

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA FORÇA DE MORISON DEVIDO ÀS ONDAS OCEÂNICAS COM O AUMENTO DA PROFUNDIDADE

AUTORES:

VICTOR MATHEUS SILVA DE SIQUEIRA
EDUARDO NOBRE LAGES
HELENO PONTES BEZERRA NETO

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA FORÇA DE MORISON DEVIDO ÀS ONDAS OCEÂNICAS COM O AUMENTO DA PROFUNDIDADE

Abstract

Due to the use of simulation software by industry and research professionals, the need to refine these tools to deliver results that are more accurate in less time is a reality. DOOLINES (Dynamic of Offshore LINES) is a computational tool that allows the nonlinear dynamic analysis, in time domain, of anchor and production lines using the Finite Element Method. The present work aims to reduce the simulation time of this tool through a change in its code, based on the concept that the force of an ocean wave at a depth greater than half its length can be considered negligible, because it is less than 5% of its force on the water surface. For the analysis of forces exerted along the line, the industry usually discretizes the line with elements one meter long and stipulates a certain amount of regular waves to be generated by the software. In this study 200 regular waves are adopted and the discretized line with elements of 10 meters. Previously this tool calculated the influence of all waves in each node; however, by adapting it to the concept approached, the calculation of the forces exerted by the waves on the line is limited to a maximum depth equivalent to half of the largest wavelength obtained. Cases of 200, 750, 1000 and 2000 meters of depthwater are analyzed; they are simulated five times in each software version, modified and without modification. When analyzing the results of the forces calculated in these situations, errors in the dimension of 10^{-7} were evidenced, which allows us to consider that the results after modification are faithful to the version without modification. In computational time, the tool has a significant decrease in simulation time, making it about 3.33 to 4.35 times faster than when not yet modified. The relevance of these results is evident when it's analyzed the cases witch 200 regular waves are simulated in each version of the software, with a line containing elements of one meter and a water depth of 1000 meters. In these cases, for the old version without modification, the average operating time is 18 hours 4 minutes and 27 seconds, while for modified DOOLINES the average operating time is only 4 hours 20 minutes and 18 seconds.

Introdução

Em virtude da necessidade do mercado em investir na pesquisa e desenvolvimento, em meados de 2001 começou a ser desenvolvida, no Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV), na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), a ferramenta computacional, escrita em C++, que futuramente se tornaria o DOOLINES (*Dynamic Of Offshore LINES*) (SILVEIRA *et al.*, 2012). Esta ferramenta, em seu atual potencial, possibilita o estudo acerca das forças inerentes às linhas de ancoragem ou *risers* localizadas em ambiente marinho, levando em consideração diversos parâmetros deste cenário, tais quais: lâmina d'água, ondas, correntes etc.

Entretanto, a princípio esta ferramenta não havia sido desenvolvida de maneira tão completa como se apresenta atualmente. Este desenvolvimento foi realizado por diversos outros pesquisadores das áreas de engenharia no decorrer dos anos por meio de suas teses, monografias e linhas de pesquisas e desenvolvimento. Atualmente, este software continua a ser melhorado com diversas atualizações em várias linhas de pesquisa.

O DOOLINES é um *framework* que utiliza paradigma da programação orientada a objetos (POO). Entre as diversas classes que o compõem destacam-se as classes Model e a Intalg. Elas são responsáveis pela concepção do modelo e pelos algoritmos de integração temporal, respectivamente (BEZERRA NETO *et al.*, 2010).

A classe Model se diz respeito ao modelo computacional e é utilizada para modelar o referido problema. A partir desta, é possível definir a malha de elementos finitos das linhas de ancoragem e risers, bem como as propriedades físicas e geométricas dos elementos (BEZERRA NETO *et al.*, 2010).

A classe Intalg se refere aos algoritmos de integração no domínio do tempo. Esses algoritmos são utilizados para discretizar as Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs) no tempo, sendo obtidas respostas do sistema estrutural (FERREIRA, 2005).

