



ENSAIOS EM LABORATÓRIO COM MODELO DE TUBO FLEXÍVEL VERTICAL COM MOVIMENTOS INDUZIDOS PELA PLATAFORMA MARÍTIMA FLUTUANTE NO SEU TOPO

Marcos V. de Oliveira José Arthur Alves de Sá Walisson Eduardo F. Bertoldo

Celso Kazuyuki Morooka Caio Cesar de Oliveira Trigo

Resumo

Risers são tubulações longas de aço, formados por uma série tubos com juntas em suas extremidades soldadas ou rosqueadas entre si, e têm sido largamente empregados na exploração de petróleo em águas profundas. Para um melhor dimensionamento dos *Risers* é necessário conhecer todos os fenômenos relacionados ao seu comportamento dinâmico que afetam a sua operação e vida útil. O experimento em laboratório é importante pois os fenômenos no cenário real no fundo do mar que diminuir sua vida útil podem, de certa forma, serem visualizados. Este estudo tem como objetivo conhecer as vibrações observados no comportamento de *risers* rígidos devido ao movimento da plataforma marítima flutuante devido a ondas do mar. O aparato experimental possibilita reproduzir os movimentos da plataforma na qual o *riser* está conectada, possibilitando assim, estudar o fenômeno das vibrações através do modelo físico em escala reduzida.

Introdução

A constante exploração em áreas marítimas em busca por petróleo e gás natural para suprir a necessidade da humanidade, tem exigido um enorme avanço em tecnologias de sistemas de perfuração, produção, manutenção de equipamento, vida útil de equipamentos, entre muitos outros. Hoje em dia, os projetos para produzir petróleo e gás natural apresentam grandes dificuldades na sua elaboração devido necessidade de operações marítimas de exploração em lâminas d'água superiores a 2.000 metros, onde as condições físicas e químicas são completamente diferentes de poços localizados próximos a costa terrestre.

Risers são tubulações *offshore* para produção e transporte de petróleo e gás natural, inicialmente do fundo do mar à superfície do mar, e muitas vezes após o seu processamento primário no navio de produção, até o terminal na costa. Devido às cargas dinâmicas e condições ambientais que estas tubulações precisam suportar, o seu projeto e desenvolvimento normalmente é bastante crítico.

Eles estão passíveis de diversos problemas durante a operação, pois são sensíveis a grandes movimentos da plataforma que podem gerar vibrações, diminuindo a sua vida útil e uma eventual falha, pode causar desastres, com danos ambientais e econômicos. Devido a este fato, o estudo dos movimentos e vibrações nestes equipamentos é essencial para viabilidade como um todo, do sistema de produção de petróleo no mar.

Neste trabalho, foram realizados experimentos para estudar o comportamento dinâmico de um tubo na vertical sob movimentos induzidos pela plataforma em alto-mar. Movimentos harmônicos foram induzidos no topo por meio de um dispositivo mecatrônico, gerador de movimento forçados em três direções, representando desta forma, os movimentos de uma plataforma flutuante. O tubo está livre em sua extremidade inferior e fixo na parte superior. Diferentes modos de vibrações foram observados com o modelo submerso em um tanque de água.

Metodologia

Para estudos no tema proposto, foi necessário estudar os conceitos básicos sobre a engenharia de petróleo. Após este estudo teórico inicial, foi realizado o estudo experimental do problema. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Sistemas Marítimos e *Risers* (LabRiser) localizado no Centro de Estudos de Petróleo (CEPETRO) da UNICAMP.

Nos experimentos, foi utilizado como modelo de *riser*, um tubo maciço confeccionado em borracha de silicone. Este material foi projetado procurando manter as propriedades físicas equivalentes no modelo em escala reduzida em relação ao protótipo real. Para possibilitar a captura dos movimentos do modelo submerso no tanque de água (Figura 1), foram instalados 9 marcadores reflexivos ao longo de seu comprimento, e um algoritmo construído no *software* LabView foi utilizado. O modelo possui 180 centímetros de comprimento com o seu diâmetro de 10 milímetros.

