



UMA SISTEMÁTICA PARA DEFINIÇÃO DA CONFIGURAÇÃO INICIAL DE LINHAS DE PRODUÇÃO OFFSHORE MODELADAS EM ELEMENTOS FINITOS

Francisco de Assis Viana Binas Júnior

Alan Barbosa Costa

Heleno Pontes Bezerra Neto

Eduardo Nobre Lages

binasjunior@gmail.com

alan.costa@ctec.ufal.br

helenopontes@lccv.ufal.br

enl@lccv.ufal.br

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Laboratório de Computação Científica e Visualização – LCCV

Avenida Lourival Melo Mota, 57027-900, Alagoas, Maceió, Brasil

Resumo. O DOOLINES, um framework orientado a objetos que dá suporte a análises de linhas de ancoragem e de produção de sistemas offshore, vem sendo desenvolvido ao longo do tempo pelo LCCV/CTEC/UFAL. Nesse ambiente, na modelagem inicial do cenário offshore, as linhas de ancoragem, os mangotes e os risers são discretizados em elementos finitos, e suas configurações iniciais são geradas a partir da equação da catenária. Devido tal metodologia envolver apenas esforços axiais, os demais esforços internos inerentes da formulação do elemento finito de viga são desprezados. Desenvolve-se, então, uma metodologia para a construção da configuração inicial da linha que considerará todos os tipos de esforços internos, referindo-se a esta como “Montagem”. Para verificação da implementação, definem-se modelos para simulação, e realiza-se uma comparação dos resultados fornecidos pelo DOOLINES com e sem a “Montagem”, calculando-se também o erro percentual médio da diferença de resultados ponto a ponto. Por último, comparam-se os resultados obtidos pelo DOOLINES e pelo programa comercial OrcaFlex®. De um modo geral, para os casos simulados, observa-se bastante semelhança na resposta gerada, indicando uma consistência na metodologia desenvolvida.

Palavras-Chaves: Doolines, Configuração Inicial, Elementos Finitos, Montagem, Orcaflex.

1 INTRODUÇÃO

Nas atuais obras de engenharia, observa-se um crescente uso de barras como elementos estruturais, caracterizados por possuírem uma de suas dimensões bem maior que as demais. Além disso, as barras fornecem à estrutura uma maior economia e melhor aparência estética. O uso de barras pode ser visto em torres de transmissão de energia, em pontes estaiadas na forma de cabos, assim como em sistemas de exploração de petróleo *offshore* na forma de linhas de ancoragem, mangotes e *risers*.

A exploração do petróleo em águas profundas vem enfrentando cenários cada vez mais complexos que motivam a criação e o desenvolvimento de meios para se analisar as estruturas que estarão sujeitas a condições e esforços proporcionados pelo mar, a exemplo de ondas e correntezas. Para se realizar esta análise, deve-se considerar muitas não linearidades que fazem parte do sistema e, por este e outros motivos, o meio mais viável para a realização desta análise é por meio de sistemas computacionais que permitam uma análise mais realista dos problemas. Com este intuito, o Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/CTEC/UFAL) vem desenvolvendo, ao longo dos últimos anos, o DOOLINES (Silveira *et al.*, 2012), que proporciona a análise dinâmica, no domínio do tempo, não linear de linhas de ancoragem, mangotes e *risers*.

Na etapa inicial de modelagem numérica do cenário *offshore* e domínio do problema, as linhas de ancoragem, os mangotes e os *risers* são discretizados em elementos finitos lineares e, para o cálculo do equilíbrio estático destas linhas, utiliza-se um método iterativo que se baseia na equação da catenária. Com a utilização da equação da catenária, a determinação da configuração inicial da linha envolverá apenas os esforços axiais. Com estes esforços, são determinadas as projeções horizontais e verticais para cada elemento finito, entretanto os demais esforços internos inerentes da formulação do elemento finito são desconsiderados. Desenvolve-se, então, uma metodologia para a construção da configuração inicial da linha que considerará todos os tipos de esforços atuantes sobre o elemento estrutural, referindo-se a esta como “Montagem”. No caso do programa comercial OrcaFlex®, esse utiliza inicialmente a configuração dada pela equação da catenária, seguido de um processo iterativo onde são consideradas todas as rigidezes do elemento finito, que em sua formulação possibilita a quantificação dos respectivos esforços internos solicitantes exclusivamente com base na configuração deformada corrente.