A partir destes princípios, o presente trabalho objetiva a melhoria desta ferramenta computacional para que a mesma apresente uma redução no tempo operacional obtendo a mesma eficácia nos resultados, tornando assim o seu uso mais eficaz e viável no ramo da pesquisa e desenvolvimento.

Metodologia

Segundo Deam e Dalrymple (1991), a força de uma onda oceânica a uma profundidade maior que metade do seu comprimento pode ser considerada desprezível por ser menor que 5% da sua força na superfície da água. Ao analisar este conceito e a antiga programação do DOOLINES, nota-se que o mesmo, ao gerar uma simulação, costumava calcular a influência de todas as ondas oceânicas previamente consideradas em cada um dos nós (pontos em vermelho ao longo da linha na Figura 1) também previamente estipulados.

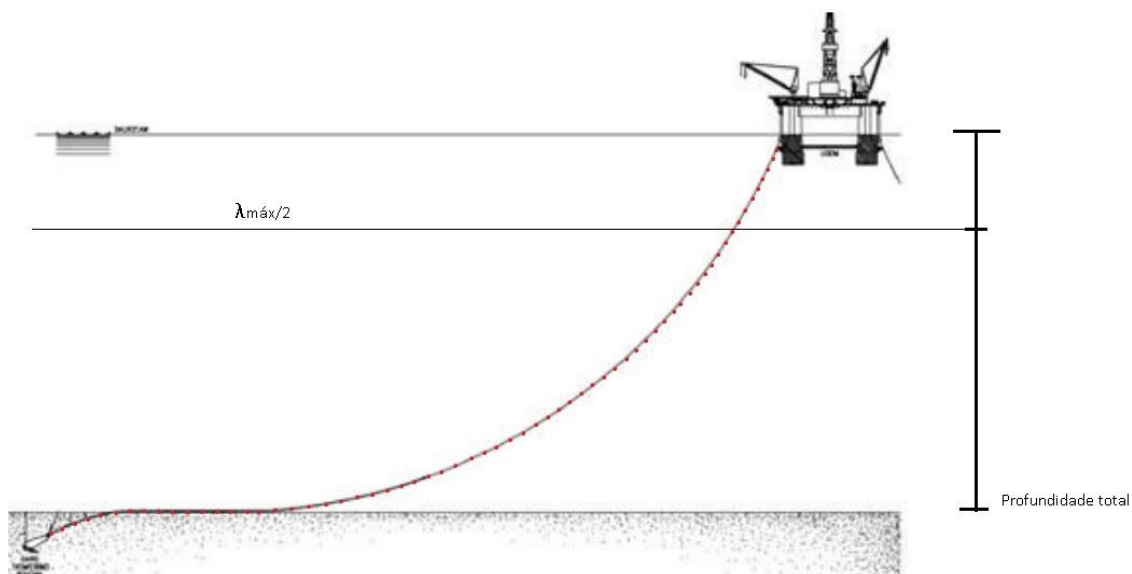


Figura 1 - Linha de ancoragem do tipo catenária (adaptado de RALHA, 2010).

Desse modo, por meio da teoria supracitada, modifica-se o software para que este passe a calcular a influência das ondas oceânicas apenas até a profundidade limite estabelecida pela metade do maior comprimento de onda dentre as ondas oceânicas pré-estabelecidas.

Para gerar uma comparação entre os tempos operacionais das versões do DOOLINES com e sem modificação, são adotadas, em um primeiro cenário, 200 ondas oceânicas regulares e 10 metros de distância entre cada nó. Com estes parâmetros são simulados casos de 200, 750, 1000 e 2000 metros de lâmina d'água, em que tais resultados de força no topo e ao longo da linha são comparados para evidenciar a precisão dos resultados. Além disso, realizam-se outras cinco simulações para cada uma das profundidades em ambas as versões do programa e, em cada situação, é tirada uma média aritmética dos

tempos operacionais para que seja obtida a melhora percentual do tempo de simulação após a modificação.

