

O PENETRÔMETRO PORTÁTIL DPL NILSSON

Thomas Ulf Nilsson
Thomas Nilsson Geoconsultores Ltda. – Curitiba/ PR

RESUMO: O DPL NILSSON é um equipamento de ensaio geotécnico, lançado no ano de 2001, neste trabalho denominado DPL. É um penetrômetro portátil, útil para sondagem de caracterização da estratigrafia, nível de água e ensaio de resistência do solo até 12 m de profundidade. É desenvolvido a partir do conceito europeu DP, que possui um histórico conhecido em sondagens e ensaios, abrangendo e normatizando penetrômetros de portes leve, médio e pesado.

Este trabalho apresenta o equipamento, modo de execução e vários exemplos de casos de investigações do solo, adquiridos durante os 3 anos de experiência no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: DPL, penetrômetro

INTRODUÇÃO

O solo é um material heterogêneo e sujeito à alterações. O conhecimento geotécnico é fundamental para o sucesso de qualquer projeto em construção civil. A quantidade dos ensaios precisa atender os critérios estatísticos. Aumentando a variedade dos ensaios e a família estatística, o fator de segurança pode diminuir, acarretando menos incerteza, menos riscos e mais consistência. O projeto fica bem definido, com melhor controle e menor risco, tanto no aspecto técnico como financeiro.

O DPL NILSSON é um ensaio novo no mercado brasileiro. Os primeiros ensaios realizaram-se em obras no Paraná no ano de 2001. Este penetrômetro portátil é útil para a definição da estratigrafia do solo e o nível de água e para avaliação da resistência da ponta e o atrito lateral, em solos moles até rijos, até 12 m de profundidade. A operação não precisa de água, nem de fonte de energia

Foi testado em vários campos experimentais em universidades. Foi utilizado em diversos tipos de obras de pequeno até grande porte no Paraná, São Paulo e Santa Catarina. Será explicado o procedimento desde sua execução até o boletim de resultados e discutida a melhor forma de utilização do ensaio DPL nas campanhas de investigação do solo nos dias de hoje. Apresenta-se exemplos da experiência brasileira em obras e campos experimentais, inclusive um dimensionamento de fundação profunda por este DPL portátil.

PROBLEMAS TÍPICOS DE INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO CAMPO

Acesso

Os ensaios convencionais geram mais despesas nas campanhas em serras, várzeas, mangues, matas fechadas e em locais distantes dos grandes centros populacionais. Uma programação de sondagem deve sempre considerar se o local é acessível, se a área de operação está disponível, eventual distância necessária a ser percorrida a pé, obstáculos como encostas e rios, contaminações e os riscos.

Espaço de operação insuficiente

Fazer ensaios em taludes, banquetas, bermas, escavações, poços, beiras de rios, ruas e calçadas pode implicar em um custo adicional de preparo..

Baixa produtividade

É demorado instalar equipamentos convencionais em mato fechado, solos moles, lagoas ou rios e locais com matações e rocha superficial. A produtividade cai e o custo aumenta quando é necessário fazer deslocamentos dos furos. A movimentação com equipamentos pesados em picadas no mato é demorada ou impossível.

Altos custos de execução

Para projetos residenciais e outros de pequeno porte, com necessidade de poucos furos, o preço por furo encarece. O transporte de equipamentos pesados tem alto custo.

O EQUIPAMENTO

O DPL NILSSON (sob leis de patente), altera os conceitos geotécnicos por motivos econômicos, logísticos e técnicos. Desmontado, nenhuma peça excede 1 m de comprimento. O peso total do jogo completo é de 82 kg. O DPL manual pode ser operado por 2 pessoas.

Uma ponteira de diâmetro 35,7 mm e comprimento de 100 mm, com ângulo da ponta de 90°, acoplado por hastes de 22 mm de diâmetro está sendo cravada através de um martelo de 10 kg, que sobe e desce 50 cm em volta de uma guia, em caída livre ao batente conectado à última haste. As características geométricas e o peso do material são especificados por normas, entre outras a norma alemã DIN 4094. Para melhor manter o equipamento em prumo existe uma plataforma niveladora.

