

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 Espectral de ondas Oceânicas: Métodos de Discretização do Espectro

AUTORES:

Jéssica Pontes de Vasconcelos; Michele Agra de Lemos Martins; Heleno Pontes Bezerra Neto;
Eduardo Nobre Lages

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.

SPECTRAL ANALYSIS OF OCEAN WAVES: SPECTRUM DISCRETIZATION METHODS

Abstract

The oil and gas industry in deep and ultra-deep waters faces the constant emergence of new technological challenges, as well as the demands for improvement of existing technologies. To meet this growing demand and assist in overcoming the challenges, it is necessary to invest in research and development of systems capable to properly simulate the physical behavior of offshore structures. Accordingly, in order to contribute to the better understand and model ocean waves, the present work shows the comparative study of different methods of representation and calculation of irregular waves. Simply, these are represented by the superposition of several regular waves with different amplitudes, phases and periods. The wave spectrum can be obtained from statistical properties of the sea and it describes the distribution of energy in relation to the wave components frequency. For the analysis of wave kinematics, a discretization of the spectrum is required. In general terms, the procedure is to divide the spectrum in n steps. Each of these steps correspond to a regular wave component, for which shall be determined periods, amplitudes and phases. There are various procedures to determine the values of the frequency ranges, the representative values of frequency and amplitude. This work discusses two different approaches to discretize the wave spectrum: equal frequency steps and equal energy method. An example is presented and discussed in terms of elevation profiles and wave kinematics.

Introdução

A maior parte das reservas petrolíferas brasileiras se encontra em campos marítimos, e com o passar do tempo e com o aumento da necessidade energética o país busca aumentar as reservas e desenvolver a produção nessas áreas. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas para um maior avanço tecnológico.

Estando as estruturas localizadas em ambiente marítimo, sofrem as ações da natureza, como as das ondas oceânicas. A propagação dessas ondas interfere diretamente nas estruturas *offshore*, sendo necessário um estudo mais aprofundado do estado de mar onde as estruturas estão inseridas. Essas estruturas são cabos de ancoragem de plataformas e navios, que são as linhas de ancoragem, e tubos com a função de transportes de fluidos, que são os *risers*.

O estado de mar real é melhor representado pelas ondas irregulares, que são composições de ondas regulares, pois apresentam características aleatórias. O carregamento devido à onda irregular (aleatória) não é constante e não pode ser determinado por uma função, ou seja, não se pode prever com certeza o que ocorrerá em um determinado instante. Este carregamento, conhecido como estocástico, é descrito por suas propriedades estatísticas, tais como média e desvio padrão. As propriedades estatísticas dos processos aleatórios de interesse de projetos de estruturas *offshore* podem ser consideradas constantes em eventos de curta duração. Em períodos de longo-prazo estas ações ambientais apresentam variações nos seus parâmetros estatísticos. Por esta razão, no projeto de estruturas marítimas, as séries temporais das ações ambientais são divididas em períodos de curta duração (usualmente de 3 horas) e considera-se que em cada um deles o processo é aleatório. A estes eventos ambientais de curto-prazo atribui-se o nome de estado de mar (CHAKRABARTI, 1994).

A partir das propriedades estatísticas do mar, são gerados os espectros de onda, que descrevem a distribuição de energia em relação à sua frequência. Para uma análise de elevação e cinemática de onda, é necessária a discretização desses espectros, que é o intuito deste trabalho.

O trabalho tem como objetivo fazer uma análise comparativa dos diferentes métodos de discretização de espectros de ondas oceânicas, utilizados na definição de ondas irregulares para análise e projeto de sistemas oceânicos.

Metodologia

A metodologia consiste na revisão bibliográfica sobre sistemas oceânicos, com foco em ondas irregulares utilizadas em projetos e análises de estruturas *offshore*.

Abordam-se dois métodos de discretização de espectro: o método de faixas de frequências constantes e o método de energia constante utilizados para compor as ondas irregulares.

Implementam-se os métodos na linguagem de programação C, para análise comparativa dos resultados, posteriormente analisam-se os perfis de elevação das ondas e a cinemática das mesmas, dispondo os gráficos gerados.

