

Interpretação do Ensaio DPL Instrumentado e Classificação de Solo Segundo Ábaco de Robertson *et al.* (1986).

Nélio José Bastos

FEG-UNESP, Guaratinguetá/SP, Brasil, njbastos@yahoo.com.br

George de Paula Bernardes

FEG-UNESP, Guaratinguetá/SP, Brasil, gpb@feg.unesp.br

RESUMO: O Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL), o qual foi incorporado à medida de torque, vem se tornando uma importante alternativa aos métodos de investigação geotécnica em uso no Brasil, isso se deve principalmente por sua mobilidade e simplicidade operacional. Seus resultados são apresentados através do índice N_{10} , que fornece uma ideia da resistência oferecida pelo solo à penetração de uma ponteira cônica. No entanto, da mesma forma que ocorre com o SPT, a correta interpretação de seus resultados pressupõe o conhecimento da energia transferida às hastes pelo impacto de um martelo em queda livre. Este trabalho apresenta resultados do estudo do ensaio DPL com base em instrumentação dinâmica e na sua interpretação com base na teoria de propagação unidimensional de onda. São propostas algumas pequenas modificações no DPL (ângulo do cone e tipo de coxim) e uma nova fórmula para calcular o atrito lateral (f_s) da ponteira a partir do torque (T) medido. Através do conhecimento da energia transmitida às hastes é possível determinar a força dinâmica (F_d), responsável pela penetração da ponteira. Com base nos valores de F_d e f_s , a resistência de ponta (q_c) pode então ser estimada. Através dos valores de f_s e q_c , foi possível classificar um perfil de solo utilizando o ábaco de Robertson *et al.* (1986). Os resultados mostraram-se bem interessantes quando comparados com resultados de CPT elétrico realizados no mesmo local.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio DPL, Instrumentação Dinâmica, Energia EFV, Classificação de Perfil.

1 INTRODUÇÃO.

Na Europa é comum o uso dos Penetrômetros Dinâmicos de Cone (DPC) nas investigações “in situ”. Os equipamentos e procedimentos de ensaio são padronizados através das normas ISSMFE (1989), DIN 4094-3 (1990) e mais recentemente da ISO 22.476-2 (2005). No Brasil os DPC’s não são padronizados. A nomenclatura dos equipamentos é relacionada ao peso do martelo usado na cravação de uma ponteira cônica e da sua altura de queda, sendo essas: DPL (leve), DPM (médio), DPH (pesado) e DPSH (super pesado). As dimensões das ponteiras e hastes usadas na cravação variam em função do peso dos martelos. A interpretação dos testes geralmente é feita pelo

número de golpes do martelo para cravar a ponteira a cada 10 (N_{10}) ou 20 cm (N_{20}), ou através da força de reação do solo Q_0 obtida pela energia potencial do sistema EPs dividida pela penetração equivalente a um golpe ($\Delta\rho$). Assim, nos ensaios dos DCPs é de fundamental importância o conhecimento da energia transmitida ao sistema e a real energia que chega na ponteira, pois é essa que realiza o trabalho de cravação da ponteira no solo.

A instrumentação dinâmica para a interpretação do ensaio a percussão (SPT) vem sendo utilizado por vários pesquisadores como por exemplo Schmertmann e Palacios (1979), Belincanta (1985), Bernardes (1989), Odebrecht *et al.* (2005), Lukiantchuki (2012) e Moraes (2014) as quais trazem importantes

contribuições para a interpretação do ensaio dinâmico SPT. Nilsson (2004b) apresenta o uso do DPL utilizando a energia potencial e um fator fixo de eficiência, e incorporou uma segunda etapa que é a medida de torque a cada metro de ensaio, permitindo assim quantificar o atrito lateral e a resistência de ponta. Por se tratar de um equipamento que apresenta grande mobilidade e capacidade de acesso em locais de difícil acesso, o DPL vem sendo cada vez mais utilizado no Brasil. A interpretação do DPL com base na resistência de ponta q_c e do atrito lateral f_s , permite comparar seus resultados com os obtidos pelo CPT. No entanto, a energia transmitida às hastes, o efeito do coxim, e o comportamento da ponteira cônica ainda não são completamente compreendidos.

