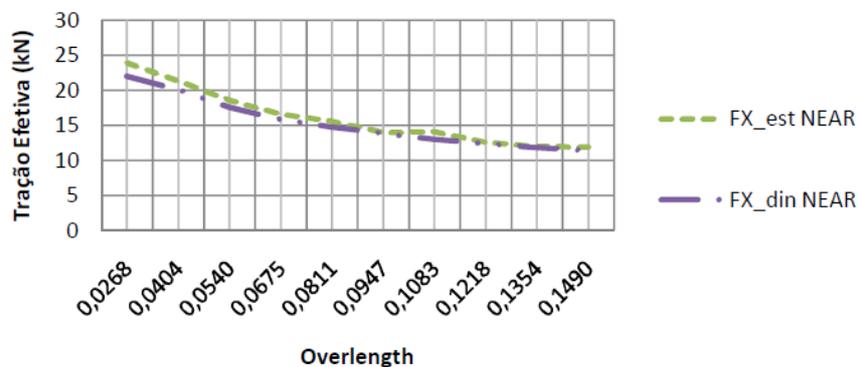


Figura 23 - Variação da tração efetiva em função *overlength fraction*.

4.5 Sensibilidade quanto à variação do *offset* do poço

Nesta etapa verifica-se a variação da resposta do *riser* para diferentes valores do *offset* do poço fixados os demais parâmetros. O comprimento da linha é estabelecido para cada *offset* de acordo com o *overlength fraction* que gerou as melhores respostas na análise de sensibilidade da seção anterior.

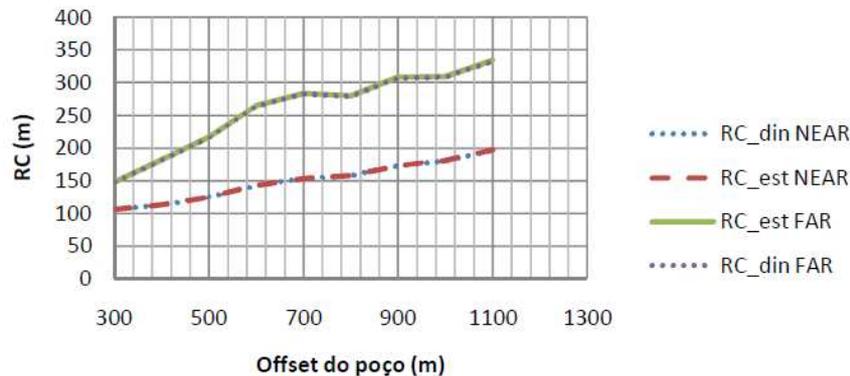


Figura 24 - Variação do raio de curvatura em função *offset* do poço.

Observa-se que para maiores *offsets* de poço, mantendo-se o mesmo *overlength*, é possível obter raios de curvatura maiores, tanto em *near* quanto em *far* (Figura 24). Como consequência, a tensão de von Mises anual tende a diminuir para essa mesma condição. Esse é um aspecto desejado, uma vez que a viabilidade operacional da estrutura é limitada por um raio de curvatura mínimo e uma tensão máxima estabelecidos previamente. Nota-se ainda que os resultados da análise estática coincidem com aqueles da análise dinâmica tanto para a condição *near* quanto *far*.

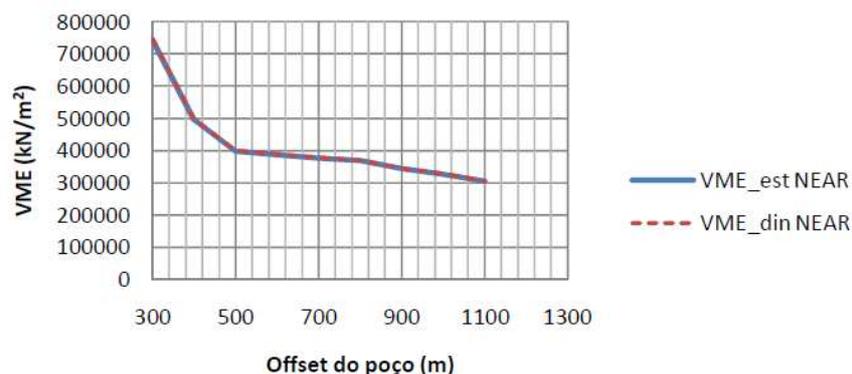


Figura 25 - Variação da tensão de von Mises em função do *offset* do poço para a condição *near*.

Com relação às tensões centenárias, verifica-se que o aumento do *offset* tende a causar maior esforço de tração no topo, aumentando as tensões de von Mises na condição *far* (Figura 26) e reduzindo as mesmas na condição *near* (Figura 25).

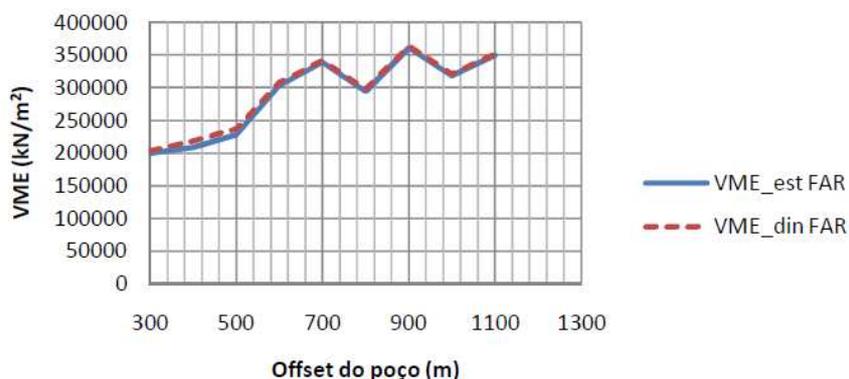


Figura 26 - Variação da tensão de von Mises em função do *offset* do poço para a condição *far*.

