



Investigação geotécnica de solos arenosos com o DMT Sísmico

Breno Padovezi Rocha

Faculdade de Engenharia de Bauru – Unesp, Bauru e Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, Brasil, brenop@sc.usp.br

Jhaber Dahsan Yacoub

Faculdade de Engenharia de Bauru – Unesp, Bauru, Brasil, jhaber.yacoub@gmail.com

Roger Augusto Rodrigues

Faculdade de Engenharia de Bauru – Unesp, Bauru, Brasil, roger_ar@unesp.br

Heraldo Luiz Giacheti

Faculdade de Engenharia de Bauru – Unesp, Bauru, Brasil, h.giacheti@unesp.br

RESUMO: Para a caracterização geotécnica do subsolo é necessário definir o perfil do subsolo, a posição nível d'água e os parâmetros geomecânicos necessários para cada projeto. Os ensaios de campo têm grande aplicação para essa finalidade, e dentre eles, o ensaio de dilatômetro sísmico (SDMT) vem sendo empregado, pois é robusto, rápido, econômico e permite definir o perfil do subsolo quase continuamente. Este artigo apresenta e discute os resultados de ensaios SDMT realizados nos campos experimentais de Bauru-SP e de Araquari-SC. O perfil do subsolo e os parâmetros de resistência e de deformabilidade foram comparados com valores de referência determinados em laboratório. As diferenças de comportamento, bem como a aplicabilidade do SDMT para estimativa de parâmetros de projeto nesses dois campos experimentais, um de evolução pedogenética e outro sedimentar, são discutidas valorizando a importância da gênese desses materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação do subsolo, Ensaios de campo, Solo arenoso, Gênese, SDMT.

1 INTRODUÇÃO

Um programa de investigação geotécnica adequado deve definir o perfil do subsolo, a posição do nível d'água e possibilitar uma avaliação preliminar do comportamento mecânico dos horizontes de interesse.

O ensaio de dilatômetro sísmico (SDMT) vem sendo empregado em projetos de engenharia, uma vez que possibilita a definição do perfil do subsolo, em conjunto com o perfil de velocidade de propagação de onda cisalhante (V_s), e conseqüentemente, do módulo de cisalhamento máximo do solo (G_0) calculado a partir da Teoria da Elasticidade.

Além da definição do perfil do subsolo e estimativa de parâmetros de projeto, as principais aplicações do SDMT são: previsão de recalques de fundações superficiais (Monaco et al., 2006), capacidade de carga em estacas carregadas axial e lateralmente (Marchetti et al., 1991), detecção de superfície de escorregamento em taludes argilosos pré-adensados (Totani et al., 1997), análises de liquefação (Marchetti, 1997) e identificação de solos não convencionais (Cruz, 2010).

Este artigo apresenta e discute o resultado de SDMTs realizados em perfis de solo arenoso dos campos experimentais de Bauru-SP e de Araquari-SC. Os parâmetros mecânicos



estimados por meio de correlações empíricas foram comparados com valores de referência determinados por meio de ensaios de laboratório. Os resultados foram analisados a fim de avaliar a aplicabilidade do SDMT para estimativa de parâmetros de projeto nessas duas áreas com ênfase nas diferenças de comportamento devido a gênese desses solos.

2 SDMT

O dilatômetro sísmico (SDMT) consiste na combinação do dilatômetro de Marchetti (DMT) com um módulo sísmico, o qual permite a determinação da velocidade de propagação de ondas sísmicas (V_p e V_s), e conseqüentemente o módulo de cisalhamento máximo do solo (G_o) por meio da técnica sísmica downhole e da Teoria da Elasticidade.

$$G_o = \rho \cdot V_s^2 \quad (1)$$

em que ρ é a massa específica natural (kg/m^3).

A Figura 1.a ilustra o módulo sísmico que consiste em um elemento cilíndrico instalado acima da lâmina do DMT, equipado com dois geofones espaçados 0,5 m um do outro. Na Figura 1.b tem-se a representação esquemática do ensaio SDMT e a Figura 1.c o equipamento para a realização do ensaio.