Introduzido no ano de 2001 e patentado pelo Eng.º Thomas Nilsson, possui várias modificações, comparando-se com o DPL convencional. Os principais desenvolvimentos e vantagens são: desintegração em módulos pequenos, adaptação para operação manual, plataforma de leitura e de prumo, peças ergonômicas, ensaio do atrito lateral por torquímetro, consideração da influência do coeficiente do impacto e do lençol freático.

A versatilidade do DPL possibilita fazer uma grande quantidade de furos em pouco tempo. A instalação de um novo furo é extremamente fácil.

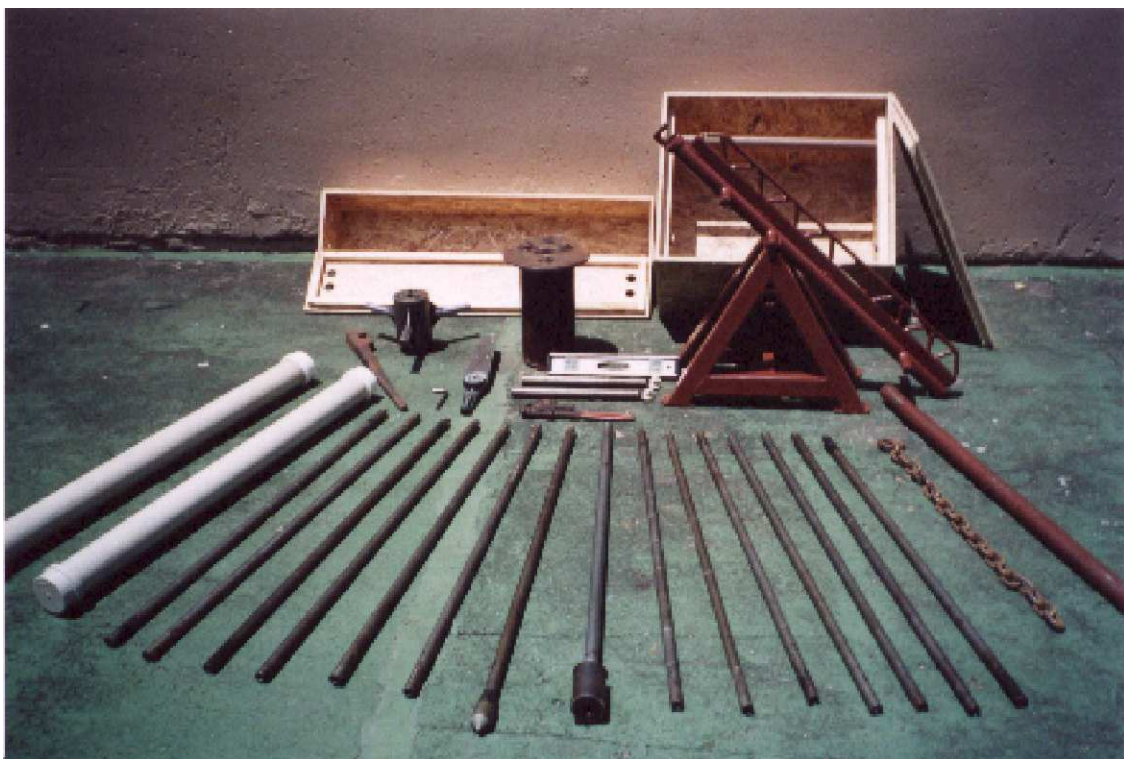


Fig 1: Equipamento DPL NILSSON com caixas de transporte

EXECUÇÃO

Os ensaios deverão ser iniciados por um prefuro de diâmetro 15 cm a uma profundidade de 30 cm. É inserida uma haste, com a ponteira montada, na plataforma niveladora, colocando logo em seguida este conjunto no furo, com a ponteira direcionada em prumo vertical ao solo. Após o posicionamento adequado de uma haste com a ponteira montada, a plataforma e a haste são niveladas. Com a ajuda de dois operários, parte-se para a execução, parafusando o conjunto batente/guia na haste. O martelo é inserido na guia e encostado no coxim.

O martelo é levantado e deixado cair livremente 50 cm, esse procedimento é repetido enquanto as hastes descem, até que a parte inferior do batente esteja a 10 cm da plataforma niveladora cilíndrica. Em solos finos com baixa permeabilidade a velocidade dos golpes não deve ultrapassar 30 golpes por minuto para evitar reflexo da energia emitida. Em solo granular, não-saturado, com boa permeabilidade, a frequência pode ser de até 60 golpes por minuto.

