

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE UM DEPÓSITO DE FRAGMENTOS DE CORAL NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Geotechnical parameters of a coral fragment deposit from the Northeast Region of Brazil

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira*

Thiago de Moraes Silva**

RESUMO – Este artigo apresenta os parâmetros geotécnicos de um depósito de fragmentos de coral, localizado no Município de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife – Brasil. Estes parâmetros foram estimados a partir da interpretação de sondagens à percussão e ensaios CPT, realizados na campanha de investigação geotécnica executada com a finalidade de fornecer subsídios para o projeto das fundações de um edifício de 20 pavimentos. A camada estudada ocorre entre 7 e 13 metros de profundidade. A partir dos resultados obtidos observou-se que a faixa de variação dos parâmetros é grande, concluindo-se que o material é bastante heterogêneo, com relação às suas propriedades geotécnicas.

ABSTRACT – This article presents the geotechnical parameters of a deposit of coral fragments, located in the City of Jaboatão dos Guararapes, Metropolitan Region of Recife - Brazil. These parameters have been estimated from the interpretation of SPT and CPT tests of the geotechnical site investigation campaign carried out with the purpose of collecting information for the design of the foundations of a 20-storey building. The layer studied occurs at a depth from 7 to 13 meters. From the obtained results it was observed that the range of variation of the parameters is large, showing that the material is quite heterogeneous with relation to its geotechnical properties.

PALAVRAS CHAVE – Fragmentos de coral, ensaios de campo, fundações.

1 – INTRODUÇÃO

Na história geológica do subsolo da Região Metropolitana do Recife, estão presentes diversos processos geodinâmicos que contribuíram na formação dos diferentes depósitos. Dentre estes processos, as sucessivas transgressões e regressões marinhas no Quaternário foram responsáveis pela formação de depósitos com diferentes propriedades geotécnicas.

Face à crescente expansão imobiliária e valorização dos terrenos costeiros, existe uma tendência no mercado à verticalização das edificações, o que resulta em um maior carregamento nas fundações assentes sobre os diferentes depósitos encontrados no Recife, entre os quais estão presentes camadas de fragmentos de corais.

Este artigo apresenta os parâmetros geotécnicos de um depósito de fragmentos de coral, localizado no Município de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife – PE. Estes parâmetros foram estimados a partir da interpretação de sondagens à percussão e ensaios CPT, rea-

* Doutor em Engenharia Civil, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco. E-mail: jtrdo@uol.com.br

** Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco. E-mail: juvarai@yahoo.com.br

lizados na campanha de investigação geotécnica executada com a finalidade de fornecer subsídios para o projeto das fundações de um edifício de 20 pavimentos.

Foram obtidos a densidade relativa, o módulo de elasticidade e o ângulo de atrito do material estudado, a partir de correlações existentes na literatura nacional e internacional, considerando o material como sendo semelhante a um solo granular arenoso. Foram obtidos ainda os valores da relação K entre a resistência de ponta do ensaio CPT e o número de golpes da sondagem à percussão.

2 – FRAGMENTOS DE CORAL

Os corais, segundo Gusmão Filho e Amorim Jr. (1998), são secreções de zoófitos, que são animais que se parecem com plantas, notáveis por sua capacidade de construir estruturas de esqueletos maciços de carbonato de cálcio. Estes animais estão presentes em oceanos de água quente e em terrenos costeiros próximos a estes mares situados em regiões de clima tropical.

Segundo Dominguez *et al.* (1990) a grande maioria dos recifes de coral ao longo da costa do Estado de Pernambuco é constituída de corpos alongados e descontínuos, com o eixo maior paralelo ao eixo da costa. As dimensões individuais destes corpos recifais variam entre 1 e 4 km de comprimento. Comentam ainda os autores que a localização e a morfologia geral destes recifes de coral sugerem uma estreita relação com os bancos de arenito que estão associados. Estes bancos de arenito da costa nordestina apresentam idade entre 6000 e 6500 anos, enquanto os corais tem datação entre 2800 e 3800 anos. Laborel (1969), citado por Dominguez *et al.* (1990), afirma que das 18 espécies de corais descritos para os recifes brasileiros, apenas 9 estão presentes nos recifes da costa pernambucana.

