

Verificação da Adequabilidade de Correlações entre os Ensaios SPT-T e DPL para um Solo Coluvionar da Região de Campinas/SP

Tiago Garcia Rodriguez (1);

Paulo Jose Rocha de Albuquerque (2);

Resumo

O presente trabalho apresenta a verificação da aplicabilidade das correlações encontradas na literatura entre os ensaios de campo SPT-T e DPL, realizados no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações, recentemente implantado, na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Para tal finalidade foram executadas sete sondagens de simples reconhecimento com leitura de torque, SPT-T, e seis ensaios de penetração dinâmica leve, DPL. Tendo em vista a uniformidade apresentada nos ensaios, foram utilizados os valores médios obtidos nos ensaios para a realização das verificações. O perfil geológico-geotécnico do novo campo apresenta um solo pouco espesso, coluvionar, poroso e laterítico.

Abstract

This paper presents a verification of the applicability of correlation found in literature between the site investigations tests SPT-T and DPL, carried out at the experimental site of soil mechanics and foundation, recently established, at School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design at UNICAMP. It were performed seven standard penetration tests with torque measurement, SPT-T, and six dynamic light probe, DPL. By the uniformity presented at the tests the analysis were carried by the mean value. The geological-geotechnical profile of the new experimental site presents a few thick soil, colluvial, porous and lateritic.

Palavras Chave: DPL, SPT, Correlação

(1) Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP

(2) Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP

1. INTRODUÇÃO

No contexto geotécnico nacional atual, onde o ensaio SPT ainda representa uma grande fatia dos ensaios geotécnicos realizados, há uma enorme carência de informações sobre a viabilidade da utilização de outros ensaios como ferramenta segura de obtenção dos parâmetros geotécnicos, seja de maneira direta ou indireta por meio de correlações.

Desta forma, o ensaio DPL (Dynamic Probe Ligth) aparece como uma alternativa de baixo custo e de fácil execução, devido ser um equipamento simples, consistindo em uma ferramenta potencial para a utilização em substituição, ou complementação do SPT.

O ensaio DPL encontra forte apelo em obras de menor porte onde o custo da investigação geotécnica corresponde a uma parcela muito alta do orçamento, o que acaba em muitos casos inviabilizando sua execução. Com equipamento de baixo custo, equipe reduzida, facilidade de mobilização e boa produtividade o DPL se mostra uma alternativa com custos muito inferiores ao SPT.

A engenharia geotécnica no Brasil, muitas vezes, é chamada de engenharia do SPT em função do exaustivo estudo realizado neste ensaio, inclusive contendo estudos correlacionando este ensaio com os mais diversos parâmetros geotécnicos.

Assim o presente trabalho propõe a verificação da adequabilidade das correlações encontradas na literatura, entre os ensaios de SPT e DPL, para o solo o Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, localizado em Campinas, Estado de São Paulo, com a finalidade de se aproveitar do imenso histórico de dados e informações disponíveis para o SPT, se tornando assim uma ferramenta poderosa para a obtenção de parâmetros geotécnicos de maneira segura e confiável.

2. CAMPO EXPERIMENTAL DE MECANICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES FEC/Unicamp

Após a saturação do Campo Experimental localizado na área da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, foi necessária a procura de uma nova área para a continuidade das pesquisas geotécnicas, desta forma foi selecionada uma área de aproximadamente 600 m², distante de aproximadamente 300 metros da anterior, contigua ao prédio de salas de aula da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. A implantação deste novo campo experimental ocorreu em meados de 2010.

Nesta área, até o momento, foram realizados diversos ensaios geotécnicos para a caracterização do subsolo, assim foram realizados ensaios de SPT-T, CPT, CPTU, DPL, DMT, e ensaios laboratoriais com material proveniente de um poço, com 9 m de profundidade, para a retirada de amostras deformadas e indeformadas.

O local tem sido objeto de diversas pesquisas, dentre elas destaca-se o trabalho de Gon (2011), onde está apresentado a caracterização completa do subsolo, com base nos ensaios laboratoriais de granulometria, limites de Atterberg, compactação, permeabilidade e compressão triaxial.

