

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO CAMPO EXPERIMENTAL DE ARAQUARI EM AREIA

Geotechnical characterization of the Araquari testing site in sand

José Luis Rodriguez Brochero^a, Fernando Schnaid^b

^a Departamento de Engenharia Civil, Universidad Pontificia Bolivariana-Bucaramanga, Colombia.

^b Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

RESUMO – Contribuir ao entendimento dos mecanismos que controlam o comportamento da interação estaca-solo, em estacas de grande diâmetro executadas em perfil arenoso, foi a principal motivação que levou a propor a criação de um campo experimental, concebido para realização de um programa de ensaios de provas de carga instrumentadas. Em esta etapa inicial do projeto, descreve-se a caracterização geotécnica da área de estudo. As investigações geotécnicas foram compostas por ensaios de campo: ensaios de penetração padrão (SPT), ensaios dilatométricos (DMT) e ensaios de piezocone (CPTu). Uma revisão de aspectos geológicos foi realizada, caracterizando-se o contexto regional e a gênese das planícies costeiras do estado de Santa Catarina, área onde é localizado o campo experimental. Os ensaios de campo junto à descrição geológica, permitiram revelar características pertinentes ao projeto de pesquisa.

ABSTRACT – To contribute to the understanding of the mechanisms that control the behavior of the pile-soil interaction, executed in large diameter pile in sandy profile, was the main motivation that led to propose the creation of an experimental field, designed to carry out a program of instrumented load tests. In this initial stage of the project, the geotechnical characterization of the study area is described. The geotechnical investigations were composed by insitu tests: standard penetration test (SPT), dilatometric test (DMT) and piezocone test (CPTu). A review of geological aspects was carried out, characterizing the regional context and the genesis of the coastal plains of the state of Santa Catarina, where the experimental field is located. The insitu tests together with the geological description allowed revealing characteristics pertinent to the research project.

Palavras Chave – caracterização geotécnica; depósito arenoso; SPT, CPTu e sDMT

Keywords – geotechnical characterization, sandy deposit, SPT, CPTu and sDMT

1 – INTRODUÇÃO

O trabalho é o começo de um projeto global que compreende a execução e análises de um programa de provas de carga instrumentada em estacas de grande diâmetro em perfil arenoso. O projeto de investigação foi executado por um grupo de empresas parceiras à Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS), e que colaboraram na presente pesquisa. A execução das estacas e provas de carga também foram realizadas por empresas parceiras, embora com procedimentos e acompanhamento definidos na dissertação de mestrado de Rodriguez (2014). Este estudo procura subsidiar as futuras pesquisas projetadas nesta área que busquem avançar no entendimento dos mecanismos que controlam o comportamento da interação estaca-solo num perfil tipicamente arenoso. Para isto, é realizada a caracterização geológico-geotécnica da área que compreende o campo experimental de Araquari. Os resultados e interpretação de uma campanha extensiva de ensaios de campo são apresentados.

E-mails: joseluis.rb85@gmail.com (J. Brochero), fschnaid@gmail.com (F. Schnaid)

2 – LOCALIZAÇÃO

O projeto é desenvolvido no Brasil, na planície costeira no norte do estado de Santa Catarina, município de Araquari (Figura 1). O município de Araquari localiza-se a latitude 26° 22' 12" sul e a longitude 48° 43' 19" oeste, estando a uma altitude de 9 metros em relação ao nível do mar. A distância até a capital, Florianópolis, é de 182 km.



Fig. 1- Mapa de localização do campo experimental da UFRGS (Google Maps).

3 – GEOLOGIA DA ÁREA

O estudo da evolução geológica da planície costeira do setor norte do estado de Santa Catarina fornece subsídios necessários à compreensão do comportamento geotécnico dos solos da área estudada. Características físicas dos materiais encontrados podem ser associadas à sua gênese e aos fenômenos erosivos e deposicionais que se desenvolveram ao longo de sua história.

As planícies costeiras brasileiras foram formadas em fases transgressivas e regressivas do Quaternário (Branner, 1904; Freitas, 1951; Bigarella e Marques, 1961; Bigarella, 1965; Suguio et al., 1985). Segundo Horn Filho, (1997, 2003); Possamai et al. (2010) e Zular (2011), as planícies são produtos da evolução Quaternária de sistemas deposicionais costeiros, que devido a sua origem variada inclui elementos fisiográficos diversos, de procedência aluvial, eólica, marinho-praial, lagunar, fluvio-lagunar, estuarina, distribuídos ao longo da planície costeira, nos principais cursos de água, ao longo de antigas lagunas ou nas proximidades das encostas. Segundo Horn Filho (1997) e Bigarella e Marques (1961), estes locais são constituídos por depósitos inconsolidados ou fracamente consolidados.

