ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA ATRAVÉS DA ENERGIA DE CRAVAÇÃO DO SPT

Estimating the undrained shear strength from SPT energy dynamics

Camilo Andrés Muñoz Rodríguez* Fernando Schnaid** Edgar Odebrecht***

RESUMO – O presente trabalho tem por objetivo a proposição de um método para a estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada (S_u) através de uma metodologia desenvolvida com base nos conceitos de propagação de ondas transmitidas no ensaio SPT. As estimativas são baseadas em um banco de dados de ensaios realizados em depósitos argilosos, que subsidiam a análise e formulação da proposta. O método combina o cálculo da energia dos ensaios SPT à capacidade de carga estática por equilíbrio limite para uma estaca isolada. A estimativa de S_u é obtida através de formulação para determinação do coeficiente de adesão α como função direta do N_{SPT}, desenvolvida a partir de um ajuste estatístico. O método proposto resulta em estimativas na faixa de grandeza de valores observados em campo, com um coeficiente de correlação médio (r²) de 0,65%, que reflete a dispersão inerente de resultados de ensaios SPT.

SYNOPSIS – This paper aims at developing a method to estimate the undrained shear strength (S_u) using an approach based on the concepts of wave propagation theory applied to the SPT. A database for clay deposits was developed and used to support the analysis and proposed formulation. The method combines the theory for energy conservation with limit equilibrium analysis applied to the static load capacity of an isolated pile. From this approach, values of S_u are predicted as a function of the coefficient of adhesion α obtained directly from the measured N_{SPT} blow count derived from statistical analysis. The proposed method gives estimates of S_u in the range of measured field values, with a coefficient of correlation (r^2) of 0.65%, which reflects the inherent scatter of SPT measurements.

PALAVRAS CHAVE – Resistência não drenada; ajuste estatístico; SPT; energia de cravação; eficiência energética.

1 – INTRODUÇÃO

O ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) constitui-se em método de investigação e caracterização de solo usado internacionalmente. Embora sua difusão tenha sido favorecida pela simplicidade de execução, problemas como diversidade de procedimentos de ensaio, imprecisões nas medidas e inadequação de métodos de análise são reconhecidos. Pesquisas relacionadas com a energia transferida ao amostrador no processo de cravação (*e.g.* Schmertmann e Palacios, 1979; Seed *et al.*, 1985; Skempton, 1986; Schnaid *et al.*, 2009) minimizam estas incertezas ao considerar

^{*} Estudante, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil. E-mail: camilomunhoz@gmail.com

^{**} Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil. E-mail: fernando@ufrgs.br

^{***} Professor Titular, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville (SC), Brasil. E-mail: edgar.odebrecht@udesc.br

a influência dos mecanismos de levantamento e liberação para queda, massa do martelo, rigidez das hastes, entre outros. Schnaid *et al.* (2009) apresentam uma metodologia baseada na energia de cravação, estabelecendo equações com as quais é possível o cálculo da força dinâmica (F_d) que representa a reação do solo atuando contra o amostrador durante o processo de cravação.

A presente pesquisa utiliza os conceitos de força dinâmica (F_d) para a estimativa da resistência não drenada (S_u). Métodos existentes na prática de engenharia são baseados em relações de natureza puramente empírica, e a abordagem proposta fornece uma alternativa metodológica para previsão de propriedades mecânicas de materiais argilosos. Conceitos de propagação de onda, conservação de energia e equilíbrio limite são usados para avaliar a resistência de solos argilosos, cobrindo a faixa de ocorrência de depósitos normalmente adensados a fortemente pré-adensados. A análise do banco de dados permitiu o desenvolvimento de uma metodologia simples e direta de estimativa de S_u , que pode ser usada na prática da engenharia.

2 – METODOLOGIA

O banco de dados estruturado na presente pesquisa possibilita a correlação entre os ensaios dinâmicos e as propriedades mecânicas de depósitos de argilas moles. As informações são resumidas no Quadro 1, no qual são listados os locais, faixa de variação dos valores de N_{SPT} e resistência não drenada (S_u).

Partindo da proposição de Odebrecht (2003) para o cálculo da energia do ensaio SPT, combinada à expressão de capacidade de carga estática (Poulos e Davis, 1980), é proposta uma expressão para a estimação da resistência não drenada (S_u). Esta expressão é função do coeficiente de adesão (α), determinado estatisticamente como função do número de golpes N_{SPT}. Para verificar a representatividade dos resultados são apresentados exemplos de aplicação em que se valida a metodologia proposta.