2 O DPL MODIFICADO.

O DPL modificado com medida de torque, Figura 1, fabricado no Brasil a partir de 2001, atende as normas ISSMFE (1989) e DIN 4094:1990 segundo Nilsson (2004b). O equipamento traz implementações para melhorar sua mobilidade e operacionalidade, tais como: o tamanho e peso reduzidos de suas peças, o uso de uma plataforma niveladora que também é utilizada como referência para a leitura de N_{10} , e adaptações para ser operado por duas pessoas.

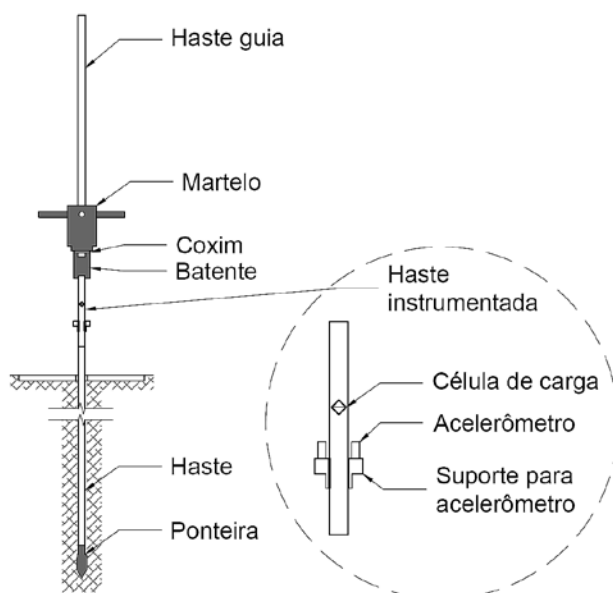


Figura 1. DPL e detalhe da haste instrumentada.

O DPL incorpora um ensaio no qual são medidos os torques máximo e residual obtidos pelo giro da ponteira a cada metro de profundidade, o que permite avaliar o atrito lateral f_s . Este ensaio foi posteriormente apresentado pela norma ISO 22476-2:2005.

O equipamento determina a resistência do solo à penetração de uma ponteira cônica de aço, com ângulo de ápice de 90° e área de projeção da base de 10 cm^2 , quando submetido ao impacto de um martelo de 10 kg caindo de uma altura de 50 cm , o que representa uma energia potencial teórica de 50 J .

A queda do martelo é direcionada por uma haste guia de 25 mm de diâmetro, parafusada acima de um batente de aço. Nesta haste existem marcações para indicar a altura de queda. Sobre o batente é colocado um coxim de madeira pinus, com 25 mm de altura, para amortecer e distribuir uniformemente as tensões do impacto do martelo.

Entre o batente e a ponteira cônica são colocadas hastes de aço com 22 mm de diâmetro e 1 m de comprimento, nas quais existem marcações em baixo relevo a cada 10 cm de comprimento, as quais vão determinar o N_{10} .

Para cada haste, o ensaio consiste em registrar o número de golpes N_{10} até a marcação de 90 cm da haste coincidir com uma plataforma fixada na superfície do solo. O sistema martelo, haste guia e batente é retirado, possibilitando o encaixe de um torquímetro.

Após a realização do ensaio de torque, uma nova haste é acoplada às demais e o sistema remontado, permitindo um novo ciclo de cravação da ponteira.

É recomendado que o ensaio seja executado até no máximo 12 m de profundidade ou N_{10} atingir um critério de impenetrabilidade (N_{10} maior que 60 em 5 registros consecutivos, N_{10} maior que 80 em 3 registros consecutivos ou, N_{10} maior que 100).