Suguio et al. (1986) apresentou um mapa da geologia da região de Barra Velha-SC a qual se enquadra à área de interesse desta pesquisa (Figura 2). Nesta figura, mostra-se a evolução geológica das planícies do Quaternário para uma área em particular, pertencente aos estados de Paraná e Santa Catarina. Segundo os autores, a evolução das planícies do litoral dos estados mencionados pode ser dividida em oito etapas principais. Para área de estudo, duas etapas são identificadas como de maior relevância na construção dos depósitos existentes na zona de influência ao campo experimental, sendo elas a etapa quatro e cinco. Os acontecimentos ocorridos na etapa quatro foram a principal causa, marcada pela penúltima transgressão que aconteceu há 120 000 anos (Pleistoceno superior) e, que levou o mar 8 m acima do nível atual. Esta inundação trouxe material proveniente dos depósitos continentais, além de atingir o sopé das escarpas rochosas pré-cambrianas, subsidiando a sua erosão e posterior deposição do material nas planícies (Suguio et al., 1986; Chodur, 1997; Horn Filho, 2003). Na etapa cinco, descreve-se como a construção dos terraços arenosos marinhos do Pleistoceno formou-se após o máximo da penúltima transgressão ao longo das zonas litorais dos estados do Paraná e Santa Catarina. Logo, estes depósitos foram retrabalhados superficialmente por ventos, sendo este fenômeno, após a penúltima transgressão quando o nível do mar passara a oscilar

próximo aos valores presentes, um dos principais causantes da formação das planícies costeiras atuais. Este evento trouxe material para a área, ajudando à instalação de redes de drenagem das regiões elevadas (Caruso, 1987).

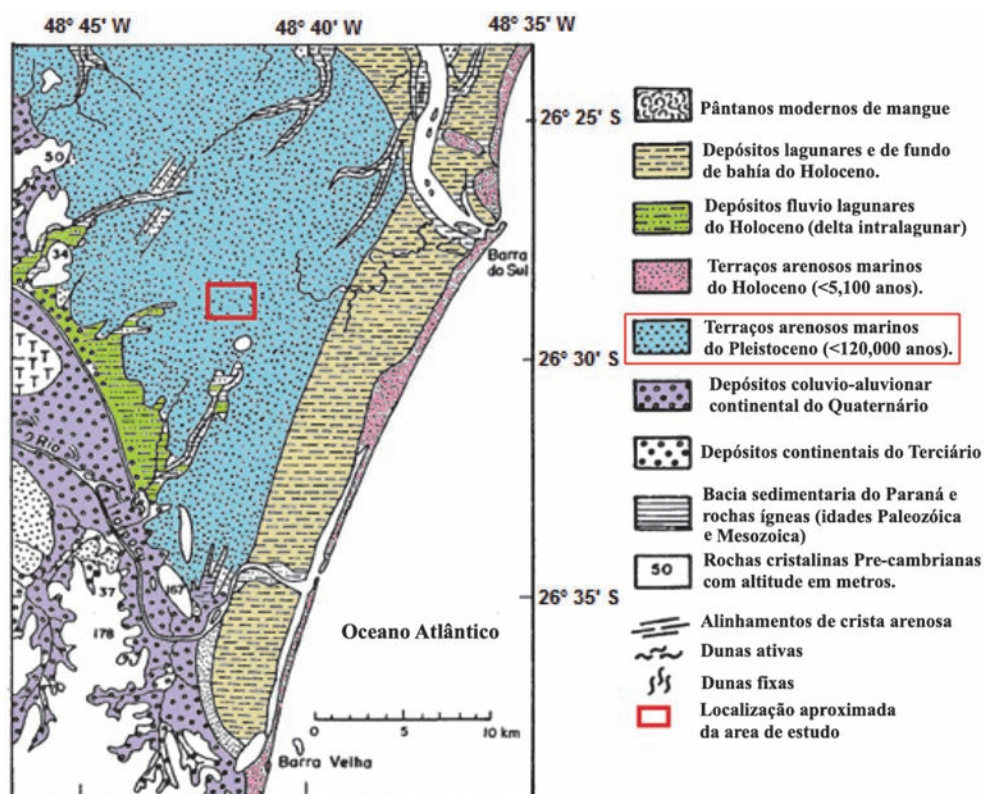


Fig. 2- Mapa geológico da região de barra velha - SC (adaptado de Suguio et al, 1986).

Suguio (2009) acredita que os materiais que constituem a maior parte do litoral brasileiro, onde prevalecem condições de quiescência tectônica, são causados principalmente pela glacioeustasia, relacionada às variações do nível relativo do mar devido aos fenômenos glaciais durante o quaternário. O autor descreve que, na atualidade, estes terraços arenosos são esbranquiçados na superfície e marrom a negra em profundidade e que as cores escuras podem ser atribuídas à presença de matéria orgânica epigenética que impregna os grãos. Esta descrição coincide com amostras tiradas do amostrador de um ensaio de SPT executado na área de estudo, onde são encontrados materiais em cores esbranquiçadas até 10 m de profundidade e material escuro até 17 m.

4 – IMPLANTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a seleção da área de estudo foram realizados dez ensaios de CPTu, dos quais quatro foram sondagens de reconhecimento, cuja finalidade era determinar a espessura do depósito arenoso e verificação de lentes argilosas ou siltosas no subsolo. A situação ideal era identificar locais com camadas de areia de espessura superior a 20 m. As outras seis sondagens CPTu com até 32 m de profundidade foram empregadas para caracterização da área escolhida. Adicionalmente executou-se uma sondagem com 32 m de comprimento acompanhada de ensaios e uma sondagem de DMT; com 28 m de profundidade. O Quadro 1 mostra informação detalhada sobre os ensaios de campo

executados. Em geral, a área esta composta por solos sedimentares arenosos a areno-siltosos, com camadas de argila de pequena espessura.

