

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise do comportamento estático e dinâmico de linhas *offshore* sob efeito das ações ambientais

AUTORES:

João Paulo Araújo Correia, Heleno Pontes Bezerra Neto, Michele Agra de Lemos Martins

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTÁTICO E DINÂMICO DE LINHAS OFFSHORE SOB EFEITO DAS AÇÕES AMBIENTAIS

Abstract

Oil and gas offshore production systems are basically composed of floating units, lines, submarine equipment, and other devices. Among the offshore lines, three types can be highlighted: risers, which are used for drilling and completion of oil wells and also for oil production; hose lines, used for offloading operations between the production unit and the offloading vessel; and anchor lines which are important due to the positioning of floating units. These structures respond statically for current loads while responding dynamically due to wave loads. Knowing the environmental forces that act on offshore structures is fundamental so that it can be designed in such a way that it meets the operational and security criteria. Thus, computational systems are used to represent the behavior of anchor lines and risers, for example when subjected to environmental loads. This work aims to study the results obtained from the static and dynamic analysis of offshore lines, regarding the behavior of the effective tension response of the offshore structures under several wave and current conditions, using the DOOLINES and OrcaFlex© computational systems. It considers three types of offshore lines: a vertical rigid riser, a floating hose line and an anchor line in single catenary, subjected to wave and current combined actions to analyze structural behavior. The structural behavior of the offshore lines is evaluated regarding the effective tension and the bending moment. The results obtained with DOOLINES and OrcaFlex © through the numerical simulations were compatible, and are showed and discussed, improving knowledge and contributing to the design of such structures.

Introdução

Durante as atividades de exploração e produção de hidrocarbonetos em sistemas marítimos, também conhecidos como sistemas *offshore*, é necessária a utilização de estruturas específicas, como unidades flutuantes e equipamentos submarinos, suficientemente capazes de promover a segurança da operação. Na concepção dos projetos das estruturas *offshore* devem ser consideradas as ações de onda e corrente, uma vez que estas são as principais ações ambientais presentes e caracterizam estatisticamente um estado de mar. Essas ações ambientais são de natureza cíclica e bastante aleatória, e são modeladas através de dados probabilísticos da estatística oceanográfica. Nas linhas de ancoragem e de produção, os efeitos de onda e correntes são mais significativos e predominantes.

Basicamente, as ondas são caracterizadas pelos parâmetros de altura significativa, período médio e direção principal de incidência, através de uma variação temporal das elevações da superfície do mar por meio de um processo aleatório estacionário gaussiano (CHAKRABARTI, 2005). Já as correntes são representadas a partir de um perfil de velocidade com parâmetros variáveis ao longo da profundidade, através da velocidade e da direção principal de propagação. Essas ações ambientais são modeladas em ferramentas computacionais para serem aplicadas na simulação de estruturas *offshore*, de modo a compreender o comportamento estrutural dessas diante de ações aleatórias de natureza marítima, e dimensioná-las com segurança e eficiência.

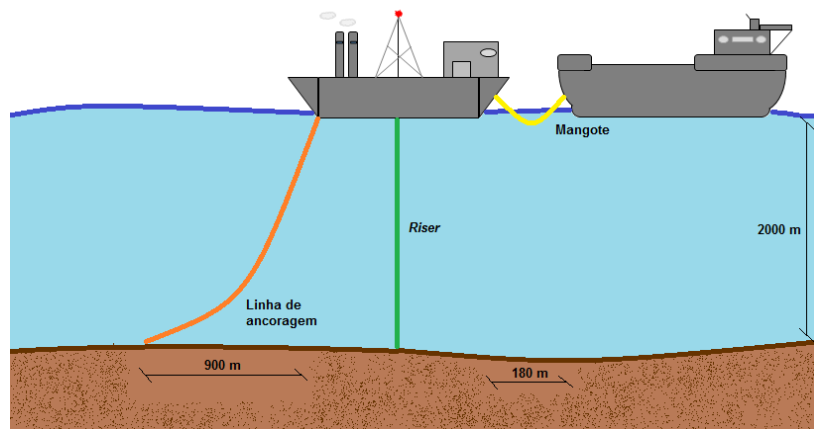
O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento estrutural das linhas *offshore*, utilizando as ferramentas computacionais DOOLINES (*Dynamics Of Offshore LINES*) (versão de desenvolvimento antes da 2.0.0) (SILVEIRA, 2001) e OrcaFlex© 9.8e (ORCINA, 2017), verificando os resultados entre elas.