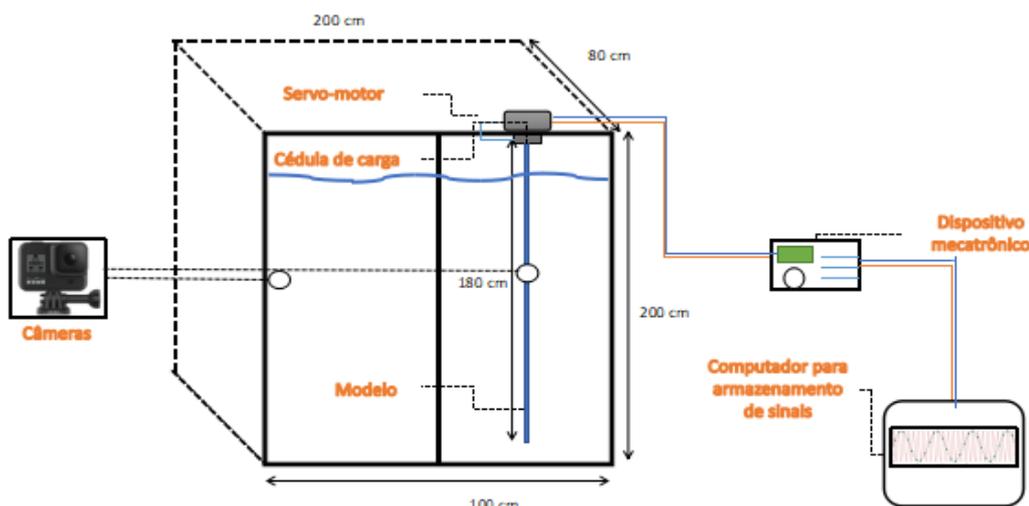


Fig. 1 - Representação esquemática da montagem do experimento no tanque de água

→ Figura 1 mostra o modelo reduzido do *riser* confeccionado maciço com material de borracha de silicone, instalado em um tanque com água. Está fixo em um dispositivo mecatrônico capaz de gerar o movimento sob diversas frequências oscilatórias.

Tabela 1 Dados do modelo

| | |
|-------------|-------------------------|
| Diâmetro | 10 mm |
| Mod. Young | 0,3482 MPa |
| Densidade | 1,4 g/cm ³ |
| Massa total | 0,19 kg |
| Área | 7,85E-05 m ² |



Fig. 2 Marcadores (alvos) no modelo

→ Figura 2 mostra os marcadores ao longo do comprimento do modelo para captura movimentos com câmeras GoPro posicionados dentro e fora do tanque respectivamente, com uma taxa de amostragem de 60FPS.

→ Figura 3 mostra sequência de análise com o *software* LabView para processar imagens capturadas no experimento, e obter as coordenadas dos alvos a cada imagem na série completa de 60 segundos.

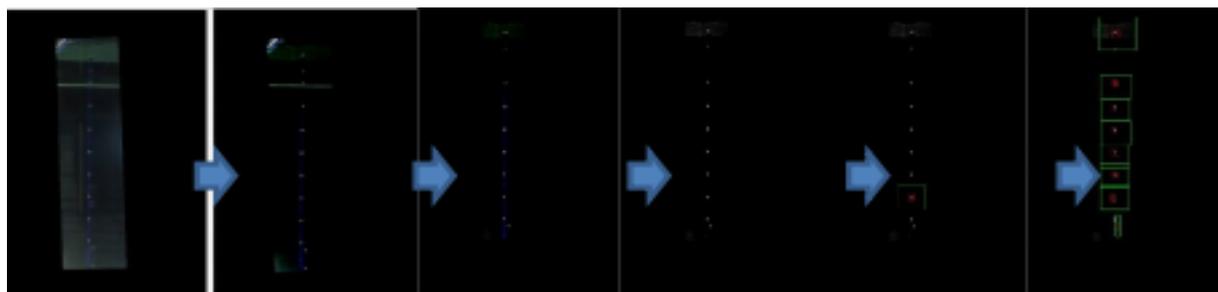


Fig. 3 Planilha eletrônica Excel para análise de séries temporais e envoltórias de máximos e mínimos.