N_{10} , a quantidade de golpes necessária para a penetração de cada 10 cm de haste é registrada na planilha de campo.

O martelo é removido e o batente desparafusado. Logo em seguida o torquímetro é conectado para obter o momento de torque máximo e residual entre a ponteira e o solo. O ensaio continua no mesmo ciclo, acrescentando uma nova haste, batente e guia e martelo, novamente repetindo o procedimento anterior.



Fig 2: Execução de DPL NILSSON na UnB, Brasília.

RESULTADO

O ensaio de torquímetro é feito uma vez a cada metro. Para manter o ensaio prático e versátil, o procedimento não deve ser sobrecarregado com muitos detalhes, não utiliza-se amostrador, um processo que atrasa a execução bastante. Enfatiza-se o equilíbrio entre o detalhamento técnico adequado e a produtividade efetiva. O **DPL NILSSON** identifica o solo, pela rotina padronizada e não pela coleta de amostras para serem encaminhadas ao laboratório. O atrito lateral não-contínuo é suficiente para fornecer o atrito lateral útil em cálculos de estacas.

O boletim de ensaio apresenta, tabelado, os números de golpes, N_{10} , para descer 10 cm em seqüência e os momentos de torque máximos e residuais. Em gráficos, os valores obtidos constam plotados contra a profundidade, N_{10} num gráfico maior e em 2 menores, q_d , a resistência da ponta e f_s , o atrito lateral. Finalmente, há uma classificação do solo. Pelo gráfico, pelo quociente $f_{\text{máx}}/q$, auscultação e testemunhas na ponteira e nas hastes, identifica-se facilmente a estratigrafia. Amostras podem ser retiradas com um amostrador especial.

Na retirada das hastes identifica-se perfeitamente o nível de água. Não usando água no procedimento de sondagem garante que seu eventual aparecimento identifica a posição imediata da água do lençol freático.

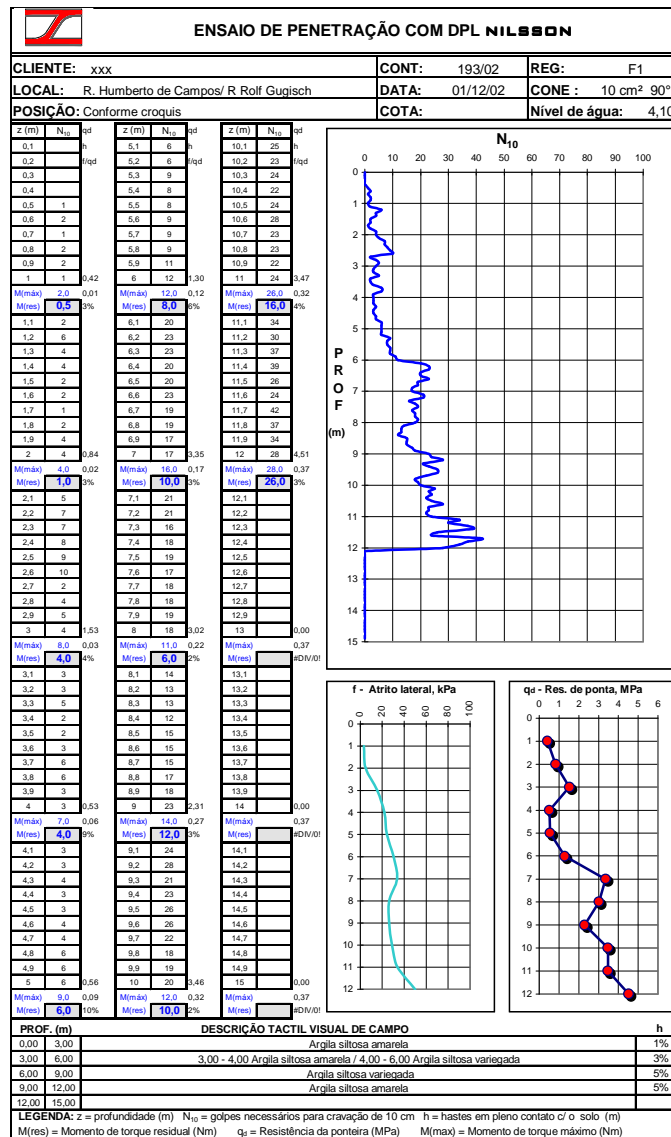


Fig 3: Boletim de ensaio por penetração com DPL NILSSON

EXEMPLOS DE UTILIDADE

Reconhecimento geotécnico de terrenos

O DPL portátil é um equipamento de sondagem extremamente eficaz. Pode executar 50 metros por dia, independente da quantidade de furos. Três equipamentos podem simultaneamente ser administrados por um encarregado. É um dos poucos equipamentos deste porte que podem ser instalados em praticamente qualquer local.

