

## CORRELAÇÃO ENTRE DPL E SPT PARA CAMADA DE AREIA EM DEPÓSITO EÓLICO DE FORTALEZA, CEARÁ

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 05/10/2020

### Samuel Castro Prado

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/3206948345140568>

### Giullia Carolina de Melo Mendes

Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/4445500945118312>

### Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
Fortaleza – Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/5139177251248997>

**RESUMO:** Em meio aos diversos métodos utilizados no Brasil para determinação da capacidade de carga em fundações, a grande maioria parte do índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$  ou  $N_{30}$ ). Para o caso de pequenas edificações, devido a fatores, geralmente, econômicos e culturais, a experiência ou a prática regional costumam prevalecer. O desprezo à realização de investigação do subsolo pode vir a acarretar problemas na edificação, como recalques diferenciais excessivos, ou, até mesmo, comprometer a segurança da estrutura. Dessa forma, técnicas mais simples e de baixo custo, como o ensaio com DPL (*Dynamic Probing Light*), equipamento manual de pequeno

porte que é destinado a sondagens de campo e cuja utilização ainda é recente e inusitada no Brasil, podem ser uma opção para situações de pequenas cargas, viabilizando projetos fundamentados em ensaios *in situ*. Essa técnica pode, também, ser uma opção para confirmação de características geotécnicas do subsolo em execução de fundações superficiais. Partindo de investigações com o DPL e o SPT, este trabalho tem o objetivo de realizar o estudo e propor uma correlação entre os parâmetros obtidos com os ensaios de SPT ( $N_{30}$ ) e DPL ( $N_{10}$ ) para camada de areia em depósito eólico, em Fortaleza, Ceará. Identificou-se uma correlação satisfatória entre os parâmetros analisados, considerando o melhor ajuste da linha de tendência obtida em relação à nuvem de pontos, amparada, ainda, no valor satisfatório do índice de correlação ou determinação ( $R^2$ ).

**PALAVRAS-CHAVE:** *Dynamic Probing Light, Standard Penetration Test, Investigação do Subsolo.*

### CORRELATION BETWEEN DPL AND SPT FOR WIND FARM SAND LAYER IN FORTALEZA, CEARÁ

**ABSTRACT:** Among various methods used in Brazil to determine the load capacity in foundations, the most of them considers the penetration resistance index ( $N_{SPT}$  or  $N_{30}$ ). For small buildings, due to generally economic and cultural factors, regional experience or practice usually prevails. The failure to perform an subsoil investigation can cause problems in the building, such as excessive differential settlements, or even compromise the security of the structure.

Thus, simpler and lower cost techniques, such as testing with DPL (*Dynamic Probing Light*), small manual equipment that is intended for field surveys and whose use is still recent and unusual in Brazil, may be an option for situations of small loads, enabling projects based on *in situ* tests. This technique can also be an option for confirming the geotechnical characteristics of the subsoil in execution of surface foundations. Starting from investigations with the DPL and SPT, this work aims to study and propose a correlation between the parameters obtained with the SPT ( $N_{30}$ ) and DPL ( $N_{10}$ ) tests for sand layer in wind farm, located in Fortaleza, Ceará. A satisfactory correlation was identified between the analyzed parameters, considering the best adjustment of the trend line obtained in relation to the point cloud, supported, also, on the satisfactory value of the correlation or determination index ( $R^2$ ).

**KEYWORDS:** *Dynamic Probing Light, Standard Penetration Test, Subsoil Investigation.*

## 1 | INTRODUÇÃO

Para que o processo de construção de uma edificação seja considerado seguro, inúmeros fatores devem ser considerados, como aspectos estruturais responsáveis pela estabilidade e sustentação da edificação e, conseqüentemente, pela integridade dos seres humanos que dessa edificação fazem uso. Sendo assim, conceitos e métodos de engenharia são aplicados ainda na fase de projetos para garantir um resultado satisfatório.

