

APPLICATION OF SEISMIC DILATOMETER FOR CEMENTATION ANALYSIS IN RESIDUAL GNEISS SOIL

Fábio Krueger da Silva¹

Fernanda Simoni Schuch²

Resumo: Os solos residuais têm propriedades e comportamento distintos de solos sedimentares. Aspectos relacionados aos processos de origem e formação impactam diretamente nestas particularidades geotécnicas. Um das propriedades características deste material é a cimentação. A cimentação é uma resistência adicional que ocorre no esqueleto sólido decorrente das ações do intemperismo sobre estes materiais. Num perfil de solo residual ocorrem diferentes níveis de cimentação entre os grãos, estas diferenças são decorrentes dos diferentes tipos de rocha matriz, mecanismos de decomposição envolvidos no processo e ações antrópicas. Este artigo avaliou a mudanças do grau de cimentação em horizontes de solo residual com aplicação do Dilatômetro de Marchetti Sísmico (SDMT). Realizou-se a pesquisa num solo residual de gnaiss do Estado de Santa Catarina. A avaliação do grau de cimentação foi baseada nas relações obtidas com o Go (módulo cisalhante à pequenas deformações) e outros índices

1 Engenheiro, Doutor em Infraestrutura Viária, Professor do Departamento Acadêmico da Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil,

2 Engenheira Doutora em Cadastro Técnico Multifunaltário e Gestão Territorial, Professora do Departamento Acadêmico da Construção Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil



geotécnicos de campo. Os resultados mostram que, a interpretação das correlações a partir dos resultados obtidos pelos ensaios SPT (Ensaio de Penetração Padronizado), CPT (Ensaio de Penetração de Cone) e SDMT, permitem identificar limites de camadas com distintos graus de cimentação em solos residuais de gnaiss. No presente trabalho foram identificados os limites entre as camadas saprolíticas e as lateríticas e, por fim, concluindo-se que o solo residual estudado apresenta um baixo de nível de cimentação entre as partículas.

Palavras-chave: Cimentação, Solos residuais, Ensaio SDMT.

Abstract: Residual soils have different properties and behavior from sedimentary soils. Aspects related to the processes of origin and formation directly impact

these geotechnical particularities. One of the characteristic properties of this material is cementation. Cementation is an additional resistance that occurs in the soil skeleton due to weathering actions on these materials. In a residual soil profile, different cementation levels occur between particles, these differences are due to different types of matrix rock, decomposition mechanisms involved in the process and anthropic actions. This article evaluated changes in the cementation tax in a residual soil using the Marchetti Seismic Dilatometer (SDMT). The research was carried out in a residual gneiss soil in Santa Catarina's State. The evaluation of the cementation tax was based on the relationships obtained with the Go (shear modulus with small strain) and other field geotechnical index. The results show that the



interpretation of the correlations from the results obtained with SPT (Standardized Penetration Test), CPT (Cone Penetration Test) and SDMT tests, allow the identification of layer boundaries with different taxes of cementation in the residual gneiss soil. In the present work, the limits between the saprolitic and the lateritic layers were identified and, it was concluded that, the studied residual soil presents a low level of cementation between its particles.

Keywords: Cementation, Residual Soil, SDMT test

Introdução

Os ensaios de campo são essenciais nas classificações, definições das camadas do solo, determinação de nível de água, estimativa de proprie-

dades geotécnicas no estado natural do solo e, em alguns casos, coleta de material para análise. Estes ensaios garantem a rapidez na execução e determinação dos resultados, alto potencial de repetibilidade e avaliação de uma grande área com baixo custo.

Devido às particularidades que envolvem a macro e microestrutura de solos residuais e às limitações dos tradicionais métodos de estimativa, a partir de ensaios de campo, buscou-se nesta pesquisa verificar a ocorrência de cimentações através de correlações obtidas em investigação geofísica com o ensaio SDMT (Dilatômetro de Marchetti Sísmico).

Os métodos geofísicos tem conquistado espaço na geotecnia para explorações de caráter subsuperficial. Os testes são geralmente de caráter não destrutivos e podem ser re-



alizados a partir da superfície do terreno. Particularmente, nesta pesquisa trata-se sobre o ensaio sísmico adaptado aos ensaios de campo convencionais. A tendência atual de desenvolvimento de novos equipamentos está na direção de se combinar diferentes técnicas, como o ensaio do cone, aliando a robustez do equipamento a medidas adicionais provenientes de outros ensaios. Por exemplo, o SCPTU (Piezocone Sísmico) que fornece as variáveis usuais obtidas no CPT, contudo, adiciona informações importantes sobre a pressão neutra e o módulo sísmico do solo num mesmo equipamento. Aos poucos estas técnicas vêm ganhando espaço no Brasil para aplicações em engenharia civil e geotecnia ambiental (Schnaid, 2000).

Revisão da Literatura

Solos residuais

Dependendo do grau de alteração sofrido, alguns solos não apresentam nenhum resquício da rocha de origem, enquanto outros são fortemente influenciados pelas estruturas reliquias da rocha mãe. Tais estruturas reliquias deixam marcas nos solos originados através de ligações por cimentação ou ligações já rompidas. Ou ainda, marcas de fissuras e falhas que já ocorriam na rocha de origem (Mayne & Brown, 2003).

Nas camadas que formam um perfil intemperizado pode-se encontrar desde rocha sã, rocha alterada, solo de alteração (solo residual jovem ou saprolítico) a uma camada tão alterada que já não reproduz características da rocha de origem (solo residual maduro ou laterítico). Normalmente, no topo do perfil



deve existir uma camada de solo transportado (por exemplo, colúvio) que pode dificultar a identificação do verdadeiro solo residual. É usual estratificar o perfil intemperizado de um solo residual por horizontes. O horizonte I, localizado na superfície do solo, é caracterizado pela incidência de um solo transportado ou orgânico. O horizonte II é a camada conhecida por solo laterítico. Sua formação ocorre em locais de clima quente e úmido sendo caracterizado por possuírem alta permeabilidade e, normalmente apresentarem uma estrutura bem forte devido às ligações existentes provocadas pelo processo de laterização. O processo de laterização se refere à lixiviação de minerais e, subsequente incremento de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que por meio da oxidação, acabam por enrijecer a estrutura do solo. (Viana da Fon-

seca et al. 2006).