Metodologia

A Figura 1 ilustra o cenário representativo para o desenvolvimento deste trabalho, constituído por três tipos diferentes de linhas: linha de mangote, linha de *riser* e linha de ancoragem, para análises de

comportamento estrutural isoladas. Essas linhas são estruturas que também constituem os sistemas marítimos de produção petrolífera *offshore* e estão sujeitas aos efeitos das ações ambientais de ondas e correntes marítimas, que devem ser consideradas em suas concepções de projeto.

Figura 1 – Cenário *offshore* para estudo do comportamento estrutural das linhas



Fonte: AUTOR (2017)

Considera-se, neste trabalho, que as linhas *offshore* de mangote, *riser* e ancoragem estão submersas no oceano, em fluido de água salgada, com massa específica (ρ) de 1025 kg/m^3 , e em uma lâmina (h) d'água de 2000 m .

Quanto às ações ambientais, neste trabalho, consideram-se as ações de duas frentes de ondas regulares lineares, caracterizando o modelo proposto por Airy, cujos parâmetros estão apresentados na Tabela 1. Esses estados de mar são baseados em dados meteoceanográficos da bacia brasileira de Santos. Além das ações de onda, considera-se o efeito da corrente marítima, em perfis diferentes: uniforme, linear, bilinear e trilinear, como mostra-se na Tabela 2. Essas correntes estão baseadas nas correntes marítimas do Golfo do México. Considera-se que as ações de corrente e onda são colineares, com ângulo de 0° em relação ao eixo x .

Tabela 1 – Parâmetros ambientais de ondas regulares

	Hs (m)	Tp (s)
Onda Regular 1 – OR1	5,1	11,1
Onda Regular 2 – OR2	8,2	14,5

Fonte: RIBEIRO (2013)

Tabela 2 – Parâmetros ambientais de correntes marítimas

Velocidade de Propagação (m/s)

Prof. (m)	Unifor.	Linear	Linear	Bilinear	trilinear
0	0,75	0,75	1,50	1,50	1,50
500	0,75	0,56	1,12	1,00	1,25
1000	0,75	0,37	0,75	0,66	0,50
1500	0,75	0,18	0,37	0,33	0,25
2000	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: GROSS (1990) e COBLE *et al.* (1987)

As linhas *offshore* aqui consideradas são compostas de aço cujas propriedades são descritas nas Tabelas 3 e 4. Para as linhas de mangote e *riser*, considera-se um fluxo interno de fluido monofásico, com vazão mássica de $0,50 \text{ t/s}$ e densidade de $0,45 \text{ t/m}^3$. O método de integração utilizado para as

simulações numéricas foi MegAlpha, na ferramenta computacional DOOLINES. Os *time-steps* das simulações das linhas de mangote, *riser* e linha de ancoragem foram 0,0047 s, 0,0022 s e 0,0030 s, respectivamente. Neste trabalho não são consideradas as interações entre as linhas e o solo; e as extremidades das linhas estão fixadas para translação.

Tabela 3 – Configurações geométricas das linhas

Geometria	Mangote	Riser	Ancoragem
Profundidade (m)	2000	2000	2000
Afastamento horizontal (m)	180	0	900
Número de elementos	100	250	375
Comprimento do elemento (m)	2	8	6
Comprimento da linha (m)	200	2000	2250

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 4 – Propriedades dos materiais de aço das linhas