Segundo Albuquerque et al. (2001), o subsolo da região da Unicamp, é formado por migmatitos básicos, ocorrendo rochas intrusivas básicas da formação Serra Geral (diabásio), perfazendo 98km² da região de Campinas, cerca de 14% de sua área total. Solos residuais de diabásio também são encontrados encaixados na formação Itararé e no Complexo Cristalino, sob forma de "sills" e diques. Nos afloramentos é possível verificar que os diabásios estão bastante fraturados, formando blocos pequenos, as fraturas normalmente estão abertas ou então preenchidas com material argiloso.

Segundo Zuquete (1987) tais materiais são classificados, pedologicamente, como latossolos roxos e minerologicamente constituídos por quartzo, ilmenita, magnetita, caulinita, gibsitita, óxidos e hidróxidos de ferro, sendo que as espessuras encontradas variam de 5 a 30m.

Pode-se dizer que, as duas primeiras camadas encontradas no campo experimental, são coluvionares, que sofreram intenso processo de intemperização, sendo que a alta porosidade pode ser explicada pela lixiviação, ou seja, o carreamento das frações finas do solo para camadas mais profundas. Quanto à terceira camada pode-se dizer que é composta de um solo residual jovem, pois, ainda guarda características da rocha de origem. O mapa geológico é apresentado na Figura 1.

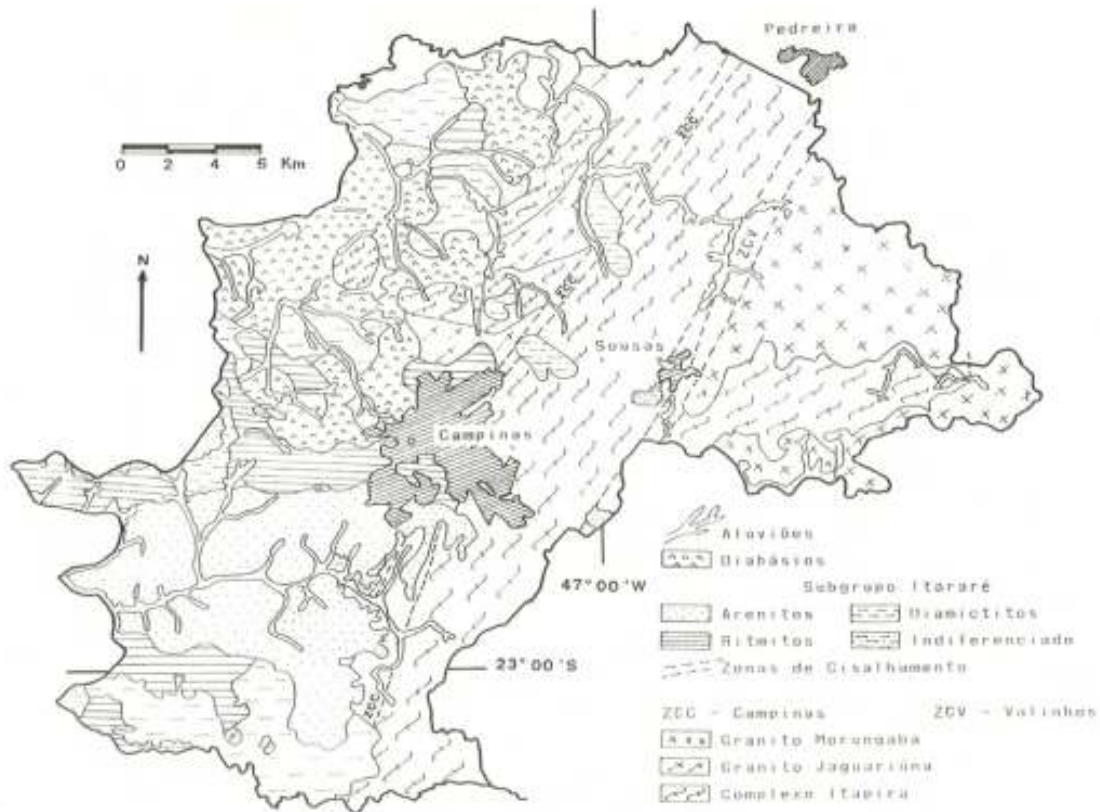


Figura 1: Mapa geológico de Campinas (Instituto Geológico, 2009)

A tabela 1 apresenta a profundidade das camadas de solo encontradas no Campo Experimental assim como alguns parâmetros obtidos por Gon (2011). O nível d'água não foi encontrado até a profundidade analisada.

Tabela 1: Perfil do solo do novo campo experimental e alguns parâmetros geotécnicos (Gon, 2011).