O horizonte III (solo saprolítico) pode apresentar um alto nível de heterogeneidade tanto na vertical como na horizontal, bem como um complexo arranjo estrutural no qual retêm informações da rocha de origem. A textura e a mineralogia podem variar muito nesta camada devido ao grau de alteração e lixiviação sofrido pelo solo. O horizonte IV é chamado de saprólito uma camada de transição entre o solo e a rocha. O horizonte V é uma camada de rocha altamente intemperizada. Em regiões tropicais a ação do intemperismo frequentemente pode deixar estes dois últimos horizontes muito delgados ou até mesmo inexistentes. Neste local a transição entre o solo saprolítico e a rocha alterada ocorre em poucos centímetros (Viana da Fonseca et al. 2006).



Cimentação em solos residuais

Atualmente, este termo tem sido associado ao que é possível observar nos solos ao olho nu, por exemplo, planos de fraqueza, dobras, descontinuidades e vazios. Estes aspectos geotécnicos ficam mais bem adaptados utilizando-se o termo macroestrutura. Os estudos mais recentes ficam concentrados em compreender a maneira como as partículas do solo se encaixam, ou melhor, como é o arranjo estrutural entre os grãos do solo (Mitchell, 1993; Leroueil & Vaughan, 1990 e Maccarini, 1987).

Este arranjo estrutural é que forma o esqueleto sólido do solo. Em alguns tipos de solos, este arranjo conta ainda com uma parcela de ligação entre as partículas formando solos altamente estruturados. Para este tipo de estrutura que não é possível ob-

servar a olho nu dá-se o nome de microestrutura (Wesley, 2010).

A microestrutura dos solos residuais tem forte influência no seu comportamento mecânico, da mesma forma que o índice de vazios inicial e a história de tensões refletem nas propriedades dos solos sedimentares. A microestrutura do solo residual tem uma componente extra de resistência chamada de cimentação. Ela pode ser entendida como uma contribuição adicional na união que ocorre nos contatos grão a grão. É oriunda da época que o material original era uma rocha sã. Esta contribuição de resistência nos solos residuais é anisotrópica, com diferentes graus de cimentação ao longo do perfil e, também nas camadas horizontais, sendo resultados de processos físicos, químicos e biológicos que o solo sofre durante sua formação (Viana da Fonseca



et al. 2006).

Dessa forma, entende-se que os graus de cimentação são diferentes em horizontes lateríticos e saprolíticos de um solo residual. A identificação e quantificação de ligações cimentadas fracas ou fortes são importantes no entendimento do comportamento mecânico do material. A cimentação afeta muito a relação tensão x deformação. Porém, a determinação laboratorial desta parcela natural de resistência não é tarefa fácil porque nas amostras convencionais, uma parte da cimentação pode ser destruída pelo simples desconfinamento da amostra, e/ou ainda, na preparação dos corpos de prova e dos níveis de tensões aplicadas nos ensaios. A estimativa através de ensaios de campo convencionais também tem uma componente de dificuldade devido a desestruturação provocada pela cravação

das sondas nos solos residuais.

Assim, esta pesquisa identifica zonas com diferentes níveis de cimentação, através de ensaios sísmicos (Krueger, 2015).

Ensaio Dilatômetro de Marchetti Sísmico - SDMT

No caso do Dilatômetro sísmico (SDMT) foram instalados geofones e/ou acelerômetros, na haste anterior a lâmina, que permitem as medidas de leituras de velocidade de ondas de compressão (V_p) e de ondas de cisalhamento (V_s). Este ensaio é similar ao downhole onde é analisado fisicamente o tempo gasto para determinado tipo de onda percorrer certa distância no interior da massa de solo.

O ensaio SDMT é executado com similaridade ao já consagrado ensaio DMT (Dilatômetro de Marchetti), só que



em determinadas profundidades o ensaio é paralisado para se registrar as velocidades de propagação da onda sísmica. Este registro é feito com a instalação de dois sensores sísmicos que cap-

tam as ondas produzidas por um golpe mecânico de martelo gerado na superfície. Detalhes desse equipamento podem ser vistos na figura 1.

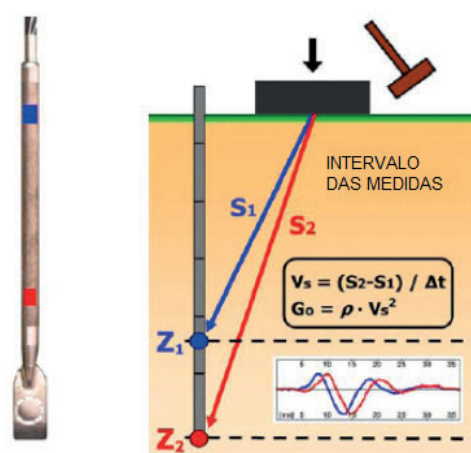


Figura 1 - Ilustração esquemática de funcionamento do SDMT.

Fonte: Adaptado de Foti et al. (2006).

Estes sensores normalmente são instalados com a distância entre si de um metro possibilitando determinar a diferença de tempo entre a emissão da onda e a respectiva captação de cada sensor. A diferença no intervalo de tempo é utilizada para determinação do módulo cisalhante

às pequenas deformações do solo (G_0). O ensaio SDMT é utilizado para fundamentar os conceitos teóricos de avaliação de cimentação propostos adiante. Estes conceitos incluem basicamente relações entre os parâmetros intermediários obtidos pelo ensaio SDMT e o módulo cisalhante à

pequenas deformações (Go).