Ademais, pelo fato das discretizações na linha utilizarem um nó a cada metro de linha, são simuladas, em um segundo cenário, duas situações com um nó por metro, 200 ondas oceânicas regulares e lâminas d'água de 200 e 1000 metros para analisar a diferença temporal das simulações entre tais versões do DOOLINES.

Para análise do custo computacional, utiliza-se um computador com processador Intel® Core™ i5-4440 CPU @ 3.10GHz com sistema operacional Windows 10 Pro, 64 bits e memória RAM de 10 Gb.

Resultados e Discussão

Com o objetivo de avaliar a precisão nos resultados das forças no topo e ao longo da linha, estes, provenientes das simulações com e sem modificação, são comparados e, posteriormente, plotam-se gráficos que descrevem o erro (gerado pela alteração na programação do software) em função do tempo, para a análise no topo, e do comprimento da linha, para análise ao longo desta. Estes gráficos (Figuras 2 a 9), para análise ao longo da linha, constroem-se a partir da taxa de erro (no eixo vertical) pelo comprimento da linha (no eixo horizontal); já para a análise no topo, a construção se dá a partir da taxa de erro (no eixo vertical) ao longo do tempo (no eixo horizontal). Estas simulações utilizam os parâmetros referentes ao primeiro cenário.

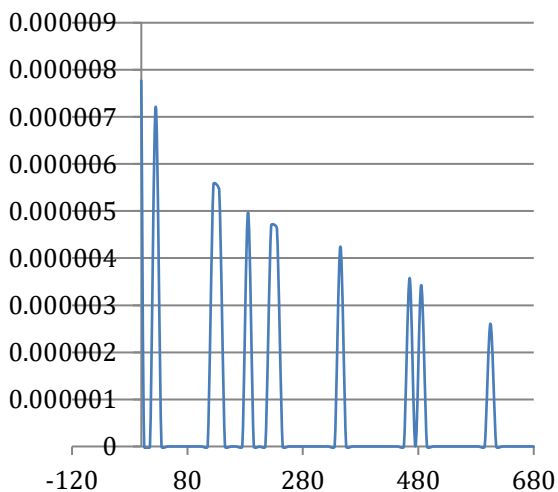


Figura 2 - Gráfico do erro ao longo da extensão da linha para lâmina d'água de 200 m.

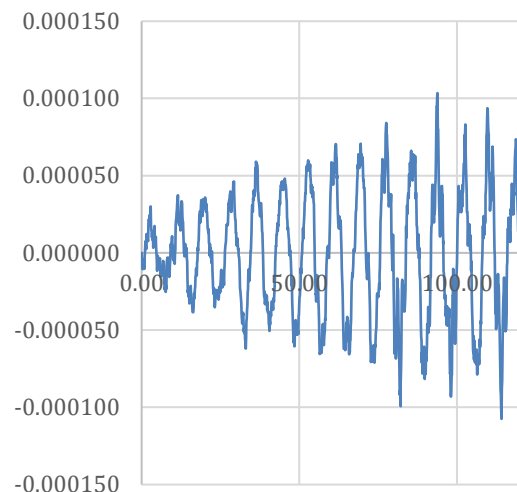


Figura 3 - Gráfico do erro no topo da linha para lâmina d'água de 200 m.

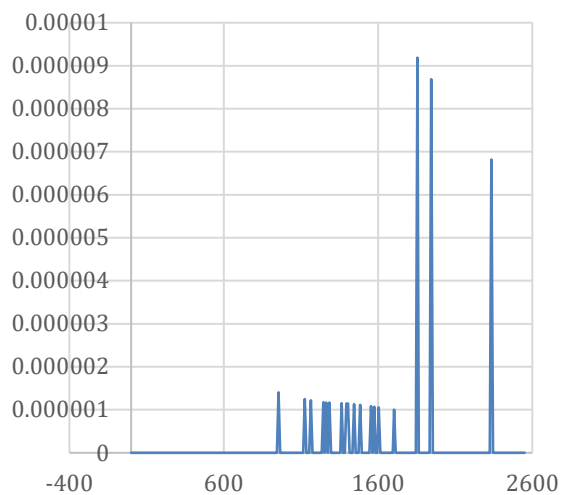


Figura 4 - Gráfico do erro ao longo da extensão da linha para lâmina d'água de 750 m.