EXEMPLO DE SERVIÇO: Um condomínio industrial em Santa Catarina. O terreno, com área maior que 1 milhão de metros quadrados tinha sido usado para plantação de arroz e tem as características típicas de regime de várzea. Era necessário quantificar o solo mole. Para realizar o trabalho foram executadas 21 sondagens de DPL, completando 63,9 metros em furos com a profundidade média de 3 metros. Nos locais secos e de fácil acesso, tinham sido executadas 14 sondagens de SPT. Conforme os perfis de SPT, esperava-se solo mole de espessura 6,00 m. Logo após o início da campanha de DPL revelou-se que, na maior parte do terreno, com regimes de acesso extremamente difíceis, o solo mole nem excedeu a 2 metros. A locação DPL realizou-se por uma malha mais fina de 100 x 100 m e as sondagens foram executadas por 1 única equipe em dois dias, 2 a 3 de Maio de 2003.

Investigações em ambientes urbanos

EXEMPLO DE SERVIÇO: Projeto de drenagem, implantação de bueiros em Paranaguá/PR. Era necessário investigar pontos localizados, suspeitos por ter obstáculos que podiam complicar a escavação. Todos os furos estavam localizados na calçada e eventual perfuro não precisava ter diâmetro maior que 5 cm. Foram realizadas 14 sondagens com DPL, 20 a 21 de Maio de 2002, completando 90,3 metros em furos localizados conforme projeto fornecido pelo cliente.

Investigações em mato fechado

Em mato fechado, o equipamento tem que ser fácil de carregar. O DPL portátil é transportado em duas caixas, cada uma carregada por 2 pessoas. As caixas têm a medida 100 x 20 x 30 cm e 600 x 500 x 400, cada uma com o peso bruto de 50 kg.

EXEMPLO DE SERVIÇO: Ensaio em propriedade rural, Umbará em agosto de 2002, Curitiba/ PR. Foram realizadas 6 sondagens, em mato virgem de porte médio (arbustos, pequenos árvores, vegetação rasteira, regime muito fechado), para investigar o solo para construção de pesqueiro com instalações, completando 58,8 metros em furos localizados conforme projeto fornecido pelo cliente. O local era impossível de ser alcançado com qualquer veículo e era expressamente proibido abrir picadas antes de se obter a licença ambiental.

Investigações em casos especiais

Em várzeas, mangues e entre sistemas de rios e lagoas o DPL pode ser mobilizado através barco ou outro flutuante, sem necessidade de adaptações.

EXEMPLO DE SERVIÇO: Controle de volume de areia explorada em cavas. A região metropolitana de Curitiba tem grandes áreas de sedimentos aluvionais, contendo areia lavada apropriada para construção civil, que antigamente foram exploradas sem nenhum controle ambiental. O perfil tipo aluvionar da região consiste de uma camada de 2 a 3 metros de turfa ou argila preta seguida por uma camada de pedregulho e areia aproximadamente em volta de 1 metro de espessura sobre a Formação Guabirota. As maiores cavas encontram-se entre os rios Iguazu e Atuba em Pinhais/PR São locais ilhados, sem acesso por estrada, mas em geral possíveis de se alcançar a pé. Realizaram-se 3 sondagens, cada uma de 5 metros. A área difere-se da informação da planta recebida. Em função do desmanche de acessos e abertura de outras cavas, o acesso ao local tinha complicado mesmo assim. Com o DPL portátil foi possível mobilizar todos os furos planejados, no mesmo dia (14/03 de 2002) sem uso de flutuante, sem necessidade de construções auxiliares.

EXEMPLO DE SERVIÇO: Lagoa de Ibirapuera, São Paulo/ SP. Para a instalação do chafariz do parque era necessário investigar a resistência das camadas superficiais do fundo da lagoa, para garantir escavação e o comportamento durante a operação do chafariz. Uma campanha de 10

furos de DPL foi efetuado durante um dia, operando de balsa flutuante e de barco, sem necessidade de adaptação do equipamento.