Metodo da pesquisa

Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada em solos residuais originados do Complexo Águas Mornas do município de Santo Amaro da Imperatriz/SC. Maiores informações dos dados geológicos e pedológicos do local podem ser vistos em

Krueger (2015). O talude objeto da pesquisa é localizado na Rua Mansur Elias ao lado de um colégio. O local encontra-se a aproximadamente 60 m acima no nível do mar e o corte/talude tinha aproximadamente 22 m de altura com existência de 3 patamares executados como retaludamento (Figura 2)



Figura 2 – Foto do talude

Ensaios de Campo

A pesquisa contemplou um procedimento de investiga-

ção com ensaios de campo agrupados. Neste caso, foram conduzidos 2 grupos com 3 tipos de ensaios geotécnicos de campo



(SPT, CPT e SDMT), em dois locais da área de pesquisa. O conhecido ensaio SPT permite obter o número de golpes (NSPT), o ensaio CPT registra a resistência de ponta (q_c) e o atrito lateral (f_s). Os parâmetros intermediários obtidos pelo SDMT serão descritos a seguir. Estes ensaios foram conduzidos, respectivamente, conforme a NBR 6484, NBR 12069 e ASTM 6635.

Estes grupos foram alinhados de maneira a tornar a definição do perfil estratigráfico a mais fiel possível. Nesta metodologia as verticais são espaçadas de 1 metro em si o que permite

uma comparação dos dados medidos ao longo da profundidade. No grupo 01 os ensaios atingiram uma profundidade de 12 metros, já no grupo 04, a cota de paralisação foi em 4 metros. Neste grupo, houve aumento rápido da resistência a penetração indicando um mataco ou a provável rocha matriz. Nesta situação a paralisação tem objetivo de preservar a integridade das ponteiros dos ensaios de campo. A locação dos grupos de ensaios de campo (furos) nos 01 e 04 pode ser visualizada em destaques na Figura 3.

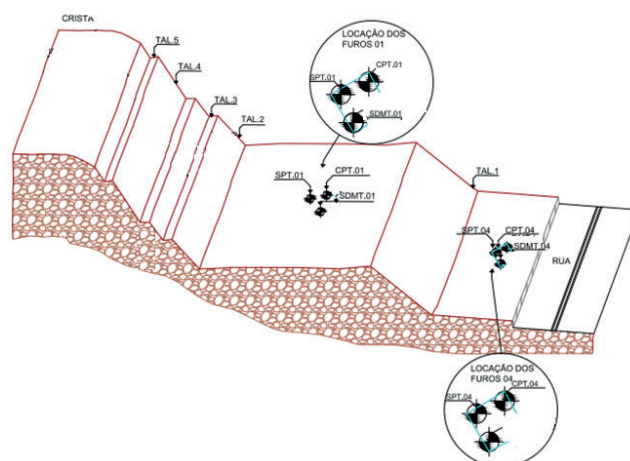


Figura 3 – Foto do talude e localização dos grupos de ensaios de campo.

Fonte: Krueger (2015).

Condução dos ensaios de campo SDMT

O ensaio SDMT utilizou o mesmo conjunto de hastes e equipamento de cravação do ensaio CPT. O ensaio foi realizado de acordo com norma americana ASTM 86 – “Método de ensaio padronizado para execução do DMT”. A membrana utilizada possui 0,25mm de espessura e a calibração foi determinada de acordo com os critérios especificados por Marchetti (2001) com os respectivos acessórios de calibração que compõe o kit do ensaio. A pressão necessária para funcionamento do ensaio foi aplicada com a utilização de cilindro de ar comprimido. Durante o ensaio registrou-se as pressões po

e pl (sem sistema automatizado de registro) que após processamento pelo software SDMTElab determinaram os parâmetros intermediários e, posteriormente, as propriedades geotécnicas ao longo da profundidade, em intervalos de 20cm. O ensaio SDMT confirmou a classificação do solo obtido pelos ensaios de campo SPT e CPT.

Como citado anteriormente, o ensaio sísmico SDMT possui dois acelerômetros nas hastes que permitem o registro da velocidade de onda gerada por um golpe de um martelo contra uma placa instalada na superfície do terreno. Nesta pesquisa o registro da velocidade de onda foi obtido a cada 60 cm. Devido a dificuldade de acesso dos



equipamentos a outros pontos do talude, os ensaios SDMT foram conduzidos na região dos agrupamentos de furos nº 01 e nº 04. Detalhes da execução do ensaio sísmico podem ser vistos nas fotos nas Figuras 4a e 4b.

O nível de cimentação entre as partículas pode ser verificado através da análise da passagem de ondas sísmicas (Santamarina, 2001). A velocidade de onda sísmica é influenciada pelo tipo de contato existente entre as partículas do solo. Em solos fortemente cimentados tende a apresentar valores maiores do que em solos com baixo grau de cimentação.

Desta forma, a avaliação da variação de G_0 ao longo da profundidade permite acessar informações sobre a estrutura do solo. A utilização deste módulo normalizado em relação a resistência e deformabilidade

tem sido bastante utilizada para definição de camadas dos solos, principalmente para definir os limites de solos cimentados, pouco cimentados e não cimentados. Para isso serão interpretados os valores da relação obtidas na divisão do módulo G_0 normalizado pelos índices NSPT, q_c e ED, fazendo-se assim a correlação com os ensaios SPT, CPT e MDT respectivamente. Este tipo de interpretação tem sido feita por diversos autores como: Schnaid et al (2004), Viana da Fonseca et al. (2006), Giacheti et al (2006) e Cruz (2010).





(a)



(b)

Figura 4 – Ensaio SDMT – (a) Preparação das hastes; (b) Golpe do martelo.

Fonte: Krueger (2015).