Sítio	N _{SPT}	S _u (kPa)
Ceasa	0-4	13 - 22,5
Aeroporto Salgado Filho	0 – 2	15 - 20
Tabaí	0 – 1	9,6 - 19,6
Sarapuí I	0 – 1	6,5 - 14,3
Sarapuí II	0 – 2	8,3 - 16,5
Guabirotuba	3 - 35	52 - 265
Argila de Londres	7 – 33	137 – 338

Quadro 1 - Banco de dados em depósitos argilosos.

3 – CONCEITOS TEÓRICOS

Os conceitos teóricos necessários à interpretação de ensaios dinâmicos são resumidos na sequência, desenvolvidos em pesquisas realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (Odebrecht, 2003; Lobo, 2005).

3.1 – Conceitos de energia

A Energia Potencial Gravitacional do sistema (EPG), considerando o martelo (EPG_m) e haste de cravação (EPG_h), pode ser estimada com base em um referencial fixo externo ao sistema:



Fig. 1 – Definições para o cálculo das energias potenciais gravitacionais do martelo e da haste (Odebrecht, 2003).

$$EPG_m = M_m gh_m \tag{1}$$

$$EPG_{h} = M_{h}gh_{h}$$
⁽²⁾

M_m – massa do martelo;

M - massa da haste;

g – aceleração da gravidade;

 $h_m e h_h$ – altura do centro de massa em relação ao referencial para martelo e haste, respectivamente.

As diferenças entre cotas no instante inicial (t_1) e final (t_3) do processo de cravação são ilustradas na Figura 1 e expressas como:

$$\Delta \mathbf{h}_{\mathrm{m}}:\mathbf{h}_{\mathrm{m}}(\mathbf{t}_{1}) - \mathbf{h}_{\mathrm{m}}(\mathbf{t}_{3}) = \mathbf{h}_{\mathrm{q}} + \Delta \boldsymbol{\rho} \tag{3}$$

$$\Delta \mathbf{h}_{\mathrm{h}}:\mathbf{h}_{\mathrm{h}}(\mathbf{t}_{1}) - \mathbf{h}_{\mathrm{h}}(\mathbf{t}_{3}) = \Delta \boldsymbol{\rho} \tag{4}$$

 h_q – altura de queda do martelo;

 $\Delta \rho$ – penetração permanente do amostrador.

A energia efetiva consumida durante o processo de penetração pode ser calculada como a soma das variações na energia potencial gravitacional do martelo e da haste, que corresponde ao trabalho efetivamente entregue ao solo.

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = (h_q + \Delta \rho) M_m g + \Delta \rho M_h g$$
(5)

Nesta equação é empregado o princípio de Hamilton, que estabelece que a soma da variação, no tempo, das energias cinéticas e potenciais e o trabalho efetuado por forças não conservativas ao

longo de um intervalo de tempo $(t_1 a t_2)$ é igual a zero. Adotando a nomenclatura apresentada em Clough e Penzien (1975):

$$\int_{t_1}^{t_3} \delta \left[T(t) - V(t) \right] dt + \int_{t_1}^{t_3} \delta \left[W_s(t) + W_{nc}(t) \right] dt = 0$$
(6)

T(t) – energia cinética;

V(t) – energia potencial;

 $W_s(t)$ – trabalho efetuado por forças não conservativas na ponta do amostrador (sobre o solo); $W_{nc}(t)$ – trabalho efetuado por forças não conservativas (perdas diversas);

- δ-variação;
- t₁ tempo inicial do período considerado;
- t₃ tempo final do período considerado.

Para a situação em que o momento inicial t_1 é igual ao momento em que as energias cinética e elástica já foram dissipadas (t_3) tem-se:

$$\int_{t_1}^{t_3} \delta V(t) dt = \int_{t_1}^{t_3} \delta \left[W_s(t) + W_{nc}(t) \right] dt$$
(7)

Dessa forma, a variação da energia potencial do sistema martelo-haste é igual à variação do trabalho efetuado por forças não conservativas:

$$\Delta EPG_{m+h}^{sistema} = W_s + W_{nc}$$
(8)

Como o trabalho efetivamente entregue ao solo é conhecido e proporcional à penetração do amostrador (também conhecida), a força dinâmica (F_d) média da reação do solo à cravação do amostrador pode ser representada pelas seguintes equações:

$$E_{s} = T = \Delta EPG_{m+h}^{sistema} \text{ com perdas} = W_{s} = F_{d}\Delta\rho$$
(9)

$$F_d = \Delta EPG_{m+h}^{sistema} \operatorname{com perdas}/\Delta \rho$$
 (10)

Assim a equação geral para o cálculo da força dinâmica pode ser descrita como:

$$F_{d} = \frac{\eta_{3} \left[\eta_{1} \left(h_{q} + \Delta \rho \right) M_{m} g + \eta_{2} \Delta \rho M_{h} g \right]}{\Delta \rho}$$
(11)

 η_1 – eficiência devida ao golpe do martelo;

 η_2 – eficiência devida ao comprimento da haste;

 η_3 – eficiência do sistema.