Resultados

Uma matriz de testes foi elaborada e executada no experimento, e foram obtidos gráficos da série temporal (direções X e Y no plano horizontal do tanque) para cada frequência induzida de topo. Neste resumo, estão apresentados na Figuras 4 e 5 respectivamente, resultados para dois testes, 0,30 Hz e 0,83 Hz, para fins de ilustração. Onde, os primeiros 5 gráficos são as séries temporais do movimento em X e Y em relação ao tempo, sendo o primeiro o movimento do motor e os outros dois pontos no modelo, um no início e outro no fim em cada direção.

A Figura 6 mostra os gráficos de envoltórias de movimentos máximos e mínimos, X/D e Y/D. Com eles é possível observar os máximos movimentos sofridos pelo modelo. Esses pontos são retirados das médias das máximas e mínimas das séries temporais de cada um dos 9 pontos do modelo.

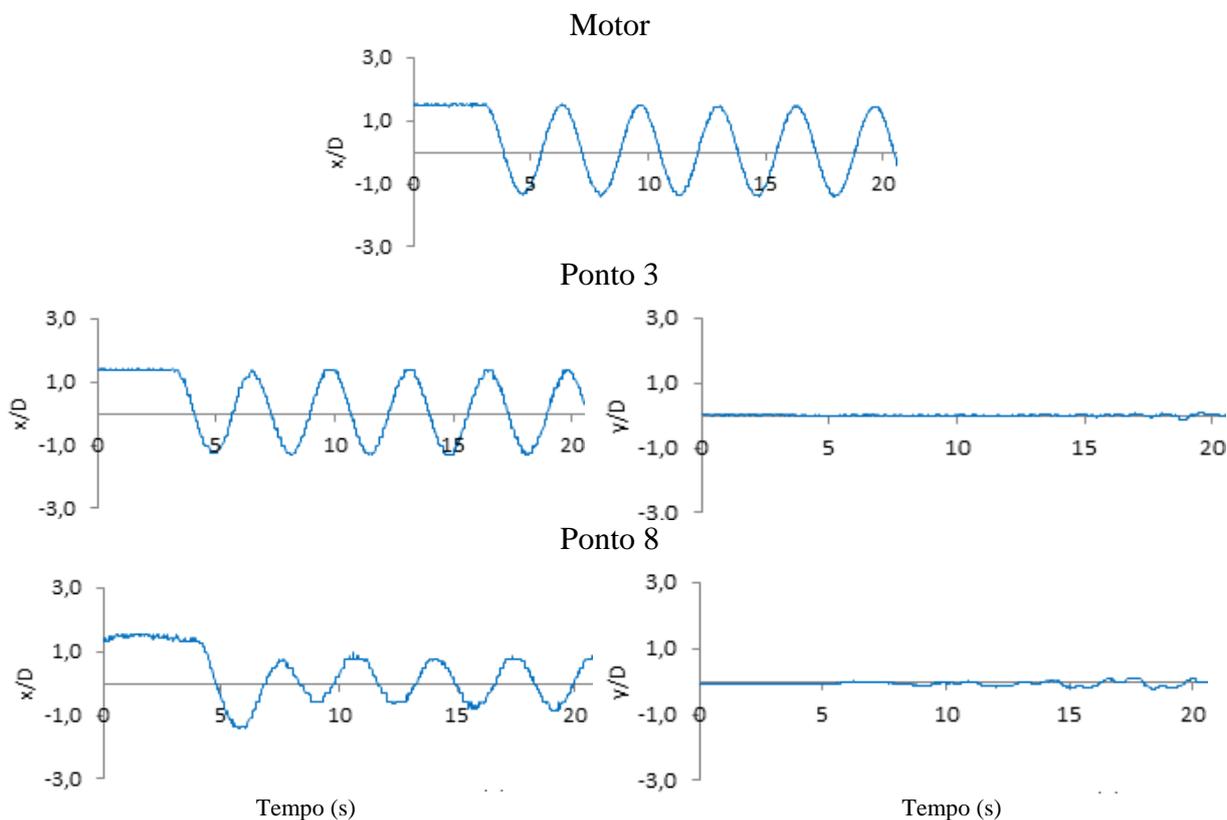


Fig. 4 - Série temporal Frequência 0,30hz - Amplitude 10mm na Direção X e Y

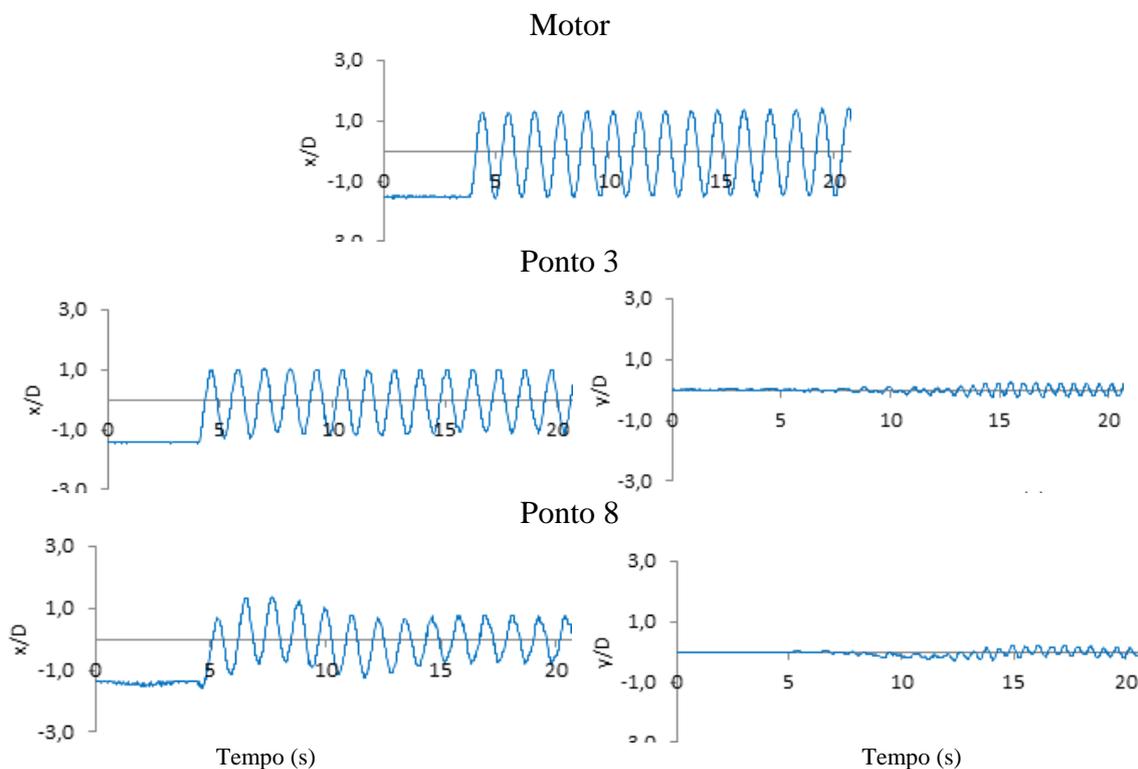


