



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



MODELAGEM NUMÉRICA DE FUNDAÇÕES RASAS PARA ESTRUTURAS OFFSHORE

Marco Antonio Vetuschi Azzolin

Acadêmico do curso de Engenharia Civil Costeira e Portuária da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

marcovetuschi@gmail.com

Diego de Freitas Fagundes

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
dffagundes@furg.br

Resumo. *O manifold é um conjunto de válvulas e acessórios acoplados a árvore de natal molhada que tem a função de direcionar a produção de vários poços para um duto coletor ligado a unidade de produção de petróleo offshore. Este importante equipamento é instalado no fundo marinho sobre fundações rasas e o correto dimensionamento dos recalques e a capacidade de carga resultantes dos carregamentos aplicados são fundamentais para o projeto destas estruturas. O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência na capacidade de carga vertical devido a utilização da saia estrutural em fundações rasas assentes em leito marinho. Para tal, será analisado o comportamento de um manifold sem a saia e de outros três com diferentes comprimentos de saia. O problema proposto foi desenvolvido através de um modelo numérico em elementos finitos utilizando a ferramenta computacional Plaxis 3D. Os resultados obtidos mostram que os modelos onde a saia é utilizada resultam em maiores valores de capacidade de carga da fundação.*

Palavras-chave: *Fundações rasas. Offshore. Manifolds.*

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de se explorar as riquezas encontradas no ambiente submarino torna-se essencial o estudo e entendimento do meio a fim de maximizar sua exploração e reduzir os custos envolvidos neste processo. Associado a este princípio surge a exploração através de plataformas em alto mar e a necessidade de fixar estas estruturas ao leito marinho.

Os *manifolds* são alternativa para esta finalidade pois este é capaz fixar-se ao elemento de fundação e simultaneamente reduzir o número de dutos assentes ao fundo do mar. O presente estudo tem como objetivo o aprimoramento da técnica utilizada na fixação das fundações rasas sobre quais os *Manifolds* são instalados

O presente trabalho avalia a influência das saias na capacidade de carga das fundações dos *manifolds* através de modelos numéricos 3D.

2. MANIFOLDS

O *manifold* é um conjunto de válvulas e acessórios acoplados a árvore de natal molhada e serve para direcionar a produção de vários poços para um duto coletor, o qual conduz a produção total para uma unidade de produção. Este equipamento é instalado

no leito marinho apoiado em fundações rasas, definição de LAI [1].

A principal característica de uma fundação rasa é a distribuição de carga do elemento de fixação ocorrer de forma distribuída na base do elemento de fundação. Estas fundações rasas utilizadas como suporte para equipamentos submarinos também são conhecidas como *mudmats*.

Para o aumento da capacidade de carga destas fundações são usualmente acopladas estruturas metálicas laterais chamadas de saias de cisalhamento que aumentam a capacidade de carga do conjunto.

As cargas que atuam na fundação do *manifold* consistem basicamente do peso dos equipamentos submersos somados a esforços horizontais, de menor magnitude, resultantes das ações de correntes marítimas, conexões de equipamentos, expansão térmica de *pipelines*, entre outros. Este trabalho se restringe à validação da capacidade de carga devido apenas aos efeitos dos esforços verticais.

A Figura 1 ilustra o *manifold* assente em leito marinho juntamente com os demais equipamentos do arranjo submarino de produção *offshore* de petróleo.

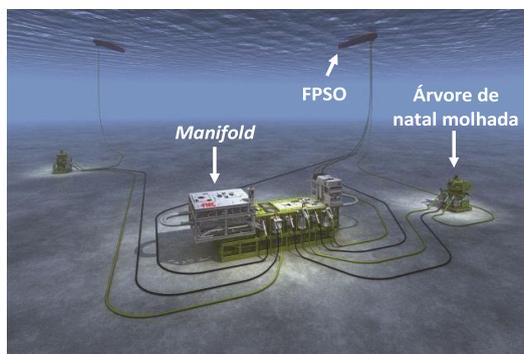


Figura 1. Arranjo submarino do *Manifold*.

3. MODELAGEM NUMÉRICA

Os modelos numéricos deste estudo foram executados utilizando a ferramenta computacional com elementos finitos específica para solução de problemas de interação solo-estrutura Plaxis 3D, versão AE1.

3.1 Características do elemento de fundação

Os *manifolds* adotados nesta pesquisa medem 8,5 m x 13 m e foram modelados como materiais elásticos com $E = 200 \times 10^9$ kN/m². Quatro modelos foram analisados: uma fundação sem saia e outras três com saia de 30 cm, 50 cm e 80 cm.