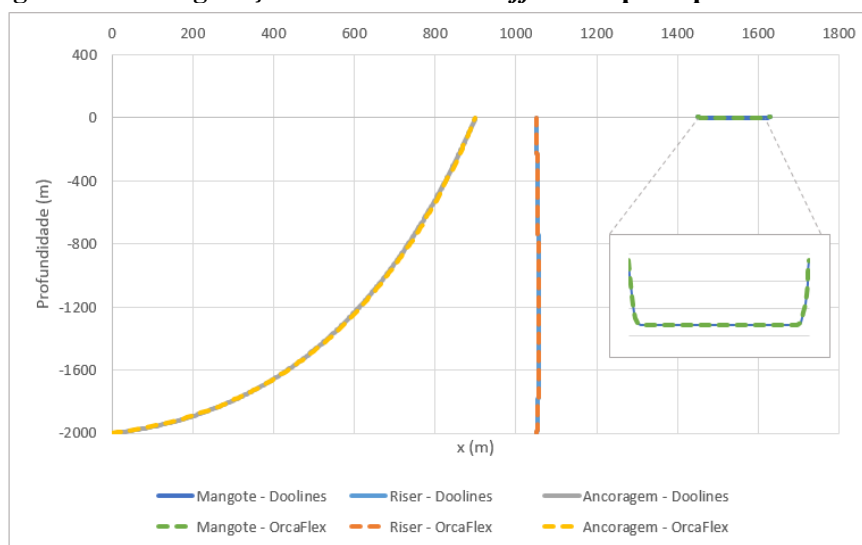
Propriedades dos materiais		Mangote ¹	Riser ²	Ancoragem ³
Rigidez axial (kN)	EA	6600	2310000	427276
Rigidez à flexão (kN · m ²)	EI	210	9975	0
Diâmetro externo (m)	De	0,810	0,200	0,103
Diâmetro interno (m)	Di	0,485	0,160	-
Peso linear (kN/m)	M	0,425	0,727	0,432
Coefficiente de arrasto normal	Cdn	1,200	1,200	1,100
Coefficiente de arrasto axial	Cda	0,000	0,000	0,100
Coef. de massa adic. normal	Can	1,000	1,000	0,000

Fonte: COSTA (2007)¹, YAMAO (2013)² e LACERDA (2005)³

Resultados e Discussão

A análise estática é aquela na qual a configuração de equilíbrio de uma estrutura é determinada a partir das propriedades físico-mecânicas, dos pontos aos quais as extremidades estão conectadas e também das condições ambientais que não variam com o tempo. A Figura 2 apresenta a configuração de equilíbrio estático obtida para as linhas *offshore* avaliadas, considerando um perfil de corrente linear de 1,5 m/s, na superfície da água, para os modelos das linhas *offshore*.

Figura 2 – Configuração final das linhas *offshore* após equilíbrio estático.

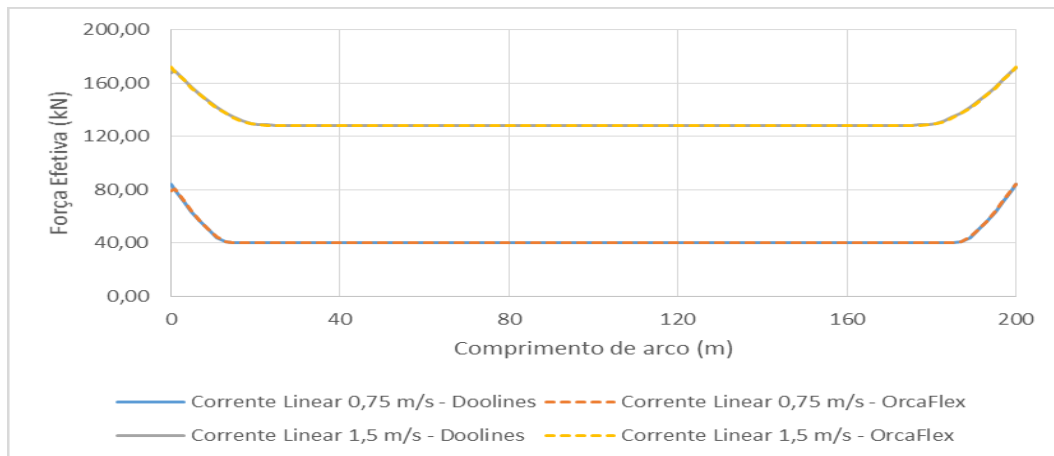


Fonte: AUTOR (2017)

