



# **PLATAFORMA MARÍTIMA FLUTUANTE COM MOVIMENTOS REDUZIDOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA OFFSHORE**

**Palavras-Chave: Petróleo; Risers; Vibrações**

**Autores(as):**

**HELLEN KADIJA MAGALHÃES SOUSA – E.E. PROF. ANTÔNIO VILELA JÚNIOR**

**GUSTAVO CARVALHO FERNANDES DA SILVA E.E. FRANCISCO DE ASSIS**

**PATRICK JOHANNES YASUO OTA – E.E PROF. AMERICO BELLUOMINI**

**Eng. CAIO CESAR DE OLIVEIRA TRIGO (Colaborador), CEPETRO/UNICAMP**

**Prof. Dr. CELSO KAZUYUKI MOROOKA (Orientador), FEM/UNICAMP**

## **INTRODUÇÃO:**

Atualmente as plataformas flutuantes são o foco de desenvolvimento na exploração de campos marítimos de petróleo e gás. O petróleo é um elemento fundamental para a economia global, e desta forma, surge a importância e a necessidade de melhorias no desempenho destas plataformas, considerando as adversidades que enfrentam do meio ambiente em alto mar, assegurando-se a segurança e a eficiência em suas operações.

Neste contexto, é de grande importância também e estratégica para a sustentabilidade das operações de produção marítima de petróleo, a conexão com outras formas de energias renováveis. Dentre alternativas com atratividade pode-se mencionar a geração de energia através de turbina eólica offshore, abastecendo parcela da energia consumida nas operações de produção do campo, e reduzindo a geração de energia necessária no campo através da queima de gás natural ou mesmo de óleo diesel. No entanto, para viabilidade e eficiência do gerador eólico offshore é fundamental o bom comportamento da plataforma flutuante que sustentará a torre da turbina eólica offshore.

Com este entendimento, o presente estudo trata da investigação dos movimentos excessivos de plataformas flutuantes devido a ondas do mar, e a redução destes movimentos por meio de uma câmara de ar confinada e integrada à estrutura do casco da plataforma. Para aplicações em projeto, é necessário buscar o correto entendimento dos movimentos de uma plataforma flutuante e a efetividade da câmara de ar na redução dos movimentos. Este estudo foca principalmente nos movimentos verticais da estrutura flutuante.

## **OBJETIVO:**

O objetivo desta pesquisa é realizar experimentos com um modelo físico simplificado de uma plataforma flutuante em pequena escala, para avaliar a efetividade de uma câmara de ar interna ao casco da estrutura flutuante, visando a redução dos seus movimentos verticais. Para esta finalidade, serão observados os resultados de testes de decaimento do movimento livre da plataforma flutuante, e testes com movimento forçado da plataforma, com e sem atuação da câmara de ar.

## METODOLOGIA:

Experimentos foram conduzidos no Laboratório de Sistemas Marítimos e Risers (LabRiser) localizado no Cepetro/UNICAMP, envolvendo o uso de um tanque de água, com 2,0 metros de comprimento, 0,8 metro de largura e 1,1 metro de altura, e 0,72 metros de profundidade de água. Para realizar os experimentos foi utilizado um modelo físico simplificado de plataforma flutuante em pequena escala, acoplado a uma célula de carga e um sistema de movimentação linear de forçamento, conforme mostrado na Figura 1.

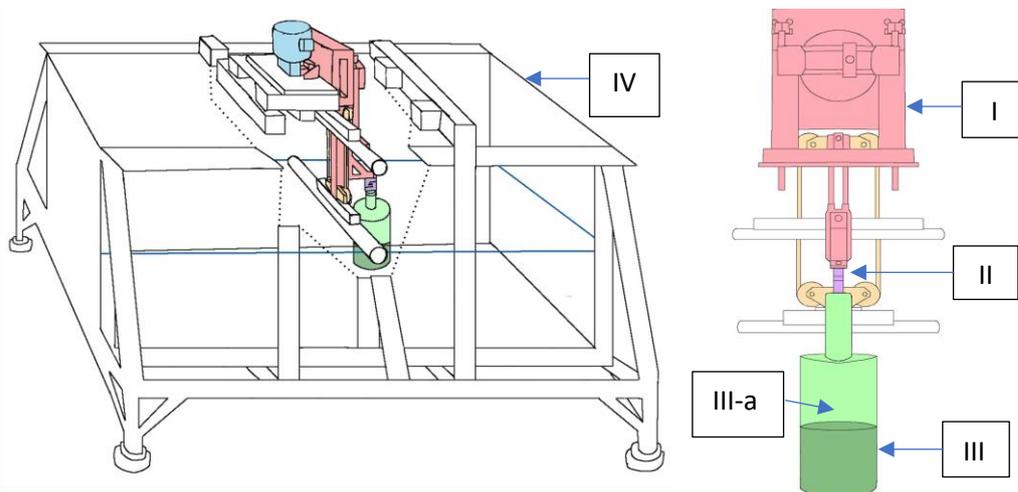


Figura 1: Esboço de montagem do experimento, onde I: Sistema de movimentação linear forçada; II: Célula de carga tipo S; III: Modelo em escala de plataforma flutuante; III-a: Câmara de ar interna; IV: Tanque de ensaios