A relação completa dos componentes do DPL, os detalhes da execução do ensaio e do registro dos dados, e a interpretação proposta pelo fabricante, podem ser consultadas em Bastos (2016), Nilsson (2004b) e em Nilsson (2004a).

3 LOCAL DE ESTUDO.

Os ensaios de campo foram realizados nas dependências da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB-UNESP) em um período de estiagem no estado de São Paulo. O município de Bauru está em uma região onde predomina a cobertura sedimentar do Grupo Bauru, com afloramentos das formações Adamantina e Marília nas cotas superiores a 540 m, onde se encontra o campus da UNESP e o Campo Experimental de Fundações. A formação Marília, é constituída por arenitos, lamitos e conglomerados de seixos de composição variada, intercalados. É muito lixiviada e origina um solo avermelhado com espessuras máximas de até 90 m.

Ferreira *et al.* (1996) e Giacheti *et al.* (2006) apresentam as classificações do Campo Experimental, onde o perfil geotécnico consiste de uma camada de areia fina, pouco argilosa, porosa, de cor avermelhada. A classificação unificada desta camada é SM-SC, enquanto que a classificação MCT indica comportamento laterítico (LA) até a profundidade de 13 m, a partir do qual o comportamento se torna não laterítico (NA). O nível freático nessa região encontra-se a mais de 40 m de profundidade.

4 MATERIAIS E MÉTODO.

4.1 A instrumentação dinâmica.

A instrumentação para medir a energia transmitida às hastes do DPL foi desenvolvida de acordo com as especificações da norma americana ASTM-D4633-10. A célula de carga foi montada em um segmento de haste de 25 cm de comprimento e 22 mm de diâmetro, com a mesma impedância das hastes do DPL. É composta por 4 extensômetros duplos de 350 Ω , colados à haste seguindo o esquema proposto por Odebrecht *et al.* (2005), formando uma ponte de Wheatstone completa.

Para a aquisição dos dados foi utilizado um módulo HBM MX410 de 4 canais, e taxa de amostragem de 96 kHz. Os sinais obtidos eram enviados através de um cabo ethernet a um notebook. A coleta de dados, gravação e

visualização eram realizadas pelo programa Catman®Easy/AP v3.4.

A calibração da célula de carga foi realizada no Depto. de Geotecnia da EESC/USP. A haste foi carregada e descarregada com a aplicação de forças no intervalo de 0 a 30 kN o que permitiu configurar o programa de leitura no Catman®Easy/AP.

Neste mesmo segmento de haste foram parafusados dois suportes para os acelerômetros, seguindo o projeto de Lukiantchuki (2012). Nos suportes foram fixados dois acelerômetros piezoelétricos modelo 350B04 da PCB Piezotronics Inc., pré-calibrados pelo fabricante, com capacidade de medir acelerações de até 5.000 g's. Os sinais gravados de força e acelerações foram tratados através do módulo de pós-processamento do Catman®Easy/AP visando filtrar ruídos, eliminar interferências e a correção de baseline. Após o tratamento, os sinais foram cortados para a faixa de interesse e exportados para arquivos em formato ASCII.

Baseado no trabalho de Moraes (2014), foi desenvolvido um programa em MatLab® para processar os arquivos exportados.

4.2 Interpretação dos sinais dinâmicos.

A energia transmitida ao sistema pelo golpe em função do tempo foi determinada através da integração numérica conforme a eq. (1):

$$EFV(t) = \int_0^t F(t) \cdot v(t) \cdot dt \quad (1)$$

onde $v(t)$ foi determinada através da integração dos sinais dos acelerômetros e a força $F(t)$ pela curva de calibração da célula de carga. O tempo de integração foi até atingir o sinal de aceleração nula. Devido ao erro inerente do sinal digital, foi realizada a correção do baseline após a integração visando obter o valor final de $v(t)$ nulo. Assim, o deslocamento da ponteira foi obtido da integração de $v(t)$ corrigido conforme a eq. (2):