Por fim, verificam-se os resultados com o *software* comercial OrcaFlex®.

Resultados e Discussão

Espectro de Mar

A descrição do comportamento das ondas é dada em função da sua regularidade: se ondas regulares, apresentam comportamento bem definido no tempo e no espaço, se irregulares têm comportamento aleatório. No modelo irregular as ondas são formadas pela soma de ondas regulares com alturas, períodos e fases diferentes.

As ondas irregulares representam o real estado de mar. Elas são formadas pela superposição de diferentes ondas, justificando o seu comportamento aleatório e de difícil representação matemática. Mas, grandes ondas em uma série de ondas aleatórias podem ser determinadas na forma de ondas regulares, podendo então ser descritas através de teorias determinísticas (CHAKRABARTI, 2005). As ondas irregulares são representadas através de um espectro que é a energia de onda associada à frequência.

Vários espectros foram propostos, mas os mais conhecidos são: o modelo de Pierson-Moskowitz (PIERSON e MOSKOWITZ, 1964), o modelo de Bretschneider (BRETSCHNEIDER, 1959), modelo ISSC (BHATTACHARYYA, 1978) e o modelo de JONSWAP (BHATTACHARYYA, 1978). O modelo de JONSWAP possui cinco parâmetros e é o modelo que vem sendo utilizado como padrão pela PETROBRAS para representação de estados de mar na Bacia de Campos (SENRA, 2004).

Discretização

Através do processo de discretização do espectro são obtidas características importantes para a determinação da elevação e das propriedades cinemáticas das ondas irregulares. O espectro é dividido em faixas de frequências, e a forma como serão divididas essas faixas depende do método que será adotado, ou seja, o método das faixas de frequências constantes (Fig. 1) ou o das faixas com áreas iguais (faixas de mesma energia) (Fig. 2).

Figura 1 – Discretização com faixas de frequências constantes.

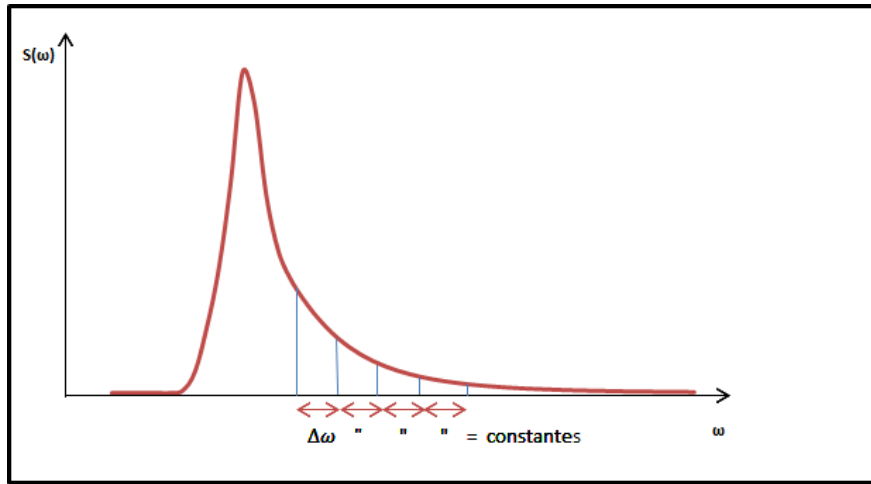
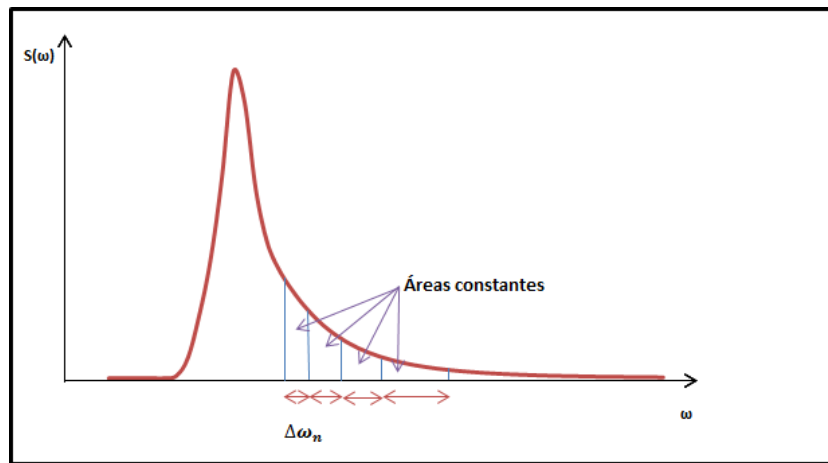


Figura 2 – Discretização com faixas de mesma energia.