Fig. 5 - Série temporal Frequência 0,83hz - Amplitude 10mm na Direção X e Y

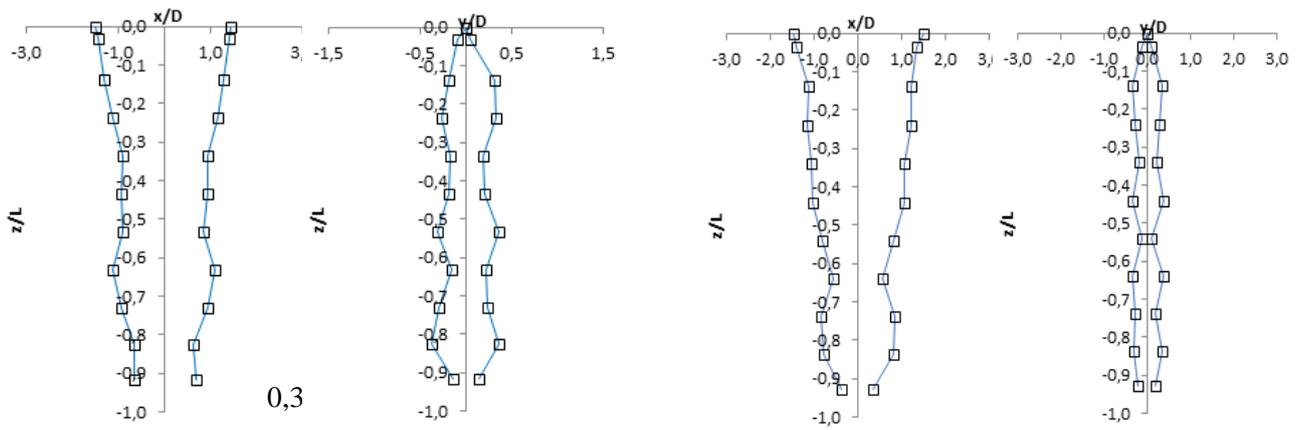


Fig. 6 - Envoltórias de Movimento máximos e mínimos para Frequência 0,30hz e 0,83hz

Resultado dos dados obtidos

Após obtenção dos dados, foram selecionados 2 pontos ao longo do modelo a fim de estabelecer uma comparação de movimento forçado no topo com diferentes regiões do modelo, o ponto 3 e o ponto 8 (contando a origem a partir do topo) foram escolhidos.

Observamos que o comportamento é crítico quando o a frequência de movimento do topo coincide com a frequência natural do modelo. Os resultados na direção transversal ao movimento forçado, o eixo Y, apresentaram vibrações a partir do aumento da frequência de oscilação do topo, sendo importante um estudo posterior sobre a influência do movimento do eixo X em relação ao Y. Além disso, com a análise das envoltórias foram possíveis de se observar os modos de vibração do modelo.

Considerações finais

Após a conclusão da análise dos resultados, foi possível identificar quão intensos são os movimentos e vibrações em *risers*, e além disso, perceber a amplitude de movimentação excessiva no eixo Y. Conclui-se também, de que é fundamental conhecer as propriedades mecânicas do *riser* e as características do mar onde será instalado, para o projeto adequado do *riser*. Assim, pode-se conhecer os limites operacionais e determinar a vida útil desta tubulação. Com base em todos os fenômenos observados e a análise dos gráficos, conseguimos compreender a importância dos *risers* e o papel da pesquisa científica na universidade.

Bibliografia

- THOMAS, J.E.. Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, 2004.
- SAKUGAWA, P.M. - Comportamento dinâmico de um *riser* captador de água do mar, 2018. Dissertação de mestrado, PPG Ciências e Engenharia de Petróleo, UNICAMP.
- TRIGO, C. .O.; MOROOKA, C K. Model Test with a Vertical Pipe to Elevate Cold Sea Water. Congresso OMAE 2018. Madrid, 2018.