

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Apresentação de Movimentos de Uma Estrutura Flutuante com Base no Método Potencial Para Hidrodinâmica de Ondas

AUTORES:

Nayara Callegari de Campos, Catharine Alves Nores, Celso K. Morooka

INSTITUIÇÃO:

Universidade Estadual de Campinas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. 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 8º PDPETRO.

Apresentação de Movimentos de Uma Estrutura Flutuante com Base no Método Potencial Para Hidrodinâmica de Ondas

Abstract

The discovery of pre-salt layers with petroleum reservoirs has brought to Brazil the possibility to increase oil and gas reserves, although its exploitation represents a huge technical challenge due to the discovery of wells in deep water. Equipment and tools are being increasingly specialized, since many factors hinder the drilling and production processes.

To meet the needs of the oil industry, it is extremely important to develop this kind of demanding technologies. In order to assess the maritime operation for drilling and production wells, it is extremely important the proper understanding of the dynamic behavior of ship movements or floating platforms in the sea waves.

In this study, it is presented the theoretical basis to estimate the hydrodynamic responses of waves on floating structures in waves, based on the potential flow theory. Using a commercial software (WAMIT®), it is shown the results of the movement and hydrodynamic properties of the floating structure, such as the response amplitude operator presented.

To model the geometry of the floating structure through panels, it was used a CAD type software (Multisurf®). The hydrodynamic properties and responses movements are obtained for different wave conditions, and the key findings are outlined through the discussions presented.

Introdução

Em um contexto recente, as necessidades da indústria petrolífera exigem um entendimento amplo no que diz respeito ao comportamento dinâmico de movimentos de navios e de plataformas flutuantes, sob a ação de ondas do mar em condições operacionais. As camadas do pré-sal com reserva de petróleo trouxeram ao Brasil a perspectiva do país aumentar sua reserva para produção de hidrocarbonetos, embora sua exploração represente um enorme desafio técnico devido à descoberta de poços em lâminas d'água profundas, atingindo profundidades de mais de dois mil metros.

Alguns aspectos fundamentais relacionados à operação de uma unidade flutuante têm relação direta com o estudo aqui desenvolvido. O comportamento hidrodinâmico afeta a segurança da tripulação, carga e da própria unidade, além de influenciar na velocidade da embarcação e em seu respectivo consumo de combustível. Também é fator determinante na previsão de manobras em certas operações marítimas, determinando a viabilidade de funcionamento em condições adversas (O.M. FALTINSEN, 1990).

Para avaliar as forças que agem sobre uma estrutura flutuante ou em quaisquer de seus componentes, deve-se reconhecer o campo de escoamento do fluido que permeia sua extensão. Considerando que a água do mar seja um fluido incompressível (densidade constante), invíscido (viscosidade nula), e irrotacional, podem-se expressar as velocidades das partículas do fluido pelo gradiente do potencial de velocidade em qualquer instante. Para a solução completa do problema em questão, devem-se levar em consideração os seis graus de liberdade da unidade flutuante, bem como as condições de contorno cinemática e dinâmica relevantes do fluido para a análise.

Para a solução do problema do escoamento potencial do fluido na presença de ondas e da estrutura flutuante, utilizou-se o WAMIT®, uma ferramenta numérica capaz de determinar as respostas hidrodinâmicas de um corpo flutuante em condições operacionais pré-determinadas. Baseando-se na teoria do método potencial, a superfície molhada da estrutura analisada deve ser

discretizada em painéis. Neste caso, para tal procedimento, utilizou-se o Multisurf©, um software do tipo CAD capaz de se comunicar com o WAMIT© de forma prática.

Uma unidade flutuante de produção, armazenamento e transferência (sigla em inglês, FPSO) é um tipo de embarcação utilizada na indústria de petróleo para estocagem e produção de óleo e gás e é tipicamente ancorada e estacionada em uma posição no mar.

Neste trabalho, apresenta-se uma análise do operador de amplitude de resposta (Response Amplitude Operator ou RAO) para uma FPSO submetida a diferentes condições de onda, com o intuito de avaliar as respostas dos movimentos da estrutura flutuante para vários períodos de onda e frequências, e suas respectivas fases relativas à onda.