A partir do ensaio SDMT são calculados os três parâmetros intermediários (I_D , K_D e E_D) e o valor do módulo de cisalhamento máximo do solo por meio do emprego da equação 1. O índice do material $I_D = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_0)$ é calculado para identificar o tipo de solo, em que u_0 é a pressão neutra hidrostática. O índice de tensão horizontal $K_D = (p_1 - p_0)/(\sigma'_{v0})$, em que σ'_{v0} é a tensão vertical efetiva, fornece a base para várias correlações para estimativa de parâmetros. O módulo dilatométrico é calculado pela expressão $E_D = 34,7 \cdot (p_1 - p_0)$, entretanto é menos utilizado, devido à falta de informação sobre o histórico de tensões (Marchetti et al.,

2001).

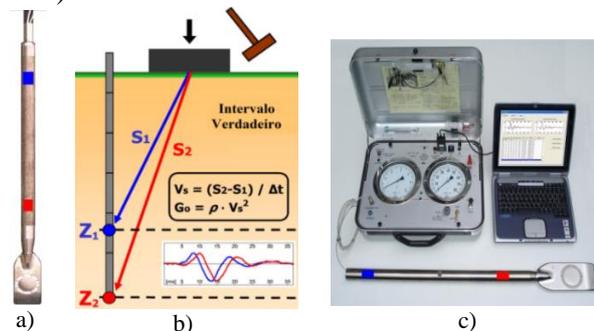


Figura 1. a) Lâmina DMT e módulo sísmico; b) Representação esquemática do SDMT; c) Equipamento para realização do SDMT (Marchetti et al., 2008).

2.1 Microestrutura

O comportamento mecânico *in situ* dos solos convencionais (argilas e areias sedimentares) está diretamente relacionado ao seu histórico de tensões. Este fato não ocorre para os solos não convencionais (solos tropicais, solos não saturados, barragens de rejeito). Tais materiais apresentam comportamento coesivo-friccional, onde fatores como estrutura (cimentação, envelhecimento), condição não saturada, não linearidade de rigidez e gênese irão reger seu comportamento. Solos tropicais são caracterizados pela ocorrência de agregados estáveis cimentados devidos ao processo de laterização, bem como pela condição não saturada. Deste modo, estes solos não são adequadamente avaliados por meio de modelos e de correlações desenvolvidas pela Mecânica dos Solos Clássica. Logo, torna-se necessário identificar o comportamento não convencional destes materiais para o emprego de modelos de interpretação de ensaios de campo (Schnaid et al., 2004; Marchetti e Monaco, 2018).

Cruz (2010) propôs ábacos para identificar a presença de estruturas cimentantes em solos, através de resultados de ensaios SDMT realizados em diferentes locais, bem como em laboratório, em uma grande câmara de calibração (CemSoil Box). O autor plotou os dados do SDMT nos gráficos G_o/E_D vs I_D e G_o/M_{DMT} vs K_D para essa finalidade.



3 SOLOS ESTUDADOS

3.1 Campo experimental de Bauru-SP

O campo experimental de Bauru-SP encontra-se localizado no interior do campus da Unesp daquela cidade. Esta área é coberta por sedimentos do Grupo Bauru (Formação Marília e Formação Adamantina). No Grupo Bauru existe a predominância da Formação Marília nos interflúvios, enquanto a Formação Adamantina está presente nas regiões mais baixas do terreno (De Mio, 2005). Ensaios geotécnicos (SPT, DMT, PMT, CPT) e geofísicos (sísmicos) já foram realizados nessa área (Saab, 2016; Rocha, 2018; Giacheti et al., 2019). Amostras indeformadas também foram coletadas em poços de inspeção para realização de ensaios de laboratório, visando a caracterização e determinação de parâmetros geotécnicos.

O perfil do subsolo consiste em uma areia fina pouco argilosa, porosa, não saturada, de comportamento laterítico, classificado como solo LA' na MCT, até 13 m de profundidade (Nogami e Villibor, 1981) e SM pela SUCS (ASTM 2003). O nível da água não é encontrado até 30 m de profundidade.