Os coeficientes $\eta_1=0,764$; $\eta_2=1$; $\eta_3=1-0,0042l$ (sendo *l* comprimento da haste) são adotados nas análises (Odebrecht, 2003; Schnaid *et al.*, 2009).

Para estimativa de S_u é necessário converter a força dinâmica em uma força estática equivalente (F_e), empregando um fator de velocidade de carregamento (v). Para a força estática $F_e=F_d/v$ adota-se um valor constante igual a 0,60 (Hermansson e Grävare, 1978; Randolph, 2004). Essa hipótese não introduz erros à análise, pois a calibração é feita de outros parâmetros independentes na Equação 12.

$$F_{e} = \frac{\eta_{3} \left[\eta_{1} \left(h_{q} + \Delta \rho \right) M_{m} g + \eta_{2} \Delta \rho M_{h} g \right]}{\Delta \rho^{*} \nu}$$
(12)

3.2 – Capacidade de carga

A capacidade de carga de uma estaca isolada é calculada por Poulos e Davis (1980):

$$\mathbf{P}_{u} = \mathbf{P}_{su} + \mathbf{P}_{bu} - \mathbf{W} \tag{13}$$

 P_{su} – carga última lateral; P_{bu} – carga última de ponta; W – peso do sistema de hastes.

Expressões para as contribuições de carga lateral e ponta são descritas como:

$$P_{su} = \int_{0}^{L} C(c_a + \sigma_v K_s \tan \phi'_a) dz$$
(14)

$$P_{bu} = A_{b} \left(cN_{c} + \sigma_{vb}N_{q} + 0.5\gamma dN_{\gamma} \right)$$
(15)

C – perímetro do amostrador;

c_a – adesão não drenada entre o amostrador e o solo;

L - comprimento do fuste;

K_s – coeficiente de empuxo;

 σ_v – pressão vertical do solo;

 ϕ'_a – ângulo de atrito entre solo e amostrador;

A_b – área da base do amostrador;

c - coesão do solo

 σ_{vb} – pressão vertical do solo no nível da base do amostrador;

γ – peso unitário do solo;

d – diâmetro do amostrador;

 N_c , N_q , N_{γ} – coeficientes de capacidade de carga.

Portanto, a expressão generalizada é definida:

$$P_{u} = \int_{0}^{L} C(c_{a} + \sigma_{v}K_{s}\tan\phi_{a}')dz + A_{b}(cN_{c} + \sigma_{vb}N_{q} + 0.5\gamma dN_{v}) - W$$
(16)

Para o cálculo da capacidade de carga em condições não drenadas, o ângulo de atrito é igual a zero e a Equação 16 pode ser re-escrita segundo a equação:

$$\mathbf{P}_{u} = \int_{0}^{L} \mathbf{C} \mathbf{c}_{a} \mathbf{d} \mathbf{z} + \mathbf{A}_{b} \mathbf{S}_{u} \mathbf{N}_{c}$$
(17)

39

Substituindo a força estática (F_e) na Equação 17 tem-se:

$$\mathbf{F}_{e} = \mathbf{A}_{b} \mathbf{N}_{c} \mathbf{S}_{u} + \mathbf{A}_{s} \mathbf{f}_{s}$$
(18)

sendo f_s o atrito lateral unitário. A Equação 18 representa o objetivo do presente trabalho, permitindo estimar a resistência não-drenada do solo a partir de F_e .