Pré-projetos

O reconhecimento geotécnico para implantação de novos loteamentos, indústrias, estradas etc é fundamental para poder se iniciar um projeto. Os resultados do pré-projeto são utilizados no próprio projeto principal, quando aprovado. Os critérios importantes são acessibilidade nestes locais praticamente sempre com mato virgem e possibilidade de se fazer a maior quantidade de sondagens no menor tempo possível, garantindo ainda, uma boa qualidade da investigação.

EXEMPLO DE SERVIÇO: No ano de 2002, uma indústria no município de Castro/ PR precisava movimentar grandes volumes de solo. Para poder cubar a terraplenagem, uma área grande foi ensaiada. Durante 4 dias, 17/01-21/01 de 2002, efetuaram-se 73 furos, perfurando-se um total de 164 m. Como já previsto, o terreno mostrou muita heterogeneidade, com uma capa de silte arenoso de espessura entre 0,5 m a 5,3 m até o embasamento composto por arenito.

Fundação profunda

Muitas das campanhas de DPL foram aproveitadas para dimensionamento de fundação, na maioria dos casos para estacas. A maioria das obras são atendidas por DPL com o seu alcance até 12 m. São, principalmente, obras residenciais, supermercados, fábricas e galpões. O dimensionamento de fundação profunda tem maior destaque e apresenta-se consequente no item DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA.

Fundação rasa

O autor de “Procedimentos de Sondeos”, o holandês Jesus Puy Huarte, recomenda a taxa admissível para cálculo de fundação direta (sapatas):

$$\sigma = \frac{r_d}{20} \quad (1)$$

onde r_d = a resistência da ponta e σ a taxa admissível.

Para estimar a recalque da fundação rasa, pode ser utilizada a formulação desenvolvida para CPT(u), usando correlação DPL com CPT(u)

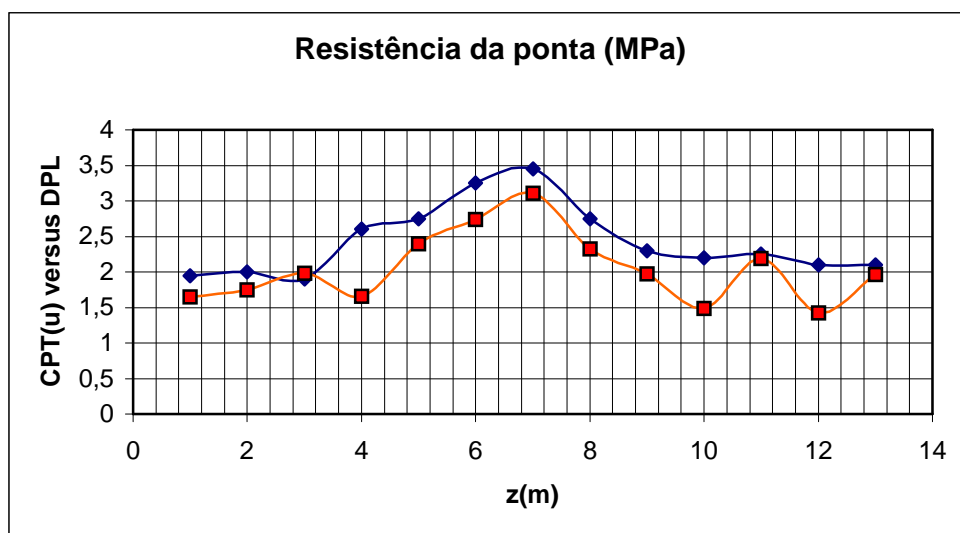


Fig 4. Comparação entre resistência da ponta entre CPT e DPL.

(cont. fig. 4): Gráfico comparando as sondagens de CPT(u), CE5, CE6 em diamantes em azul, com a do DPL, F1, em quadrados em vermelho. (UNICAMP, Campinas, Junho de 2002).