3.2 Campo experimental de Araquari-SC

O campo experimental localiza-se no município de Araquari-SC. Horn Filho e Diehl (1994) explicam que esse campo experimental faz parte da unidade geológica do embasamento cristalino, a qual caracteriza o arcabouço geológico-estrutural das regiões norte e central do estado. A partir do mapa geológico desenvolvido pelo serviço geológico do Brasil (CPRM), este campo experimental é descrito como depósitos de planície de Maré: Areias quartzosas e silto-argilosas, mal selecionadas, cores cinza a creme, ricas em matéria orgânica, retrabalhadas pela ação das marés acima do nível dos mangues atuais. Ensaios de campo

(SPT, DMT, PMT, CPT) já foram anteriormente realizados neste campo experimental (Brochero 2014, Nienov 2016; Schnaid et al., 2016). O nível da água encontra-se a aproximadamente 2,5 m da superfície do terreno. A Figura 2 apresenta o resultado de um ensaio SPT típico daqueles realizados em ambos os campos experimentais estudados.

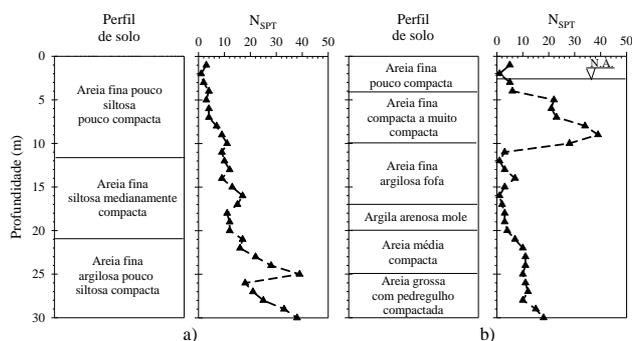


Figura 2. Perfil do subsolo e variação do N_{SPT} ao longo da profundidade para os campos experimentais de Bauru-SP (a) e de Araquari-SC (b).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SDMT

Foram utilizados resultados de três ensaios SDMT realizados no campo experimental de Bauru-SP até a profundidade de 20 m, e um ensaio SDMT realizado no campo experimental de Araquari-SC até a profundidade de 29 m (disponível em www.ufrgs.br/araquari-ets/). Os perfis de variação com a profundidade de I_D , K_D , E_D e V_s são apresentados na Figura 3 e Figura 4, respectivamente, para o campo experimental de Bauru-SP e de Araquari-SC. A classificação do tipo de solo foi realizada empregando o ábaco proposto por Marchetti e Crapps (1981) para ambos campos experimentais (Figura 5). Segundo Schnaid et al. (2016), em Araquari-SC não foi possível cravar o a lâmina do SDMT na camada de areia densa entre 4 e 11 m de profundidade, devido sua elevada resistência à penetração, como se observa no perfil de N_{SPT} (Figura 2). Por isso,



não foram obtidos dados nesse horizonte do perfil.

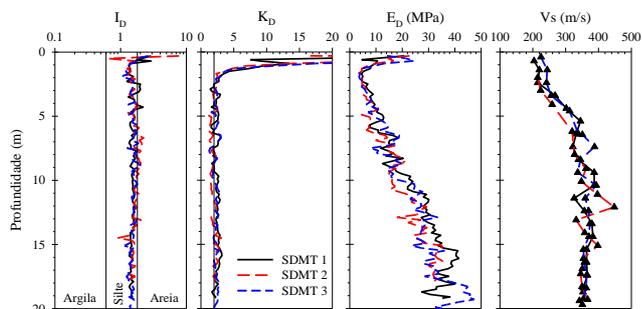


Figura 3. Resultados de três SDMTs realizados no campo experimental de Bauru-SP.

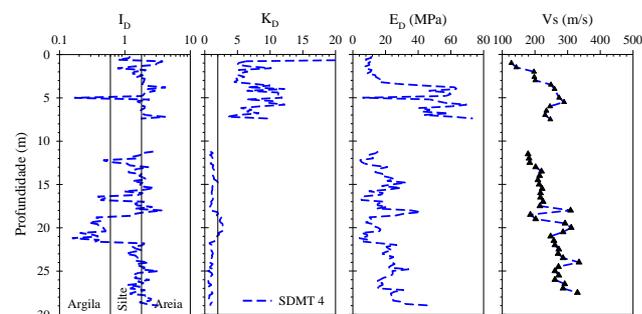


Figura 4. Resultado de um SDMT realizados no campo experimental de Araquari-SC.