3 – INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

O depósito estudado no presente artigo está localizado em um terreno à beira-mar no bairro de Candeias, no Município de Jaboatão dos Guararapes, situado na zona Sul da Região Metropolitana da Cidade do Recife, Região Nordeste do Brasil. Foram realizados 3 furos de sondagem à percussão e 4 furos de ensaio de cone. Vale registrar que foi utilizado um cone mecânico, pertencente ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). As Figuras 1 e 2 apresentam o perfil geotécnico do subsolo com resultados de SPT e CPT.

As sondagens mostram um subsolo composto inicialmente por uma camada de areia fina, fofa, com espessura média de 3 metros. Segue-se uma camada de areia fina, muito compacta a medianamente compacta, com espessura de 4 metros. Segue-se uma camada de fragmentos de coral e conchas, com areia fina. Pode-se notar ainda que a camada de fragmentos de coral estudada ocorre entre 7 e 13 metros de profundidade. Esta camada apresenta uma menor resistência à penetração.

Neste terreno foi projetado e construído um edifício composto por uma estrutura aporticada de concreto armado com 20 (vinte) lajes, 23 (vinte e três) pilares na sua lâmina principal e 6 (seis) na periferia, apresentando meio subsolo. As fundações do prédio são em sapatas apoiadas diretamente na camada de areia compacta, sem melhoramento superficial, assentes a 3,00 m de profundidade e transmitindo uma pressão máxima de 350 kPa (Oliveira *et al.*, 2002).

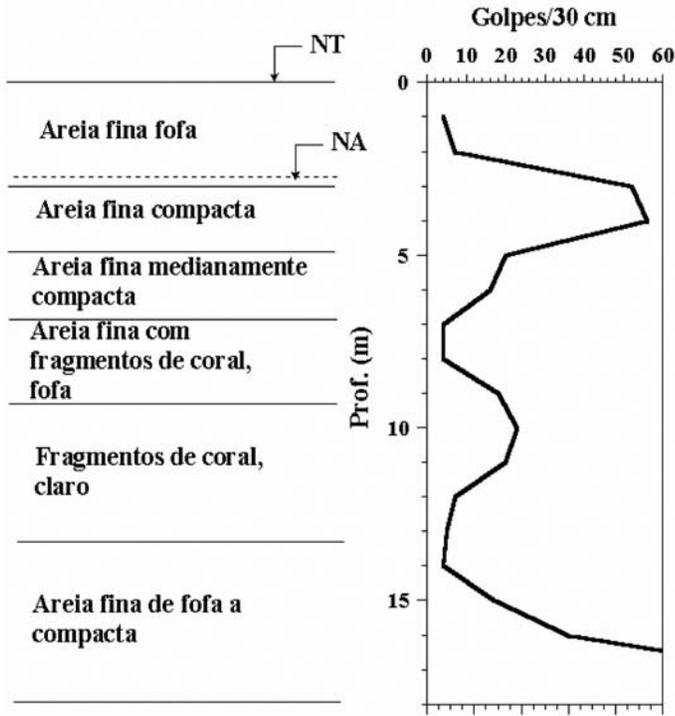


Fig. 1 – Perfil geotécnico do subsolo – Sondagem SPT.