3.2 Características do Solo

Para simular o leito marinho do solo utilizado nas modelagens numéricas foram utilizados os parâmetros geotécnicos de solos marinhos típicos da Bacia de Campos apresentados por Fagundes [2]. Foi adotado para a argila marinha um peso específico $\gamma = 15$ kN/m³ e ângulo de atrito de $\phi = 29^\circ$. A relação de $S_u/E_u = 150$ e o perfil de resistência do solo obedece a equação $S_u = 5 + 0,3z$. O critério de ruptura adotado foi o de Mohr Coulomb.

3.3 Características do modelo numérico

A malha de elementos finitos é gerada automaticamente pelo programa e é composta por elementos tetraédricos de 15 nós. A Figura 2 abaixo ilustra a malha fina gerada pelo programa Plaxis 3D para o modelo sem saia.

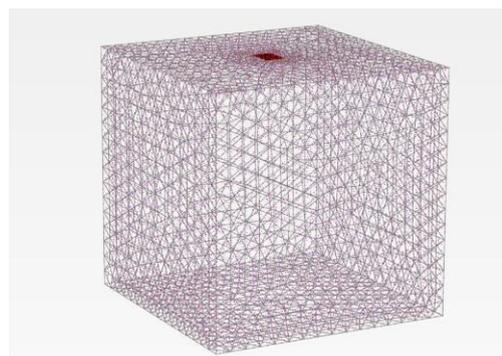


Figura 2. Malha fina gerada pelo programa Plaxis 3D.

Foram adotados quatro tipos de modelos para o estudo, a Tabela 1 a seguir mostra as características individuais de cada modelo, a

relação entre H , altura de saia de cisalhamento, e b o comprimento do menor lado da fundação do *manifold* adotado.

Tabela 1. Características dos modelos estudados.

Modelos	M01	M02	M03	M04
Tamanho da saia (cm)	-	30	50	80
H/b (%)	0	3,5	5,9	9,4
Nº. de elementos	25542	26302	26299	26251
Nº de nós	37400	38390	38385	38323

3.4 Estágios de execução

O modelo numérico foi executado em três etapas. Primeira etapa “*initial phase*” foi aplicado o procedimento k_0 , onde são atribuídas as tensões e poropressões no solo, na segunda etapa “*Phase 1*” foi aplicada a estrutura da fundação rasa. Na terceira fase “*Phase 2*” foi imposto um deslocamento prescrito vertical.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os valores de tensões verticais efetivas versus a razão entre os recalques verticais pelo menor comprimento da fundação, R/b , em modelos com diferentes valores de H/b .

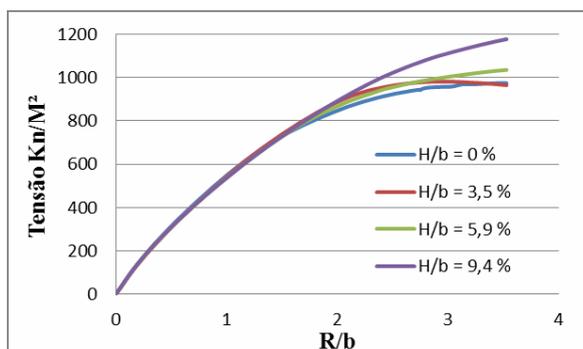


Figura 3. Tensões verticais versus R/b .

Os deslocamentos verticais impostos nos quatro modelos estudados foi o mesmo

afim de avaliar os recalques gerados quando temos os máximos valores de capacidade de carga da fundação.

Os resultados da Figura 3 mostram que as tensões verticais, que representam a capacidade de carga do solo, aumentam a medida que os recalques impostos na estrutura aumentam até a obtenção de um patamar que representa a capacidade de carga máxima do solo. Observa-se na Figura 3 que a adição da saia de cisalhamento aumenta a capacidade de carga da fundação e reduz os recalques verticais no solo onde a capacidade de carga máxima é obtida. A partir deste estudo se observa que os modelos com saia apresentaram menores recalques para mesmos valores semelhantes de capacidade de carga.

A Tabela 2 mostra os valores de tensões verticais efetivas para diferentes estágios do recalque vertical prescrito, R . Para pequenas deformações onde $R = 1,7\%$, e no último estágio do deslocamento aplicado $R = 100\%$.

Tabela 2. Tensões verticais efetivas obtidas para diferentes relações R/b para os diferentes modelos do estudo.