Profundidade da Camada (m)	Descrição da Camada	LL (%)	IP (%)	LC (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e
0-1	Areia Argilo-Silosa	51	21	21	14,1	30,4	1,77
1-7	Areia Siltosa	45	10	27	14,8	30,5	1,63
7-9	Silte Arenoso	52	10	30	15,2	29,7	1,67
Profundidade da Camada (m)	Descrição da Camada	n (%)	w (%)	σ_a (kPa)	$\sigma_{(n.a)}$ (kPa)	$\phi_{(n.a)}$ (°)	$\phi_{(p.a)}$ (°)
0-1	Areia Argilo-Silosa	64	28	180	185	5	24
1-7	Areia Siltosa	62	27	184	123	13	28
7-9	Silte Arenoso	63	36	183	79,5	15	130

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Ensaio

O SPT (Standard Penetration Test) é o ensaio mais conhecido e utilizado no meio geotécnico, assim sendo, dispensa descrições, ressalta-se apenas que aqueles realizados no Campo Experimental seguiram as prescrições da ABNT através da NBR-6484/2001.

O ensaio DPL (Dynamic Probe Ligth), consiste na cravação de uma ponteira cônica com 35,7 mm de diâmetro e por meio de golpes sucessivos de um martelo de 10 kg, com altura de queda de 50 cm, transferidos através de hastes de 22 mm de diâmetro. A Figura 2 ilustra todo o equipamento do DPL utilizado, modelo DPL NILSSON, já a Figura 3 ilustra a ponteira utilizada.

O modelo DPL NILSSON consiste, segundo Nilsson (2004a), em uma adaptação dos DPL tradicionais de forma a torná-lo mais prático e portátil, segundo o autor, suas dimensões estão de acordo com normas internacionais, entre elas a alemã DIN 4094.

A metodologia de ensaio é bastante simples e consiste na cravação da ponteira cônica com a utilização do martelo sobre a cabeça de bater, as leituras são realizadas a cada 10 cm, sendo feitas anotações das quantidades de golpes neste intervalo - N_{10} , orientados por marcas indicativas nas hastes. Ao final da cravação de cada haste, de 1 m é inserida a seguinte, mantendo sempre o mesmo procedimento. Ao final da cravação de cada haste pode ser obtido os torques máximos e residuais, a partir do acoplamento de um torquímetro. O limite de cravação do equipamento é aproximadamente 12 m.

Em Nilsson (2004a) o autor tece diversos comentários e recomendações para garantir a qualidade do ensaio, dentre elas salienta-se a utilização de um centralizador que funciona como guia das hastes e reduz sua deflexão durante a cravação. Para maiores detalhes sobre o equipamento e os procedimentos recomenda-se o texto: Nilsson (2004a).