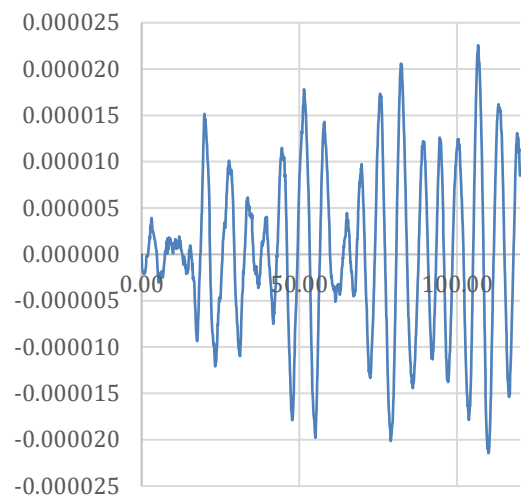


Figura 5 - Gráfico do erro no topo da linha para lâmina d'água de 750 m.

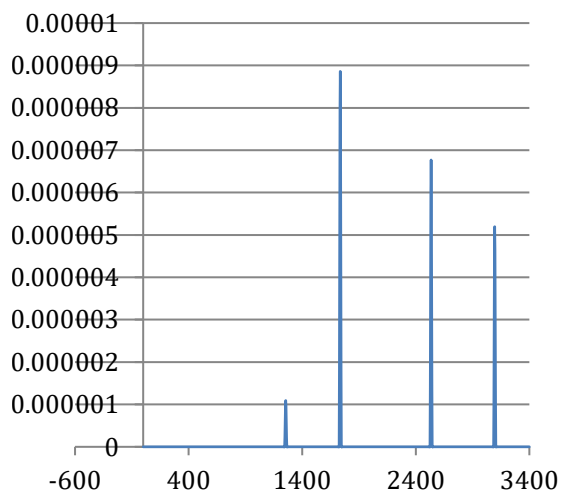


Figura 6 - Gráfico do erro ao longo da extensão da linha para lâmina d'água de 1000 m.

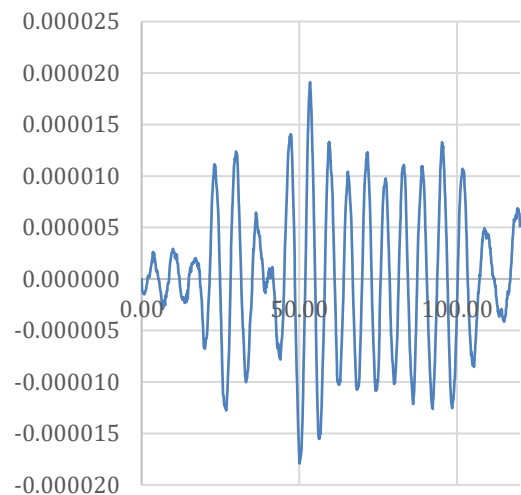


Figura 7 - Gráfico do erro no topo da linha para lâmina d'água de 1000 m.