Quadro 1- Resumo dos ensaios de campo executados

FURO	COORDENADAS*		COTA* (m)	Profundidade (m)	Nível d' água	Data
	Latitude	Longitude				
CPTU-01	26°28'57.67"S	48°43'20.91"O	10,00	-30,4	-2,0	11/03/2014
CPTU-02	26°28'58.12"S	48°43'20.58"O	10,00	-31,0	-2,0	12/03/2014
CPTU-03	26°28'57.87"S	48°43'21.24"O	10,00	-30,1	-2,0	12/03/2014
CPTU-04	26°28'58.26"S	48°43'21.08"O	10,00	-29,1	-4,0	12/03/2014
CPTU-05	26°28'59.31"S	48°43'21.35"O	10,00	-28,5	-1,0	13/03/2014
CPTU-06	26°28'59.71"S	48°43'21.96"O	10,00	-27,9	-0,8	13/03/2014
CPTU-07/S.R. Área 4	26°28'58.22"S	48°43'20.76"O	10,00	-30,3	-1,8	18/10/2013
S.R. Área 1	26°28'56.38"S	48°43'11.23"O	8,16	-32,27	-1,2	13/08/2013
S.R. Área 2	26°29'8.33"S	48°42'25.07"O	10,00	-26,31	-1,6	17/10/2013
S.R. Área 3	26°29'10.91"S	48°42'46.08"O	10,00	-15,59	-1,8	18/10/2013
DMT-01 (Área 1)	26°28'56.38"S	48°43'11.23"O	8,16	-27,4	-1,5	20/08/2013
SPT-01 (Área 1)	26°28'57.52"S	48°43'11.39"O	9,77	-32,0	-1,7	11-14/02/2013

OBS: * Coordenadas e cotas aproximadas
S.R.: "Sondagem de Reconhecimento"

O campo experimental foi estabelecido na área 4 mostrada e delimitada na Figura 3. Este local possui uma área aproximada de 3600 m², com uma estrada de acesso que facilitará o deslocamento dos equipamentos necessários à execução das estacas. Além disso, pode-se acessar facilmente à energia elétrica.



Fig. 3- Delimitação do campo experimental (Área 4)

5 – ENSAIOS DE CPT_u EXECUTADOS NO CAMPO EXPERIMENTAL

Os resultados dos ensaios de CPT_u foram sobrepostos para definir parâmetros representativos do depósito estudado (Figura 4). Estes gráficos mostram a variação da resistência de ponta, atrito lateral, poropressão e razão de atrito, ao longo da profundidade.

Foi possível delimitar tentativamente cinco horizontes. Estes horizontes são o resultado da aproximação quanto ao comportamento dos solos analisados. O primeiro horizonte; entre 0 e 11 m de profundidade, com uma camada de solo arenoso fofo entre 0 e 3 m e entre 3 e 11 m de profundidade; uma camada de solo arenoso denso, que apresenta resistências de ponta (q_t) entre 10 e 20 MPa. O segundo horizonte; entre 11 e 19 m de profundidade, verifica-se uma queda nos valores tanto da resistência de ponta (q_t) como do atrito lateral (f_s), com condição de drenagem parcial, caracterizados pela pouca diferença ou nula entre a pressão hidrostática (U_0) e o excesso de poropressão (U). Neste trecho, se tem valores de resistência de ponta (q_t) de 3 MPa em média, identificando-se solo areno-siltoso. O terceiro horizonte; com uma camada de solo coesivo variando entre 2 e 3 m de espessura, caracterizada pela geração de excesso poropressão (U). O quarto horizonte; localizado entre 22 e 26 m de profundidade, com uma camada de solo arenoso de resistência de ponta média a alta, variando de 3 MPa a 10 MPa. Finalmente o quinto horizonte em profundidade superior a 26 m, apresentado um pequeno ganho nos valores de resistência de ponta e de atrito lateral, porém, existindo algumas lentes que mostram poropressões altas, podendo considerar o comportamento do solo do trecho como areno-siltoso com pequenas lentes de solos coesivos.

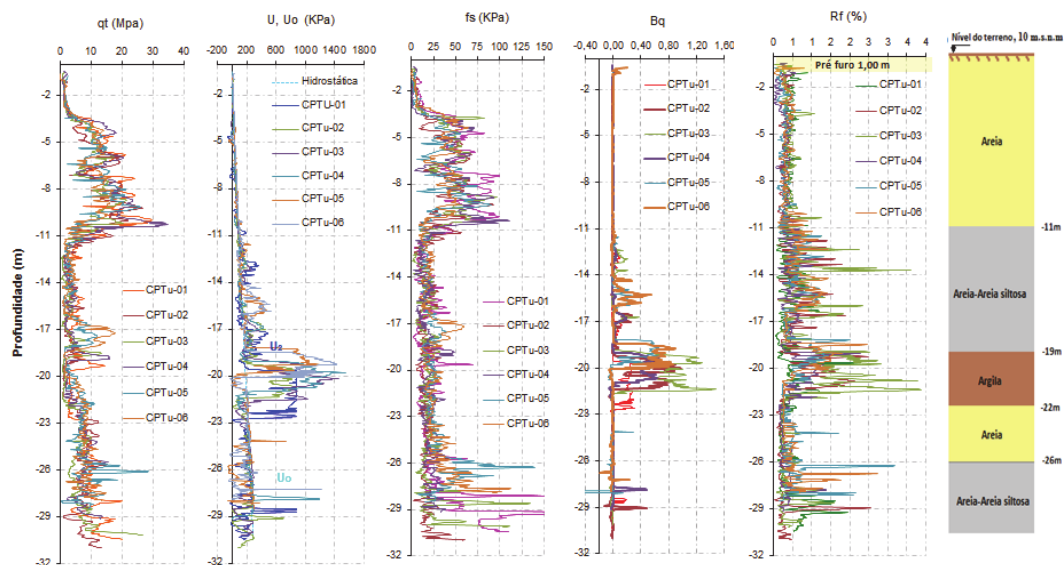


Fig. 4- Horizontes médios a partir dos resultados das sondagens de CPT_u.