Uma fórmula de aproximação de recalque, bastante usado com ensaio de CPT, desenvolvido por Meyerhof:

$$s = \frac{P \cdot B}{2 \cdot \bar{q}_d} \quad (2)$$

s = recalque (m)
P = tensão aplicada (kPa)
B = largura da sapata (m)
q_d = valor médio da resistência da ponta, considerando-se profundidade > B

EXEMPLO DE SERVIÇO: Entre 2002 e 2003, no programa de aumento de ETA para a Região Metropolitana de Curitiba, 10 obras de novos reservatórios foram iniciadas. Logo após a escavação, a resistência do solo foi ensaiada até a mesma profundidade da largura do reservatório, através DPL, utilizando a fórmula de Jesus Puy Huart (1) para verificar a taxa admissível.

Taludes e contenções

No bairro Tingui, em Curitiba/PR, no vale de Rio Barigui. Os taludes no vale são íngremes e o solo coluvial tem alta frequência de pedras e matacões. Várias residências de alto nível estão sendo construídas neste local de alto valor estético. Para iniciar uma destas obras, foram solicitadas 3 sondagens de 10 metros com equipamento DPL num talude íngreme de declive 1:1,5.

As sondagens foram totalizadas com a profundidade 17,60 m, com 4 deslocamentos do primeiro furo e mais 4 do segundo furo. O último furo foi o único possível onde se pode completar os 10 metros solicitados. Os deslocamentos foram necessários pela presença de matacões no solo. Cada deslocamento demorou 5 minutos e a operação foi concluída, sem necessidade de escavações para se obter um espaço plano de trabalho neste talude de declive 1:1,5.

Geotecnia ambiental

O DPL tem um papel importante no reconhecimento de áreas contaminadas. Em investigações ambientais, precisa-se de uma boa estatística, suficiente para se poder desenhar o plume de contaminação. Por este motivo, opta-se, por tradição, por ensaios geofísicos. Na maioria dos casos, é interessante fazer os dois, pois os ensaios geofísicos precisam ser calibrados contra sondagem. Existem situações onde o DPL NILSSON é apropriado para se obter a exata avaliação de certas contaminações. O seguinte exemplo indica uma situação típica.

EXEMPLO DE SERVIÇO: Foram realizadas 9 sondagens, completando 45,5 metros em uma área de contaminação por resíduos de escória e flotação, deixados num processo antigo de extração de chumbo. A área investigada tem uma escavação preenchida com areia misturada com resíduos de flotação. O material contaminado foi detectado pelo equipamento DPL, sendo que, os resíduos, têm um carácter lubrificante, o que praticamente anula o atrito lateral. Os ensaios detectaram que os resíduos nesta área variaram de profundidade 3,50 m até – no mínimo - 6,00 m. Entendeu-se que o plume de contaminação foi mais concentrado onde o atrito lateral obteve o valor zero. Subjacente, detectou-se o solo natural, uma argila amarela escura, com pico de resistência relativamente elevada. O nível de água foi detectado nos furos DP 3, DP 4 e DP 5, variando entre 1,80 m até 3,80m.

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA

Utilizam-se os parâmetros f e q em formulação desenvolvida por Eng.º Thomas Nilsson para dimensionamento de estacas.

$$P = R \cdot \frac{\left[q \cdot A_p + \int_0^z f \cdot dA_s \right]}{FS}, \text{ nas fórmulas a seguir,} \quad (3)$$

$$R = \frac{P(s)}{P_u} \quad (4)$$

P(s) A carga nominal em função do recalque admitida, função desenvolvida da curva carga-recalque da prova de carga

P_u = Carga máxima na prova de carga efetuada

FS = Fator de segurança

$$q = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot q_d \quad (5)$$

$$f = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot f_s \quad (6)$$

P = Capacidade de carga da estaca (kN) para determinada recalque ou ruptura.

q_d = resistência da ponta (kPa)

f_s = atrito lateral medido com torquímetro na ponteira, descontando influência das hastes, (kPa)

α₁ = coeficiente da ponta relatado ao solo

α₂ = coeficiente da ponta relatado ao tipo de fundação

β₁ = coeficiente do atrito lateral relatado ao solo

β₂ = coeficiente do atrito lateral relatado ao tipo de fundação

EXEMPLO : Desenvolvimento dos coeficientes de dimensionamento de DPL no campo experimental de UnB, Brasília/DF. Foi feito um ensaio de DPL. O perfil geotécnico apresenta de 0 a 3 m areia silto-argilosa, de 3 a 4 m corresponde à zona de transição, na qual ocorre a maior variação de umidade ao longo do ano; 4 a 8 m – argila areno-siltosa, zona na qual as propriedades físicas e mineralógicas e microestruturas vão gradualmente se alterando até encontrar o residual mais jovem a 9 m.