3.3 – Equações propostas

Considera-se inicialmente que f_s representa o atrito lateral gerado no amostrador durante o processo de penetração. Diferentes metodologias podem ser usadas na estimativa de f_s , descritas na literatura como métodos α , $\beta \in \lambda$. O método α , expresso em termos de tensões totais, é a proposta utilizada com maior frequência na estimativa da carga lateral de estacas em solos argilosos, constituindo-se basicamente em uma relação não linear da resistência não-drenada descrita através do coeficiente de adesão (α) (Doherty e Gavin, 2011).

$$\mathbf{f}_{s} = \alpha \mathbf{S}_{u} \tag{19}$$

Substituindo a Equação 19 em Equação 18:

$$\mathbf{F}_{e} = \mathbf{A}_{b} \mathbf{N}_{c} \mathbf{S}_{u} + \mathbf{A}_{s} \left(\alpha \mathbf{S}_{u} \right)$$
⁽²⁰⁾

Consequentemente:

$$S_{u} = \frac{F_{e}}{A_{b}N_{c} + \alpha A_{s}}$$
(21)

A presente pesquisa propõe uma metodologia para estimar o coeficiente de adesão (α) diretamente dos resultados obtidos dos ensaios SPT (N_{SPT}), através da Equação 22, considerando-se que F_e é uma função direta de N_{SPT}.

$$\alpha = \frac{F_e - A_b N_c S_u}{S_u A_s}$$
(22)

4 - BANCO DE DADOS

O banco de dados da UFRGS registra as características de depósitos argilosos, em locais nos quais foram realizados ensaios de SPT, acompanhados de determinação independente da resistência não-drenada através de ensaios de Palheta, ou de outros ensaios de campo como o pressiômetro. Informações complementares de interesse, como geologia e propriedades geotécnicas, além das descrições de localização são igualmente relacionadas. Um resumo dos locais estudados e publicações correspondentes é apresentado no Quadro 2 e Figura 2.

No processo de análises das informações, foram feitas as seguintes considerações:

- a) em cada ensaio SPT foram computados os valores de penetração metro-a-metro nas camadas de solo argiloso;
- b) em cada local foram escolhidos valores representativos de S_u;

c) para N_{SPT} = 0 foram computadas as penetrações correspondentes (porém nos cálculos foi adotado um valor máximo de 450 mm, correspondente ao comprimento do amostrador padrão).

Sítio	Referência bibliográfica
Ceasa	Soares (1997); Hallal (2003)
Aeroporto Salgado Filho	Soares (1997); Hallal (2003); Odebrecht (2003); Schnaid (2001)
Tabaí	Soares (1997); Hallal (2003)
Sarapuí I	Collet (1978); Ortigão (1980); Almeida e Marques (2002); Jannuzzi (2009)
Sarapuí II	Jannuzzi (2009)
Guabirotuba	Kormann (2002); Schnaid et al. (2009)
Argila de Londres	ARUP (1992)

Quadro 2 – Referências bibliográficas para a elaboração do banco de dados.



Fig. 2 – Localização dos locais em estudo.

5 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os cálculos correspondem a uma análise estatístico-matemática, destinada à determinação do valor α expresso em função do N_{SPT}. Definida a equação de ajuste, valores estimados pelo método proposto são comparados com os resultados medidos em campo.

Dois mecanismos de penetração foram considerados na estimativa da resistência de ponta como:

- a) ponta aberta, condição na qual as forças de atrito são aplicadas simultaneamente nas paredes internas e externas do amostrador;
- b) ponta fechada, correspondente ao atrito lateral mobilizado na parte externa do amostrador, somado à resistência de ponta (*i.e.* área da ponta calculada a partir da diferença entre diâmetros interno e externo).

Para $N_{SPT} = 0$, os coeficientes η_1 , $\eta_2 e \eta_3$ tem valor unitário (1,0), pois o amostrador crava por peso próprio em condição quasi-estática, não havendo componente dinâmico no processo de cravação.

Nos cálculos são considerados somente solos argilosos, não sendo aplicado a camadas de solo que correspondem a outras tipologias. O valor de N_c é obtido a partir da teoria de capacidade de carga e adotado como igual a 9 (*e.g.* Skempton, 1951).

Nos Quadro 3 e Quadro 4 são apresentados a geometria e peso adotados nos processos de cálculo, correspondentes aos valores descritos nas normas de execução de ensaios SPT.

Elemento	Unidade	Valor
M _h	kg/m	3,23
M _m	kg	65
D _{externo amostrador}	mm	53
D _{interno amostrador}	mm	35
$A_{b \text{ ponta aberta}}$	cm ²	12,44
${ m A}_{ m b\ ponta\ fechada}$	cm ²	22,06
h _{queda do martelo}	cm	75

Quadro 3 - Dados do equipamento, Brasil (NBR 6484).

Quadro 4 – Dados do equipamento, Londres (BS 1377-9 1990 e BS 4019-5 1999).