O RAO é utilizado para determinar o efeito que um estado de mar acarretará sobre o movimento da unidade. Desta forma, o estudo apresentado permite subsidiar os procedimentos de avaliação de limites operacionais, e possíveis falhas e riscos envolvidos em operações reais.

Metodologia

O método dos painéis divide a superfície do corpo analisado em elementos discretos. Em cada um destes elementos, uma distribuição de singularidades (fontes e/ou sumidouros) que representa o potencial de velocidades é definida, satisfazendo a equação de Laplace:

$$\nabla \phi = i \frac{\partial \phi}{\partial x} + j \frac{\partial \phi}{\partial y} + k \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (1)$$

De acordo com Newman (1977), a solução é obtida através do teorema de Green. Com o potencial de uma fonte oscilante acima da superfície livre representado como uma função de Green, uma equação integral é derivada para o potencial ao longo do domínio do corpo principal. Após substituir a equação (1) e usando o procedimento de Galerkin, um sistema linear de equações é encontrado para os coeficientes ϕ e então, o sistema é resolvido por eliminação de Gauss. Uma vez que o potencial de velocidades é conhecido, podem-se determinar as componentes da velocidade do fluido, forças, massas adicionais, amortecimentos potenciais e elevações da superfície livre.

O campo potencial ϕ pode ser interpretado com a sobreposição de dois efeitos: o de difração de ondas, devido à presença do corpo em ondas (mantendo sua posição de equilíbrio), e o de radiação, a partir do qual são avaliados os efeitos das ondas geradas pelo movimento do corpo. Na Fig. 2, Faltinsen (1998) ilustra essa sobreposição de efeitos.

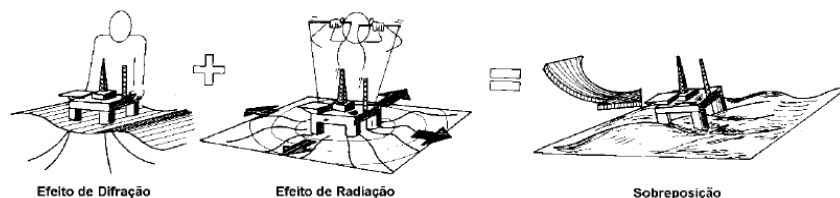


Figura 1. Sobreposição dos efeitos de difração e radiação.

Através dos dados fornecidos como resposta pelo WAMIT©, analisou-se o operador de amplitude de resposta para os movimentos nos seis graus de liberdade da embarcação de acordo com ângulos de incidência de onda de 90°, 135° e 180°, em função do período e de suas respectivas fases. Na Fig. 3, está esquematizada a referência dos ângulos analisados pelo WAMIT©.

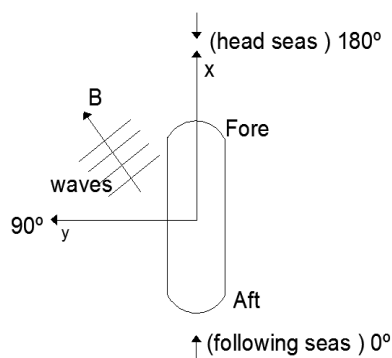


Figura 2. Sistema de referência adotado no WAMIT©.

Também conhecido como função de transferência, o RAO é a resposta à onda unitária como função do período da onda e sua direção. Deve-se destacar que o RAO só tem sentido se assumirmos que os movimentos da unidade são lineares, ou seja, proporcionais à altura da onda. O princípio da superposição linear de componentes de onda regulares também é válido assumindo que as cargas induzidas por um mar irregular podem ser obtidas por superposição linear de componentes de onda regulares.

Resultados e Discussão

No presente trabalho, dois softwares foram utilizados em etapas subsequentes. Na primeira, utilizou-se o Multisurf© para a modelagem de uma FPSO, representada como um corpo rígido flutuante, onde foram utilizadas informações referentes a uma condição operacional real. Em um referencial XYZ, o centro de gravidade (CG) possui coordenadas (-2,44 , 0, -8,64). A Tab.1 contém os dados utilizados na modelagem da unidade (R.J. HARRIS AND DÈSERTS, LOIC DES, 1999).