Tabela 1: Os valores de resistência DPL.

z (m)	qd MPa	fs kPa	T (ack) kN
1	2,8	10,1	9,6
2	3,0	4,4	13,7
3	1,5	31,0	42,9
4	0,9	34,7	75,6
5	0,9	37,6	111,1
6	1,0	22,9	132,6
7	1,2	31,6	162,4
8	2,8	29,3	190,0

$$T(ack) = \int_0^8 f \cdot dA_s \quad (4)$$

$$\alpha_1 = 0,50$$

$$\alpha_2 = 0,20$$

$$\beta_1 = 0,90$$

$$\beta_2 = 1,20$$

P_u = 230 kN

P(s) = 80s (s = recalque admitido em mm, válido até carga de ruptura)

R = 35%

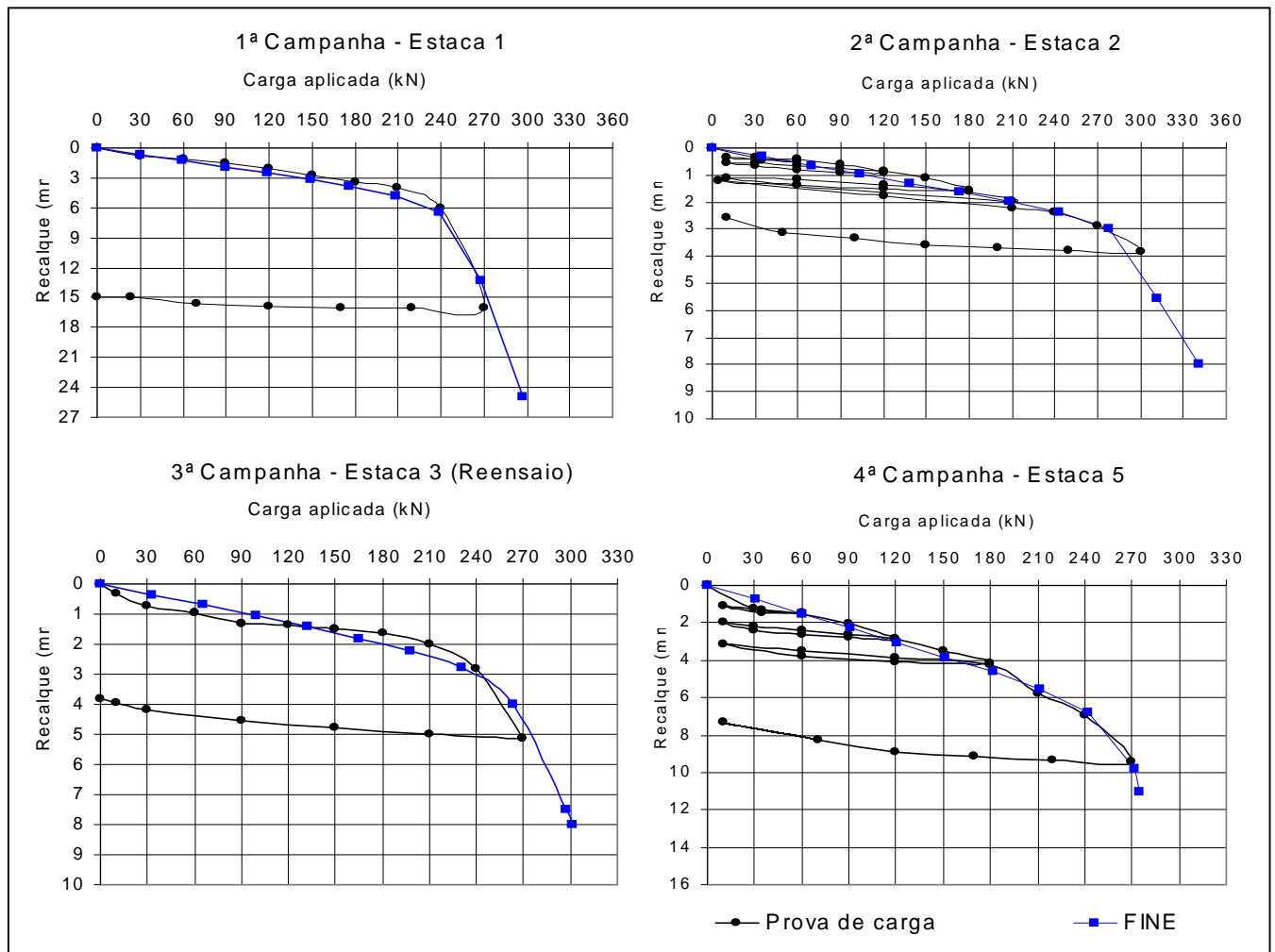


Fig 5: Estacas sujeitos a prova de carga no campo experimental em UnB (Bezerra Mota N)

Tabela 2 – Características das estacas e provas de carga.

Estaca	ϕ (m)	L (m)	Prova de Carga	Campanha
1	0,30	7,8	1	1ª
2	0,30	7,5	3	2ª
3	0,30	8,0	4	3ª
5	0,30	8,0	2	4ª

CONCLUSÕES

O DPL NILSSON é um equipamento de ensaio para penetração do solo, com peças de cravação internacionalmente normatizadas, habilitado a fornecer os parâmetros de resistência da ponta e atrito lateral, estratigrafia e nível de água. Pode ser levado a locais de acesso extremamente difícil e atinge a profundidade de 12 m.

Tem alta produtividade, sendo uma média de 50 m por dia e por equipamento. Pode ser transportado por veículo de passeio. O intervalo de instalação entre furos é de 5 minutos mais o tempo de deslocamento a pé.

É um equipamento ecologicamente amigável, pois durante a operação não usa combustível ou eletricidade e não emite nenhum tipo de poluente.

Finalmente, e em termos generalizados, se a escolha apenas é entre SPT ou DPL, recomendamos optar por DPL para os solos com $SPT N_{30} < 4$, em solos finos, em argilas porosas, quando se é importante saber o atrito lateral, quando se necessita fazer muitos furos e quando os acessos são difíceis.

Recomendamos optar por SPT para solos de valor média $N_{30} > 20$, quando os furos são profundos (> 12 m) e quando o solo é granular. Para obras de maior porte, ter mais opção de ensaios e no mínimo, SPT e DPL juntos.