Traçou-se um perfil longitudinal com o resultado de cinco sondagens executadas no campo experimental (Figura 5). O perfil ajuda a definir e entender melhor como são as variações dos horizontes que conformam o local de implantação do campo experimental. Em geral, este perfil mostra um primeiro trecho até 11 m de profundidade onde é identificada uma camada de areia limpa de espessura constante, seguido por material arenoso a areno-siltoso com pouca presença de solo coesivo.

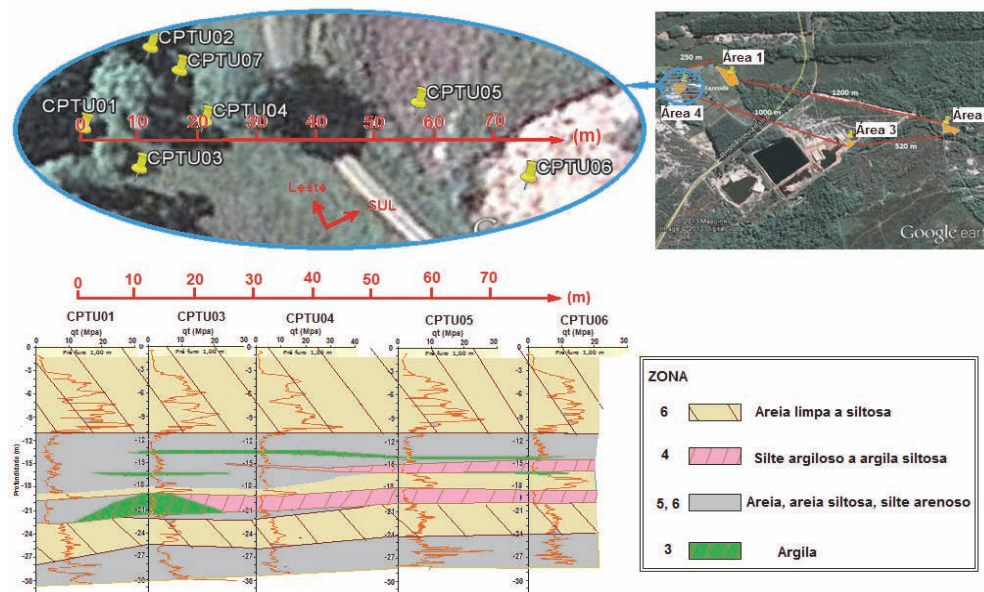


Fig. 5- Perfil longitudinal do campo experimental (Área 4)

6 – CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO SOLO

O cálculo e análises dos parâmetros característicos do campo experimental subsidiou ao entendimento do comportamento do depósito estudado.

6.1 – Classificação do solo

Baseado nos horizontes delimitados acima são propostas análises de classificação do solo para o local de estudo (Figura 6 e 7). Neste sentido, foi utilizado o ábaco proposto por Robertson (1990) no qual podem-se identificar nove comportamento do solo com base nos parâmetros de CPT normalizados. O autor recomenda que para depósitos “onshore”, os resultados devam ser preferivelmente enquadrados no ábaco que relaciona $Q_t - F_r$ (%).

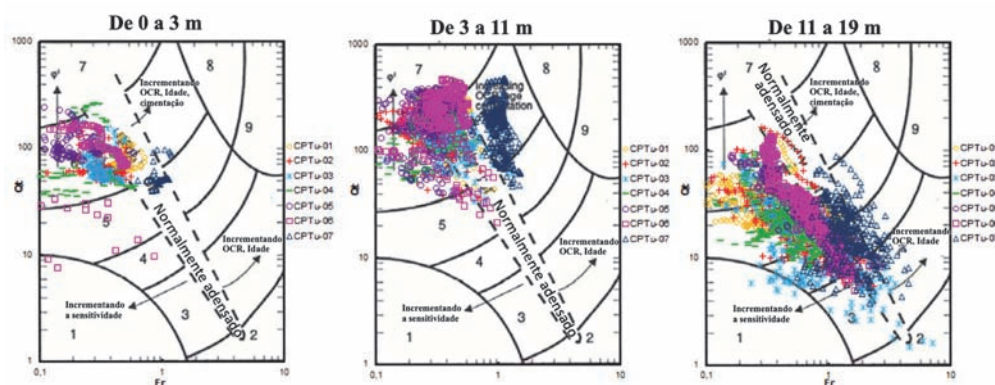


Fig. 6- Classificação do solo por horizontes

O primeiro horizonte foi dividido em dois. De 0 a 3 m de profundidade o solo localiza-se na zona 6, composto por areias a areias siltosas, normalmente adensadas. De 3 a 11 m de profundidade, o solo se enquadra na zona 6 e 7, caracterizadas por areias com pedregulhos, areias limpas e areias siltosas. Entre 11 e 19 m de profundidade, tem-se uma maior dispersão dos dados, sendo os solos enquadrados nas zonas 4, 5 e 6, caracterizadas por areias limpas, areias siltosas, siltes arenosos, siltes argilosos e argilas siltosas. Ressalta-se que a presença de solos da zona 4; argilo-siltosos e silte-argilosos, são devidos às pequenas intercalações encontradas nesta camada.