Tabela 1. Dados na modelagem.

Características	Valores [m]
Comprimento	280,00
Largura	52,00
Profundidade	30,50
Calado	22,20

Toda a superfície da FPSO foi discretizada, resultando em um conjunto de 169 painéis quadrangulares. Também foi definida sua superfície molhada, através das chamadas subsuperfícies, em torno da qual serão calculadas as respostas hidrodinâmicas da estrutura. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa o resultado final do procedimento.

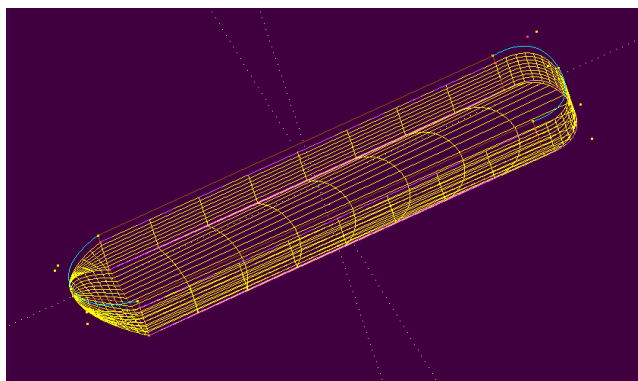


Figura 3. Modelagem da FPSO no Multisurf©.

Já na segunda etapa, o modelo geométrico desenvolvido no sistema de “geometria relacional” (RG) no Multisurf© é diretamente acessado pelo WAMIT© para todas as configurações e propósitos de análises desejadas, dentro do método de resolução de alta ordem (*high-order method*). Esta integração permite que a análise hidrodinâmica seja feita com alta precisão para geometrias muito complexas (NEWMAN, J. N. & LEE, C.-H., 2002).

De acordo com Rice (1985), os movimentos da unidade flutuante podem reduzir o nível de operação de equipamentos de processamento quando comparado ao de uma estrutura fixa; há necessidade em aumentar o nível de funcionamento através da redução dos movimentos do navio e consequentemente, reduzir os efeitos do movimento transmitido sobre o processamento no interior da planta. Para uma incidência de onda de 90°, os graus de liberdade de *surge*, *pitch* e *yaw* não contribuem significativamente nas variações no movimento da embarcação. Já os movimentos de *sway*, *heave* e *roll* apresentam períodos específicos nos quais os valores de RAO são máximos, como segue na Fig. 4:

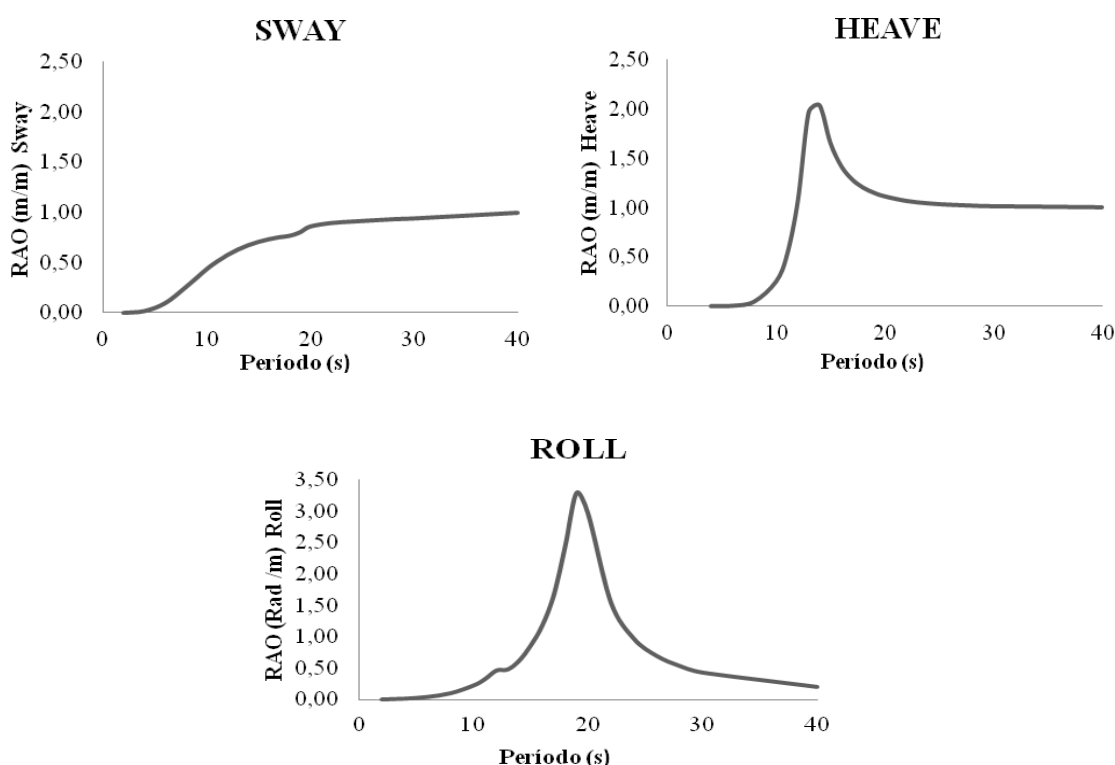


Figura 4. Resultado da simulação computacional para *wave heading* de 90°.

Os picos mais evidentes observados na amplitude dos movimentos acima existem, sobretudo devido ao fenômeno da ressonância. Quando o período natural do movimento coincide com o período da onda incidente, a amplitude do movimento esperada é máxima.

O mesmo tipo de comparação é feita quando se analisa o RAO para um ângulo de incidência de 180°. Neste caso, os movimentos de *yaw*, *roll* e *sway* em geral são pouco influentes para contribuição da movimentação da unidade flutuante, enquanto que para *surge*, *heave*, e *pitch*, os resultados são significativos. A Fig. 5 mostra os respectivos RAO destes movimentos.

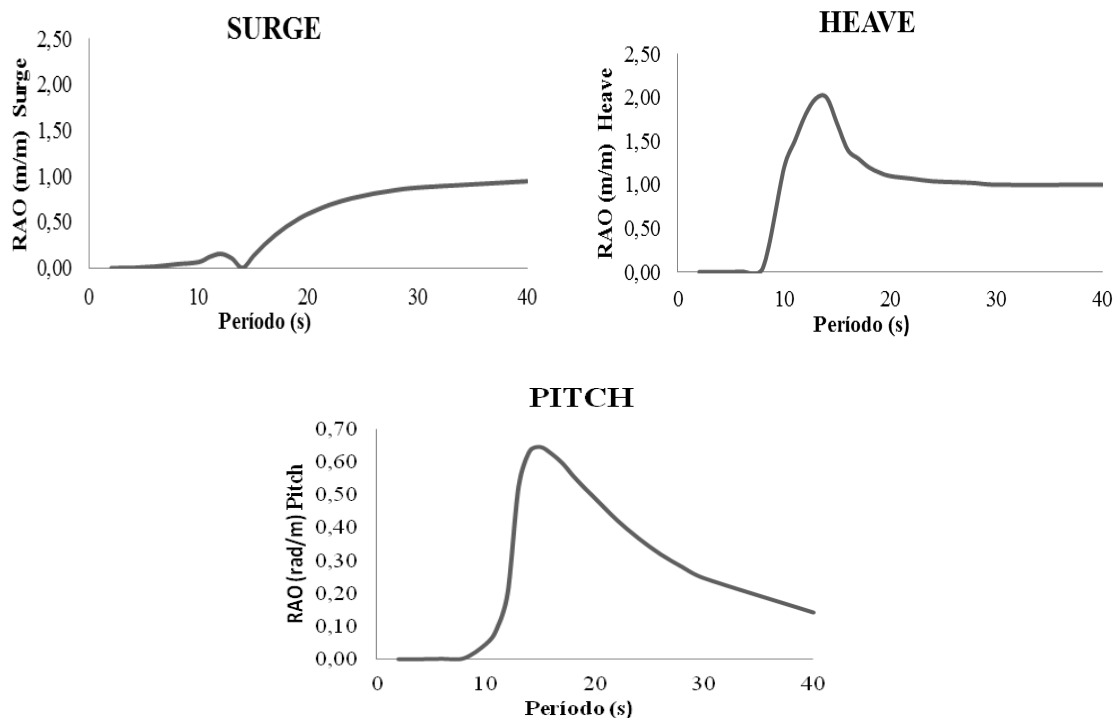


Figura 5. Resultado da simulação computacional para *wave heading* de 180°.