Quem utiliza SPT no dimensionamento pode mesmo verificar as correlações entre DPL e SPT (Nilsson T. *Comparações entre DPL NILSSON e SPT*), transformando golpes N_{10} de DPL para golpes N_{30} de SPT e dimensionar conforme algum dos métodos convencionais de SPT. Observe-se que não é necessário fazer a transformação de DPL a SPT. Recomenda-se utilizar as formulações diretas desenvolvidas pelo autor, utilizando as coeficientes apropriadas por tipo de estaca e por tipo de solo.

Material complementar está disponível em Thomas Nilsson Geoconsultores Ltda. www.nilsson.com.br, thomas@nilsson.com.br

AGRADECIMENTOS

O autor do presente trabalho gostaria de registrar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições: Renato Cunha e Neuza Bezerra Mota (UnB, Brasília) e David Carvalho (UNICAMP, Campinas),.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque P, Massad F, de Carvalho D, Ferreira M (2001), *Comportamento à compressão de estacas escavadas, hélice contínua e hélice tipo ômega, em solo residual de diabásio*, Campinas/ SP, 198 p.
- Bezerra Mota N. (2003) *Avaliação de Metodologias de Projeto de Fundações Profundas Assentes em Solos Colapsíveis via Ensaio de Campo*, Brasília/ DF
- Cestari F (1990) *Prove Geotecniche In Sito*. Geo-Graph S.N.C. I Edizione.(Italia)
- Cintra J. (1998), *Fundações em solos colapsíveis* (1998) São Carlos/ SP, 171 p.
- DIN – Taschenbuch (1991) *Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*. Beuth. (Alemanha).
- ISSMFE (1989) International Reference Test procedure for dynamic probing (DP). *Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 with Reference Test Procedures*. . Swedish Geotechnical Society, 49 p.
- Nilsson T. (2003) Experiências iniciais de DPL NILSSON, *I Simposio do Centro-Oeste*. CD ROM.
- Nilsson T. (2004) Comparações entre DPL NILSSON e SPT, *Geosul 2004 – IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul*, ABMS, 310 p.