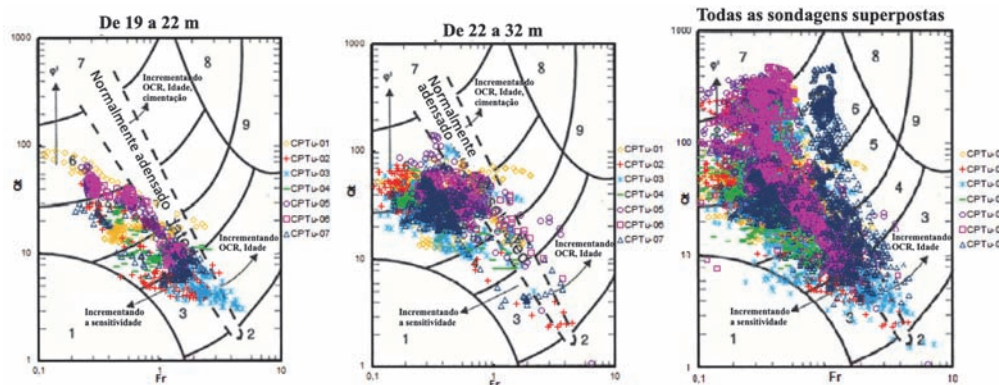


Fig. 7- Classificação do solo por horizontes.

Foi encontrado alta dispersão quanto ao tipo de solo no segmento entre 19 e 22 m de profundidade. Devido à variabilidade de solos localizados neste trecho, os resultados são enquadrados nas zonas 3, 4, 5, com algumas incidências na zona 6. Os resultados no trecho entre 22 e 32 m de profundidade foram enquadrados numa mesma figura, tratando-se de solos basicamente arenosos. Os dados são localizados maioritariamente nas zonas 5 e 6 do ábaco. Neste trecho do perfil é encontrado material não coesivo principalmente, solo silte-arenosos, areias siltosas e areias limpas. Verifica-se que a dispersão observada na medida de resistência por atrito são devidas a pequenas lentes de solos caracterizados na zona 4; solos argilo-siltosos a silto-argilosos.

A dispersão mostrada na superposição dos dados das sete sondagens demonstra a variabilidade do estrato ao longo do perfil estudado. Nesta, pode-se perceber que a maior parte dos pontos concentra-se no limite entre as zonas 4, 5, 6 com algumas incidências na zona 7 e zona 3, normalmente adensados, sem cimentação nem envelhecimento. Segundo os diferentes estudos geológicos pesquisados (Rocha, 1989; Freitas, 1951; Bigarella, 1965; Suguio et al., 1985; Horn Filho, 1997, 2003; Zular 2011; Chodur, 1997; Bigarella et al., 1961, Caruso 1987), essa classificação é compatível com os materiais predominantes na área.

6.2 – Módulo de cisalhamento máximo (G_0)

É difícil estimar o estado de tensões atuais de depósitos granulares através das abordagens baseadas em testes de penetração “in situ” (Kulhawy e Mayne, 1990; Schnaid, 2009). Apesar disto, existem diversas abordagens na literatura que relacionam este parâmetro com os resultados de ensaios como o DMT, o PMT e o CPT. É apresentada uma abordagem utilizada para o cálculo deste parâmetro no local estudado. Robertson (2009) propõe uma relação de módulo de Young com o módulo cisalhante as pequenas deformações (G_0) conforme a equação seguinte:

$$E' = 0,8 G_0 \quad (1)$$

As estimativas de Robertson (2009) para o módulo cisalhante foram enquadradas na faixa de valores limites proposta por Schnaid et al. (2004). Os autores apresentaram uma metodologia para previsão do módulo cisalhante (G_0) em areias limpas, sem envelhecimento, demonstrando que existem limites que diferenciam o comportamento de depósitos de areias cimentadas e não cimentadas, com envelhecimento ou recém-depositadas, dados pelas equações seguintes:

limite inferior para solos cimentados e limite superior para solos não cimentados:

$$G_0 = 280 \sqrt[3]{q_c \sigma'_{v0} P_a} \quad (2)$$

limite inferior para solos não cimentados:

$$G_0 = 110 \sqrt[3]{q_c \sigma'_{v0} P_a} \quad (3)$$

onde q_c é a resistência de ponta do cone; σ'_{v0} é a tensão vertical efetiva e P_a é a pressão atmosférica.

Na metodologia proposta por Schnaid et al. (2004), constrói-se um gráfico que expressa a razão entre o módulo cisalhante e a resistência à penetração do cone contra a resistência do cone normalizada ($G_0/q_c \times q_{c1}$), onde q_{c1} é calculado conforme a equação seguinte:

$$q_{c1} = \left(\frac{q_c}{P_a} \right) \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_{v0}}} \quad (4)$$

Observando a Figura 8, em geral, pode-se perceber que as estimativas do módulo G_0 tem comportamento crescente com a profundidade, com valores que oscilam entre 30 e 100 MPa.