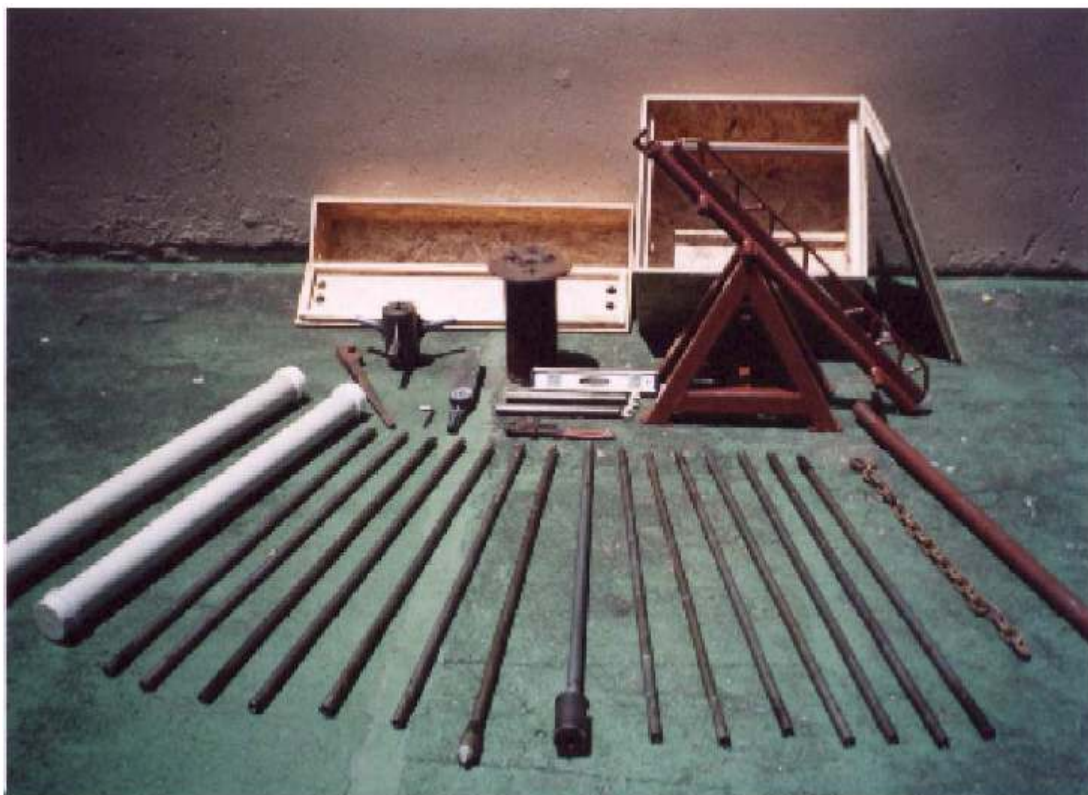


Figura 2: Equipamento de DPL.



Figura 3: Detalhe das hastes e ponteira do DPL.

3.2. Correlações

O ensaio DPL tem sido empregado de maneira sistemática e tem sido objeto de constantes estudos de maneira a consolidar expressões correlacionando seus parâmetros ao N_{spt} , assim como também, outros parâmetros geotécnicos.

Em seu artigo, Nilsson (2004b), apresenta diversas correlações entre o N_{10} do DPL com o N_{30} do SPT, correspondente a alguns locais com solos típicos, como solos da formação Guabirotuba em Curitiba e São José dos Pinhais, solos porosos de Campinas, Londrina e Brasília.

A tabela 2 apresenta um resumo das correlações obtidas por Nilsson (2004b).

Local	Geologia	Ano da Campanha DPL	Tipo de Solo	Prof. Ensaída DPL (m)	Correlação entre N_{10} e N_{30}
CIC - Curitiba	Form. Guabirotuba	2001	Argila Orgânica Arenosa e Silte argiloso	12	$N_{10} = 6 \times N_{30}$
UFPR - Curitiba	Form. Guabirotuba	2001	Argila Siltosa	4,9	$N_{10} = 3,4 \times N_{30}$
C. Res. Curitiba	Embasamento Migmatito	2003	Argila Siltosa Arenosa	9	$N_{10} = 6 \times N_{30}$
São José dos Pinhais	Form. Guabirotuba	2003	Argila Siltosa	10	$N_{10} = 7,5 \times N_{30} - 30$
UNICAMP Campinas	*	2002	Argila Siltosa Arenosa e Silte Argilo Arenoso	13	$N_{10} = 2,5 \times N_{30}$
Datapoli Londrina	*	2003	Argila Siltosa Porosa	10	$N_{10} = 0,54 \times N_{30} + 4,5$
UEL - Londrina	*	2003	Argila Siltosa Porosa	12	$N_{10} = 1,0 \times N_{30}$
UnB - Brasília	*	2002	Argila Porosa	10	$N_{10} = 1,0 \times N_{30}$

* Dados não fornecidos pelos autores.

4. RESULTADOS

4.1. SPT-T

Foram realizadas sete sondagens SPT-T no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da FEC/Unicamp segundo as recomendações da NBR 8464/2001. Os valores de N_{spt} médio em função da profundidade está apresentado na Figura 4.

Nos ensaios de SPT foram descritas duas camadas distintas, sendo a primeira coluvionar e a segunda residual. A primeira camada, correspondente a profundidade média de 0 a 7 metros, foi caracterizada como um argila siltosa. A segunda camada, correspondente a profundidade de 7 a 12 metros, foi caracterizada como um silte argilo arenoso.