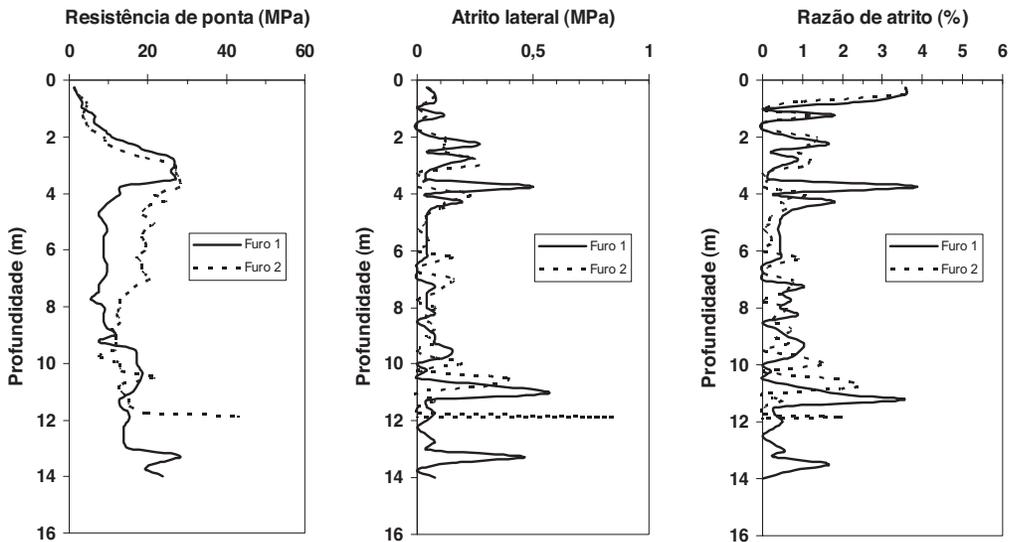


Fig. 2 – Resultados de ensaios de cone mecânico – CPT.

4 – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

4.1 – Classificação do solo

Adotando o ábaco de Robertson e Campanella (1983) para classificar o material estudado no artigo, conclui-se que a camada de fragmentos de coral pode ser classificada como um material arenoso, pois apresenta altos valores de resistência de ponta (entre 7 e 23 MPa), associados a valores de razão de atrito inferiores a 2%. O ábaco utilizado está apresentado na Figura 3.

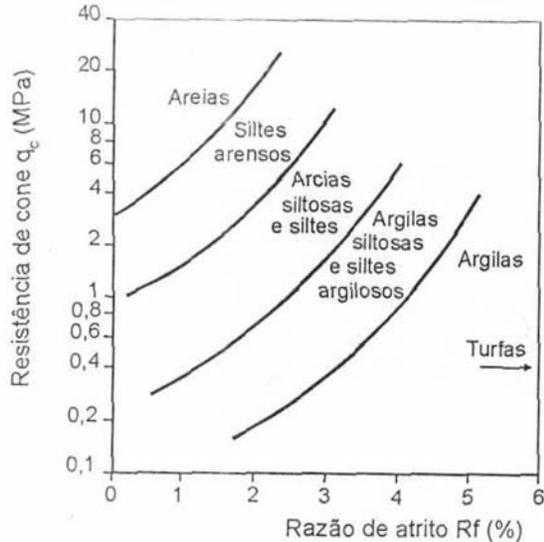


Fig. 3 – Ábaco para classificação do tipo de solo sedimentar (Robertson e Campanella, 1983, citado por Schnaid, 2000).

4.2 – Densidade relativa

Considerando o solo como um material arenoso, já que os fragmentos de coral aparecem misturados a areia e com base na classificação do item anterior, foi estimada a densidade relativa utilizando as propostas de Gibbs e Holtz (1957) (Equação 1) e Skempton (1986) (Equação 2), baseadas no N-SPT. As fórmulas utilizadas são as seguintes:

$$Dr = [N/(0,28\sigma'_{vo} + 16)]^{0,5} \quad (1)$$

$$Dr = [N/(0,28\sigma'_{vo} + 27)]^{0,5} \quad (2)$$

onde: Dr = densidade relativa, N = número de golpes da sondagem SPT e σ'_{vo} = tensão vertical efetiva.

Foram encontrados valores entre 18 e 72%. Desta forma a camada de fragmentos de coral pode ser comparada a uma areia fofa a medianamente compacta. Como existe uma grande variação nos valores do N , a faixa de variação da densidade relativa também é larga.

Foi estimada também a densidade relativa com base nos resultados do ensaio CPT, a partir da correlação de Lancellota (1985), citada por Schnaid (2000). A expressão é a seguinte:

$$Dr = -98 + 66 \log [q_c / (\sigma'_{vo})^{0,5}] \quad (3)$$

onde: D_r = densidade relativa, q_c = resistência de ponta do ensaio CPT e σ'_{vo} = tensão vertical efetiva.

Foram obtidos valores entre 61 e 83%. Estes valores são superiores aos encontrados a partir da sondagem SPT, bem como apresentam uma menor dispersão.