Resultados obtidos

Os ensaios SMDT conduzidos no local da pesquisa auxiliaram na classificação e confirmação do perfil de solo estimado pelo CPT e SPT. O perfil estratigráfico via SDMT é obtido

a partir do processamento das pressões p_0 e p_1 e, posterior determinação do índice de material (ID). A classificação do solo obtida pelo SDMT confirma que o material tem comportamento de silte arenoso à areia siltosa, mes-

ma classificação geotécnica obtida pelos ensaios SPT e CPT. O perfil de solo estudado pode ser visto na Figura 5.

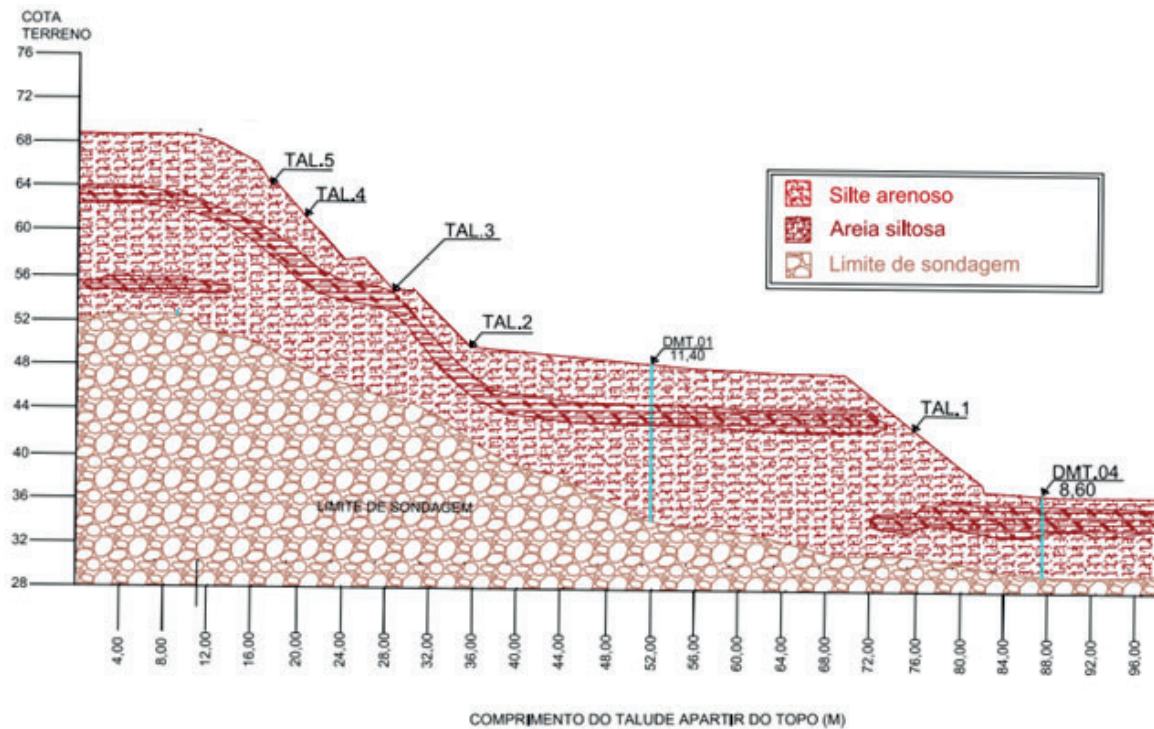


Figura 5 – Perfil estratigráfico obtido pelo SDMT

Fonte: Krueger (2015).

Nas figuras 6 e 7, a seguir, apresentam-se o perfil obtido pelo ensaio SPT (à título de comparação) e os respectivos registros do N , os valores de q_c , os resultados das pressões corrigidas (p_0 e p_1), o índice de material (ID), índice de tensão

horizontal (KD) e o módulo dilatométrico (ED), para os dois grupos de ensaios de campo. Nota-se que os valores de ID confirmam a classificação do material com comportamento silto-arenoso. Os valores de KD são usuais apresentando altos valores na superfi-

cie com tendência à diminuição e estabilização ao longo da profundidade. Já os valores de ED aumentaram com a profundidade, ou seja, quanto mais próximo da rocha matriz, maior foi o valor do módulo dilatométrico.

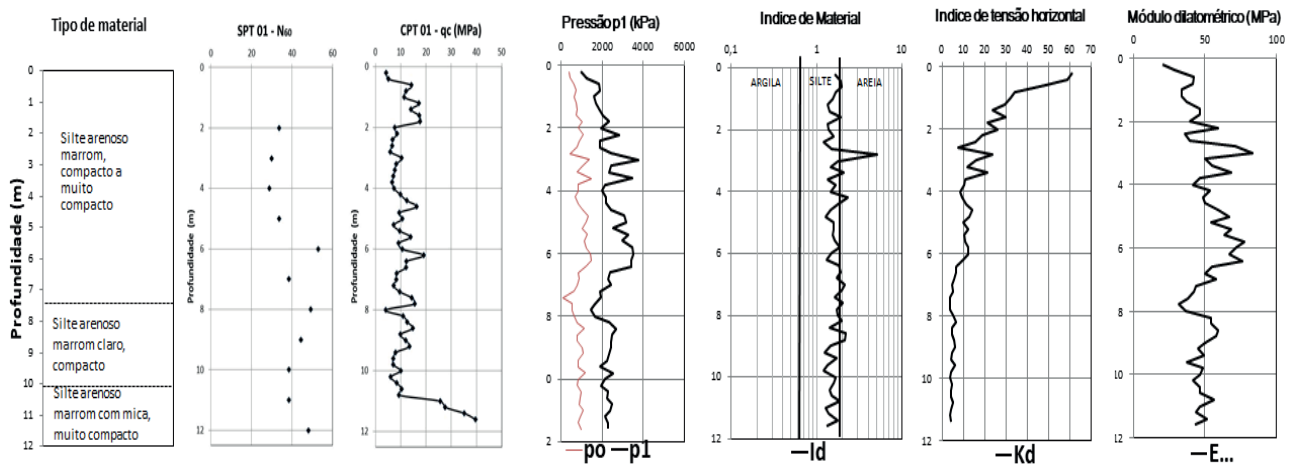


Figura 6 – Resultados do ensaio SDMT-01

Fonte: Autores.