Problema analisado

Analisa-se um estado de mar de altura significativa de onda (H_s) de 5 m, um período de pico (T_p) de 1,8 s e uma profundidade (d) de 1.500 m. Utiliza-se o espectro de JONSWAP ajustado para a bacia de Campos, em termos de frequência:

$$S_n(f) = \left(\frac{5}{16}\right) \cdot H_s^2 \cdot T_p \cdot \left(\frac{f_p}{f}\right)^5 \cdot (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma) \cdot \exp \left[-1,25 \cdot \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4} \right] \cdot \gamma^{\exp \left[\frac{(f-f_p)^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot f_p^2} \right]} \quad (1)$$

sendo f_p a frequência linear de pico, f a frequência linear. O fator de forma γ é dado por

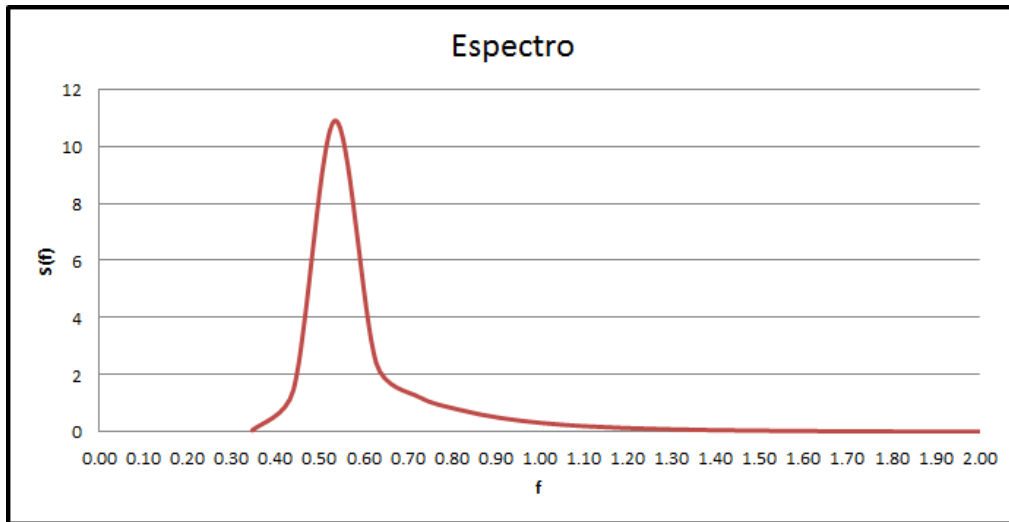
$$\gamma = 6,4 \cdot T_p^{-0,491} \quad (2)$$

e o fator σ dado por

$$\sigma = \begin{cases} 0,07, & \text{se } f \leq f_p \\ 0,09, & \text{se } f > f_p \end{cases} \quad (3)$$

Utiliza-se o método de discretização por faixas de frequências constantes, com a frequência inicial 0,3 Hz e a final 5,0 Hz, e discretiza-se o espectro em 50 intervalos, calculando-se as frequências e posteriormente as energias, resultando no espectro representado pela Fig. 3.

Figura 3 – Espectro calculado.



Na sequência, calcula-se o sinal temporal da elevação de onda irregular, dada pela superposição das N_f componentes de onda consideradas. As elevações são calculadas para as duas formas de discretização, resultando nos gráficos apresentados nas Figs. 4 e 5.

Figura 4 – Elevação da onda (faixas constantes).