4.3 – Ângulo de atrito interno

O ângulo de atrito interno do material foi estimado a partir da expressão de Meyerhof (1956), citada por Gusmão Filho (1998), em função da densidade relativa. Esta expressão é a seguinte:

$$\phi = 28^\circ + 0,15D_r \quad (4)$$

onde: D_r = densidade relativa em porcentagem, ϕ = ângulo de atrito interno em graus.

Foram encontrados valores entre 31 e 39° para a camada de fragmentos de coral, com base na densidade relativa obtida a partir do SPT. O valor médio do ângulo de atrito é aproximadamente 34°. Com base nos resultados de densidade relativa estimadas a partir do ensaio de cone CPT, foram encontrados valores superiores, variando entre 37 e 41°. O valor médio está na faixa de 39°. Estes valores estão dentro da faixa descrita na literatura para as areias da planície do Recife (Costa, 1960; Gusmão Filho, 1998; Gusmão *et al.*, 2002). A Figura 4 apresenta a variação do ângulo de atrito com a profundidade.

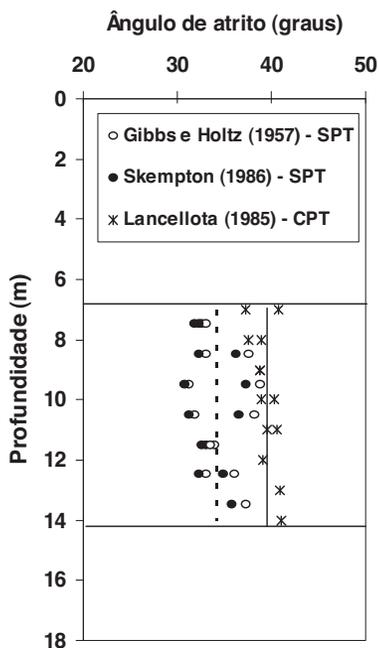


Fig. 4 – Variação do ângulo de atrito com a profundidade – Correlação de Meyerhof (1956) em função da densidade relativa.

4.4 – Módulo de elasticidade

Valores do módulo de elasticidade da camada de fragmentos de coral foram obtidos a partir das correlações de Décourt (1995) e Baldi *et al.* (1986), em função de N e qc, respectivamente. As expressões utilizadas foram as seguintes:

$$E = 3,5N \quad (5)$$

$$E_{25} = 1,5qc \quad (6)$$

onde: E = módulo de elasticidade, N = número de golpes SPT, E_{25} = módulo de elasticidade para 25% da tensão desvio máxima, qc = resistência de ponta do ensaio CPT.

Os resultados obtidos a partir da sugestão de Décourt (1995) variam entre 14 e 80 MPa. Os valores obtidos a partir da expressão de Baldi *et al.* (1986) estão situados entre 11 e 35 MPa. Por outro lado, medições de recalque realizadas no edifício construído apresentaram valores entre 43 e 75 mm (Oliveira *et al.*, 2002). Considerando que a camada compressível do subsolo é praticamente a camada de fragmentos de coral e que o recalque é eminentemente elástico, sendo válida a Lei de Hooke, pode-se encontrar módulos de elasticidade variando entre 9 e 16 MPa. Estes valores estão situados no limite inferior da faixa de resultados encontrados a partir de correlações com os ensaios de campo. Gusmão Filho (1998) apresenta valores do módulo de elasticidade de areias da planície do Recife, obtidos a partir de provas de carga direta, utilizando a teoria da elasticidade. Os valores obtidos variaram entre 13 e 38 MPa, para as areias naturais, e entre 31 e 75 MPa, para as areias compactadas com estacas de areia e brita. Os valores apresentados por Gusmão Filho (1998) para as areias naturais estão muito próximos dos obtidos no presente artigo, a partir do ensaio de cone CPT. O Quadro 1 resume estas comparações.

Quadro 1 – Valores do módulo de elasticidade.