$$\rho(t) = \int_0^t v(t) \cdot dt \quad (2)$$

A força dinâmica F_d do golpe foi calculada

conforme a eq. (3):

$$F_d = EFV/\Delta p \quad (3)$$

O programa desenvolvido também calculava a força dinâmica com base nos sinais $F(t)$ e $Z.V(t)$, determinados para dois tempos (método CASE). O primeiro referente ao tempo onde ocorre a velocidade máxima e o segundo após $2L/c$. No caso, Z é a impedância das hastes ($15,5 \text{ kN.m}^{-1}.\text{s}$); L é o comprimento de haste e c a velocidade de propagação da onda (5031 m/s). A força dinâmica F_{CASE} foi determinada sem considerar qualquer correção de tempo (*time delay*).

4.3 Interpretação dos ensaios de torque.

Conforme Bastos *et al.* (2014), não existem diferenças significativas na cravação de ponteiros do DPL com ângulos de ápice de 60° e 90° . Assim, considerando que o ensaio CPT utiliza ponteiros com ápice de 60° para obter os valores de f_s e q_c , foi adotado o uso de ponteira com ápice de 60° para o ensaio DPL. Os autores propõem o uso da fórmula dada pela eq. (4), para se determinar o atrito lateral em função dos torques medidos, pois a mesma considera o atrito da parte cônica e da parte cilíndrica da ponteira:

$$f_s = \frac{T}{\left[\frac{2 \cdot A_{\text{CONE}}}{3 \cdot \sin(\alpha)} + A_{\text{CIL}} \right] \cdot r_0} \quad (4)$$

Na equação, T é o torque medido, A_{CONE} é a área da parte cônica da ponteira, A_{CIL} é a área da parte cilíndrica da ponteira, α é o ângulo de ápice da ponteira, e r_0 é o raio da base da parte cônica.

A resistência de ponta q_c foi obtida a partir da eq. (5):

$$q_c = \frac{EFV_M}{\Delta p \cdot A_p} - f_s \quad (5)$$

onde EFV_M é a energia média transmitida às hastes para golpes instrumentados à mesma profundidade e, A_p é a área projetada da

ponteira.

4.4 Procedimento de Ensaio.

O ensaio foi realizado com algumas diferenças em relação ao recomendado por Nilsson (2004b). Foi utilizada uma ponteira com ápice de 60° e um único coxim de borracha de poliuretano com 4 mm de espessura, pois este apresenta maior durabilidade e maior rigidez que o coxim de madeira de pinus. Para limitar a altura de queda do martelo, uma braçadeira metálica foi fixada sobre uma borracha na haste guia, de forma que a máxima altura de queda do martelo sobre o coxim de poliuretano fosse de 50 cm. A cravação da ponteira e a contagem de N_{10} era feita como descrita anteriormente. Após a retirada do sistema martelo, haste guia e batente, a haste instrumentada era parafusada no topo da composição. O sistema era remontado e a instrumentação ligada ao módulo HBM.

Uma sequência de 3 golpes com medidas de força e acelerações era executada e os dados registrados pelo módulo HBM eram gravados no notebook. A penetração de cada golpe (Δp) era medida com o auxílio de uma trena laser.

Antes da realização do ensaio de torque, a haste instrumentada era retirada para evitar danos aos extensômetros. O torquímetro era colocado no topo da haste guia e eram feitas as medidas de torque máximo e residual.

5 RESULTADOS.

5.1 Energia transferida às hastes.

A Figura 2 apresenta os valores EFV obtidos pela eq. (1) relacionados aos valores de energia potencial total do sistema (EPs), obtidos conforme Odebrecht *et al.* (2005), em função das profundidades onde foram realizados os golpes instrumentados. Devido aos pequenos deslocamentos medidos, a EPs está próxima da energia potencial teórica do martelo. Para todos os golpes, as EFVs foram calculadas pela média dos acelerômetros.