A Figura 6 apresenta os perfis de módulo confinado (M_{DMT}) e ângulo de atrito (ϕ'), calculados empregando as correlações empíricas apresentadas por Marchetti et al. (2001), bem como o perfil de módulo de cisalhamento máximo do solo, determinados pelos ensaios SDMT e estimados por meio da correlação proposta por Marchetti et al. (2008).

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Classificação

O SDMT classifica o tipo de solo a partir do Índice do Material (I_D) e do Módulo Dilatométrico (E_D) por meio do ábaco proposto por Marchetti e Crapps (1981). Na Figura 5 observa-se que o perfil do subsolo do campo

experimental de Bauru-SP é classificado como um silte arenoso.

Esta classificação não está de acordo com a granulometria desse solo (areia fina pouco argilosa), determinada por meio de ensaio de análise granulométrica conjunta com uso de defloculante. Conforme discutido por Marchetti et al. (2001), o índice I_D fornece uma classificação razoável do perfil do subsolo para solos “normais” e ele é um parâmetro que reflete o comportamento mecânico do solo, como um índice de rigidez, e não a composição granulométrica do solo.

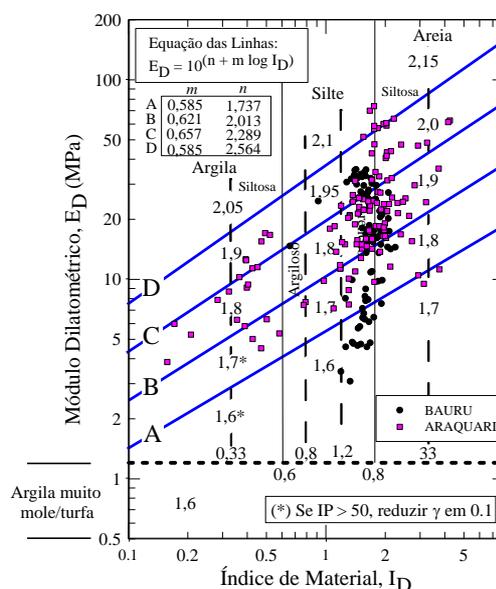


Figura 5. Classificação do solo através dos ensaios SDMT realizados nos dois campos experimentais.

Para o campo experimental de Araquari-SC, resultados de ensaios de granulometria conjunta apresentados por Brochero (2014) foram utilizados para se avaliar o perfil do subsolo por meio do SDMT. Para os primeiros 17 m de profundidade tem-se a predominância de uma areia fina. Um material argiloso foi encontrado nas amostras coletadas entre 20 e 22 m e entre 24 e 25 m. Os resultados dos SDMT definem um perfil com predominância de um material siltoso, com a presença de uma camada argilosa entre 18 a 22 m de profundidade. De modo similar ao observado para o campo



experimental de Bauru-SP, o índice I_D refletiu o comportamento mecânico do solo frente a cravação/expansão da membrana, como um índice de rigidez, e não a composição granulométrica do solo.

5.2 Parâmetros de Projeto

A Figura 6 e a Figura 7 apresenta, respectivamente, os parâmetros de projeto estimados pelos SDMTs realizados nos campos experimentais de Bauru-SP e de Araquari-SC. Para o campo experimental de Bauru-SP, os valores de ângulo de atrito (ϕ') estimados pelo SDMT foram comparados com resultados de ensaios de cisalhamento direto realizados em amostras indeformadas em condição natural coletadas entre 1 e 19 m de profundidade (pontos vermelho da Figura 6 - Giacheti et al. 2006) e triaxiais realizados em amostras indeformadas saturadas coletadas a 1, 3 e 5 m de profundidade (pontos azuis da Figura 6 - Fagundes e Rodrigues, 2015). Para o campo experimental de Araquari-SC, ensaios triaxiais em amostras remoldadas (Lavalle, 2017) foram utilizados como referência para os valores de ângulo de atrito do SDMT. Quanto ao módulo confinado (M_{DMT}), os valores estimados para o campo experimental de Bauru-SP foram comparados com aqueles determinados em laboratório por meio de ensaios edométricos realizados por Saab (2016). Infelizmente, não se tem conhecimento de resultados de ensaios edométricos realizados no campo de Araquari-SC para serem utilizados como referência. Já, os valores de módulo de cisalhamento máximo do solo, para ambos os campos experimentais, foram determinados a partir dos resultados de V_s do SDMT (Equação 1) e comparados com perfis de G_o estimados por meio da equação de Marchetti et al. (2008). Para o campo experimental de Bauru-SP, os valores de ϕ' e M_{DMT} foram determinados por meio dos perfis médios de I_D , K_D e E_D .