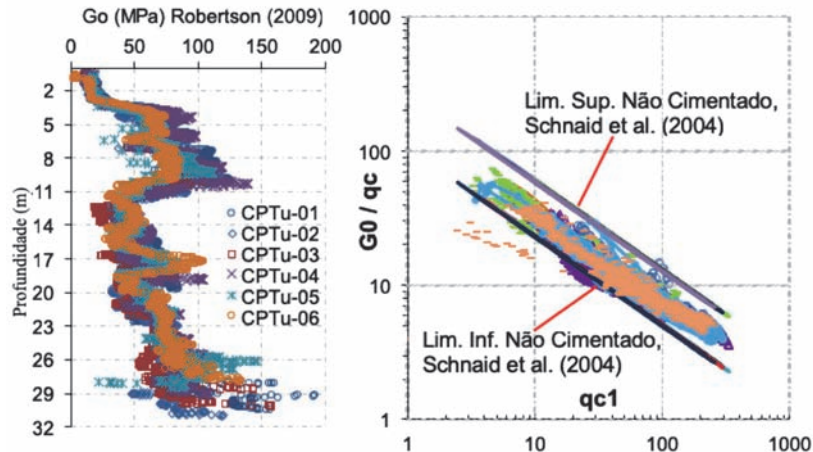


Fig. 8 - Módulo de cisalhamento máximo (G_0) e limites de solos não cimentados, não envelhecidos.

Percebe-se também que uma grande porcentagem dos dados estimados do módulo cisalhante se encaixam satisfatoriamente nos limites estabelecidos na proposta de Schnaid et al. (2004), apoiando o resultado da classificação do solo mostrada previamente, a qual considera o solo da área estudada como recém-depositado, sem envelhecimento nem cimentação. Observa-se que uma pequena porcentagem dos dados fica abaixo do limite inferior de solos arenosos não cimentados, fato que provavelmente se deva a solos localizados perto da superfície, portanto, se tratando de deposições mais recentes.

7 – INTERPRETAÇÃO DO ENSAIO SPT

Considerou-se o número de golpes correspondentes a 76% de eficiência – N_{76} . Uma vez que não se dispõe de medições de energia nas sondagens, os valores de N_{SPT} foram corrigidos multiplicando-se por um fator igual a 1,20, definido a partir dos dados de Décourt (1989). Com base em procedimento adotado por Politano et al. (2001), também foi introduzida uma correção referente ao comprimento das hastes, utilizando-se os coeficientes propostos por Skempton (1986). O número de golpes é multiplicado por fatores que variam de 0,75 a 1,00, dependendo da profundidade da sondagem.

Segundo o resultado do ensaio (Figura 9), o perfil pode ser descrito como um depósito tipicamente arenoso apresentado uma camada de solo coesivo entre 20 m e 22 m de profundidade, sendo evidenciada no ensaio de umidade natural com valores em torno de 80%. A sondagem foi executada até 32 m de profundidade, onde se encontrou uma camada de areia grossa com pedregulhos, da qual não houve recuperação. O nível freático foi encontrado a 1,75 m da superfície do terreno.

O número de golpes até 4 m manteve-se pela unidade, variando em torno dos 10 golpes até 28 m de profundidade. Após 22 m de profundidade, o número de golpes do SPT é da ordem de 10, alcançando o rechaço e o término do ensaio com 40 golpes a 32 m de profundidade. O número de golpes foi corrigido quanto à energia de cravação e ao nível geostático de tensões in situ.

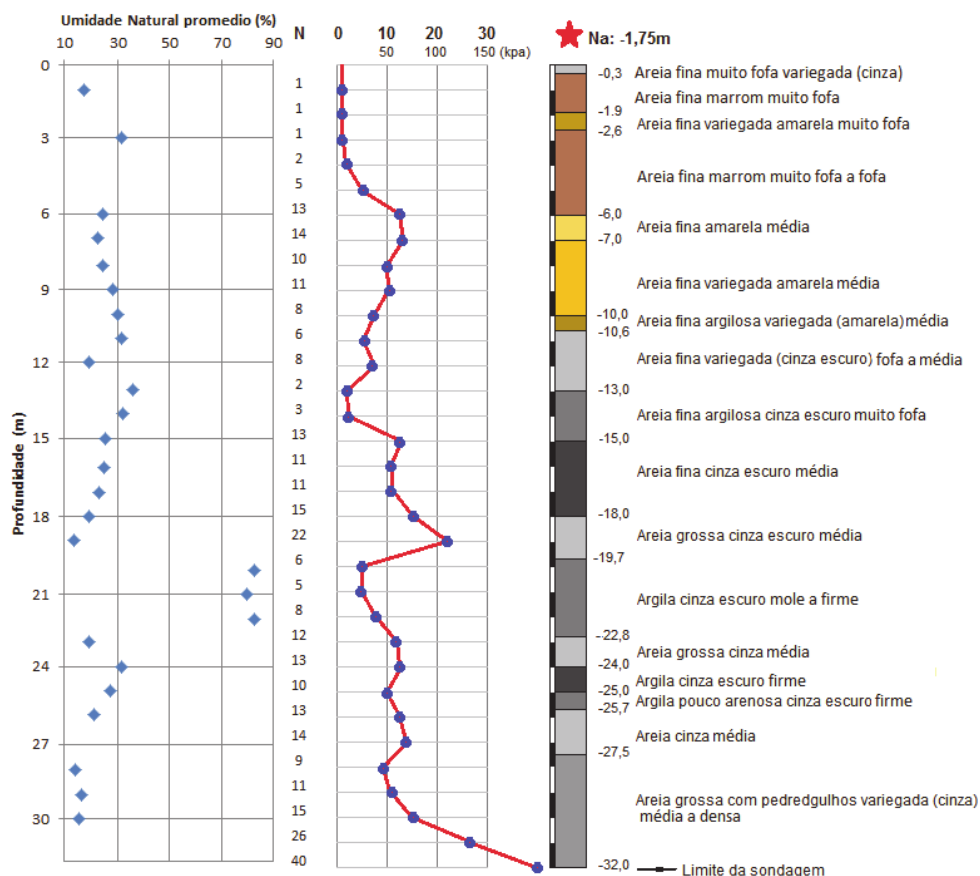


Fig. 9- Ensaio de SPT (Área 1)