De acordo com Figura 27, verifica-se a ocorrência de compressão no *riser* para *offsets* menores que 400m, mais especificamente no trecho do flutuador intermediário, sendo esta uma condição indesejada. Percebe-se ainda uma tendência de crescimento da mínima tração efetiva à medida que a base e o topo do *riser* se afastam.

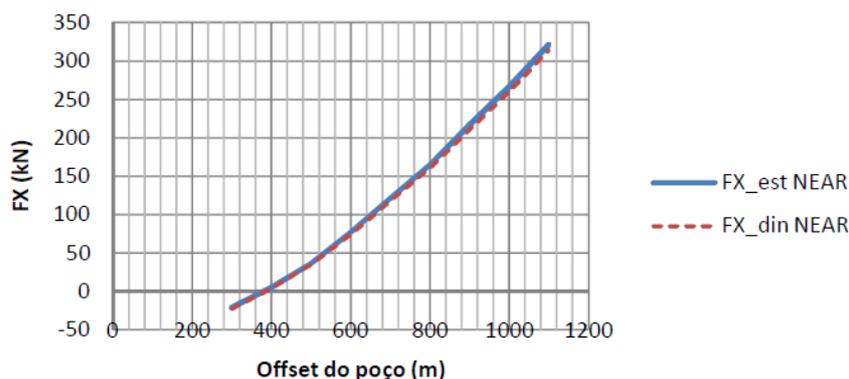


Figura 27 - Variação da tração efetiva em função do *offset* do poço.

A partir das análises realizadas observou-se que o comportamento estático apresenta-se predominante nessa configuração de *riser* e que as cargas dinâmicas não contribuem de forma significativa para a resposta da estrutura. Destaca-se ainda que a condição *near* apresenta-se mais crítica comparada a *far*, gerando tensões bem mais elevadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho estudou-se a sensibilidade da resposta do arranjo de *riser* vertical complacente em relação às variáveis características do dimensionamento do mesmo. Foram consideradas variações no *offset* do poço, no diâmetro e comprimento do revestimento pesado, no diâmetro e comprimento do flutuador, na posição do flutuador e do revestimento pesado ao longo do *riser* e no comprimento do *riser*. Essa avaliação possibilitou uma melhor compreensão do comportamento da estrutura, proporcionando um melhor direcionamento no dimensionamento do *riser* em estudo.

Para as análises realizadas verificou-se que a condição *near* apresenta-se como crítica, resultando em tensões maiores. Um fator determinante desse comportamento é o

comprimento da linha. Na avaliação da condição *near*, quanto mais curta a linha menores são as tensões, uma vez que o raio de curvatura será maior. Em contrapartida, uma linha curta provoca grande esforço de tração no topo do *riser* quando esse se encontra na posição relativa *far*. Dessa forma, é preciso dimensionar o comprimento do *riser* de modo que o mesmo seja longo o suficiente para evitar elevado esforço de tração e atender ao critério de tensão no topo na condição *far* sem gerar grandes curvaturas quando em *near*. A utilização dos módulos de flutuadores alivia a tração no topo e ainda evita curvaturas elevadas na base.

Com base nas análises realizadas observou-se também que as cargas estáticas impostas ao *riser*, correspondentes às cargas funcionais e à ação da corrente, são responsáveis pela maior parcela das tensões calculadas. Nas simulações realizadas o carregamento dinâmico não apresentou contribuição significativa no cálculo das tensões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PETROBRAS pela permissão de uso do programa ANFLEX, empregado nas simulações numéricas, bem como pelo apoio financeiro ao projeto que resultou neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANFLEX, 2009. *Análise Não Linear de Risers e Linhas de Ancoragem*. Versão 7.1.1 r2.2, PETROBRAS / CENPES, Rio de Janeiro, RJ.
- Ishida, K.; Otomo, K.; Hirayama, H.; Okamoto, N.; Nishigaki, M.; Ozaki, M. (2001) An FPSO with Surface Wells and Workover System in Deepwater. *Offshore Technology Conference (OTC)*, 30 de abril a 3 de maio, Houston, Texas.
- Ishida, K.; Hirayama, H.; Nishigaki, M.; Otomo, K.; Okamoto, N.; Ozaki, M. (2001) CVAR-FPSO and workover system in deepwater. *Proceedings of OMAE'01- 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 3-8 de junho, Rio de Janeiro, Brazil.
- Mungall, C.; Haverty, K.; Bhat, S.; Andersen, D.; Sarkar, I.; Wu, J.; Mårtensson, N. (2004) Semisubmersible Based Dry Tree Platform with Compliant Vertical Access Risers. *Offshore Technology Conference (OTC)*, 3-6 de maio, Houston, Texas.