Por meio dos ensaios de cisalhamento direto realizados em Bauru-SP, determinou-se um valor médio de ϕ igual $32,8^\circ$ ($30,1^\circ$ para 1 m de profundidade a $34,4^\circ$, para 19 m de profundidade). Já, os ensaios triaxiais forneceram valores de ϕ iguais a $29,9^\circ$, $32,6^\circ$ e $32,4^\circ$, respectivamente, para as amostras coletadas a 1, 3 e 5 m de profundidade. Observa-se boa concordância entre os valores de ângulo de atrito estimados pelo SDMT com os valores de referência (cisalhamento direto e triaxial) abaixo de 2 m de profundidade (Figura 6.a.). Entretanto, este fato não ocorreu mais próximo a superfície do terreno. Rocha (2018) e Giacheti et al. (2019) atribuem esse fato a um possível efeito da sucção do solo, que elevou os valores de p_0 e p_1 , os quais refletem na determinação de parâmetros mecânicos pelo SDMT.

Na Figura 6.b são apresentados os valores de M_{DMT} calculados pelo SDMT e os medidos (M_{eod}) por meio dos ensaios edométricos, com boa concordância entre os perfis de M_{DMT} e aqueles medidos pelos ensaios edométricos. Observa-se ainda nessa figura que o valor de M_{eod} foi de 6,5 MPa a 1 m de profundidade, atingindo um valor de 8 MPa a 5 m de profundidade

Os perfis de módulo de cisalhamento máximo do solo (G_o) determinados por meio de ensaios sísmicos e calculados a partir do M_{DMT} para Bauru-SP são apresentados na Figura 6.c. Observa-se que o valor de G_o medido é crescente até cerca de 13 m de profundidade com valores variando de 70 a 280 MPa. Entre 13 e 15 m, os valores obtidos situaram-se entre 210 e 280 MPa. Após 15 m de profundidade, G_o manteve-se praticamente constante com valor de 210 MPa. Os valores determinados por meio dos ensaios sísmicos são maiores que os estimados por meio da equação de Marchetti et al. (2008), devido as características genéticas desse solo e pelo efeito da condição não saturada.

A Figura 7 apresenta os parâmetros



geotécnicos pelo SDMT realizados em Araquari-SC. O valor do ângulo de atrito médio determinado a partir dos ensaios triaxiais foi igual $32,5^\circ$, o qual variou de $33,7^\circ$ para 3 m de profundidade a $33,1^\circ$ para 24 m de profundidade. Na Figura 7.a observa-se boa concordância entre os valores de ângulo de atrito do SDMT aqueles de referência (ensaio triaxial).