Pela Figura 2, observam-se as configurações obtidas pelas linhas após a ação do peso próprio e da carga de corrente, através dos deslocamentos de cada linha *offshore*. Nota-se que a linha de *riser* sofreu uma leve alteração geométrica no equilíbrio estático obtido, mas permanece predominantemente vertical. A linha de ancoragem continuou em catenária e o mangote equilibrou seu trecho de comprimento sob a superfície da água, conforme esperado.

Nas análises estáticas pode-se avaliar o comportamento das linhas *offshore* considerando-se as cargas ambientais de corrente, além do peso próprio do material da linha. As Figuras 3 a 5 mostram o valor da força efetiva, quanto ao comportamento estático das linhas, apenas com variação dos perfis de corrente utilizados.

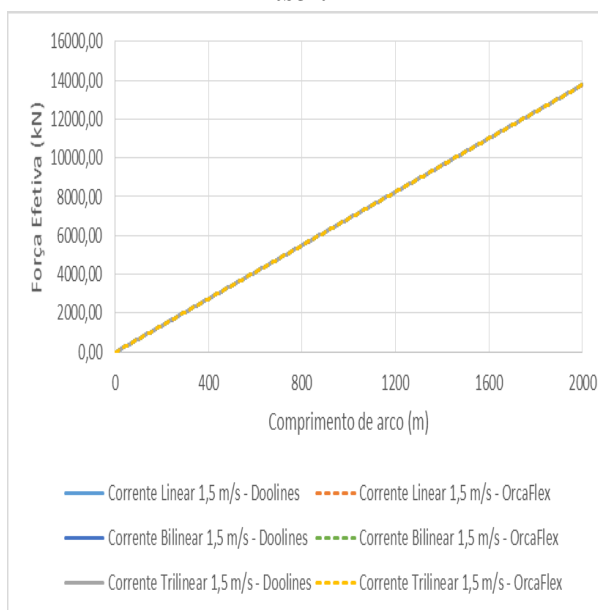
Figura 3 – Efeito do perfil de corrente no mangote.



Fonte: AUTOR (2017)

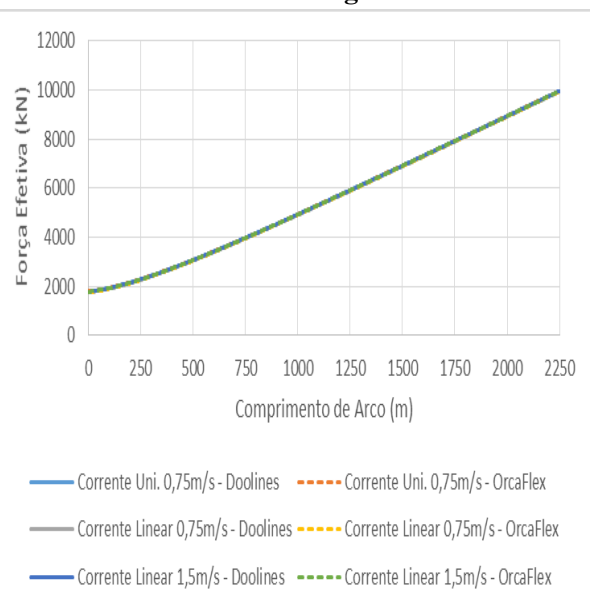
Na Figura 3, podem-se avaliar as respostas estática do mangote com a variação do perfil de corrente. Percebe-se que quanto maior for a magnitude da corrente linear maior será a força efetiva ao longo do comprimento da linha.

Figura 4 – Efeito do perfil de corrente no riser.



Fonte: AUTOR (2017)

Figura 5 – Efeito do perfil de corrente na linha de ancoragem.