Elemento	Unidade	Valor
M _h	kg/m	5,67
M _m	kg	63,5
$\mathrm{D}_{\mathrm{externo\ amostrador}}$	mm	51
D _{interno amostrador}	mm	35
$A_{b \text{ ponta aberta}}$	cm ²	10,81
${ m A}_{ m b\ ponta\ fechada}$	cm ²	20,43
h _{queda do martelo}	cm	76

5.1 – Estimativa de α como função N_{SPT}

Para o presente trabalho, a Equação 21 é adotada como referência nos procedimentos de cálculo executados. Nessa equação é possível isolar o coeficiente de adesão (α) (Equação 22) e, empregando as informações contidas no banco de dados, calcular os valores correspondentes nos diferentes locais.

Resultados das análises estatísticas (Muñoz-Rodríguez, 2012) produzem linhas de tendência representativas do melhor ajuste aos valores experimentais, conforme ilustrado nas Figura 3 e

Figura 4, considerando as condições para ponta aberta e ponta fechada. No Quadro 5 são apresentados os resultados obtidos para cada uma das variáveis da equação de ajuste.

Entre os vários modelos de ajuste, equações hiperbólicas foram adotadas por apresentar os maiores coeficientes de determinação (r²). Valores para r² de 0,63 e 0,68 para ponta aberta e ponta fechada, respectivamente, indicam a dispersão inerente a resultados de ensaios de penetração dinâmica. Apesar da dispersão, o método é simples e direto, sendo função somente da medida de penetração do ensaio SPT.

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{A^* N_{SPT}}{B + N_{SPT}}$$
(23)

Elemento	Ponta aberta	Ponta fechada
α_0	0,5594	0,8005
А	2,3655	11,2814
В	65,5723	229,9562
Γ^2	0,63	0,68

Quadro 5 – Coeficientes das equações de cálculo de α .



Fig. 3 – Ajuste de α em termos de N_{SPT}. Ponta aberta.



Fig. 4 – Ajuste de α em termos de N_{SPT}. Ponta fechada.

5.2 - Aplicação do método proposto

Uma vez determinada a equação de ajuste é utilizada para estimativa dos valores de S_u nos depósitos de solos argilosos que compõe o banco de dados da UFRGS. Exemplos da aplicação da metodologia são apresentados nas figuras a seguir (Figura 5 a Figura 7), nas quais estão representados depósitos de argilas muito moles, argilas rijas e argilas pré-adensadas.



Fig. 5 – Resultados para Sarapuí.



Fig. 6 – Resultados para Guabirotuba.



Fig. 7 – Resultados para Londres.

Os resultados estimados pelo método proposto são comparados aos valores medidos de S_u nas Figura 8 a Figura 11. No eixo das abcissas são representados os valores de S_u medidos em campo e nas ordenadas os valores estimados. Linhas de tendência teóricas foram adicionadas, sendo que a principal corresponde a uma inclinação 1:1. Os cálculos foram realizados considerando ponta aberta e fechada. São também apresentados gráficos em escalas expandidas para ilustrar a precisão das previsões em solos moles, compressíveis.

Ponta aberta



Fig. 8 – Comparação entre valores medidos e previstos de S_u – método α para ponta aberta.



Fig. 9 – Comparação entre valores medidos e previstos de S_u – escala expandida (valores de S_u até 30 kPa).



Ponta fechada

Fig. 10 – Comparação entre valores medidos e previstos de $S_{\rm u}$ – método α para ponta fechada.



Fig. 11 – Comparação entre valores medidos e previstos de S_u – escala expandida (valores de Su até 30 kPa).

Como verificação complementar foi elaborada a Figura 12 baseada no trabalho apresentado por Aschuri e Hetty (2001). Essa figura relaciona valores de N_{SPT} a estimativas de S_u obtidas com a metodologia α proposta. O método proposto segue a linha de tendência definida pelas demais metodologias, fornecendo valores superiores à Terzaghi e Peck (1967) para valores de S_u entre 0 e 30 kPa, e valores inferiores para $S_u>30$ kPa.



Fig. 12 – Correlação aproximada entre S_u e N_{SPT} (Modificado de Aschuri e Hetty, 2001).