8 – INTERPRETAÇÃO DO ENSAIO DE sDMT

Também na fase preliminar foi executado um ensaio sísmico dilatométrico. Os resultados do ensaio são mostrados na Figura 10. O gráfico de I_D vs Profundidade mostra a classificação dos solos atravessados, diferenciados pelos limites estabelecidos por Marchetti (1980). Os resultados do perfil evidenciam que o Índice de Material (I_D) coincide com a classificação dada nos ensaios de CPTu e SPT, identificando solos arenosos a areno-siltosos com duas intercalações principais de material coesivo, com 3 m e 1 m de espessura respectivamente.

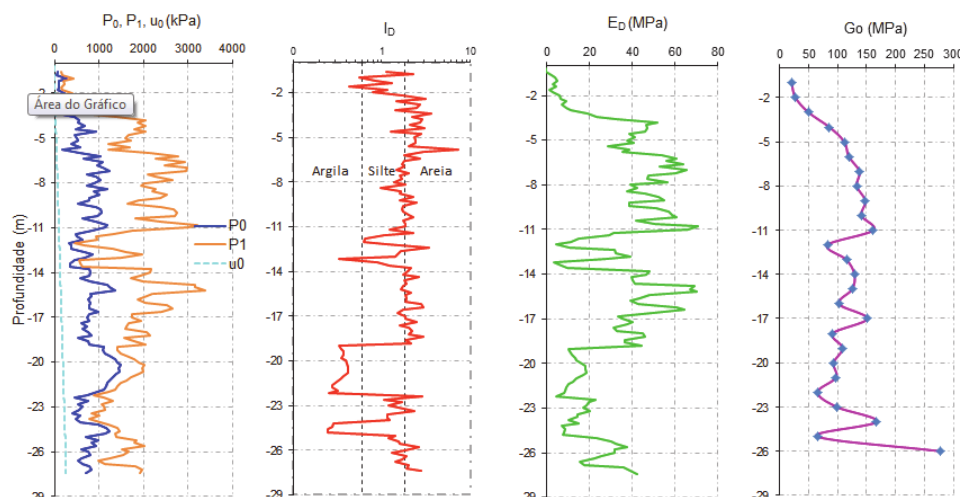


Fig. 10- Ensaios de DMT-01 (Área 1)

Um ensaio de reconhecimento de CPTu foi executado muito próximo à sondagem de DMT. Correlacionou-se resistência de cisalhamento máximo (G_0) calculada no ensaio de DMT com a resistência de ponta do ensaio de piezocone. A ideia foi usar a metodologia de Schnaid et al. (2004) para identificar possíveis efeitos de cimentação, sob adensamento ou envelhecimento. O resultado é mostrado na Figura 11.

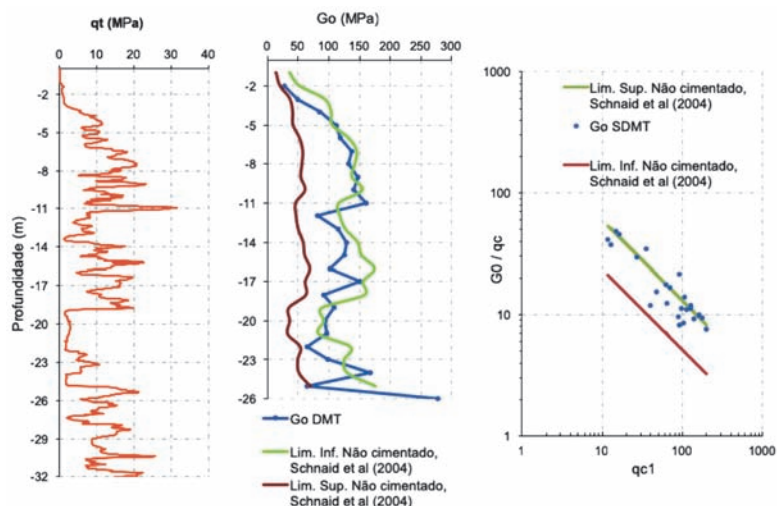


Fig. 11- Cimentação do solo (Área 1)

Observa-se que quase todos os dados se enquadram entre os limites estabelecidos para solos sem envelhecimento e não cimentados, coincidindo, em geral com valores das estimativas de Robertson (2009) para o módulo cisalhante mostrados na Figura 8. Um dos pontos que ficaram fora do limite coincide com um valor de pico de resistência de ponta (q_t) localizado a 11 m de profundidade. Outros três pontos são localizados na camada de argila entre 19 e 22 m de profundidade. Em geral, baseados nos resultados analisados pode-se concluir que o solo é normalmente adensado a ligeiramente pré-adensado, sem cimentação. Este resultado concorda com a estimativa da classificação dos solos, assim como com a descrição geológica das características da área de estudo, referenciado por diversos autores como Suguio et al. (1986); Horn Filho (1997); Bigarella (1961); Chodur (1997); Caruso (1987), os quais sugerem ser uma área de solos depositados há 120 000 anos no período do Pleistoceno superior.