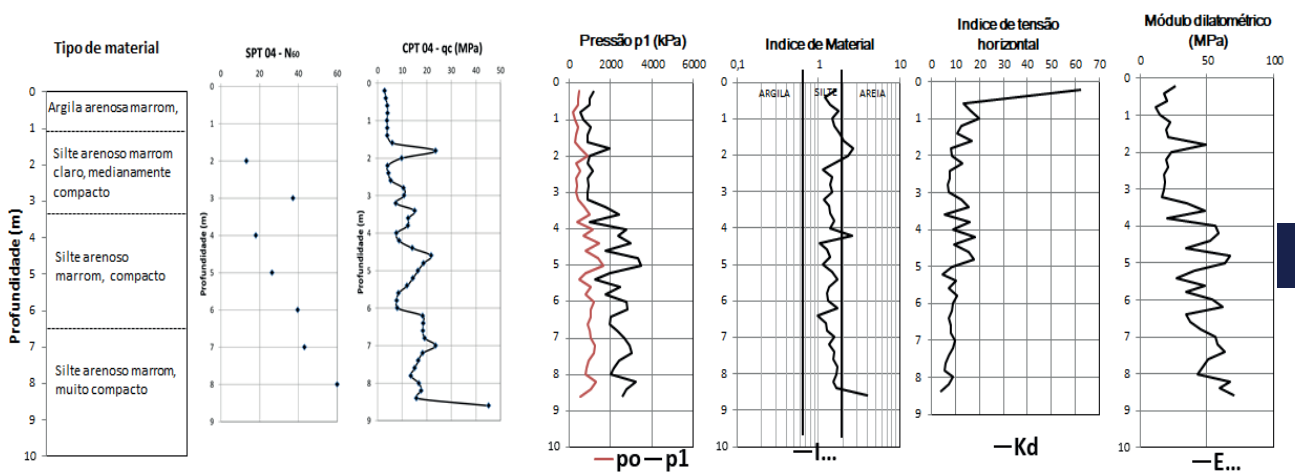


Figura 7 – Resultados do ensaio SDMT-04

Fonte: Autores.



Os resultados da velocidade de onda e módulo cisalhante

te podem ser visto a seguir na Figura 8.

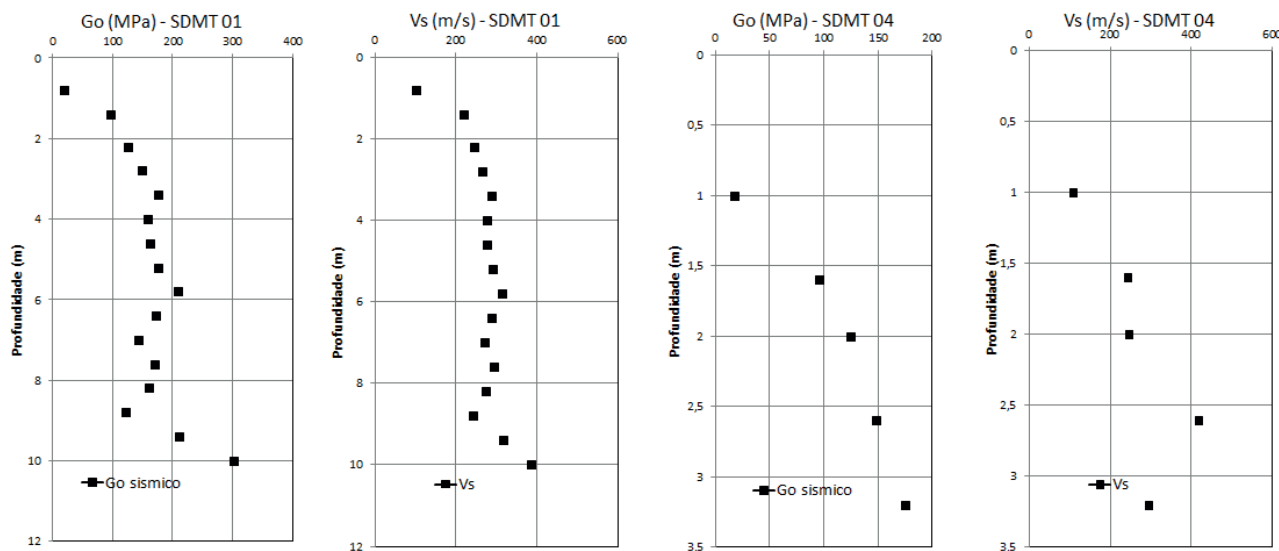


Figura 8 – Resultados de V_s e G_o nos SDMT-01 e SDMT-04.

Fonte: Autores.

Os ensaios do tipo SDMT foram especialmente importantes para a determinação das velocidades da onda sísmicas e do módulo cisalhante para pequenas deformações do solo (G_o), ao longo da profundidade. A localização dos ensaios sísmicos realizados nos grupos 01 e 04 podem ser vistos nas Figuras 3 e 5.