2 METODOLOGIA

Para a realização da “Montagem”, são necessárias informações dos nós (vértices) inicial e final associados à linha, além do comprimento indeformado da mesma. A estratégia apresenta como requisito para a sua realização a condição de que o comprimento inicial seja maior que a distância entre esses vértices. Com a informação da posição dos nós inicial e final, define-se a reta que passa por estes dois pontos, denotada neste trabalho de “reta S”. Então, constrói-se o elemento estrutural de maneira tal que este se encontre completamente sobre a “reta S”, obtendo-se como resultado o elemento esticado, com a sua extremidade final não coincidente com nó final associado à mesma. Realiza-se, então, um deslocamento do vértice final em direção à posição inicialmente definida para o mesmo, utilizando-se uma função linear de prescrição de deslocamento, presente do DOOLINES.

No DOOLINES, a discretização do elemento estrutural pode ser feita em dois tipos de elementos finitos unidimensionais, o primeiro utiliza-se de uma formulação simplificada, com

seis graus de liberdade (translacionais) por elemento, e com uma consideração das rigidezes axial e à flexão, sendo essa última de maneira indireta, tratando-se de um elemento especial de treliça. O segundo possui uma formulação completa de viga, que utiliza a teoria co-rotacional, tal como apresentada por Bezerra Neto (2014), com doze graus de liberdade (translacionais e rotacionais) por elemento e capaz de representar diretamente as rigidezes axial, à flexão e à torção. A utilização da “Montagem” proporciona alterações nas respostas estáticas e cinemáticas para o elemento de viga, já que essa estratégia toma como referência a geometria inicial retilínea para o elemento estrutural. No caso do elemento especial de treliça, usar a estratégia de “Montagem” ou a estratégia que parte de uma configuração inicial em catenária não influencia nos resultados finais, isso porque os esforços internos são gerados com base exclusivamente na geometria deformada corrente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificação da metodologia, nesta seção simulam-se e discutem-se dois modelos de referência.

3.1 1º Modelo

No primeiro caso, analisa-se uma viga com apoios do segundo gênero nas duas extremidades, com um vão de 6 m, 9 m de comprimento, rigidez axial (EA) de 22500 kN, rigidez à flexão (EI) de 140 kN·m² e discretizada em 30 elementos. Realizam-se quatro análises, utilizando-se os elementos de treliça especial e de viga co-rotacional presentes no DOOLINES, com e sem a utilização da “Montagem”. Além disso, comparam-se os resultados com os fornecidos pelo programa OrcaFlex© (ORCINA, 2015). Encontra-se a configuração estática de equilíbrio utilizando-se como integrador explícito o método de relaxação dinâmica, tal como utilizado por Silva (2005), com um tempo total de simulação de 1000 s, com um *time-step* de integração de 0,0001414 s. Através da Fig. 1, percebe-se que as configurações iniciais da linha, utilizando o elemento de viga, resultaram em valores próximos, evidenciando que a “Montagem” produziu um efeito similar ao da equação da catenária. A diferença percentual relativa média ponto a ponto entre as configurações para o eixo X é de 0,07 %, e para o eixo Z é de 0,04 %.