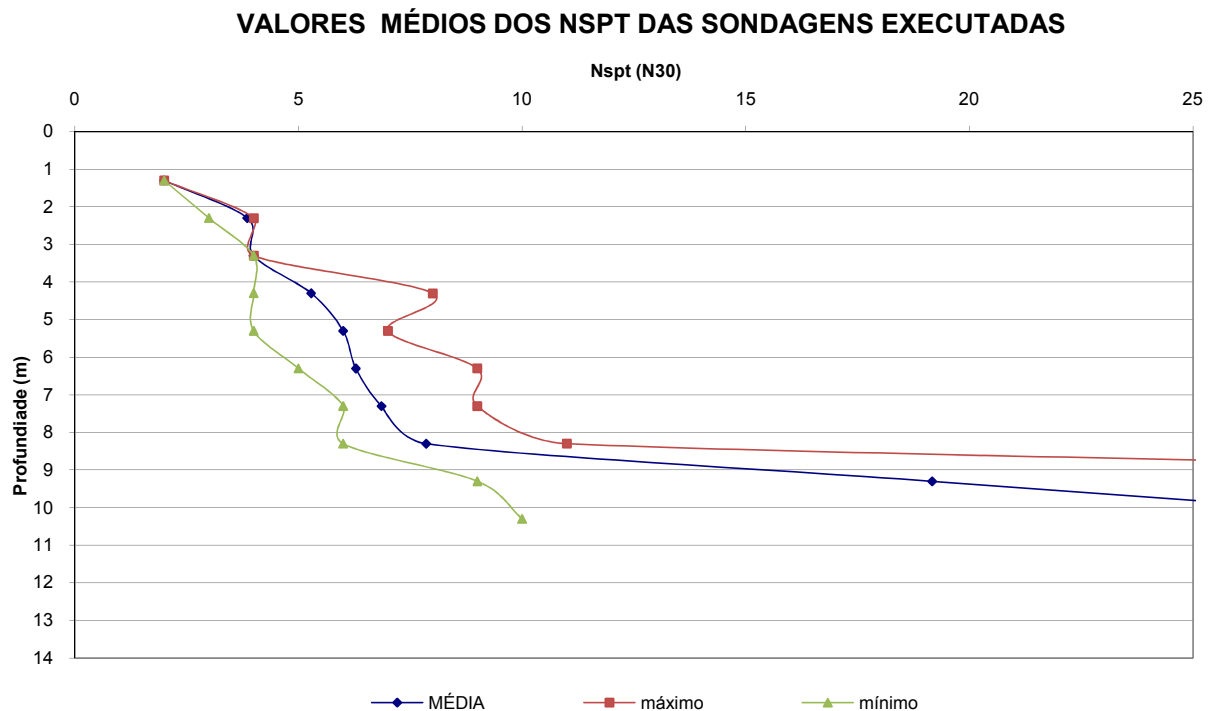


Figura 4: Média dos valores de N_{spt} obtidos nos ensaios SPT-T realizados.

4.2. DPL

Foram realizados seis ensaios DPL (Nilsson) no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da FEC/Unicamp. Foi utilizado a proposta de Jacob (1999) para a compatibilização dos resultados obtidos no DPL para corresponder às profundidades do SPT-T.

Nos ensaios de DPL, de maneira indireta, foi descrito apenas uma camada de solo, sendo caracterizado como um silte argilo arenoso de 0 a 12 metros.

Os valores de N_{10} médio em função da profundidade está apresentado na Figura 5.