O modelo da plataforma foi concebido com dois cilindros de acrílico de diâmetros distintos, e um cilindro em aço para ajustes de flutuação e do calado da plataforma modelo. A extremidade inferior do modelo é aberta e em contato com a água forma uma superfície livre por meio da qual, a água pressuriza a câmara de ar nos movimentos verticais (Fig 1-III-a). Para o modelo sem a atuação da câmara de ar, é colocado uma tampa interna estanque onde se encontra a superfície livre da água na da câmara. A remoção desta tampa na condição dos experimentos com ação da ação da câmara de ar, permite assim a sua atuação nos movimentos verticais do modelo da plataforma.

Foi elaborada uma matriz de testes para experimentos de decaimento do movimento vertical, e testes de movimento forçado com o modelo. Os testes de decaimento foram realizados suspendendo o

modelo no centro do tanque a uma altura de 15mm do ponto de equilíbrio hidrostático, e sua soltura na sequência, deixando-se o modelo em movimento livre flutuando em águas calmas até a sua parada. Os movimentos foram monitorados através da câmera de vídeo acionada a partir do instante da soltura do modelo. Lâmpadas de LED de iluminação foram utilizadas para melhorar o contraste da gravação dos movimentos do modelo em vídeo. Para os testes de movimento forçado do modelo, foi utilizado um sistema de atuador linear conforme a Figura 1, com frequências oscilatórias de forçamento variando entre 0.1 Hz a 0.6 Hz, espaçados com passos de 0.01 Hz. A amplitude de movimento vertical foi fixada em 10 mm, e testes com duração total de 2 minutos. Ao forçar estes movimentos, os resultados de força obtidos pela célula de carga são gravados em computador com sincronização ao sinal da força. Os experimentos foram repetidos para testes para o modelo nas condições de sem e de com atuação da câmara de ar.

O pós-processamento das imagens foi feito utilizando um software de edição de vídeo para extrair as imagens individuais da gravação da câmera, em cada passo de tempo. Essas imagens são pós processadas por um script criado no software de análise de imagens NI LabView Vision (National Instruments, LabVIEW, 2010) e são obtidas as posições verticais dos pontos demarcados por meio de fita reflexiva colada no modelo, possibilitando desta forma, medir de forma precisa cada posição dos pontos em cada imagem ao longo do tempo, podendo-se reconstituir posteriormente, as series temporais do movimento de cada ponto específico sincronizadas com o sinal de força do forçamento do movimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados do teste de decaimento possibilitaram obter informações importantes sobre a dinâmica de movimento do modelo. A Figura 2 ilustra séries temporais típicas obtidas do experimento, apresentando o deslocamento vertical (em milímetros) no eixo vertical e o tempo (em segundos) no eixo horizontal. Nota-se que devido ao efeito do amortecimento, uma clara diminuição da amplitude das oscilações do movimento ao longo do tempo. No presente estudo, estas séries temporais foram utilizadas para determinação da a frequência natural vertical do modelo, com e sem atuação da câmara de ar, respectivamente. Obteve-se, portanto, a frequência natural de 0.27 Hz para o modelo sem atuação da câmara de ar, e de 0.248 Hz para condição com atuação da câmara de ar.

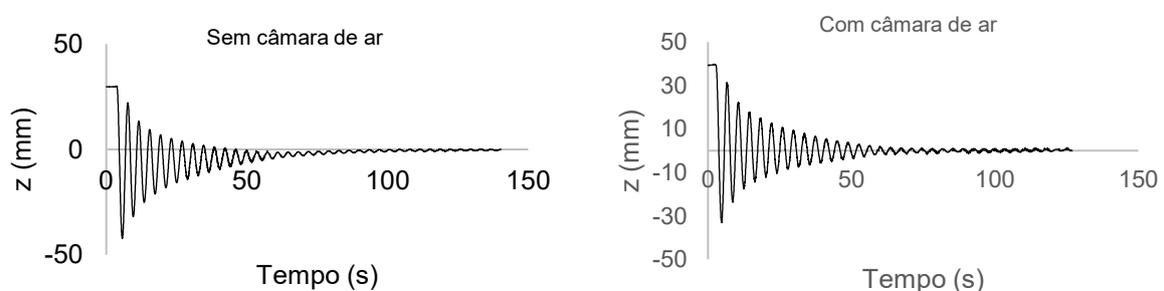


Figura 2: Teste de decaimento livre, sem e com câmara de ar

A Figura 3 apresenta o sinal de força de forçamento do movimento vertical e a medição no tempo do movimento vertical do modelo. Para eliminar sinal espúrio nas medições feitas no experimento, foi

utilizado um filtro de sinal de passa-baixa com base na Transformada Rápida de Fourier (FFT). O critério de corte para este filtro foi estabelecido em 3 Hz, uma frequência de aproximadamente dez vezes maior que a frequência de interesse da , que corresponde à frequência natural do modelo (0.26 hz), de forma a evitar eventuais distorções na faixa das frequências de interesse nas medições.