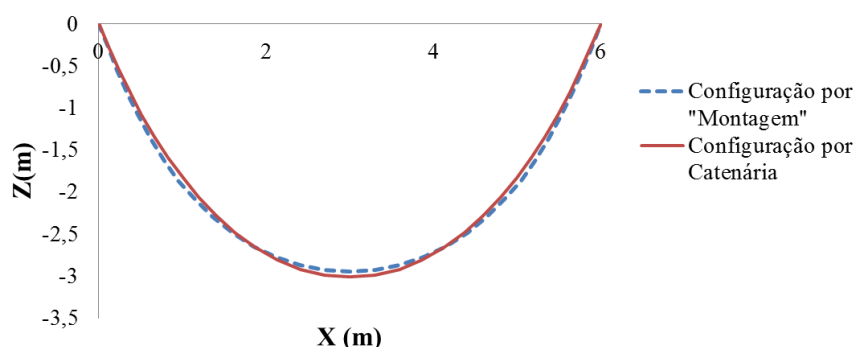


Figura 1. Comparativo entre configurações estáticas da linha com e sem “Montagem”

Além de comparar as configurações, analisa-se a força atuante no elemento em pontos de interesse. Para este modelo, verifica-se o valor do esforço axial nas extremidades da linha. Como neste caso não existe perfil de correnteza atuante, sendo apenas o próprio peso da viga, então os valores desses esforços axiais nas extremidades da linha são iguais, e encontram-se quantificados na Tabela 1 para as várias condições de modelagem.

Através da Tabela 1, percebe-se que, para as modelagens com elementos de treliça especial, a “Montagem” não provoca alteração nos valores dos esforços, o que já era esperado, já que para este elemento os esforços dependem de informações exclusivas da configuração final de equilíbrio e dos comprimentos indeformados dos elementos.

Tabela 1. Esforço axial nas extremidades da linha

Tipo do Elemento	Força (kN)	Tipo do Elemento	Força (kN)
Treliça sem “Montagem”	16,1715	Viga sem “Montagem”	23,1688
Treliça com “Montagem”	16,1715	Viga com “Montagem”	15,4741

Para a linha modelada com os elementos de viga, a “Montagem” provoca uma grande alteração na magnitude desses esforços, visto que com a “Montagem” a geometria indeformada da linha é uma geometria retilínea, o que não ocorre sem a “Montagem”, onde a geometria indeformada considerada passa a ser a geometria da catenária inextensível. Para qualificar o uso da “Montagem”, na Fig. 2 representa-se a distribuição do esforço axial ao longo do comprimento de arco indeformado da linha, evidenciando que a utilização da “Montagem” propicia ao elemento de viga uma boa aderência da distribuição dos esforços axiais àquela dada pelo programa OrcaFlex®.