Referência	Solo	E (MPa)
Gusmão Filho (1998)	Areias naturais da planície do Recife	13 a 38
Gusmão Filho (1998)	Areias compactadas do Recife	31 a 75
Presente artigo SPT (Décourt, 1995)	Fragmentos de coral	14 a 80
Presente artigo CPT (Baldi <i>et al.</i> , 1986)	Fragmentos de coral	11 a 35
Presente artigo Medição de recalque	Fragmentos de coral	9 a 16

4.5 – Correlação CPT vs. SPT

Com o objetivo de contribuir com a experiência no ensaio CPT (cone holandês), foi realizado um estudo sobre a correlação dos resultados deste ensaio com a sondagem à percussão. Esta correlação possibilita a transposição de informações entre os dois tipos de ensaios, o que pode ser interessante em projetos de fundação profunda em estacas. Esta transposição, entretanto, deve ser feita com cuidado devido à dispersão dos valores.

Foram obtidos, para a relação qc/N, valores entre 0,65 e 6,5 MPa. A faixa de valores para solos arenosos da literatura varia entre 0,4 e 1,2 MPa (Aoki e Velloso, 1975; Alonso, 1980; Danziger e Velloso, 1986; Robertson *et al.*, 1983). Desta forma o limite superior da faixa de resultados obtidos para a camada de fragmentos de coral está muito acima dos valores descritos na literatura. Existe

uma tendência comprovada internacionalmente da relação qc/N aumentar com o aumento do diâmetro dos grãos do solo, representado pelo diâmetro médio D_{50} (Robertson *et al.*, 1983; Robertson e Campanella, 1983). Considerando que a camada de fragmentos de coral pode apresentar partículas de tamanho muito superior aos solos tradicionais, o aumento na relação qc/N , pode de certa forma ser esperada.

Robertson *et al.* (1983) apresentam uma correlação entre qc/N e o diâmetro médio do solo (D_{50}). A expressão é a seguinte:

$$(qc/pa)/N = 5,44 D_{50}^{0,26} \quad (7)$$

onde: pa = pressão atmosférica, usada para tornar a correlação adimensional.

Robertson *et al.* (1983) apresentam valores da relação qc/N variando até 12, com variação do diâmetro médio até 10 mm. Fazendo-se uma extrapolação da Equação 7 para maiores valores de diâmetro médio, pode-se encontrar valores superiores aos apresentados na literatura, para os solos de granulometria convencional. A Figura 5 ilustra este comentário, indicando também a faixa de valores obtida para a camada de fragmentos de coral, objeto de estudo do presente artigo. Vale registrar ainda que Schnaid (2000) cita que como os dados de Robertson *et al.* (1983) não são corrigidos para levar em conta efeitos relativos à energia de cravação, poro-pressão, etc., a dispersão nos resultados é grande. Maiores estudos, entretanto, são ainda necessários sobre a correlação qc/N , em depósitos de fragmentos de coral.

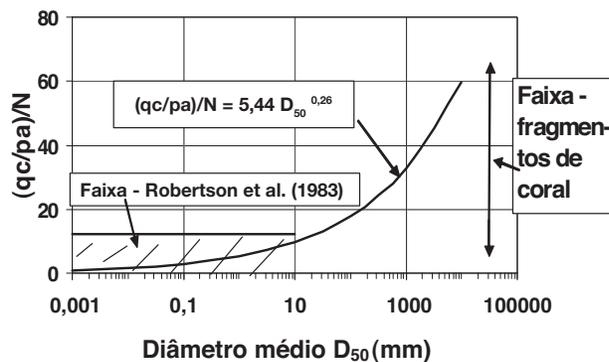


Fig. 5 – Variação de qc/N com o diâmetro da partícula (modificado de Robertson *et al.*, 1983).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os parâmetros geotécnicos de um depósito de fragmentos de coral obtidos a partir de ensaios de campo. Pode-se concluir o seguinte:

- A camada de fragmentos de coral pode ser classificada como um material arenoso, a partir do ábaco de Robertson e Campanella (1983);
- Os valores da densidade relativa obtidos a partir de correlações com SPT e CPT indicam que o material estudado pode ser enquadrado como semelhante a uma areia fofa a medianamente compacta;
- Os valores do ângulo de atrito obtidos a partir das correlações utilizadas ficaram situados entre 31 e 41 graus. Os valores obtidos a partir do ensaio CPT foram ligeiramente superiores

- aos obtidos a partir da sondagem à percussão. Estes valores estão dentro da faixa descrita na literatura para as areias da planície do Recife;
- Os resultados para o módulo de elasticidade obtidos a partir da sugestão de Décourt (1995) variam entre 14 e 80 MPa. Os valores obtidos a partir da expressão de Baldi *et al.* (1986) estão situados entre 11 e 35 MPa. Estes resultados foram comparados com valores da literatura e com resultados de retro-análise de medições de recalque;
 - Foram obtidos para a relação q_c/N valores entre 0,65 e 6,5 MPa. Desta forma o limite superior da faixa de resultados obtidos para a camada de fragmentos de coral está muito acima dos valores descritos na literatura.