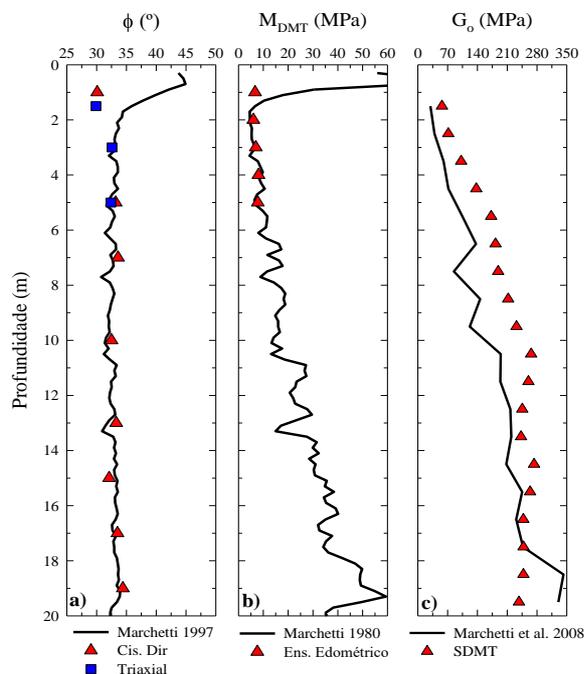


Figura 6. Parâmetros geotécnicos pelo SDMT e valores de referência medidos em laboratório para o campo experimental de Bauru-SP.

Na Figura 7.b são apresentados os valores de M_{DMT} calculados a partir do SDMT. Este parâmetro apresentou um valor médio de 25 MPa acima de 3 m de profundidade, 125 MPa entre 3 e 7 m de profundidade e 13 MPa entre 11 e 29 m de profundidade. A Figura 7.c apresenta os perfis G_o determinados por meio de ensaios sísmicos e calculados a partir do M_{DMT} para Araquari-SC. Observa-se que até 8 m de profundidade, G_o medido apresentou uma variação entre 50 e 100 MPa. Abaixo de 8 m, houve menor variação nos valores, entre 12 e 18 m de profundidade, situou-se próximo de 50 MPa. De 18 a 21 m, G_o variou entre 100 e 150

MPa. Entre 21 e 28 m os valores medidos se mantiveram próximos de 100 MPa. Esses resultados mostram que a estimativa dos valores de G_o utilizando-se da equação de Marchetti et al. (2008) para solos sedimentares se ajustou melhor que as estimativas realizadas para o solo de evolução pedogenética, que tem comportamento de solos convencionais.

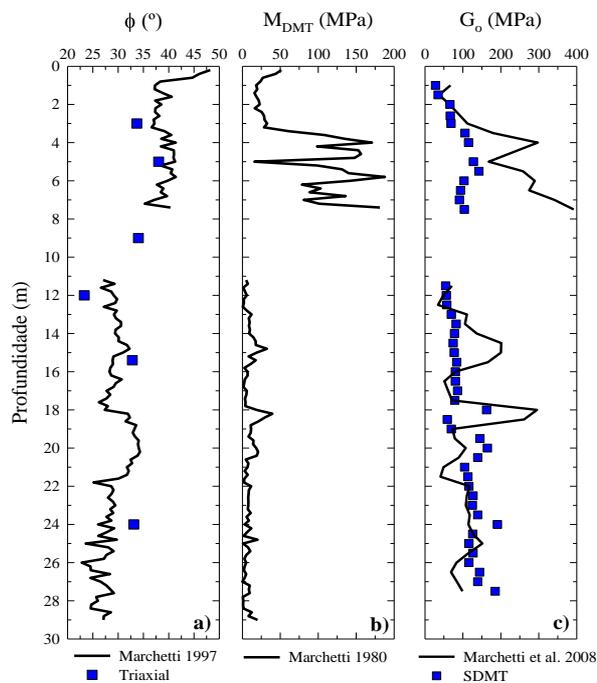


Figura 7. Parâmetros geotécnicos pelo SDMT e valores de referência medidos em laboratório para o campo experimental de Araquari-SC.

5.2 Microestrutura

A Figura 8 apresenta os resultados dos ensaios SDMT realizados nos dois campos experimentais estudados, plotados nos gráficos G_o/E_D vs I_D (Figura 8.a) e G_o/M_{DMT} vs K_D (Figura 8.b), conforme sugerido por Cruz (2010). Três linhas e uma equação também são apresentadas, para definir os limites entre os solos residuais (cimentados) e os solos sedimentares (não cimentados).