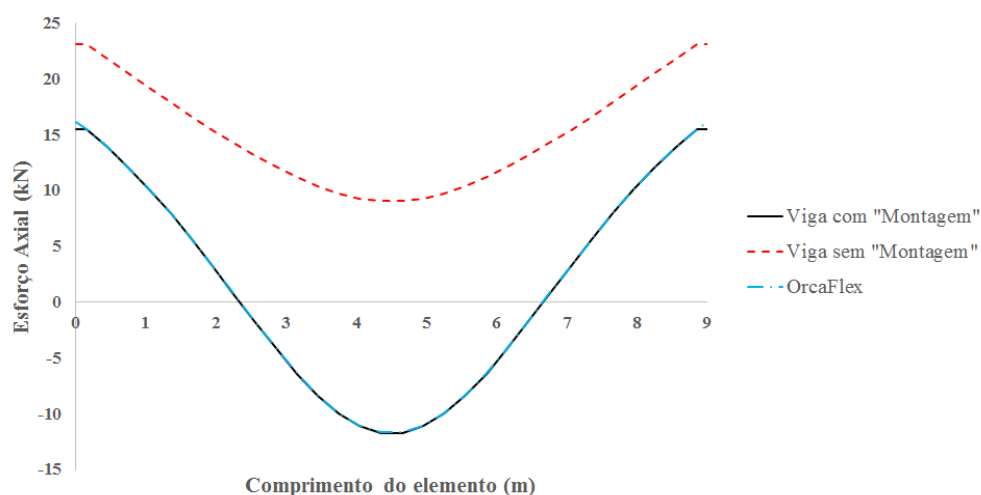


Figura 2. Distribuição dos esforços axiais ao longo da linha

3.2 2º Modelo

Para verificar melhor as vantagens da utilização da “Montagem”, simula-se um modelo que representa um *riser* de 2.300 metros de comprimento, sob ação de correnteza no plano da linha (Tabela 2), que possui apoios do segundo gênero nas duas extremidades, utilizando-se 230 elementos finitos em sua discretização. Este modelo possui rigidez axial (EA) de $4 \cdot 10^6$ kN, rigidez à flexão (EI) de $7,8 \cdot 10^3$ kN·m², diâmetro externo de 0,4064 m, diâmetro interno de 0,3556 m e peso submerso de 1,1884 kN/m. Os vértices do *riser* estão contidos no plano XZ, distantes horizontalmente de 1800 m com lâmina d’água de 1255 m, onde um apoio encontra-se no solo e o outro na superfície do mar.

Buscando-se a configuração estática de equilíbrio via relaxação dinâmica, compara-se o momento fletor para os elementos de viga, com e sem a utilização da metodologia desenvolvida, com os resultados obtidos pelo OrcaFlex® ao longo do comprimento do *riser* (Fig. 3).

Tabela 2. Perfil de correnteza o qual o riser encontra-se submetido

Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)	Profundidade (m)	Velocidade (m/s)
0,00	1,96	230,00	0,72	640,00	0,52
50,00	1,54	340,00	0,78	750,00	0,76
100,00	1,39	415,00	0,72	915,00	0,71
140,00	1,18	545,00	0,41	1254,50	0,00

Percebe-se, através da Fig. 3, que o momento fletor encontrado para o elemento de viga com “Montagem” é semelhante ao obtido pelo OrcaFlex®, com erro percentual médio de 0,18%. No caso do elemento de viga sem “Montagem” encontra-se um erro de 92,71%.

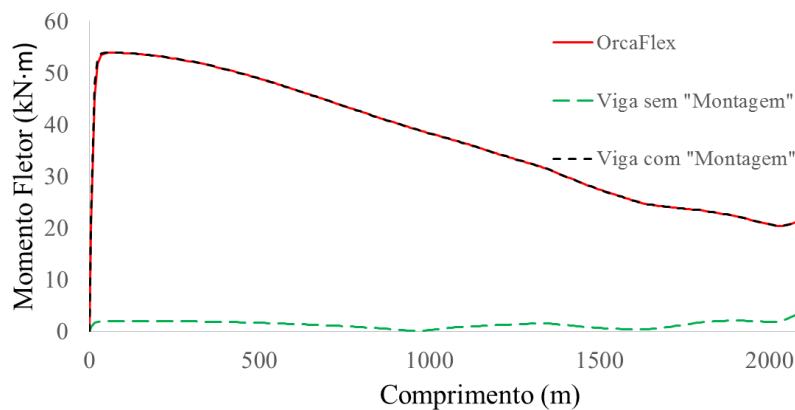


Figura 3. Distribuição de momentos fletores ao longo da linha

4 CONCLUSÕES

A “Montagem” surge como uma alternativa para definição da configuração inicial do elemento de viga co-rotacional disponível no DOOLINES. Com as simulações realizadas, percebe-se a boa concordância na obtenção da configuração inicial, além da presença de outros esforços quando esta configuração é atingida, em comparação com o *software* comercial Orcaflex®. Estes esforços que agora estão sendo considerados serão de alta importância no momento de dimensionamento de *risers*.

REFERÊNCIAS

Bezerra Neto, H. P., 2014. *Desempenho de elementos finitos de viga com formulação completa e simplificada na análise dinâmica de risers*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.

ORCINA. Disponível em: <<http://www.orcina.com>>. Acesso em: 22 de julho de 2015.

Silva, D. M. L., 2005. *Geração de configurações equilibradas de sistemas de linhas flexíveis através de métodos de relaxação dinâmica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE.

Silveira, E. S. S., Lages, E. N., Ferreira, F. M. G. 2012. DOOLINES: an object-oriented framework for non-linear static and dynamic analyses of offshore lines. *Engineering with Computers*, v. 28, n. 2, pp. 149-159. ISSN 0177-0667.