Na Figura 8, percebe-

-se que ocorre uma tendência de aumento da velocidade de onda com o aumento da profundidade do ensaio. Num perfil de solo residual à medida que se atinge camadas mais profundas são previsíveis que os níveis de cimentação aumentem por se tratar de materiais menos alterados. Ou seja, a estrutura e a ligação intergranular estão mais preservadas e isto contribui para o



aumento das propagações e das velocidades de ondas sísmicas. Nota-se que no furo SDMT-01, as velocidade de ondas (V_s) atingem valores aproximados de 210 m/s na cota dos 6,0 metros, após tem uma leve queda no provável perfil saprolito tendendo a atingir valores máximos de 300m/s na proximidade da rocha matriz. No furo SDMT-04, observa-se o mesmo comportamento, com aumento de VS com a profundidade e valores máximos (em torno de 400m/s) antes da paralisação. Cabe salientar que a análise do grupo 04 ficou comprometida pela pouca profundidade atingida pelo SDMT-04. O mesmo atingiu um material resistente ou matacão durante sua cravação e teve que ser interrompido aos 4 metros.

Interpretando os resultados da Figura 8, nota-se que os valores de módulo G_0 au-

mentam com a profundidade. No furo SDMT-04 os valores de G_0 na profundidade aproximada de 3,0 metros é igual a 175MPa. Confrontando-se que os registros realizados no SDMT-01 identifica-se um valor muito próximo de G_0 na mesma profundidade.

Devido a uma maior profundidade atingida no ensaio SDMT-01 pode-se fazer uma análise mais completa do comportamento de G_0 versus profundidade. Fica evidente que nas camadas superficiais ocorre um aumento de G_0 ao longo da profundidade, até o valor de 180MPa. A partir desta profundidade, existe uma tendência de estabilização e eventual queda (até 120MPa) nos valores de G_0 . Nas proximidades da paralisação (rocha matriz) observa-se um expressivo aumento dos valores do módulo sísmico, chegando a 300MPa.



Estes resultados corroboram com dados de outras pesquisas de campo que buscaram relacionar as propriedades de resistência e suas variações ao longo da profundidade. Os trabalhos de Robertson & Campanella (1983), Viana da Fonseca et al. (2006) e Krueger (2015) mostraram que o ângulo de atrito de solos residuais oscila com a profundidade. Os autores obtiveram valores de ângulo de atrito altos nas camadas superficiais, os quais vinham a ter redução no manto intemperizado e, tornavam a aumentar na proximidade da rocha mãe.

Analisando-se os dados obtidos, entende-se que a cimentação natural tem uma parcela de contribuição na resistência total ao cisalhamento dos materiais. E que o módulo sísmico reflete este comportamento pois, quanto maior o nível de cimentação

existe uma tendência de maiores valores de G_0 . Assim, relações entre módulo G_0 e outros índices têm se mostrado promissoras para avaliação de cimentações em solos. Compreendido que o módulo G_0 tem realação com a cimentação é necessário que novas pesquisas ampliem os espectros de valores tornando possível quantificar se a contribuição da cimentação nula, baixa ou alta, na resistencia ao cisalhamento.

Nesta pesquisa obteve um módulo sísmico máximo (G_{0Max}) de 300MPa e V_{sMax} de 400m/s, porém, apenas com estes registros fica difícil indicar o nível de resistência da ligação intergranular. Procurando ampliar o conhecimento buscou-se resultados de ensaios em solos residuais que permitam avaliar a cimentação nas partículas de solo.

Nas pesquisas de Krue-



ger (2015), no mesmo local, foram executados ensaios de compressão diametral em amostras cilíndricas submersas. O ensaio de compressão diametral fornece dados sobre a resistência à tração, consequentemente, permite avaliar a estrutura intergranular. Este pesquisador escavou um poço de inspeção exatamente na área central do grupo dos ensaios no 01, desta pesquisa. O poço atingiu a profundidade de 3,0 metros. Para o ensaio de compressão diametral foram coletadas amostras indeformadas, a cada metro de profundidade. Durante a preparação do ensaio diametral, as amostras à -1,0 e -2,0 metros de profundidade desagregaram durante a submersão, dando indícios do baixo nível de cimentação neste solo. Os resultados dos corpos de prova na profundidade de -3,0 metros indicaram que os valores de resistência a tração

variaram entre 1,92kPa e 6,15kPa (Krueger, 2015). Analisando os resultados do autor percebem-se baixos valores de resistência a tração indicando um baixo grau de cimentação nos solos residuais de gnaiss do local.

Realizando-se análise comparativa entre os dados sísmicos estimados em campo e resistência à tração determinada em laboratório podem-se obter algumas conclusões. Na figura 8, notam-se os valores menores de G_0 e V_s nas camadas mais superficiais do grupo 01. Concluindo-se assim que valores de G_0 inferiores a 150MPa e V_s menores que 250m/s tendem a indicar um baixo grau de cimentação das partículas de solos residuais de gnaiss.

No que refere a separação de horizontes com distintos níveis de cimentação empregou-se relações numéricas entre os



ensaios de campo. Os resultados das relações $Go/NSPT$, Go/q_c , Go/ED ao longo da profundidade para os grupos de ensaios 01 e 04 estão mostrados nas Figuras 9 e 10.

Como no ensaio SDMT os registros dos dados foi feito a cada 20 cm foi necessário realizar a média dos valores de NSPT,

q_c e ED no entorno da cota onde Go foi medido. O valor do NSPT utilizado nas análises refere-se ao valor de N_{60} . Este é o índice de penetração utilizado internacionalmente e refere-se a uma eficiência de 60%.

