

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:

LINEARIZAÇÃO DA PARCELA DE ARRASTO NA FORMULAÇÃO DE MORISON ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE KROLIKOWSKI-GAY

AUTORES:

FRANCISCO DE ASSIS VIANA BINAS JÚNIOR

HELENO PONTES BEZERRA NETO

EDUARDO NOBRE LAGES

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA E VISUALIZAÇÃO - LCCV

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.

LINEARIZAÇÃO DA PARCELA DE ARRASTO NA FORMULAÇÃO DE MORISON ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE KROLIKOWSKI-GAY

Abstract

The increase in activities of exploration and production of oil and natural gas in deeper waters has been using vessels and semi-submersible platforms that require efficient designs for the anchorage systems and the risers. It is necessary to simulate the effects of environmental actions, such as the hydrodynamic loads. The dynamic analysis is used to allow the consideration of nonlinearities involved in the loading and the behavior of these structures. Nevertheless, dynamic analysis may have a high computational cost. To overcome this difficulty, the analysis in the frequency domain becomes effective, but the load and the behavior of the structure have to be linear. The hydrodynamic environmental effects are usually evaluated through the Morison's formulation, which presents a nonlinear quadratic term in the drag force, requiring the use of linearization methods. There are different methods of linearization of the drag force, such as Krolikowski-Gay (1980), Langley (1984), Rodenbush (1986) and Leira (1987). The Krolikowski-Gay's method is implemented in vertical rigid riser analysis programs, such as RISERF (1995) and ALFREQ (1997), which motivates this study. The Krolikowski-Gay's method has the advantages of considering the speed of the current and the possibility of using a random or deterministic approach to the wave theory. However, the method has a limitation that the structural member must be vertical and the wave and current must be parallel and act perpendicular to the element. It's needed to use vector transformations for elements with diversified orientations. So, the Krolikowski-Gay's method is implemented to evaluate several scenarios and analyze the difference between the linearized and the nonlinear force, allowing the choice of the best method to use in each case. It is considered a case that has only a regular wave as a hydrodynamic force. The method shows better results in cases which consider smaller wave length and height.

Introdução

Os avanços tecnológicos no setor de exploração de petróleo e gás, associados às descobertas de novos depósitos de petróleo em regiões cada vez mais profundas, impulsiona a construção de plataformas que apresentam cada vez maior porte e sensibilidade aos efeitos provocados pelas ações ambientais, a exemplo das cargas hidrodinâmicas inerentes ao cenário. Para os casos em que a relação H/D (altura de onda pelo diâmetro) apresenta resultados superiores a 2 os efeitos viscosos e potenciais apresentam grande influência na estrutura, para estes casos aconselha-se o uso da formulação de Morison para a avaliação dos efeitos hidrodinâmicos. Já para a avaliação destes efeitos sobre as estruturas surge a análise dinâmica de estruturas, que pode ser realizada no domínio do tempo permitindo a consideração de não linearidades associadas às forças hidrodinâmicas e ao contato solo-estrutura, ou no domínio da frequência permitindo a obtenção de uma resposta mais rápida quando comparada à análise no domínio do tempo, mas para o uso da análise no domínio da frequência é necessário a realização de linearizações quanto ao comportamento estrutural e ao carregamento. Deve-se destacar como métodos de linearização mais utilizados os métodos de Langley (LANGLEY, 1984), de Rodenbush (RODENBUSCH *et al.*, 1986) e de Leira (LEIRA, 1987). Além destes métodos de linearização, destaca-se o método de Krolikowski-Gay (KROLIKOWSKI e GAY, 1980) por ser utilizado em diversos programas de análise de *risers* como RISERF (RISERF, 1995) e ALFREQ (ALFREQ, 1997).

O método de Krolikowski-Gay propõe analisar elementos verticais, considerando as cargas de onda, corrente e movimento prescrito alinhadas. Em condições desalinhadas de carregamento, deve-se utilizar o princípio da decomposição independente. Já para casos de elementos não verticais, é necessário

levar as informações de interesse que se encontram em um referencial global para um referencial local (DANTAS, 2004).

Neste trabalho, verifica-se a qualidade da linearização do método de Krolkowski-Gay para a ação de ondas regulares.

Metodologia

O processo de linearização proposto por Krolkowski-Gay consiste na obtenção de coeficientes de linearização $B1$ e $B2$ de modo a linearizar a equação não linear da força de arrasto, originalmente dada por

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_d \cdot D \cdot |r + U| \cdot (r + U) \quad (1)$$

que é transformada em

$$F_D^L = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_d \cdot D \cdot (B1 \cdot r + B2 \cdot U) \quad (2)$$

sendo F_D a força de arrasto não linear, ρ_w a densidade da água, C_d o coeficiente de arrasto, D o diâmetro do riser, r a velocidade da estrutura, U a velocidade da corrente, F_D^L a força de arrasto linearizada, $B1$ e $B2$ coeficientes de linearização.