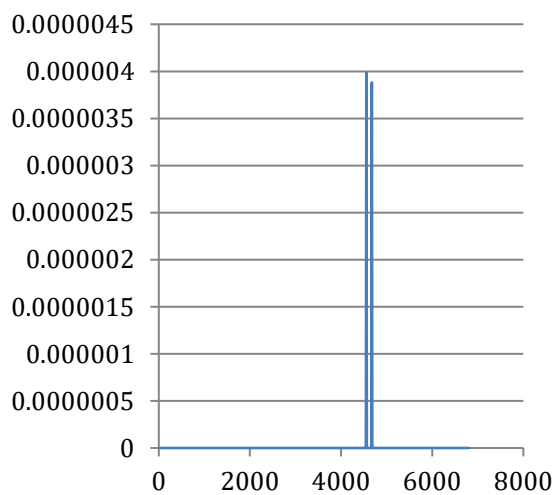


Figura 8 - Gráfico do erro ao longo da extensão da linha para lâmina d'água de 2000 m.

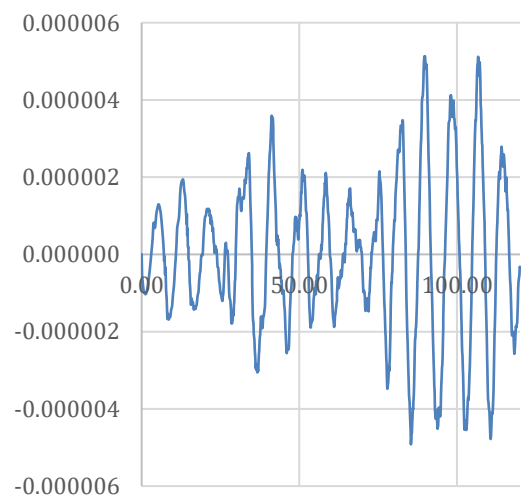


Figura 9 - Gráfico do erro no topo da linha para lâmina d'água de 2000 m.

Em análise aos gráficos das Figuras 2 a 9 pode-se concluir que as taxas de erro foram desprezíveis, evidenciando a eficácia nos resultados obtidos mesmo após modificar o software.

Em decorrência do supracitado, é feita a comparação entre os tempos computacionais referentes às simulações antes e depois da modificação do DOOLINES para analisar a possível melhoria em decorrência das modificações realizadas.

Nas Tabelas 1 e 2 visualizam-se os tempos computacionais, em segundos, para as simulações sem modificação e com modificação, respectivamente. Esses tempos são relativos aos parâmetros adotados no primeiro cenário.

Cenário 1	200 m	750 m	1000 m	2000 m
Primeira	116,53 s	479,59 s	620,81 s	1420,99 s
Segunda	115,5 s	482,24 s	623,27 s	1424,78 s
Terceira	116,72 s	487,62 s	622,46 s	1421,92 s
Quarta	117,29 s	484,59 s	621,75 s	1420,82 s
Quinta	116,71 s	483,5 s	624,12 s	1420,02 s
Média Aritmética	116,55 s	483,508 s	622,482 s	1421,706 s

Tabela 1: Tempos operacionais simulados na versão do DOOLINES sem a modificação (primeiro cenário).

Cenário 1	200 m	750 m	1000 m	2000 m
Primeira	34,83 s	109,77 s	143,25 s	324,21 s
Segunda	34,71 s	109,46 s	146,06 s	327,65 s
Terceira	35,05 s	108,78 s	142,83 s	324,93 s
Quarta	34,75 s	109,55 s	141,75 s	328,36 s
Quinta	35,22 s	110,23 s	141,59 s	328,68 s
Média Aritmética	34,912 s	109,558 s	143,096 s	326,766 s

Tabela 2: Tempos operacionais simulados na versão do DOOLINES com a modificação (primeiro cenário).

A partir da diferença entre os tempos de simulação das duas versões, foi analisada a relação percentual ($R(\%)$) entre os tempos computacionais das ferramentas a partir de:

$$R(\%) = \frac{T_{med}(sem\ modificação)}{T_{med}(com\ modificação)} \times 100 \quad (1)$$

Desse modo, seguem na Tabela 3: Melhoria nos tempos operacionais associados às respectivas lâminas d'água (primeiro cenário). os valores referentes às melhorias nos tempos computacionais das simulações supracitadas.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Lâmina d'água	200 m	750 m	1000 m	2000 m
R(%)	333,8393676	441,3260556	435,0100632	435,0838215

Tabela 3: Melhoria nos tempos operacionais associados às respectivas lâminas d'água (primeiro cenário).