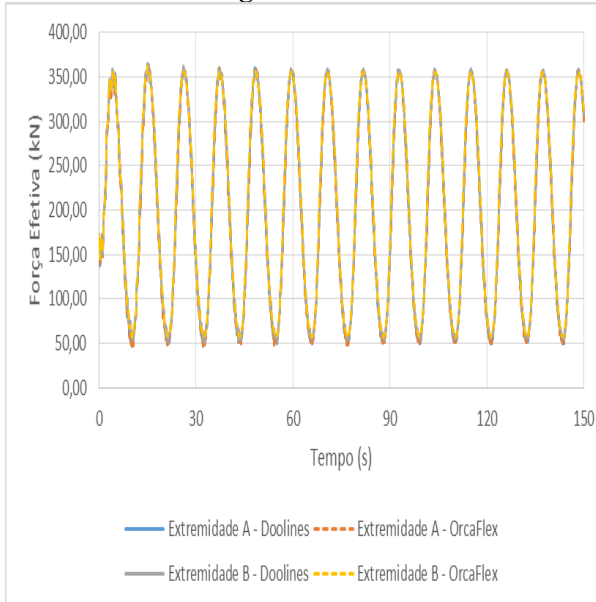


Fonte: AUTOR (2017)

Através das Figuras 4 e 5 nota-se que, pelo peso submerso, a tensão efetiva é maior no topo, já que é região que sofre maiores esforços, sendo a região que suporta todo o peso suspenso da linha.

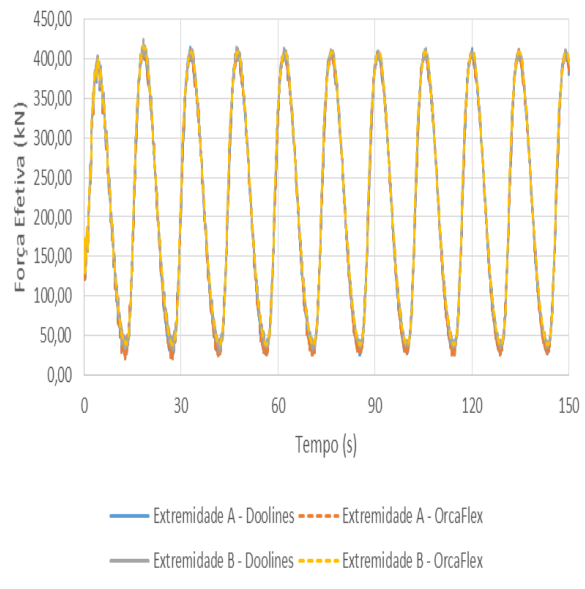
Já para as análises dinâmicas, consideram-se as cargas que respondem com variação ao longo do tempo, por exemplo, as ondas. Para análise da linha de mangote, considera-se uma corrente de perfil linear com velocidade na superfície de 1,5 m/s, com as ações de ondas. As Figuras 6 e 7 mostram as magnitudes da força efetiva nas duas extremidades do mangote nas condições ambientais consideradas.

Figura 6 – Força efetiva nas extremidades do mangote na OR1.



Fonte: AUTOR (2017)

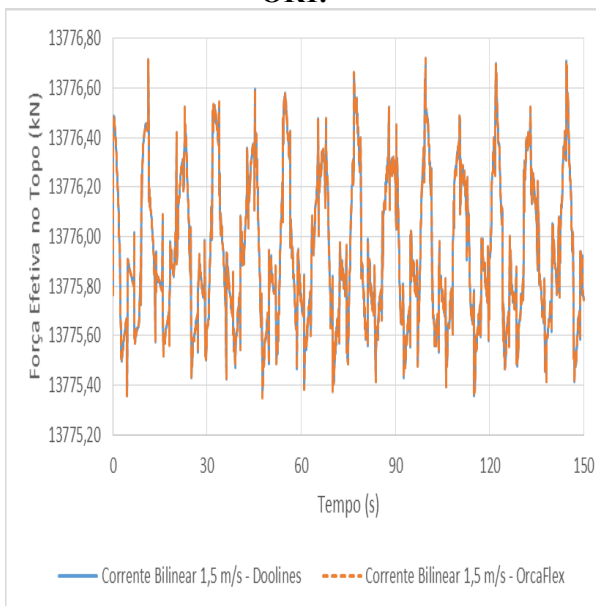
Figura 7 – Força efetiva nas extremidades do mangote na OR2.