Neste trabalho, considera-se que o elemento estrutural se mantém rígido ao longo do tempo, uma vez que a resposta estrutural é obtida através de uma solução dinâmica iterativa (SILVA, 2007). Com isto, a velocidade da estrutura se resume à velocidade da onda (v), pois não existe a avaliação do processo de deformação do elemento estrutural.

Inicialmente é necessário calcular as informações cinemáticas da onda, considerando que a ação hidrodinâmica consiste em ondas regulares, como informações iniciais precisa-se da altura da onda (H), do período da onda (T) e da lâmina de água (d). Com estes, obtêm-se:

$$\bar{\omega} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot d}{g \cdot T^2} \quad (3)$$

$$f(\bar{\omega}) = 1 + 0,666 \cdot \bar{\omega} + 0,445 \cdot \bar{\omega} - 0,105 \cdot \bar{\omega} + 0,272 \cdot \bar{\omega} \quad (4)$$

$$L = T \cdot (g \cdot d)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{f(\bar{\omega})}{1 + \bar{\omega} \cdot f(\bar{\omega})} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{L} \quad (6)$$

$$A = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\cosh(k \cdot (z + d))}{\sinh(k \cdot d)} \quad (7)$$

$$v(t) = A \cdot \cos(k \cdot x - \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t) \quad (8)$$

sendo $\bar{\omega}$ e $f(\bar{\omega})$ variáveis auxiliares para o cálculo do comprimento de onda L , k o número de onda, g a gravidade, η a superfície de elevação da onda, z consiste na altura em relação ao solo em que se deseja saber o valor da velocidade do fluido ao longo do tempo, A a amplitude da velocidade da onda, $v(t)$ a velocidade da onda no tempo, x a coordenada em que se deseja calcular a velocidade da onda e, consequentemente, a força de arrasto.

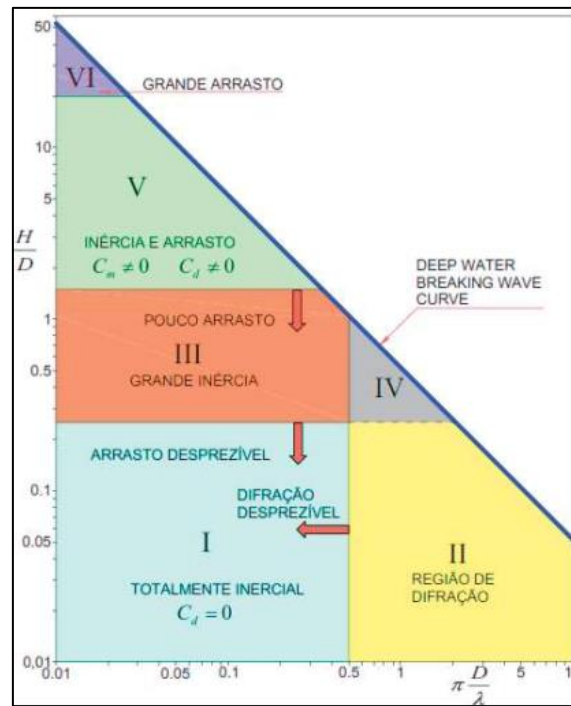
As informações de cinemática calculadas são então utilizadas para se obter os valores dos coeficientes de linearização da força de arrasto a partir das seguintes equações a depender da relação entre U e A :

$$\left\{ \begin{array}{l} B1 = 2 \cdot U, \text{ se } U \geq A \\ B1 = \frac{8}{3\pi} \cdot A \cdot \left\{ \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{U}{A} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{U}{A} \right)^2} + \frac{3}{2} \cdot \frac{U}{A} \cdot \sin^{-1} \left(\frac{U}{A} \right) \right\}, \text{ se } U < A \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} B2 = \frac{A^2}{2 \cdot U} + U, \text{ se } U \geq A \\ B2 = \frac{A^2}{2 \cdot U} \cdot \left\{ \left[1 + 2 \cdot \left(\frac{U}{A} \right)^2 \right] \cdot \sin^{-1} \left(\frac{U}{A} \right) + 3 \cdot \frac{U}{A} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{U}{A} \right)^2} \right\}, \text{ se } U < A \end{array} \right\} \quad (10)$$

Para a escolha dos parâmetros de onda e do diâmetro do *riser*, faz-se uso da Figura 1, presente na DNV-RP-C205 (DNV, 2010), que apresenta os diferentes regimes de força das ondas.