Ante os resultados expostos é possível ver uma significativa melhoria no tempo de simulação do software, visto que o mesmo se tornou entre 3,33 e 4,35 vezes mais rápido (analisando os parâmetros do cenário 1).

No segundo cenário, as mesmas comparações acerca dos tempos de simulação são realizadas, na Tabela 4 e 5 é possível analisar os tempos operacionais nas versões do DOOLINES sem modificação e com modificação, respectivamente.

Cenário 2	200 m	1000 m
Primeira	3h 6min 3s	18h 12min 2s
Segunda	3h 7min 56s	17h 49min 50s
Terceira	3h 5min 43s	18h 11min 30s
Média Aritmética	3h 5min 34s	18h 4min 27s

Tabela 4: Tempos operacionais simulados na versão do DOOLINES sem a modificação (segundo cenário).

Cenário 2	200 m	1000 m
Primeira	51min 23s	4h 24min 59s
Segunda	52min 28s	4h 16min 30s
Terceira	52min 1s	4h 19min 25s
Média Aritmética	51min 58s	4h 20min 18s

Tabela 5: Tempos operacionais simulados na versão do DOOLINES com a modificação (segundo cenário).

Assim como no primeiro cenário, foi feita a análise da otimização nos tempos de simulação por meio da Equação (1).

Lâmina d'água:	200 m	1000 m
R(%) :	359.0160254	416.6051298

Analisando os resultados referentes ao cenário 2 é possível concluir novamente a eficácia na modificação ao verificar que este cenário evidenciou que a simulação do software se tornou 3,59 a 4,16 vezes mais rápido.

Além disso, para este cenário a diferença entre os tempos de simulação médios para as lâminas d'água de 200 m e 1000 m foram de, respectivamente, 2h 14min 36s e 13h 44min 8s. Ao analisar tal influência da modificação fica claramente constatada a grande melhoria proporcionada à ferramenta.

Conclusões

Diante das vastas necessidades da indústria, pesquisa e desenvolvimento de evolução, precisão e fácil utilização das ferramentas computacionais, o LCCV se propõe a investir em pesquisas para que sejam criados mecanismos para melhorar esses softwares.

Ante os argumentos supracitados, pode-se inferir que os objetivos propostos para o estudo foram atingidos, visto que o tempo de simulação pôde ser melhorado de forma que os resultados inerentes às forças não foram alterados de maneira contundente.

Ademais, é possível afirmar que o DOOLINES está em torno de 333% a 435% mais rápido no seu processo de simulação, chegando a ser evidenciada uma diminuição de até 13h e 44min em uma das simulações realizadas (cenário 2 para lâmina d'água de 1000 m).

Agradecimentos

À Petrobras e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

BEZERRA NETO, H. P.; COSTA, J. A. C.; FERREIRA, F. M. G.; SILVEIRA, E. S. S. Processamento Paralelo com OPENMP em um Simulador Dinâmico de Linhas de Ancoragem e Risers, Parte II. **Mecânica Computacional**, v. XXIX, p. 19, 2010.

DEAM, Robert; DALRYMPLE, Robert. **Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists**. Vol 2. World Scientific. Cap. 4. p. 82. Janeiro de 1991.

FERREIRA, F. M. G. **Desenvolvimento e aplicações de um framework orientado a objetos para análise dinâmica de linhas de ancoragem e de risers**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SILVEIRA, E. S. S.; LAGES, E. N.; FERREIRA, F. M. G. DOOLINES: an object-oriented framework for non-linear static and dynamic analyses of offshore lines. **Engineering with Computers**, v. 28, n. 2, p. 149-159, Apr 2012. ISSN 0177-0667.

RALHA, D.; DOMINGUES, L. F. **AHTS – Anchor Handling Tug Supply Vessel**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.