Fonte: AUTOR (2017)

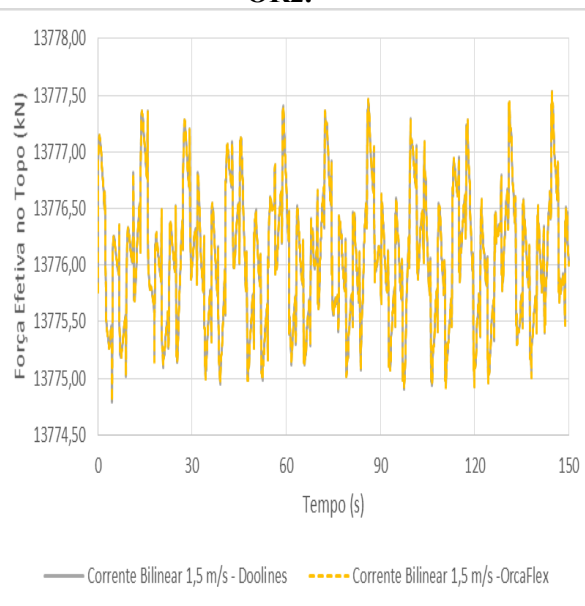
De acordo com as Figuras 6 e 7, percebe-se que as magnitudes das forças efetivas nas extremidades da linha do mangote são próximas, e elas estão na ordem de 350 kN a 400 kN. Para as análises das linhas de *riser* e de ancoragem, a avaliação da força efetiva é feita no topo, uma vez que é a região que suporta os maiores esforços. As Figuras 8 e 9 mostram a força efetiva no topo da linha do *riser* para cada onda regular OR1 e OR2, e considerando o perfil de corrente bilinear.

Figura 8 – Força efetiva no topo do riser na OR1.



Fonte: AUTOR (2017)

Figura 9 – Força efetiva no topo do riser na OR2.

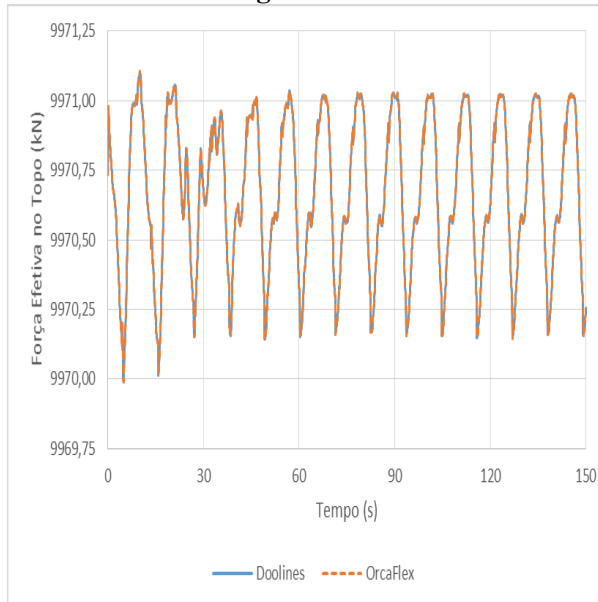


Fonte: AUTOR (2017)

Pela Figuras 8 e 9, percebe-se que a força efetiva no topo da linha aumentou com o aumento dos parâmetros de onda, embora em quantidades não tão significativas, devido à alta rigidez da linha.