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Iniciação Científica da Universidade Católica de Pernambuco – PIBIC/UNICAP, pelo suporte financeiro.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (1980). *Correlações entre resultados de ensaios de penetração estática e dinâmica para a cidade de São Paulo*. Revista Solos e Rochas, vol. 3, nº 3, pp. 19-25.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. Proceedings 5th Pan. Conf. on Soil Mech. and Found. Engineering, Buenos Aires.
- Baldi, G.; Bellotti, R.; Ghionna, V.; Jamiolkowski, M.; Pasqualini, E. (1986). *Interpretation of CPTs and CPTUs: Drained Penetration of Sands*. International Geotechnical Seminar, Singapura.
- Costa, A. J. (1960). *O Subsolo do Recife*. Boletim Técnico da Secretaria de Viação e Obras Públicas, Recife, vol. LVIII a LXI.
- Danziger, B. R.; Velloso, D. A. (1986). *Correlações entre SPT e os resultados dos ensaios de penetração contínua*. VIII COBRAMSEG, vol. 1, pp. 103-113.
- Décourt, L. (1995). *Prediction of Load Settlement Relationships for Foundation on the Basis of the SPT-T*. Ciclo de Conferências Internacionais Leonard Zeevaart, pp. 87-104, México.
- Dominguez, J. M. L.; Bittencourt, A. C. S.; Leão, Z. M. A. N.; Azevedo, A. E. G. (1990). *Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco*. Revista Brasileira de Geociências, vol. 20 (1-4), pp. 208-215.
- Gibbs, H.J.; Holtz, W.G. (1957). *Research on determining the density of sands by spoon penetration testing*. 4th ICOSOMEF, 1, pp. 35-39, Londres.
- Gusmão, A. D.; Pacheco, J. L.; Gusmão Filho, J.A. (2002). *Caracterização tecnológica de estacas de compactação para fins de melhoramento de terrenos*. XII COBRAMSEG, São Paulo.
- Gusmão Filho, J. A. (1998). *Fundações: do Conhecimento Geológico à Prática da Engenharia*. Editora da UFPE, Recife.
- Gusmão Filho, J. A.; Amorim Junior, W. M. (1998). *Propriedades de depósitos de conchas para fins de fundações*. Anais do XI COBRAMSEG, Brasília, vol. 3, pp.1367-1374.

- Laborel, J. L. (1969). *Madréporaires et hydrocoralliaires récifaux des côtes brésiliennes. Systematique, ecologie, repartition verticale et géographie*. Ann. Inst. Oceanogr. Paris, vol. 47, pp.171-229.
- Lancellota, R. (1985). *Geotechnical Engineering*. Balkema, Amsterdam.
- Meyerhof, G. G. (1956). *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, vol. 82 (1), pp. 1-19.
- Oliveira, J. T. R.; Gusmão, A. D.; Araújo, A. G. (2002). *Comportamento tensão-deformação das fundações de três edifícios monitorados*. XII COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo.
- Robertson, P.; Campanella, R. (1983). *Interpretation of cone penetrometer test, Part I: Sand*, Canadian Geot. Journal, vol. 20(4), pp. 718-733.
- Robertson, P.; Campanella, R.; Wightman, A. (1983). *SPT-CPT correlations*. Journal of Geot. Eng., ASCE, vol. 109(11), pp. 1449-1459, New York.
- Schnaid, F. (2000). *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. Editora Oficina de Textos, São Paulo.
- Skempton, A.W. (1986). *Standard penetration test: procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation*. Géotechnique, vol. 36 (3), pp. 425-447.