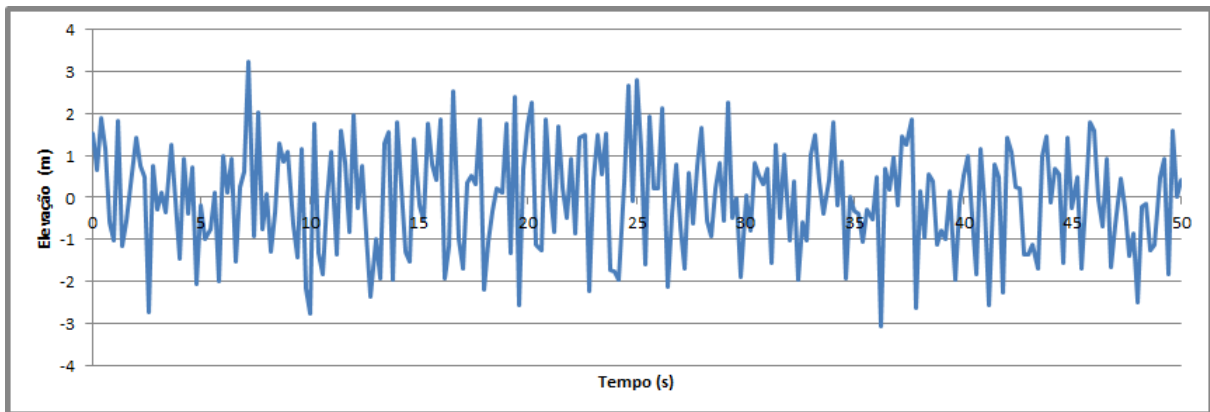
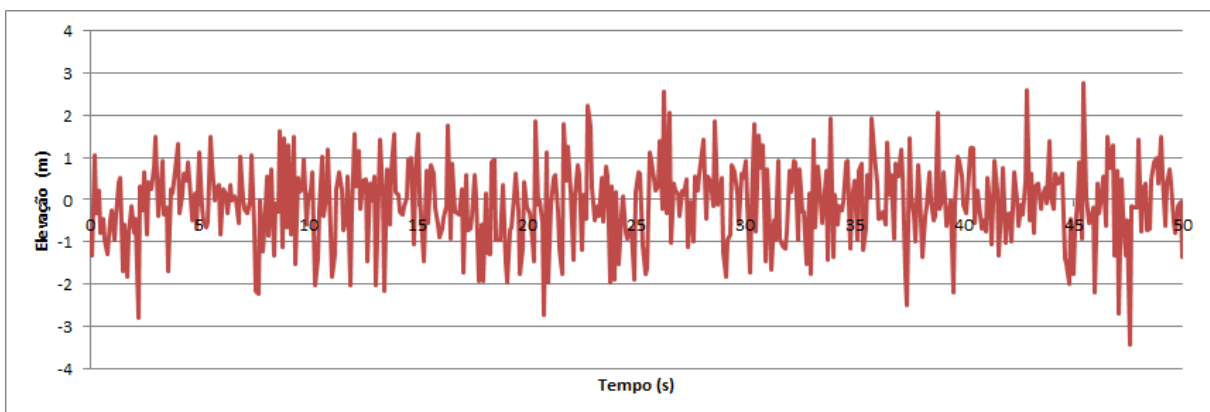


Figura 5 – Elevação da onda (faixas de mesma energia).



Em seguida, calcula-se a cinemática da onda. Na Tabela 1 têm-se representados os máximos e mínimos valores de velocidades, acelerações e elevações nas duas discretizações.

Tabela 1 – Comparação entre as discretizações e o Orcaflex®.

	Orcaflex®		Faixas Constantes		Energias Constantes	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Elevação (m)	2,77	-3,04	4,03	-3,42	3,15	-3,72
Velocidade Horizontal (m/s)	0,80	-0,68	2,9	-2,16	0,52	-0,31
Velocidade Vertical (m/s)	0,76	-0,79	2,65	-2,25	0,35	-0,26
Aceleração Horizontal (m ² /s)	2,52	-2,54	1,35	-0,88	2,7	-2,94
Aceleração Vertical (m ² /s)	2,13	-2,61	1,79	-0,89	2,81	-2,49

Na Tabela 2 estão especificados os erros entre os valores máximos obtidos através das discretizações e do Orcaflex®.