VALORES MÉDIOS N10 DOS DPLs EXECUTADAS

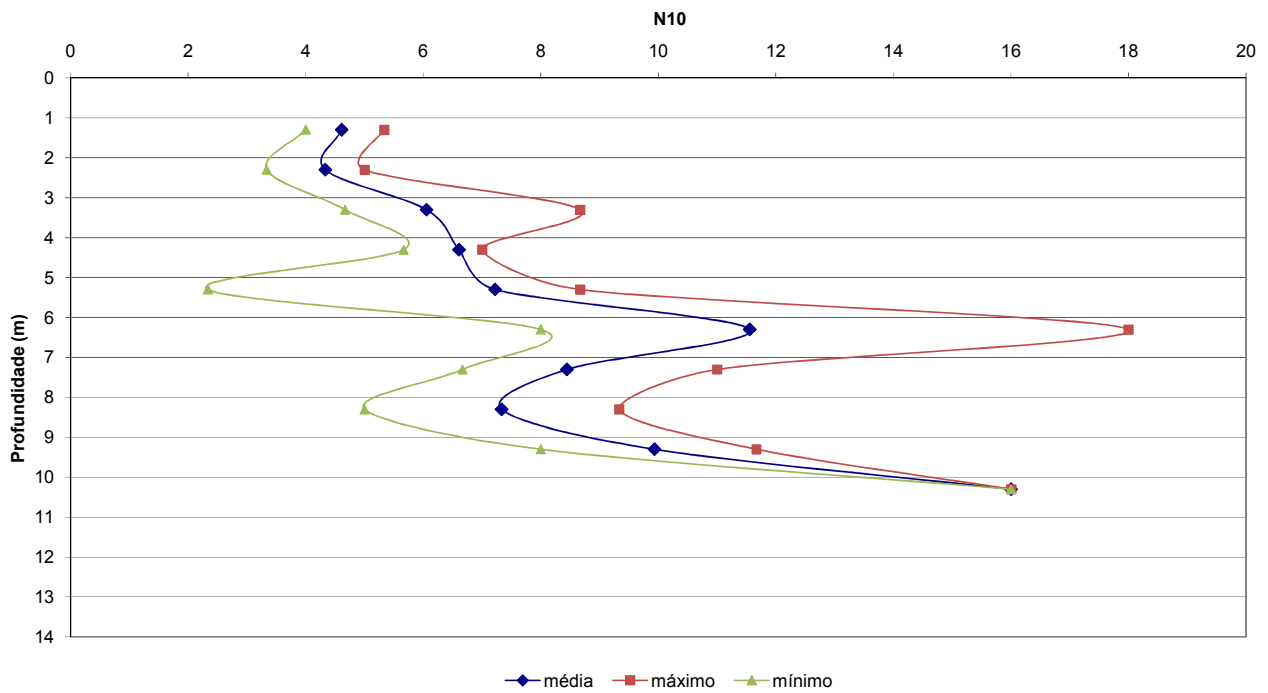


Figura 5: Média dos valores de N10 obtidos nos ensaios DPL realizados.

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Tendo em vista a grande variação entre os materiais encontrados no perfil, optou-se por dividir as análises por camadas, tendo em vista a origem pedogenética das camadas.

A Figura 6 apresenta a relação N_{10} x N_{spt} para os ensaios realizados.

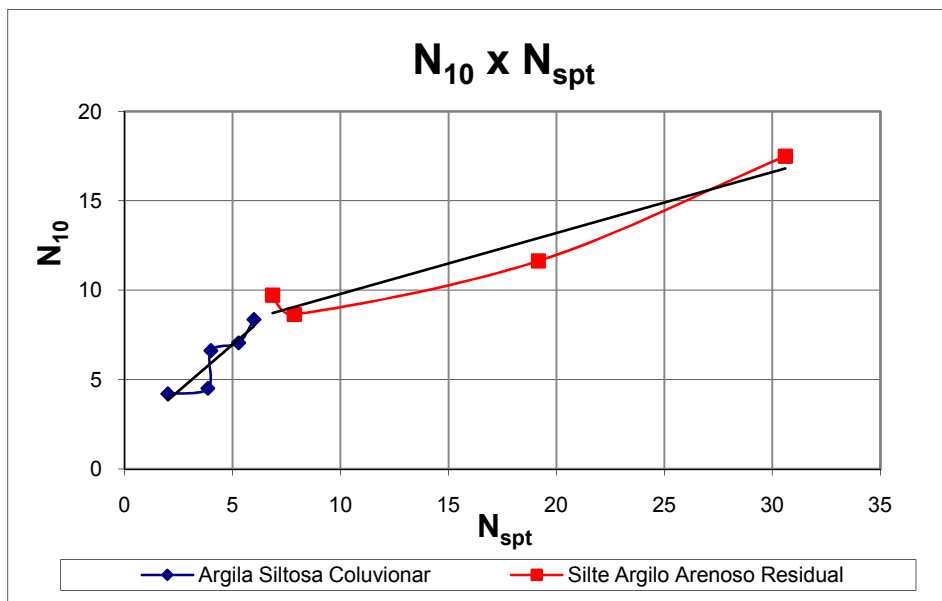


Figura 6: Gráfico de variação de N_{10} e N_{spt} .

A partir da análise dos gráficos da Figura 6 e em função das camadas de solo, foi possível obter as equações de correlação dos ensaios de cada camada, conforme pode-se observar a seguir:

1 - Correlação entre N_{10} e N_{spt} para a Argila Siltosa Coluvionar, 1 a 6 m.

$$N_{10} = 1,03 \times N_{spt} + 1,77 \quad (R^2 = 0,81)$$

2 - Correlação entre N_{10} e N_{spt} para o Silte Argilo-Arenoso Residual, de 7 a 11 m.

$$N_{10} = 0,34 \times N_{spt} + 6,37 \quad (R^2 = 0,93)$$

Nota-se que no trecho inicial, de 1 a 7 metros, referente a argila siltosa coluvionar, praticamente a relação entre o N_{10} e N_{spt} é de 1:1, o que significa que não há diferença entre estes valores neste trecho. Percebe-se, a partir do R^2 , que os pontos têm um bom ajuste.