De fato, é possível intuir o resultado mostrado acima para o movimento linear de *surge*, já que a incidência das ondas coincide com o eixo longitudinal do movimento. Esta percepção talvez não seja tão evidente para o grau de liberdade de *heave*. As forças de restauração do sistema nesta direção, atuam na mesma direção do eixo do movimento, afetando a amplitude, e consequentemente, RAO. O valor do coeficiente de restauração (C) é proporcional à área de flutuação da embarcação, e conhecendo-se a massa da embarcação (M) e massa adicional de (M_{heave}), pode-se inclusive estimar a frequência natural de *heave* (ω), e consequentemente o período natural, conforme a equação (2), a seguir:

$$\omega^2 = \frac{C}{M + A} \quad (2)$$

Rice (1985) também verificou que para sistemas flutuantes mais frequentes, o movimento linear de *heave* e os movimentos angulares de *roll* e *pitch* têm efeitos mais significativos do que o restante no que tange a eficiência de equipamentos de processamento. Para um separador de água, óleo e gás, por exemplo, o movimento de *pitch* é o maior dificultador do processo de separação por força gravitacional das três fases existentes. (GRODAL AND J. REALFF, 1999)

Analisando os dados para uma incidência de onda de 135°, de fato, os movimentos de *heave*, *roll* e *pitch* são os que apresentaram maior valor de amplitude dentre todos os graus de liberdade analisados. É importante observar que para os movimentos lineares, as amplitudes dos movimentos crescem à medida que o período de onda aumenta, tendendo a um valor próximo a 1; para os movimentos angulares, as amplitudes máximas são observadas em períodos entre 13 e 19s, e posteriormente, seus valores decrescem, tendendo a um valor muito pequeno. Na figura abaixo, estão representados os gráficos para cada movimento e suas respectivas fases