Modelo	R (%)	Tensão (kN/m ²)	R (%)	Tensão (kN/m ²)
M01	1,7	24,84	100	974,2
M02	1,7	25,84	100	964,6
M03	1,7	30,42	100	1034,9
M04	1,7	35,20	100	1176,9

Os resultados da Tabela 2 mostram que para o modelo MO2 não se observou ganho significativo de capacidade de carga (menor que 1%), ao passo que o modelo MO4 tem um ganho de capacidade de carga na ordem dos 20% comparado ao modelo sem a presença da saia. O modelo M03 teve um acréscimo de 6,23% na capacidade de carga em relação ao modelo onde a saia é ausente, o que já pode ser considerado benéfico e vantajoso para atender no projeto destas estruturas.

Com tudo o maior ganho de resistência observado foi com o modelo com altura de

saia de 80 cm, onde o ganho de capacidade de carga foi 14% superior ao modelo com saia de 50 cm e 20,81% maior que o modelo sem saia.

Na prática estes resultados demonstram que a adição de saia de cisalhamento na estrutura de fundação dos *manifolds* permite a inserção de um maior número de equipamentos, menores recalques e maior segurança para a estrutura. Estes resultados corroboram com o comportamento de fundações rasas utilizadas em equipamentos submarinos estudadas na literatura, *e.g.*, Martin [3], Salgado [4] e Gourvenec [5].

As Figuras 6 e 7 representam o comportamento dos *manifolds* com saia de 80 cm e o modelo sem saia, respectivamente.

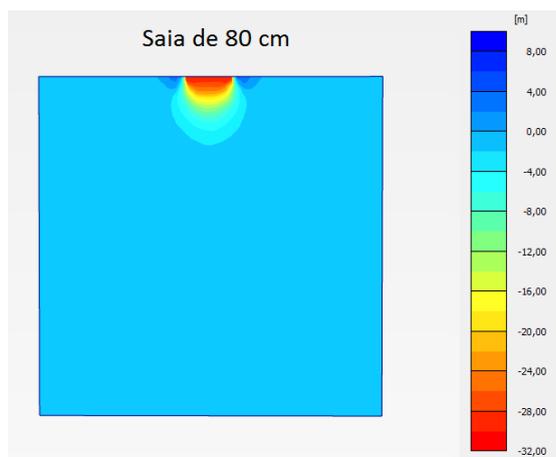


Figura 6. Distribuição de deslocamentos verticais no modelo M04.

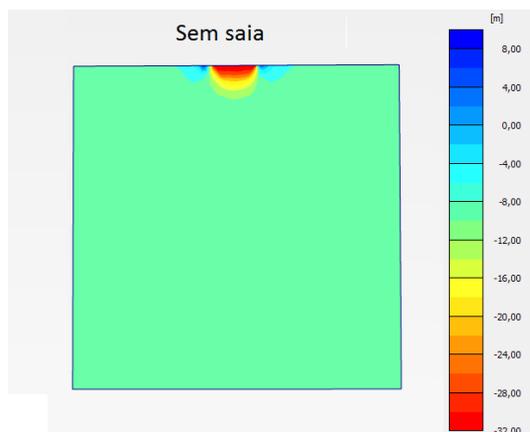


Figura 7. Distribuição de deslocamentos verticais no modelo M01

Em ambas as figuras, pode-se observar o aumento dos recalques abaixo da fundação geradas devido às deformações impostas e um levantamento do solo nas laterais da fundação, apresentando um comportamento semelhante ao das cunhas de ruptura propostas na teoria de capacidade de carga de fundações rasas de Terzaghi [6].

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que a inserção da saia de cisalhamento aumenta a capacidade de carga da fundação rasa e com isso alcança a proposta de que o uso da saia gera ao equipamento maior capacidade de suportar carga, gerando menores recalques e assim receber mais equipamentos sob a fundação.

REFERÊNCIAS

- [1] L.S Huei, “Análise Estática de fundação rasa para manifolds submarinos”, Dissertação de Mestrado, COPPE, 2009.
- [2] D.F Fagundes, “Modelagem física de estruturas offshore assentes em leito marinho”, Dissertação de Mestrado, COPPE 2009.
- [3] Martin, C.M., 2001, “Vertical bearing capacity of skirted circular foundations on Tresca soil”. Proc. 15th ICSMGE, Istanbul, 1, pp.743-746.
- [4] Salgado, R., Lyamin, A.V., Sloan, S.W. and Yu, H.S., 2004, “Two and three-dimensional bearing capacity of foundations in clay”, *Geotechnique*, 54 (5), pp. 297-306.
- [5] Gourvenec, S.M., Randolph, M.F. and Kingsnorth, O., 2005, “Undrained bearing capacity of square and rectangular footings on clay”. *Int. J. Geomech.*, 6(3), pp. 147-157.
- [6] TERZAGHI, K. *Theoretical Soil Mechanics*, New York: John Wiley & Sons. 1943.