Figura 1 - Diferentes regimes de força das ondas. Fonte: adaptado da DNV-RP-C205 (DNV, 2010)



Como o objeto de estudo se concentra na linearização da força de arrasto, trabalha-se os casos em que a força de arrasto apresenta grande influência levando a necessidade do uso da formulação de Morison, ou seja, as regiões V e VI da Figura 1 são as que apresentam tal influência. Portanto, variam-se os valores de H/D entre 2 e 40, e os valores de $\pi D/\lambda$ entre 0,01 e 0,1. Para avaliar a linearização em si, decidiu-se variar a altura de onda na parcela H/D , pois o diâmetro é considerado apenas ao fim do processo, de maneira que não interfere na linearização em si. Além da altura de onda, varia-se o período da onda, e consequentemente o comprimento de onda, mantendo-se os mesmos intervalos de variação para H/D e $\pi D/\lambda$.

Para avaliação da qualidade da linearização, faz-se uso do erro quadrático médio, que para uma amostra com n informações discretas é dado por

$$erro = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (IL_i - INL_i)^2 \quad (11)$$

em que IL_i e INL_i são as correspondentes amostras geradas com as formulações linear e não linear, respectivamente. A escolha deste método de avaliação é motivada pelo fato de que os coeficientes de

linearização são calculados impondo-se a condição de minimização do erro quadrático médio da aproximação da força não linear pela expressão linearizada (DANTAS, 2004).

Resultados e Discussão

Para avaliação do processo de linearização, simulam-se diversos casos calculando-se o erro médio quadrático. Avalia-se, a princípio, um *riser* com diâmetro de 0,5 m sob a ação de uma onda regular sem a presença de corrente. A força de arrasto é então avaliada a uma profundidade de 10 m, o valor do erro quadrático médio é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Erro quadrático médio

H/D	$\pi D/\lambda$				
	0,01	0,02	0,04	0,07	0,1
2	0,926	0,747	0,122	0,003	0,00005
10	578,626	467,145	76,465	1,902	0,034
20	9257,963	7474,335	1223,446	30,428	0,549
30	46928,935	37841,029	6193,688	154,041	2,778
40	148019,154	119548,472	19576,042	486,850	8,780

Com esses dados é possível concluir que com o aumento da altura de onda mantendo constante o comprimento de onda o erro quadrático aumenta, assim como também se observa que para uma mesma altura de onda ao aumentar o comprimento de onda aumenta-se também o erro.

Para ilustração gráfica dos resultados obtidos para o caso que apresentou menor erro ($H/D = 2$ e $\pi D/\lambda = 0,1$) e para o caso que apresentou maior erro ($H/D = 40$ e $\pi D/\lambda = 0,01$) os resultados são apresentados nas Figura 2 e Figura 3, respectivamente.

Figura 2 - Comparação entre força de arrasto linear e não linear

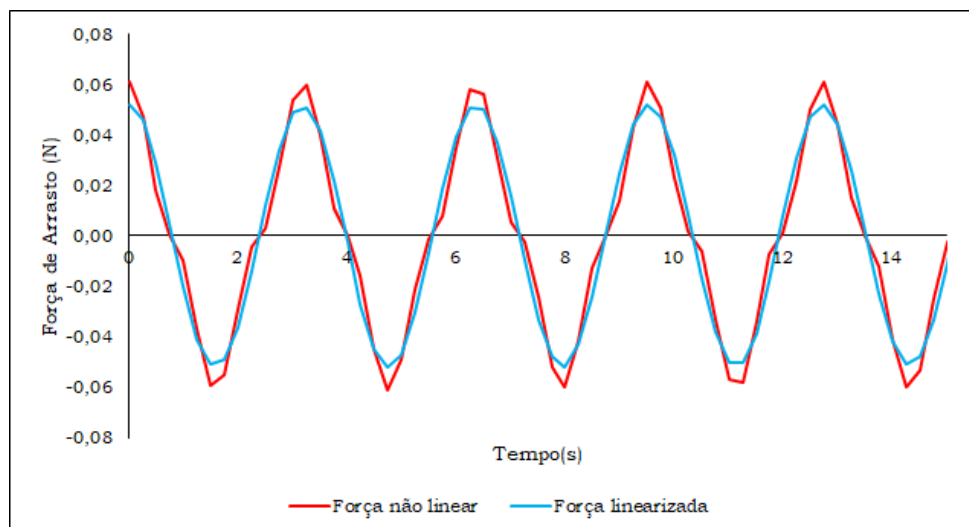
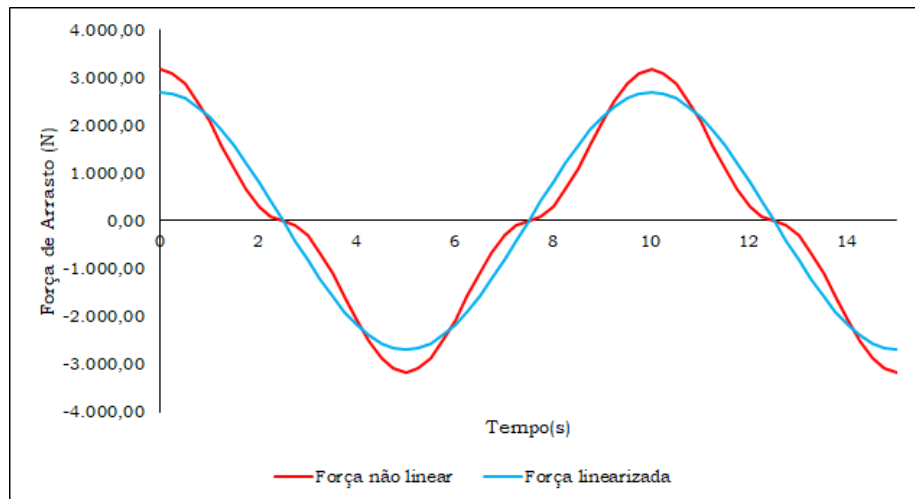