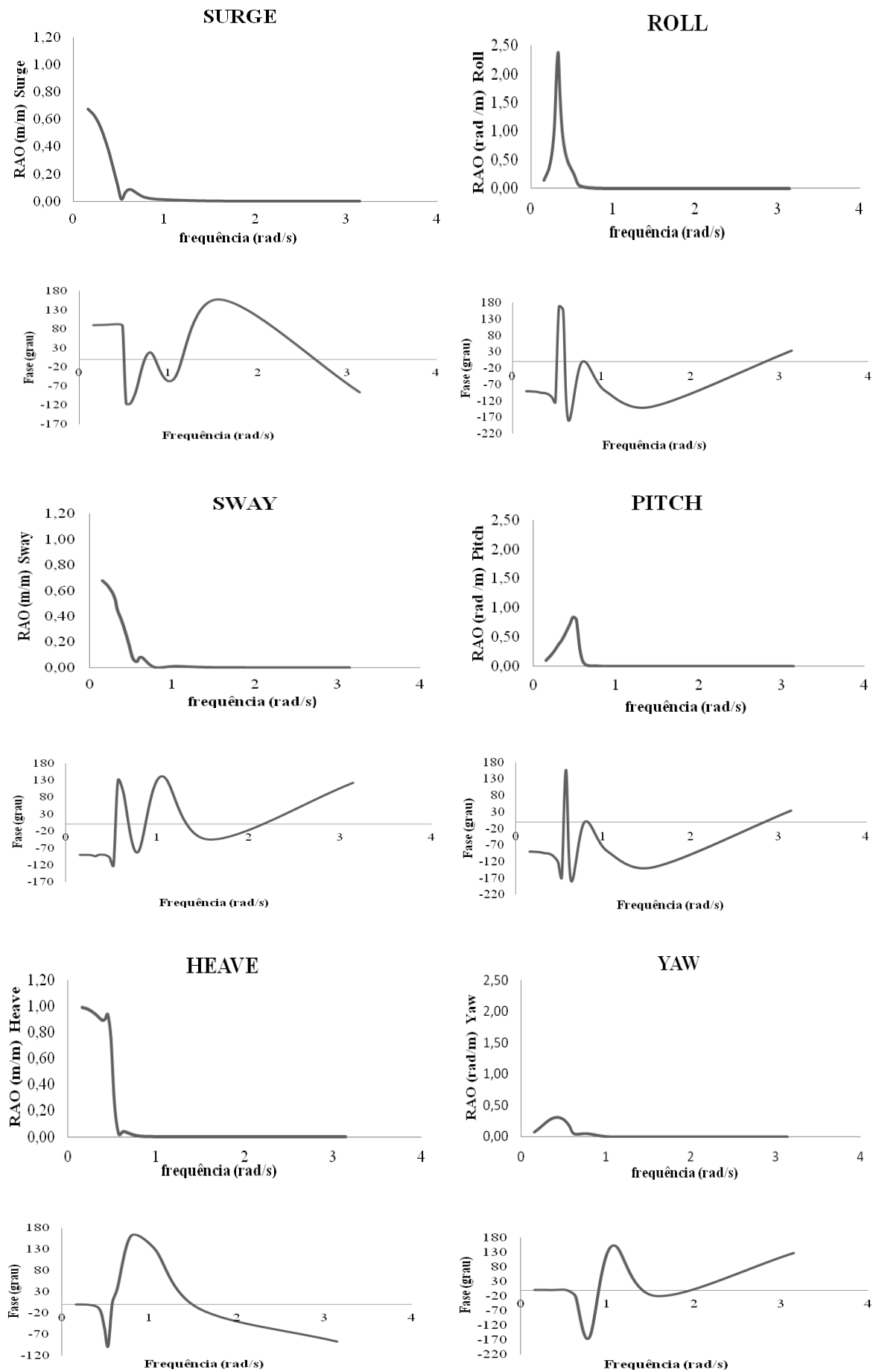


Figura 6. Resultado da simulação computacional para wave heading de 135°.

Observa-se que as fases correspondentes aos seis movimentos representados estão de acordo com o que era esperado. Verifica-se que na região de ocorrência das máximas amplitudes, ocorre a inversão de fase.

Conclusões

A análise do comportamento dinâmico de um navio ou plataforma flutuante através do operador de amplitude de respostas (RAO) para os seus respectivos movimentos é essencial para se avaliar os efeitos das ondas do mar.

Observou-se que determinados graus de liberdade (*heave*, *roll* e *pitch*) apresentam maior influência na amplitude do movimento da embarcação do que outros. O entendimento destes movimentos é fundamental para se avaliar corretamente, a operação e análise da eficiência dos equipamentos de processamento de petróleo no convés da embarcação. .

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo (ANP), ao CAPES, e à empresa BG pelo apoio à presente pesquisa.

Referências Bibliográficas

FALTINSEN,, O.M.: “Sea Loads on Ships and Offshore Structures”. Ocean Technology. Cambridge University Press,Cambridge, UK, 1998.

NEWMAN, J. N.: “Marine Hydrodynamics”. MIT Press, Cambridge, MA, 1977.

FOX, R.W., MCDONALD, A.T., PROTCHARD, P.J.: “Mecânica dos Fluidos”, 4ª edição, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1995.

NEWMAN, J. N, LEE, C.-H: “Integration of Geometry Definition and Wave Analysis Software”, International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Oslo, Norway, 2002.

RICE, C.L: “Effects of Motion on Design of Process Facilities for Floating Production Systems”, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 6-9, 1985.

GRODAL, E.O., REALFF, M.J.: “Optimal Design of Two- and Three-Phase Separators: A Mathematical Programming Formulation”, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, October 3-6, 1999.

CHAKRABARTI, S.K.: “Hydrodynamics of Offshore Structures”, WIT Press, Illinois, USA, 1987.

R.J. HARRIS, DÈSERTS, LOIC DES: “Concrete FPSO”, SPE Prod. & Facilities, Vol. 14, No. 1, February 1999.

M.I.T., “User Manual WAMIT”, 2006

AEROHYDRO, “MultiSurf 8.0”, 2011