Tabela 2 – Erros.

	Erros relacionados aos dados obtidos no Orcaflex®	
	Faixas Constantes	Energias Constantes
Elevação	-45%	-14%
Velocidade Horizontal	-263%	35%
Velocidade Vertical	-249%	54%
Aceleração Horizontal	46%	-7%
Aceleração Vertical	16%	-32%

Como se pode observar, os erros da discretização por faixas de energias constantes é bem menor que o erro obtido pela discretização por faixas de frequências constantes.

Erros são admissíveis, principalmente partindo do princípio que existem fatores randômicos, ou seja, que são gerados aleatoriamente no programa implementado e no próprio Orcaflex®. Com isso, o erro na elevação é coerente, mas erros muito altos, como os das velocidades, exigem uma otimização.

Conclusões

As análises estatísticas de estados de mar são de extrema importância para o estudo do carregamento hidrodinâmico em uma estrutura *offshore*. O carregamento hidrodinâmico avalia as pressões, forças e momentos induzidos em uma estrutura por um fluido, que no presente trabalho se trata das ondas irregulares, que são composições de ondas regulares.

Os resultados estatísticos obtidos através dos métodos de discretização, como a elevação, velocidades e acelerações, permitem o cálculo das pressões, forças e momentos, possibilitando o dimensionamento e a avaliação da resposta da estrutura que será inserida no ambiente marítimo.

Com o presente trabalho foi observado que o método de discretização por faixas de energias constantes possibilita erros menores em relação ao programa comercial Orcaflex®, com isso ele proporciona resultados melhores que a discretização por faixas de frequências constantes.

Mesmo apresentando um melhor resultado, a cinemática da onda, da discretização por faixas de energias constantes, deve ser otimizada.

Agradecimentos

A realização do presente trabalho não teria acontecido sem o incentivo e empenho de várias pessoas, sendo assim, deixo expresso toda a minha gratidão e admiração a todos que estiveram envolvidos direta ou indiretamente.

Primeiramente agradeço a Me. e amiga Michele Agra de Lemos Martins por todo incentivo, dedicação, disponibilidade e solicitude que lhe são peculiares. Como Mestre foi fundamental na transmissão de experiências, abrindo horizontes e oportunidades para meu desenvolvimento. Como amiga, por está sempre presente e solícita.

Ao Dr. Eduardo Nobre Lages, por ter confiado no meu potencial e ter me dado a oportunidade de iniciar nas atividades científicas, por toda sua dedicação e bom o humor contagiante.

Ao Me. Heleno Pontes Bezerra Neto, pela coorientação exemplar com total disponibilidade e por todos os conhecimentos transmitidos.

Ao Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV) por ter ampliado meus conhecimentos na área de computação, me dando oportunidades de aperfeiçoamentos.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) por oferecer oportunidades de pesquisas e desenvolvimentos na área da ciência, tão importantes para o desenvolvimento do país.

Aos meus familiares pelo apoio e paciência dedicados.

A todos obrigada por fazerem parte e permitirem a publicação deste artigo.

Referências Bibliográficas

BHATTACHARYYA, R. **Dynamics of Marine Vehicles**, John Wiley and Sons. New York, 1978.

BRETSCHNEIDER, C. L. **Wave variability and Wave Spectra for Wind-generated Gravity Waves**. Technical Memorandum No. 118. Beach Erosion Board. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, D.C., 1959.

CHAKRABARTI, S. K. **Hydrodynamics of Offshore Structures**. Southampton: Computational Mechanics Publications, 1994.

CHAKRABARTI, S. K. **Handbook of Offshore Engineering**. Illinois: Elsevier, 2005, Vol. 1..

OCHI, M. K. Wave Statistics for the Design of Ships and Ocean Structures. **Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers**. Vol. 86, p. 47-76, 1978.

PIERSON, W. J.; MOSKOWITZ, L. A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. Kitaigorodskii, **Journal of Geophysical Research**. December, 1964, 69 (24), 5181-5203.

SENRA, S. F. **Metodologias de Análise e Projeto Integrado de Sistemas Flutuantes para Exploração de Petróleo Offshore**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.