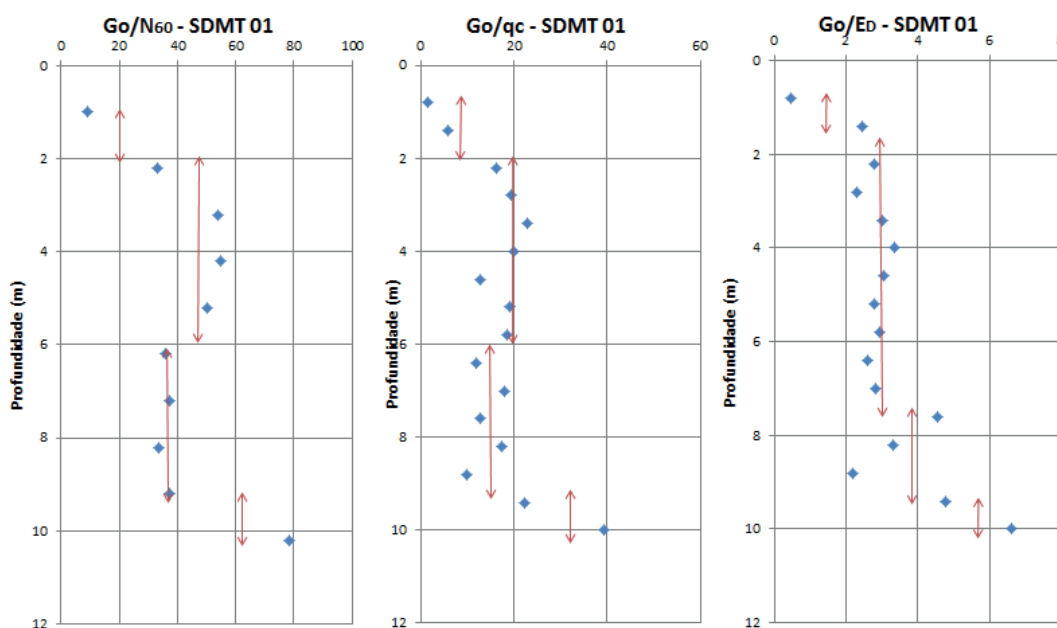


Figura 9 – Resultados dos ensaios de campo para identificação de cimentação no SDMT-01.

Fonte: Autores.



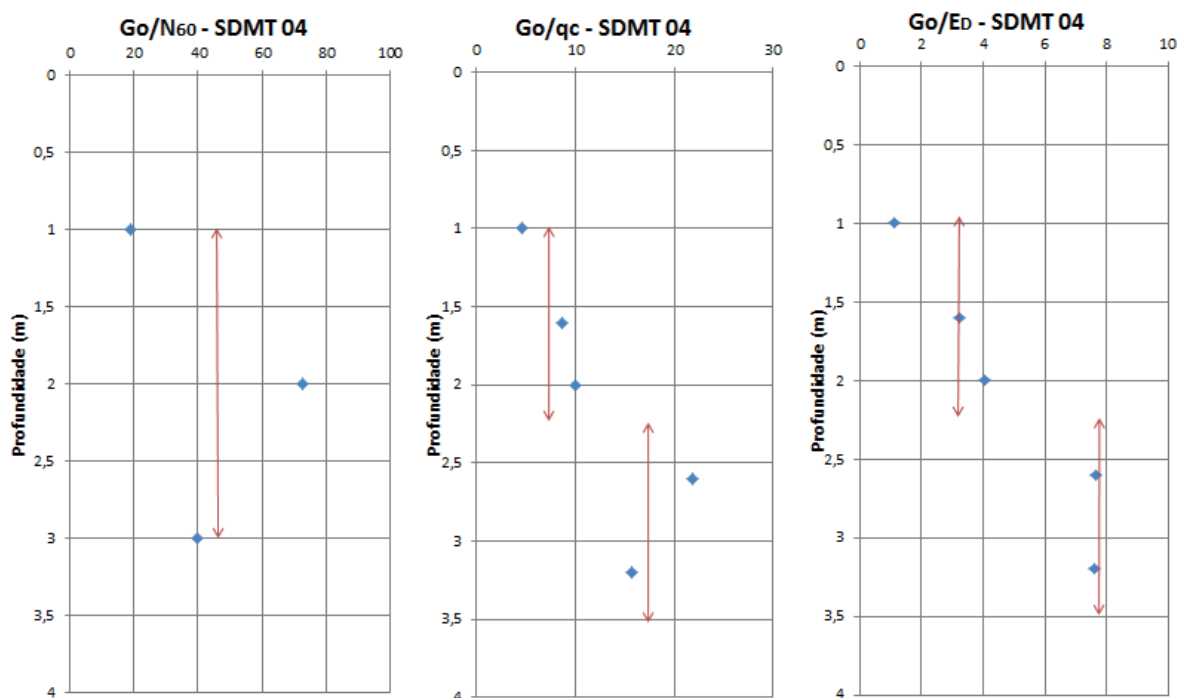


Figura 10 – Resultados dos ensaios de campo para identificação de cimentação no SDMT-04.

Fonte: Krueger (2015).

As relações entre o módulo Go e os índices de resistência NSPT e q_c permitiram, principalmente no grupo 01, definir camadas de solo com diferentes níveis de cimentação. Observando-se a Figura 9 (grupo 01), por exemplo, verifica-se que os valores médios das relações obtidas neste grupo (Go/N_{60} , Go/q_c , Go/E_d) evidenciam a existência

de uma camada superficial até os 2 metros. Posteriormente, as razões $Go/NSPT$ e Go/q_c tendem a aumentar até os 6 metros indicando uma maior grau de cimentação e, diminuirão quando as relações são aplicadas em solos menos cimentados. A partir desta profundidade houve aumento da relação $Go/NSPT$ e Go/q_c até atingir o impenetrável. Nesta

cota, para o grupo 01, o valor médio de Go/NSPT é 60 e de Go/qc igual a 30.

No grupo de ensaios 04 também parece existir a tendência da relação Go/NSPT e Go/qc apresentar menores valores, obtendo-se relação de Go/NSPT em torno de 40 e de Go/qc igual a 15, o que indica baixa cimentação.

Na avaliação da relação Go/ED para definição de horizontes lateríticos e saprolíticos, conforme trabalho de Giacheti (2006) e Schnaid (1998), esta relação apresentava valores maiores no horizonte laterítico e, decresciam conforme se aproximam do horizonte saprolítico, indicando um solo menos desenvolvido. Nos solos saprolíticos estudados por estes autores, quando bem próximo da rocha de origem, os valores de Go/ED eram inferiores a 10.