Para o campo experimental de Bauru-SP os resultados dos SDMT encontram-se sempre acima da linha que separa o material cimentado do não cimentado. Isto indica que a presença de



uma estrutura cimentada no solo tropical arenoso deste campo experimental, que leva a valores de G_o/E_D e de G_o/M_{DMT} sistematicamente superiores aqueles esperados para solos sedimentares. Tais estruturas são formadas pelo intenso processo de lixiviação sofrido ao longo desse perfil, característico de regiões de clima tropical úmido. Já, a interpretação desses mesmos resultados para o campo experimental de Araquari-SC, indica que a maior parte deles também se encontra acima da linha que separa o solo de estrutura cimentada do solo de estrutura não cimentada indicando presença de cimentação ou envelhecimento. Este comportamento não era esperado, uma vez que neste campo experimental tem-se a presença de um solo sedimentar, formado a partir de variações relativas do nível do mar e dos deslocamentos de corpos de água de grandes dimensões.

Deste modo, as metodologias clássicas de interpretação de ensaios de campo (por exemplo, para CPT e SDMT), devem ser empregadas com cautela, e ajustes locais são necessários para uma caracterização do solo adequada (Schnaid et al., 2004; Marchetti e Monaco 2018).

6 CONCLUSÕES

Constatou-se que os SDMTs realizados nos solos arenosos dos dois campos experimentais estudados foram adequados para definição do perfil do subsolo, estimativa de parâmetros de projeto e identificação da presença de material não convencional (solos cimentados). Os resultados mostraram que os solos do campo experimental de Bauru-SP são evoluídos pedologicamente, com presença de cimentação. Também se observou a presença de microestrutura em boa parte do perfil do campo experimental de Araguari-SC. Apesar disso, os valores médios dos parâmetros de projeto determinados por meio de correlações do SDMT levaram a valores da mesma ordem de grandeza daqueles determinados por meio de ensaios de laboratório, para ambos os campos experimentais. Este fato não foi observado nos perfis de G_o determinados pelos ensaios sísmicos e calculados por correlações com o DMT, em especial até cerca de 13 m de profundidade do campo experimental de Bauru-SP, onde se tem o perfil de comportamento laterítico, com maior grau de evolução pedogenética e cimentação de estrutura porosa com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

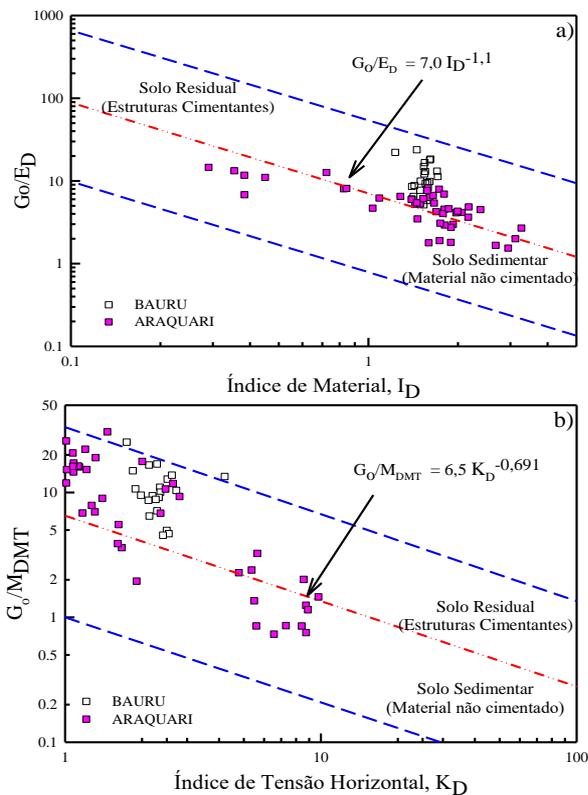


Figura 8. Resultados dos ensaios SDMT realizados nos dois campos experimentais estudados plotados nos ábacos propostos por Cruz (2010).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP (Processos No. 2010/50650-3 e 2015/16270-0), ao CNPq e a CAPES, pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa.