Até a profundidade de 5,9 m há um crescimento da EFV de modo linear. Isso se

explica pelo fato de que quanto menor o comprimento da composição das hastes, a onda refletida chega mais rápido às hastes, interrompendo o processo de transferência de energia para o sistema.

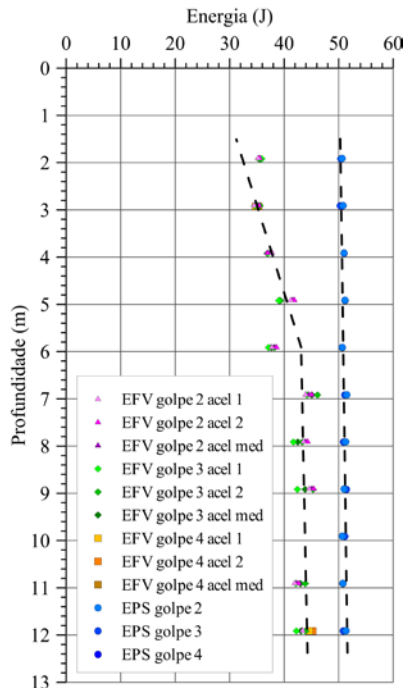


Figura 2. Energia no Ensaio DPL.

Também contribui para isso a presença da haste guia que provoca ondas adicionais com sinais contrários, e o aumento da impedância da ponteira. Após 5,9 m os valores de EFV oscilam em torno de uma reta paralela à de EPs, o que indica que a perda de energia e a eficiência do sistema ficam praticamente constantes. A partir destes resultados, a eficiência do DPL aumenta de 70% próximo da superfície do terreno até o valor de 86% na profundidade de 5,9 m, mantendo esse valor praticamente constante até o final do ensaio a 11,9 m.

5.2 Força dinâmica.

A Figura 3, apresenta os valores da força dinâmica calculada pela eq. (3) e os valores obtidos segundo o método CASE. Verifica-se que as duas curvas apresentam comportamento semelhante com a profundidade, sendo que pelo método CASE os valores são superiores. Os comportamentos das duas curvas de forças são coerentes com o formato da curva de N_{10} .

As variações dos valores de F_d para golpes distintos na mesma profundidade se devem às variações de $\Delta\rho$ medidos em campo e mostram a sensibilidade da eq. (3) à esta variável.

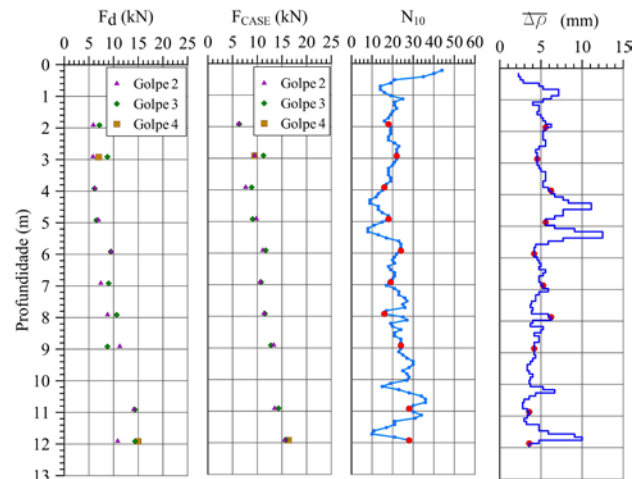


Figura 3. Força dinâmica, número de golpes e penetração da ponteira

No gráfico da Figura 4 pode-se observar que os valores de F_{CASE} no geral são até 25% maiores que os valores calculados para F_d . Este fato pode ser explicado pela não utilização de qualquer fator de correção de tempo (*time delay*) no uso da fórmula de CASE. Devido ao fato do solo de Bauru ser poroso e não saturado, o efeito de *damping* esperado é desprezível e foi assumido que não era necessária a correção.