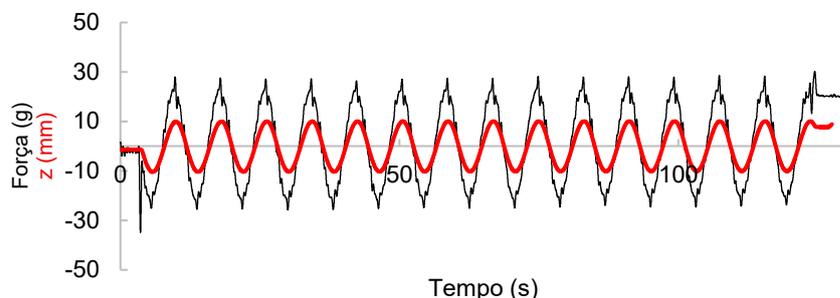


Figura 3: Serie temporal do sinal de força, medido em gramas, e do movimento vertical z, em milímetros (linha em vermelho)

Abaixo, é apresentado o resultado da máxima amplitude de força para cada frequência de teste de movimento forçado, para a condição do modelo com e sem atuação da câmara de ar. Nesses resultados, é possível verificar que o ponto de menor força (mínimo) apresenta-se próximo da frequência natural do modelo, e portanto, para se obter a mesma amplitude de movimento do modelo necessita da menor força de forçamento.

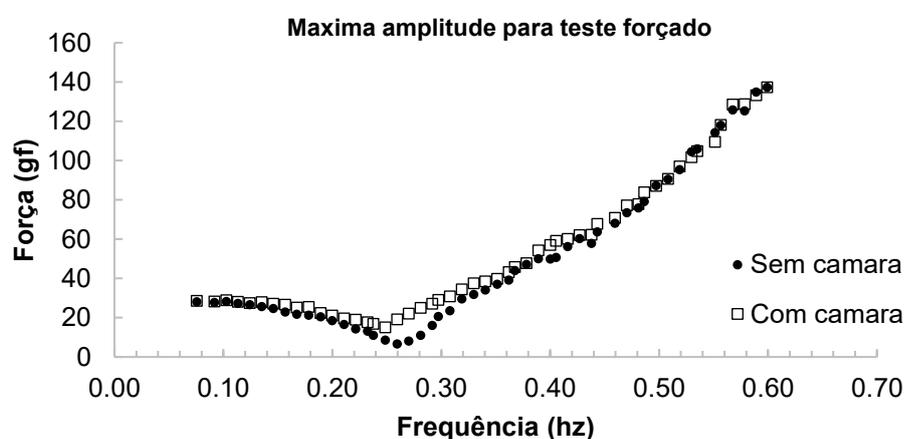


Figura 4: Resultado da máxima amplitude de força para cada frequência de teste forçado

Observa-se no resultado da Figura 4, um padrão claro de que a força diminui em frequências mais baixas até atingir um ponto mínimo, e a partir deste ponto nota-se um aumento acentuado. É notável que este ponto de mínimo se alinha precisamente com a frequência natural do modelo (0.27 Hz), determinada nos testes de decaimento. Acrescenta-se ainda que a ação da câmara de ar deslocou a frequência natural do modelo para um valor menor de 0.248 Hz.

## CONCLUSÕES:

Foi realizado um primeiro passo no estudo de uma plataforma flutuante com redução de movimentos de "heave" utilizando um modelo físico simplificado de pequena escala dotado de câmara de ar para redução dos movimentos. Procurou-se observar no teste, a eficácia da ação da câmara de ar nos movimentos do modelo. Os testes com movimento forçado foram realizadas com e sem atuação da câmara de ar nas mesmas condições de frequência de forçamento, e nos testes de decaimento foram observadas movimentos distintos para o modelo, com frequências naturais diferentes em cada caso.

Os resultados estabelecem uma base de conhecimento inicial importante para a continuidade do estudo e da pesquisa, comprovando ainda a possibilidade da redução do "heave" da plataforma para determinadas condições de mar através de um projeto cuidadoso da câmara de ar. Para trabalhos futuros, recomenda-se a execução de testes com amplitude maiores para o movimento forçado buscando amplificar os resultados observados para análise, e novas configurações geométricas de modelo.

---

## BIBLIOGRAFIA

CHAKRABARTI, S.K.. Hydrodynamics of offshore structures. Computational Mechanics Publications, Southampton, UK, 1987.

Kiryu, P. O.; Morooka, C.K.; Jaculli, M.A.; Leira, B. J.; Sangesland, S.. Dynamic behaviour of a reduced heave motion platform for offshore wind tower. 26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2021), Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM), Florianópolis, SC, 2021.

National Instruments. User Manual of LabVIEW. Austin, Texas. National Instruments Corporation, 2010

Tada, A. Estudo da oscilação vertical livre de uma plataforma flutuante para suporte de torre com gerador de energia eólica, Relatório para IC do ProFIS 2023, 11/2023.

Thomas, J.E.. Fundamentos da engenharia de petróleo. Editora Interciência, Petrobras, 2001.