6 - CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta um método para a estimativa da resistência ao cisalhamento não-drenada de solos argilosos a partir de ensaios SPT. O método utiliza teoria de capacidade de carga para previsão do coeficiente α , obtido a partir de um ajuste estatístico direto com medidas de penetração N_{SPT}. Foram adotadas expressões hiperbólicas para ajuste a valores medidos *in situ* (r²~0,65). Apesar da dispersão inerente a ensaios SPT, o método pode ser adotado para estimativa de valores médios de comportamento, em projetos conceituais ou básicos. Valores estimados de S_u,

tanto para argilas moles como rijas (S_u variando entre 10 kPa e 400 kPa) estão na faixa de ocorrência de medidas disponíveis no banco de dados da UFRGS. O procedimento de cálculo é simples e direto, pronto para ser usado em projetos de engenharia.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M.S.S.; Marques, M.E.S. (2002). *The behavior of Sarapui soft organic clay*. Proc. International Workshop, vol. 1, pp. 447-504, Singapore.
- ARUP (1992). Geotechnical interpretative report. Sectional Interpretative report 1 of 2. Torquay Street to Charing Cross Road. Part B: Results of ground investigations. Ove Arup & Partners, London.
- Aschuri, I.; Hetty, S. (2001). Correlation studies between standard penetration test and self boring pressuremeter test on tropical residual soils. International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories - Bali, Indonesia, pp. 571-576.
- BS 1377-9 1990 (1998). *Methods of test for soils for civil engineering purposes Part 9: In-situ tests.* British Standards Institution, London.
- BS 4019-5 1999 (1999). Rotary core drilling equipment Specification for wireline diamond drilling equipment System A. Metric units. British Standards Institution, London.
- Clough, R.W.; Penzien, J. (1975). Dynamic of Structures. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Collet, H.B. (1978). *Ensaios de palheta de campo em argilas moles da baixada Fluminense*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- Doherty, P.; Gavin K. (2011). *The shaft capacity of displacement piles in clay: a state of the art review.* Journal Geotechnical and Geological Engineering, vol. 29, n° 4, pp. 389-410.
- Hallal, R.R. (2003). *Características de depósitos de argilas moles no estado do Rio Grande do Sul.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Hermansson, I.; Grävare, C.J. (1978). *Static Bearing Capacity of Piles from Dynamic Measurements*. Särtyck ur Väg-och vattenbyggaren, v. 1, pp. 8-9.
- Jannuzzi, G.M.F. (2009). *Caracterização do Depósito de Solo Mole de Sarapuí II através de ensaios de campo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- Kormann, A.C.M. (2002). Comportamento Geomecânico da Formação Guabirotuba: Estudos de Campo e Laboratório. Tese de Doutorado, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo.
- Lobo, V.O. (2005). *Método de previsão de Capacidade de Carga de Estacas: Aplicação dos Conceitos de Energia do Ensaio SPT*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Muñoz-Rodríguez, C.A. (2012). Estimativa da Resistencia não Drenada (S_u) Mediante o Cálculo da Energia de Cravação do SPT. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- NBR 6484 (2001). Solo sondagem de simples reconhecimento com SPT: método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

- Odebrecht, E. (2003). *Medidas de energia no ensaio SPT*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Ortigão, J.A.R. (1980). *Aterro experimental levado a ruptura sobre argila cinza do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- Poulos, H.G.; Davis, E.H. (1980). *Pile foundation analysis and design*. The University of Sydney, pp. 18-51.
- Randolph, M.F. (2004). *Characterization of soft sediments for offshore application*. 2nd International Conference on Site Characterization, Milpress, Porto, 1: pp. 209-232.
- Schmertmann, J.; Palacios, A. (1979). Energy Dynamics of SPT. American Society of Civil Engineers, v. 105, n.8, pp. 909-926.
- Schnaid, F. (2001). Aeroporto internacional Salgado Filho Infra-Estrutura civil e geotécnica. Editora Sagra Luzzatto, Porto Alegre.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E.; Rocha, M.; Paula Bernardes, G. (2009). Prediction of Soil Properties from the Concepts of Energy Transfer in Dynamic Penetration Tests. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(8), pp. 1092–1100.
- Seed, H.B.; Tokimatsu, K.; Harder, L.; Chung, R. (1985). Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, v. 111, n. 12, pp. 1425-1445.
- Skempton, A.W. (1951). The bearing capacity of clays. Proc. Building Research Congress, Div. I Part III, London, pp. 180-189.
- Skempton, A.W. (1986). Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation. Géotechnique 36, n. 3, pp. 425-447.
- Soares, J.M.D. (1997). *Estudo do comportamento geotécnico do depósito de argila mole da Grande Porto Alegre*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Terzaghi, K.; Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.