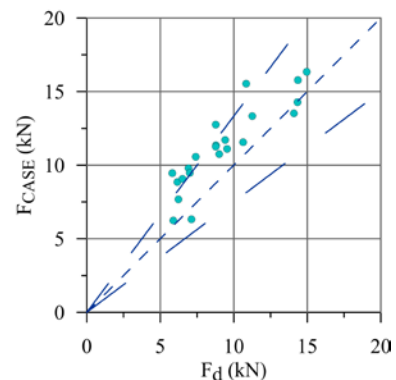


Figura 4. Comparativo dos resultados obtidos para F_d e F_{CASE} .

Porém, o fato de F_{CASE} ser predominantemente maior que F_d pode indicar que existe algum efeito *damping* no solo. Outro ponto importante, o qual necessita estudos mais aprofundados, se deve à haste guia, uma vez que essa está fixada na cabeça de bater. O

impacto transmite não só uma onda de compressão descendente, mas também uma onda de tração ascendente. A onda ascendente quando retorna a cabeça de bater vem com o sinal da aceleração trocado.

5.3 Atrito lateral e resistência de ponta.

O atrito lateral calculado pela eq. (4) tem resultados superiores aos medidos pelo CPT elétrico. No entanto, os resultados para o atrito lateral obtidos a partir dos valores de torque residual sempre são mais próximos aos medidos pelo CPT que os obtidos a partir dos valores de torque máximo.

No gráfico da Figura 5(a) observa-se que os valores de f_s calculados acompanham de forma quase paralela a curva de f_s medidos pelo CPT elétrico.

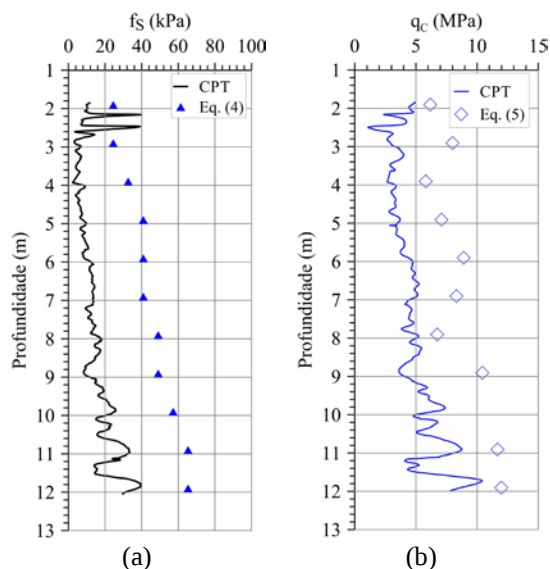


Figura 5. Resultados para atrito lateral e resistência de ponta, considerando o torque residual.

A distância entre o f_s calculado e o medido pelo CPT elétrico pode ser explicada pelo efeito do peso da composição no atrito do cone do DPL, o qual aumenta o valor do torque medido.

Como mostrado na Figura 5(b), os valores calculados para a resistência de ponta através da eq. (5) e com f_s calculado a partir do torque residual, também são superiores aos medidos em campo pelo CPT elétrico.

5.4 Classificação do solo.

Na Figura 6, é apresentada a classificação do

perfil investigado através do ábaco de Robertson *et al.* (1986), usando os dados coletados pelo ensaio de CPT elétrico. São apresentados na figura apenas os dados referentes às profundidades onde foram feitos os ensaios de torque do DPL, de forma a permitir a comparação dos resultados.

De acordo com os resultados do CPT, nos primeiros 2 m de profundidade o solo apresenta comportamento de areia (zona 9 do ábaco) em sua parte superior, e passa a apresentar comportamento de areia à areia siltosa (zona 8) com o aumento da profundidade.

Entre 2 e 3 m, predomina o comportamento de areia a areia siltosa, porém aparecem duas lentes de solo com presença de silte e argila, apresentando comportamentos de areia siltosa à silte arenoso (zona 7), silte arenoso à silte argiloso (zona 6), silte argiloso à argila siltosa (zona 5) e argila siltosa à argila (zona 4).