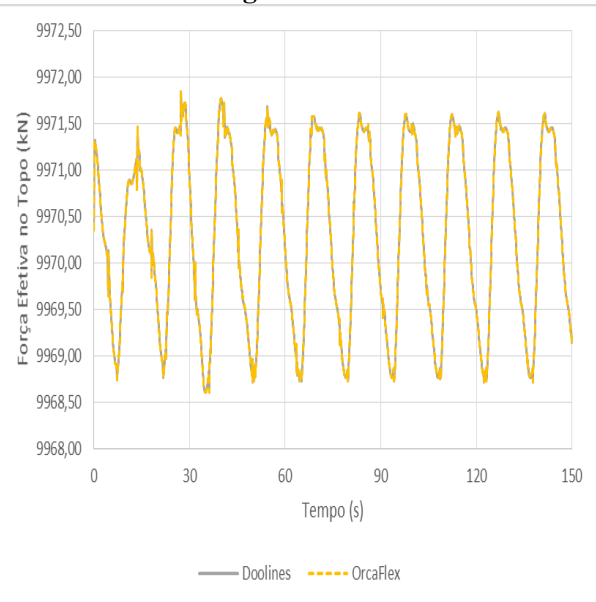
Para avaliação da linha de ancoragem considera-se uma corrente uniforme de 0,75 m/s em conjunto com a ação das ondas regulares. Assim, avalia-se a influência da variação da magnitude da força efetiva para cada frente de onda, como mostra-se nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Força efetiva no topo da linha de ancoragem na OR1.



Fonte: AUTOR (2017)

Figura 11 – Força efetiva no topo da linha de ancoragem na OR2.



Fonte: AUTOR (2017)

De acordo com as Figuras 10 e 11, nota-se que quanto maior for onda regular, maior será a força efetiva no topo. Com os resultados obtidos, pode-se observar as boas concordância entre os *softwares* DOOLINES e OrcaFlex©.

Conclusões

O trabalho desenvolvido permitiu avaliar o comportamento da força efetiva em linhas *offshore* através da utilização de *softwares*.

Através dos resultados alcançados pelos modelos criados e simulados, a análise estática é capaz de caracterizar e interpretar o comportamento estrutural das linhas, porém se faz necessário realizar análises dinâmicas quando um elemento estrutural está submetido a carregamentos dinâmicos. A análise dinâmica tem sua importância no comportamento de estruturas esbeltas, como as linhas *offshore*, pois permite um adequado diagnóstico estrutural das mesmas. A quantificação dos esforços nas linhas marítimas é importante para seu projeto de concepção.

Em suma, as avaliações quantitativas e qualitativas dos comportamentos das linhas *offshore* entre os resultados obtidos no DOOLINES e no OrcaFlex© apresentaram boas concordâncias. E essas avaliações são importantíssimas na atuação do engenheiro de petróleo quanto ao aspecto de projeto e análise do comportamento de sistemas *offshore*.

Cabe ainda ressaltar a importância da abordagem das análises aqui realizadas no contexto da engenharia de petróleo, uma vez que possibilita a compreensão do comportamento estrutural de sistemas *offshore*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte oferecido pelo Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV), do Centro de Tecnologia (CTEC), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), para desenvolvimento das atividades.

Referências Bibliográficas

CHAKRABARTI, S. K. *Handbook of Offshore Engineering*. Vol. 1 and 2. Illinois, USA: CBI Industries, 2005.

COBLE, C. R.; MURRAY, E. G.; RICE, D. R. *Earth Science*. (1987). 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1987: 256-257 pags.

COSTA, A. P. S. *Estudo de uma Nova Concepção de Linha de Mangotes para Transferência de Óleo no Mar*. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GROSS, M. G. *Oceanography*. (1990). 6th ed. Columbus. Merrill, 1990: 74-75 pags.

LACERDA, T. Â. G. Análises de Sistemas de Ancoragem de Plataformas Flutuantes. 2005. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ORCINA. *OrcaFlex*®. Disponível em: < <https://www.orcina.com/SoftwareProducts/OrcaFlex/>>. Acessado em 22 de julho de 2017.

RIBEIRO, E. O. *Metoccean Conditions at Santos and Campos Basins*. In: Comitê Offshore para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, 4º. (2013). Rio de Janeiro, RJ, 2013. **Anais do 4º Fórum do COPEDI**.

SILVERA, E. S. S. *Análise Dinâmica de Linhas de Ancoragem com Adaptação no Tempo e Subciclagem*. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, 22.

YAMAO, M. *Análise Dinâmica Não Linear Bidimensional de Risers Verticais*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.