Quando ao segundo trecho, de 7 a 11 m, referente ao silte argilo-arenoso, um comportamento diferente ao relativo à primeira camada, denotando que os N_{10} são inferiores ao N_{spt} . Nesta camada houve melhor correlação entre os pontos do que na primeira, tendo em vista que o R^2 foi superior.

6. CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos e das análises, pode-se concluir:

A caracterização textural apresentou pequenas divergências entre os ensaios laboratoriais, realizados por Gon (2010), os ensaios de campo SPT e DPL, podendo esta diferença ser atribuída ao empirismo das análises de campo do SPT e a obtenção indireta da caracterização textural pelo DPL.

Dentre os modelos da literatura apresentados os que mais se aproximaram do comportamento obtido no novo campo experimental da Unicamp foram os modelos desenvolvidos em Londrina (Datapoli e UEL) e Brasília (UNB).

Para a primeira camada coluvionar a expressão obtida foi, muito próxima às expressões obtidas em Londrina (UEL) e Brasília (UNB) onde a relação N_{10}/N_{spt} foi de 1,0, tendo em comum, entre estes dois locais e o solo da primeira camada do Campo Experimental, a presença de argila porosa, laterítica.

A correlação obtida na camada coluvionar porosa pode ser utilizada com precaução em solos de mesma natureza, tendo em vista a repetição da equação obtida nos campos experimentais de Campinas, Brasília e Londrina, onde os solos apresentam semelhanças marcantes.

Para a segunda camada, representativa ao solo residual a expressão obtida foi muito próxima às expressões obtidas em Londrina (Datapoli) neste caso não há como concluir nenhuma relação entre os dois locais, pois necessitaria de mais informações relativa à formação do Campo Experimental de Londrina.

A correlação obtida na camada residual não é recomendada para ser utilizada fora do campo experimental da Unicamp, já que a equação obtida não apresentou compatibilidade com correlações obtidas em outros solos de mesma natureza.

Propõe-se como sugestão para futuras pesquisas a avaliação das peculiaridades do comportamento dos solos residuais que afetem os resultados dos ensaios de campo, conseqüentemente a correlação entre os ensaios de SPT e DPL.

7. AGRADECIMENTOS

Agradeço à empresa Maccaferri do Brasil pela ajuda financeira na realização das sondagens SPT-T, a empresa Balbino Fundações pelo fornecimento da mão de obra para a execução dos ensaios DPL e ao Eng^o Thomas Nilsson pelo fornecimento do equipamento DPL Nilsson para a execução dos ensaios e ajuda na análise dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484 (2001) : **Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento de Solos.**

ALBUQUERQUE, P. J. R.; MASSAD, F.; CARVALHO, D.; FERREIRA, M. A. M. (2001) **Comportamento à compressão de estacas escavadas, hélice contínua e hélice tipo ômega, em solo residual de diabásio.** Editora Nobel. Campinas/SP:198p.

DIN 4094 (2002) **Erkundung durch Sondierungen.** Alemanha.

GON, F. S., (2011) **Caracterização Geotécnica Através de Ensaio de Laboratório de um Solo de Diabásio da Região de Campinas.** Dissertação de Mestrado, FEC / Unicamp, 153p.

JACOB, J. H. (1999) **Aplicação de penetrômetro dinâmico portátil nos argilitos da formação Guabirotuba. Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba.** ABMS – Núcleo Regional do Paraná e Santa Catarina.

NILSSON, T. U., (2004a) O Penetrômetro Portátil DPL NILSSON. V Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia / Simpósio Brasileiro de Investigação de Campo – BIC. **Anais...** São Paulo /SP. v.1. p.540-550.

NILSSON, T. U. (2004b) Comparações entre DPL NILSSON e SPT. IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul. **Anais...** Curitiba/PR. p. 61-68.

ZUQUETE, L. V. (1987) **Análise Crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras.** Tese de Doutorado. EESC/USP, 673p.