De 3 a 6 m de profundidade, tem-se comportamento de areia à areia siltosa, alternando com areia siltosa à silte arenoso. Dos 6 aos 12 m o solo comporta-se apenas como areia à areia siltosa.

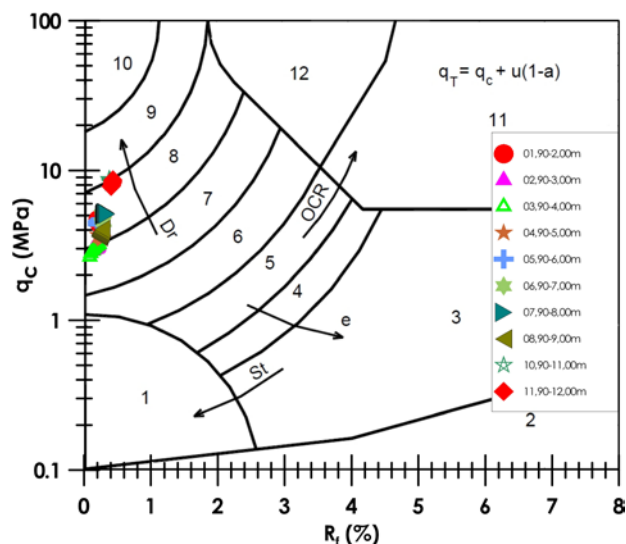


Figura 6. Comportamento do solo de acordo com os dados do CPT elétrico.

Na Figura 7 é mostrada a classificação do comportamento do solo considerando os dados obtidos pelo DPL, com os valores de atrito lateral calculados pela eq. (4) usando os valores do torque residual medido nas profundidades indicadas, e os valores da resistência de ponta calculados pela eq. (5). A classificação passa a

indicar mais o comportamento de areia a areia siltosa, não apresentando o comportamento de areia siltosa a silte.

De um modo geral, os comportamentos indicados são muito próximos aos obtidos pelo CPT e as maiores diferenças se dão em função da razão de atrito calculada.

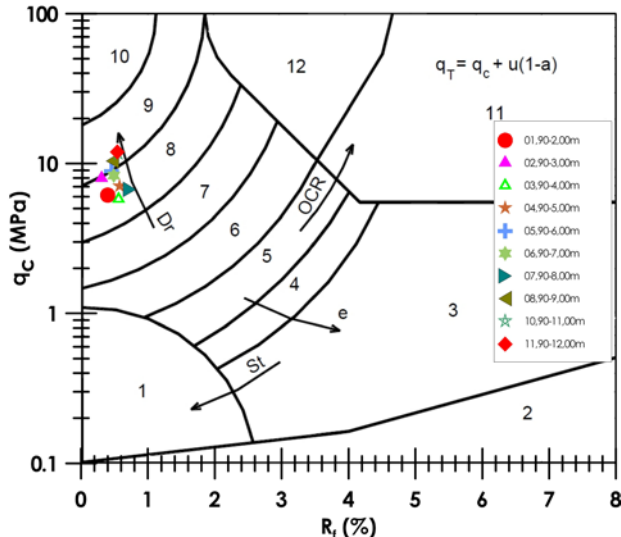


Figura 7. Comportamento do solo de acordo com os dados do DPL, com o atrito lateral calculado pelo torque residual

6 CONCLUSÕES.

Este trabalho apresentou um estudo que interpretou o ensaio DPL baseado em uma instrumentação dinâmica, permitindo a classificação de um perfil de solo segundo o ábaco de Robertson *et al.* (1986).

O ensaio realizado em campo com o uso de um único coxim de borracha de poliuretano, com 4 mm de espessura, comprovou a durabilidade deste em relação aos coxins de madeira de Pinus. Também mostrou a praticidade do uso de uma braçadeira metálica fixada na haste guia como forma de garantir a constância da altura de queda do martelo em 50 cm.