Nesta pesquisa, os gru-

pos 01 e 04 apresentam a relação Go/ED com valores médios de 3 nas camadas mais superficiais, tendendo a aumentar na proximidade do impenetrável, chegando a valores de Go/ED entre 5 e 8. O solo estudado é saprolítico, porque o horizonte laterítico foi escavada no retaludamento, assim não foi possível analisar a diminuição da relação Go/ED ao longo da profundidade. Porém, os valores médios da relação Go/ED ficaram em torno de 3 a 8, confirmando baixos valores, corroborando com os autores anteriormente citados.

Conclusões

De maneira análoga a outras pesquisas conduzidas em solos cimentados, a aplicação desta metodologia buscou definir limites para solos que possuem cimentações e limites onde estas



cimentações são muito baixas ou não existem. Além disso, indicou uma relação entre os módulos sísmicos e velocidade de ondas e o respectivo nível de cimentação intragranular.

Nesta pesquisa obteve um módulo sísmico máximo (GoMax) de 300MPa e VsMax de 400m/s. Numa análise comparativa, com ensaios de laboratório, que mostraram baixa cimentação no solo estudados os valores de Go foram inferiores a 150MPa e Vs menores que 250m/s.

Nas correlações entre os ensaios de campo realizados os valores médios encontrados para Go/NSPT ficam entre 40 e 60 e para Go/qc oscilam entre 15 e 30. Na relação Go/ED ao longo da profundidade, os valores médios da relação Go/ED ficaram em torno de 3 a 8, confirmando baixos valores de cimentação no solo estudado, corroborando com

os autores anteriormente citados.

Conclui-se que o índice ED do dilatômetro é mais sensível para verificação da presença de cimentação do que KD. Pelo fato do registro de p1 ser obtido num solo menos perturbado pela penetração da sonda, a estrutura natural se encontra mais preservada refletindo mais diretamente em ED do que em KD. No que se refere a avaliação da cimentação através de ensaios sísmicos foram encontrados resultados satisfatórios que permitiram avaliar o nível de cimentação presente do solo deste trabalho. Todas as relações entre Go com índices do SPT(N60) do CPT(qc) e do DMT(Ed) mostram-se como boas alternativas para análise da microestrutura em solos residuais.

Evidenciou-se nesta pesquisa que, mesmo no horizonte saprolítico pode existir um



baixo nível de cimentação em solos residuais de gnaiss. Contudo deve-se entender que embora os ensaios tenham sido locados próximos e conduzidos com o mesmo cuidado e técnica a grande heterogeneidade macro e micro estrutural produz uma dispersão dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas “NBR 12069 MB-3406: Solo - ensaio de penetração de cone in situ (CPT), CB-02”. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. “NBR 6484: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio, CB-02”. Rio de Janeiro, 2001.

ASTM D6635. American Society For Testing And Materials. “Standart Test Method for performing the flat plate dilatometer.” USA, 2015.

Cruz, N. “Modelling geomechanics of residual soils with DMT tests”. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto/Portugal, 2010.

Foti, S., Lancellotta, R., Marchetti, D., Monaco, P. And Totani, G. (2006). “Interpretation of SDMT Tests In a Transversely Isotropic Medium”. Proc. 2nd Intl. Conf. On The Flat Dilatometer, Wash. Dc: 275-280.

Giacheti, H.L., Peixoto, A.S., De Mio, G., Carvalho, D. (2006). “Flat Dilatometer Testing In Brazilian Tropical Soils”, Proceedings Second Flat Dilatometer Conference – Isc’ 06, P. 103-111.



Washington/Usa.

Krueger, F.S. (2015). “Caracterização Física e Mecânica de Solo Residual de Gnaisse por meio de Ensaio de Campo e Laboratório – Santo Amaro da Imperatriz/SC”. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação Em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Leroueil, S. & Vaughan, P.R. “The General and Congruent Effects of Structure in Natural Clays and Weak Rocks”. *Geotechnique*, v.40, n.3, pp.467-488. 1990.

Maccarini, M. “Laboratory Studies of Weakly Bonded Artificial Soil”. Thesis, University of London, 1987.

Mayne, P.W., Brown, D.A. (2003). “Site Characterization

of Piedmont Residuum of North America”. *Characterization And Engineering Properties of Natural Soils*, Vol. 2, Pp.1323–1339. Swets & Zeitlinger, Lisse.

Schnaid, F. (2000). “Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações”. *Oficina E Textos*. São Paulo.

Mitchell, J.K. “Fundamentals of Soil Behavior”. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1993.

Santamarina, J.C. 2001. “Soil Behavior at the Micro scale: Particle Forces.” *Proc. Symp. Soil Behavior and Soft Ground Construction, in honor of Charles C. Ladd* – October 2001, MIT.

Schnaid, F., Fahey, M., Lehane, B.(2004). “In Situ Test Characterization of Unusual Geomaterial”. *Geotechnical & Geophysical*



cal Site Characterization. Isc'2.
Keynote Lecture. Viana Da Fonseca, A. And Mayne, P.W. (Eds).
Milpress, Rotterdam, Pp.49-74.

Viana Da Fonseca, A., Carvalho, C., Ferreira, C., Santos, J. A., Almeida, F. Perreira, E., Feliciano, J., Grade, J. & Oliveira, A. (2006). "Characterization of Profile of Residual Soil from Granite Combining Geological, Geophysical and Mechanical Testing Techniques". Geotechnical And Geophysical Engineering, 25, Pp. 1307-1348.

Wesley, L.D. (2010). "Geotechnical Engineering In Residual Soils". John Wiley & Sons, Inc.
Wroth, C. P. 1984. "The Interpretation Of In-Situ Soil Tests. Rankine Lecture." Geotechnique, 4, 449-489.