Figura 3 - Comparação entre força de arrasto linear e não linear



Simularam-se também os mesmos casos anteriores, mas agora considerando uma correnteza com 1 m/s tal valor permite que em alguns casos a obtenção dos coeficientes de linearização $B1$ e $B2$ sejam obtidos por processos diferentes como definido nas Equações 9 e 10. A força de arrasto assim como no anterior é avaliada a uma profundidade de 10 m , o valor do erro quadrático médio é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Erro quadrático médio considerando correnteza

H/D	$\pi D/\lambda$				
	0,01	0,02	0,04	0,07	0,1
2	7,868	6,372	1,036	0,026	0,0005
10	4908,243	3982,678	647,766	16,069	0,292
20	44011,416	38143,573	9676,107	257,102	4,669
30	135053,363	116921,574	33104,042	1301,572	23,637
40	311936,589	267724,614	73173,512	4113,576	74,702

O comportamento do erro é similar ao do caso anterior, sendo que com a incorporação da corrente ocorre um aumento no erro quadrático médio.

Conclusões

Com o presente estudo, percebe-se que o processo de linearização da parcela de arrasto na formulação de Morison pode apresentar resultados bem próximos dos obtidos com a formulação original não linear. O método de linearização de Krolikowski-Gay possui alguns condicionantes, entre estes o de avaliar elementos verticais sob a ação de cargas de onda, corrente e de movimentos prescritos alinhados em um mesmo plano. Considerando tais condicionantes e utilizando os limites presentes na DNV-RP-C205 para H/D e $\pi D/\lambda$, o erro do método aumenta com o aumento da altura de onda considerada e com o aumento do comprimento de onda. Percebe-se também que ao se considerar a ação de um perfil correnteza provoca-se um aumento no erro quadrático médio.

Agradecimentos

Ao CNPq/MCTIC pela concessão das bolsas de iniciação científica e de produtividade em pesquisa ao primeiro e terceiro autores, respectivamente, e à PETROBRAS pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa que resultou neste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALFREQ. Análise dinâmica aleatória de *risers* rígidos e em catenária – Manual de Entrada de Dados. **PETROBRAS/CENPES/DIPREX/SEDEM**, 1997.

DANTAS, C. M. S. **Metodologia de análise de fadiga de *risers* rígidos no domínio da frequência com utilização de modelos hidrodinâmicos tridimensionais linearizados**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

DNV **DNV-RP-C205 - Environmental conditions and environmental loads**, Det Norske Veritas, October, 2010.

KROLIKOWSKI, L. P.; GAY, T. A. An improved linearization technique for frequency domain risers analysis. In: Offshore Technology Conference, 12., 1980, Houston. **Proceedings...** Houston: SPE, 1980. OTC-3777-MS.

LANGLEY, R. S. The linearisation of three dimensional drag force in random seas with current. **Applied Ocean Research**, v. 6, n. 3, p. 126-131, 1984.

LEIRA, B. J. Multidimensional stochastic linearisation of drag forces. **Applied Ocean Research**, v. 9, n. 3, p. 150-162, 1987.

RISERF – Análise estática e dinâmica no domínio da frequência de risers rígidos dentro do ambiente Windows. Manual Teórico. **COPPE-UFRJ/PETROBRAS**, 1995.

RODENBUSCH, G., GARRET, D. L., ANDERSON, S. L. Statistical linearization of velocity-squared drag forces. In: FIRST OMAE SPECIALTY SYMPOSIUM ON OFFSHORE AND ARCTIC FRONTIERS, 1986, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: ASME/OMAE, 1986. p. 123-129.

SILVA, L. F. T. **Análise determinística tridimensional de risers no domínio da frequência**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.