Os valores de EFV obtidos mostraram que a eficiência do DPL aumenta de 70% na proximidade da superfície do terreno, até 86% a uma profundidade aproximada de 6 m, mantendo-se constante até 11,9 m.

O uso da eq. (4) para calcular o atrito lateral f_s da ponteira apresentou resultados superiores, em relação aos medidos pelo CPT elétrico, a

partir dos valores de torque residual obtidos em campo.

O uso da eq. (5) para calcular a resistência de ponta q_c , considerando a energia EFV média transmitida às hastes e o atrito lateral f_s calculado, resultou em valores maiores que os medidos pelo CPT elétrico.

A classificação de comportamento do solo obtida a partir dos valores de q_c e f_s calculados, mostraram-se muito próximas às obtidas pelo CPT elétrico. Como os valores de q_c calculados para o DPL são maiores que os medidos pelo CPT, a razão de atrito R_f é maior, o que desloca os resultados para a direita no ábaco.

Como o ensaio foi realizado em um solo poroso, não saturado e acima do nível freático, novos estudos são necessários para confirmar e aprimorar os resultados obtidos, e também para considerar a presença do lençol freático no solo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de mestrado recebida pelo primeiro autor e a PUC-Rio, pela aquisição do DPL através do programa CNPq-Pronex, Geotecnia Ambiental.

REFERÊNCIAS

- ASTM. D4633-10 (2010) Standard test method for energy measurement for dynamic penetrometers. West Conshohocken, PA, USA.
- BASTOS, N. J. (2016) Interpretação Racional do Ensaio DPL. 173 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, SP
- BASTOS, N. J. et al. (2014) Influência da geometria da ponta do penetrômetro dinâmico leve - DPL - na resistência à penetração e no atrito mobilizado. In: COBRAMSEG, 17, Goiânia, GO. Anais. Goiânia: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2014.
- BELINCANTA, A. (1985) Energia dinâmica no SPT - Resultados de uma investigação teórico-experimental. 262 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP
- BERNARDES, G. P. (1989) Dynamic and static testing of large model piles in sand. 487 p. Doctor (Doctor of Engineering) - Department of Civil Engineering, Norwegian Institute of Technology, Trondheim
- DIN. 4094-3 (1990) Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

- FERREIRA, C. V. et al. (1996) Campo experimental de fundações em Bauru. In: SEFE III - 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo. Anais. São Paulo, SP, 1996. p.77-87.
- GIACHETI, H. L. et al. (2006) Comparação entre resultados de ensaios sísmicos Down-Hole e Cross-Hole no Campo Experimental da UNESP de Bauru. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica–Cobramseg.
- ISO. 22476-2 (2005) Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic Probing.
- ISSMFE. 1989) International reference test procedures for dynamic probing (DP): Report of ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils - TC 16 with Reference Test Procedures.
- LUKIANCHUKI, J. A. (2012) Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica. 364 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP
- MORAIS, T. D. S. O. (2014) Interpretação racional de resultados de ensaios SPT com base em instrumentação dinâmica. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP
- NILSSON, T. U. (2004a) Comparações entre DPL Nilsson e SPT. In: GeoSul 2004: Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 4, Anais.
- NILSSON, T. U. (2004b) O penetrômetro portátil DPL Nilsson. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 5, São Paulo. Anais.
- ODEBRECHT, E. et al. (2005) Energy efficiency for standard penetration tests. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, v. 131, n. 10, p. 1252-1263, ISSN 1090-0241.
- ROBERTSON, P. K. et al. (1986) Use of piezocone data. ASCE Spec. Conf. In Situ '86: Use of In Situ Tests in Geomechanical Eng., Blacksburg. p.1263-1280.
- SCHMERTMANN, J. H.; PALACIOS, A. (1979) Energy dynamics of SPT. Journal of the Geotechnical Engineering Division - ASCE, v. 105, n. 8, p. 909-926, Ago. 1979 ISSN 0093-6405.