9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões deste trabalho são mostradas a seguir:

Grande parte dos solos que conformam a área estudada é de origem sedimentar, depositados na plataforma continental, provenientes do complexo granulítico de Santa Catarina e trazidos durante o penúltimo período de transgressão, ocorrido há 120 000 anos, sendo classificados como da idade do Pleistoceno superior a Pleistoceno médio.

Os materiais identificados no perfil da área estudada, ordenados de maior a menor presença no depósito, foram interpretados como: solos arenosos; areno-siltosos; silto-arenosos; silto-argilosos; argilo-siltosos; areia com pedregulho e em menor presença, solos argilosos.

O perfil médio da área foi determinado a partir de ensaios de CPTu, SPT e sDMT. Estes ensaios fornecem resultados semelhantes em variação de resistência com a profundidade. Entretanto, o ensaio de CPTu fornece informações mais detalhadas das variações de resistência e da transição de propriedades do perfil.

Baseado nos estudos geológicos consultados na área de influência, e nos resultados dos ensaios de campo e laboratório analisados nesta pesquisa, pode-se inferir que o depósito da área de estudo é composto de material normalmente adensado.

O solo que compõe o depósito estudado apresenta porcentagens variáveis de material silto. Porém, estes solos têm rápida dissipação da poropressão, sendo possível, na maior parte do perfil, estimar parâmetros que o caracterizam mediante, correlações típicas de solos arenosos.

10 – REFERÊNCIAS

- Bigarella, J.; Marques F. (1961). *Ocorrência de pedimentos nas fraldas da serra do Iquerim (garuva, sc) curitiba*. pp. 82-93.
- Bigarella, J. (1965). *Subsídios para o estudo das variações do nível oceânico no Quaternário Brasileiro*. Anais da Academia Brasileira de Ciências.
- Branner, J.C. (1904). *The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations*. Bulletin of Museum of Comparative Zoology, 44: geological series 7.
- Caruso, F.G. JR. (1987). *Geologia do cenozóico do Estado de Santa Catarina*. In: Silva, L.C.; Bortoluzzi, G.A. Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina.
- Chodur, N. (1997). *Mineralogia e geologia dos depósitos de rubi e safira da região de Barra Velha, Santa Catarina*. Tese de doutoramento programa de pós-graduação em mineralogia e petrologia; Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. p.30-33.
- Decourt, L. (1989). *The standard penetration test. State-of-the-art report*. Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng., Rio de Janeiro, 4, AA Balkema Publishers, The Netherlands.

- Freitas, R.O. (1951). *Ensaio sobre a tectônica moderna do Brasil*. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, série Geologia, 130: 120p.
- Google maps; <https://maps.google.com.br>
- Horn Filho, N.O. (1997). *O quaternário costeiro da ilha de São Francisco do Sul e arredores, nordeste do estado de Santa Catarina - aspectos geológicos, evolutivos e ambientais*. Tese de doutorado, Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 283p.
- Horn Filho, N.O. (2003). *Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos*. Geosul, Florianópolis, v.18, n.35, p. 71-98.
- Kulhawy, F.H.; Mayne, P.H. (1990). *Manual on estimating soil properties for foundation design*, Report EL-6800 Electric Power Research Institute, EPRI.
- Marchetti, S. (1980). *In situ tests by flat dilatometer*. Journal of the Geotechn. Engineering Division, ASCE, vol. 106, no. GT3, proc. paper 15290, p. 299-321.
- Politano, C.F.; Danziger, F.A.B.; Danziger, B.R. (2001). *Correlações entre os resultados de CPT e SPT em solos residuais*. Solos e Rochas, Vol. 24, n.1, p. 55-71.
- Possamai T.; Voos V. C.; De Oliveira F.; Horn Filho N. (2010). *Geologia costeira da ilha de São Francisco do Sul, Santa Catarina*. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2.
- Robertson, P. K. (1990). *Soil classification using cone the penetration test*. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 27, No.1. p.151-158.
- Robertson, P. K. (2009). *Interpretation of cone penetration tests — a unified approach*. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 46, No.11. p.1337-1355.
- Rocha, G.J. (1989). *Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina – Brasil*. GEOSUL, nº8 - Ano IV.
- Rodriguez, B. J. L. (2014). *Caracterização geotécnica do campo experimental da UFRGS em areia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Schnaid, F.; Lehane, B.M.; Fahey, M. (2004). *In situ test characterisation of unusual geomaterials*. Proc. 2nd Int. Conf. on Site Charact., Milpress, Porto, 1:49–74.
- Schnaid, F. (2009). *In Situ Testing in Geomechanics, the main tests*. Taylor & Francis; London and New York.
- Skempton, A. W. (1986). *Standard Penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation*. Géotechnique, pp.425-447.
- Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt A.C.; Domingues J.M.; Flexor J.M.; Azevedo A.E.G. (1985). *Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira*. Revista Brasileira de Geociências.
- Suguio, K.; Martin, L.; Flexor J.M.; Azevedo A.E.G. (1986). *The Quaternary sedimentary deposits in the States of Paraná and Santa Catarina coastal plains*. 064 GEOQUA.
- Suguio, K. (2009). *Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas*. Revista do Instituto de Geociências – USP.

Zular, A. (2011). *Sedimentologia e cronologia por luminescência da ilha de São Francisco do Sul (sc): considerações sobre a evolução holocênica de barreiras arenosas da costa sul e sudeste do Brasil*. Dissertação de mestrado; Universidade de São Paulo; Instituto de Geociências.