REFERÊNCIAS

- ASTM (2003). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) – D2487-00. In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08. West Conshohocken: American Society for Testing Materials.
- Brochero J. L. (2014). *Caracterização geotécnica do campo experimental da UFRGS em areia*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p.
- Cruz, N. (2010). Modelling Geomechanics of residual Soils with DMT Tests. Ph.D. thesis. Porto: Porto University.
- De Mío, G. (2005). *Condicionantes geológicas na interpretação de ensaios de piezocone para identificação estratigráfica na investigação geotécnica e geoambiental*. Tese (Doutorado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 359 p.
- Fagundes, L. S. e Rodrigues, R. A. (2015). Shear strength of a natural and compacted tropical soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v. 20, p. 47-58.
- Giacheti, H. L.; Peixoto, A. S. P.; De Mío, G. and Carvalho, D. (2006). Flat Dilatometer Testing in Brazilian Tropical Soils. In: *Second International Conference on the Flat Dilatometer*, Washington. ASCE. Washington - DC - USA: R A Failmezger and J B Anderson Editors. v. 1. p. 103-110.
- Giacheti, H. L., Bezerra, R. C., Rocha, B. P. e Rodrigues, R. A. (2019). Seasonal influence on cone penetration test: An unsaturated soil site example. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 11, p. 361-368.
- Horn Filho, N. O. e Diehl, F. L. (1994). Geologia da planície costeira de Santa Catarina. *Alcance*, v.1, n°1, 95-102.
- Jendeby, L. (1992). Deep Compaction by Vibrowing. *Proc. Nordic Geotechnical Meeting NGM-92*, Vol. 1, 19-24.
- Lavalle, L. V. A. (2017). *Estudo da interação solo-concreto das estacas escavadas do campo experimental de Araquari*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 149 p.
- Marchetti, S. (1997). The Flat Dilatometer: Design Applications. *Proc. 3rd International Geotechnical Engineering Conference*, Keynote Lecture, Cairo University, p. 421-448.
- Marchetti, S. e Crapps, D. K. (1981). Flat dilatometer manual. Internal report of GPE Inc., Gainesville, FL.
- Marchetti, S. e Monaco, P. (2018) Recent Improvements in the Use, Interpretation, and Applications of DMT and SDMT in Practice. *Geotechnical Testing Journal*, v.41, n°. 5, p.837-850. <https://doi.org/10.1520/GTJ20170386>
- Marchetti, S., Totani, G., Calabrese, M. & Monaco, P. (1991). P-y curves from DMT data for piles driven in clay. *Proc. 4th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations*, DFI, Stresa, Vol. 1, 263-272.
- Marchetti S., Monaco P., Totani G. e Calabrese M. (2001). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations, TC 16 Report. *Proc. IN SITU 2001, International Conference on In situ Measurement of Soil Properties*, Indonesia, 41 pp.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. & Marchetti, D. (2008). In Situ Tests by Seismic Dilatometer (SDMT). ASCE Geot. Special Publication GSP 170 honoring Dr. J.H. Schmertmann. New Orleans March 9–12.
- Monaco, P.; Totani G. e Calabrese, M. (2006). DMT-predicted vs. observed settlements: a review of the available experience. *Proc. Second International Conference on the Flat Dilatometer*, Washington D.C., p. 244-252.
- Nienov, F. A. (2016). “Desempenho de estacas escavadas de grande diâmetro em solo arenoso sob carregamento vertical”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Nogami, J. S. e Villibor, D. F. (1981). Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias, *Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, Brasil, V. 1, p. 30-41.
- Rocha, B. P. (2018). *Caracterização Geotécnica de Solos Tropicais Não Saturados por meio de Ensaio de Campo*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- Saab, A. L. (2016). *Influência da Sucção nos Parâmetros de Compressibilidade de um Solo não Saturado*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de São Paulo – Unesp, Bauru, 110p.
- Schnaid, F.; Lehane, B. e Fahey, M. (2004). In situ test characterization of unusual geomaterials. *Proc. of the ICS-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*. Rotterdam: Millpress Science Publishers, v. 1. p. 49-74.
- Schnaid, F., Odebrecht, E., Sosnoski, J., Robertson, P. K. (2016). Effects of test procedure on flat dilatometer test (DMT) results in intermediate soils. *Canadian Geotechnical Journal* (Print), p. 1-11.
- Totani, G., Calabrese, M., Marchetti, S. & Monaco, P. (1997). Use of in situ flat dilatometer (DMT) for ground characterization in the stability analysis of slopes. *Proc. XIV ICSMFE*, Vol. 1, 607-610.