Nesse contexto, constitui-se de extrema importância a execução de investigações do subsolo, como forma de conhecer e determinar parâmetros que fornecerão uma perspectiva do comportamento que o solo apresentará ao receber os esforços vindos da edificação. O solo, segundo Cintra *et al.* (2013), pode ser considerado, diferentemente do concreto e do aço, um material natural, sem controle para atender às características especificadas e que, assim, pode apresentar variedade de composição e em seu comportamento quando submetido a cargas.

Levando em consideração a complexidade apresentada pelo solo, Terzaghi e Peck (1967) advertem que um projeto de fundação não pode ser feito de maneira satisfatória sem que o projetista tenha, ao menos, um conhecimento razoavelmente preciso das propriedades dos solos envolvidos. O conhecimento das condições do subsolo em um terreno é requisito para um projeto econômico dos elementos de fundação.

Do ponto de vista econômico, Bowles (1996) sugere que a realização de processos de investigação do subsolo evita gastos adicionais à construção, uma vez que o projetista terá informações suficientes para a correta elaboração do projeto, adequando-o ao tipo de solo específico, evitando, assim, gasto decorrentes da descoberta tardia de que a fundação, já executada ou em processo de execução, encontrase com as configurações incompatíveis com as necessidades.

Bowles (1996) sugere que para a implantação de uma nova obra, a investigação deve fornecer informações para determinar o tipo de fundação a ser adotada, informações que possibilitem que o consultor geotécnico faça uma recomendação sobre a carga admissível da fundação, identificação de possíveis problemas relativos à propriedade vizinha, ensaios

de laboratório suficientes para realizar previsões de recalque, localização do nível do lençol freático, identificação de problemas ambientais e suas soluções, entre outros.

### 1.1 Standard Penetration Test (SPT)

*Standard Penetration Test (SPT)*, segundo Cintra *et al.* (2013), é o ensaio mais utilizado em projetos de fundação do Brasil e, por muitas vezes, o único a ser realizado. O SPT é um ensaio de penetração dinâmica composto na realização de três etapas: perfuração, amostragem e ensaio penetrométrico. As etapas de amostragem e de ensaio penetrométrico são realizadas simultaneamente, enquanto a perfuração é alternada com as outras duas etapas em cada metro de sondagem.

De acordo com ABNT (2001), o ensaio consiste basicamente na cravação de um amostrador padronizado, por meio de golpes de 65 kgf caindo de uma altura de 75 cm. Registra-se o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador em três contagens parciais para cada 15 cm. Em cada metro de sondagem, portanto, consegue-se obter o índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$  ou  $N_{30}$ ) que equivale à soma do número de golpes dos últimos 30 cm de penetração do amostrador (Figura 1). Ao realizar-se o ensaio SPT, busca-se determinar as camadas de solo em suas respectivas profundidades, a posição do nível d'água e os índices de resistência à penetração a cada metro.

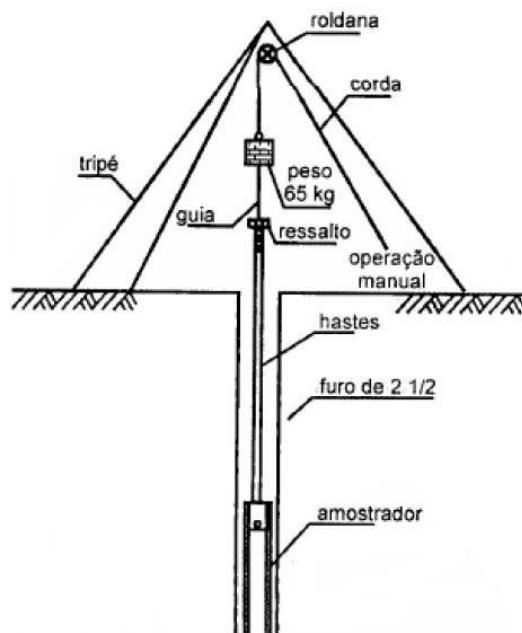


Figura 1 – Vista dos elementos constituintes do ensaio SPT

Fonte: Schnaid (2000).

## 1.2 *Dynamic Probing Light (DPL)*

O ensaio DPL (*Dynamic Probing Light*), ou Penetrômetro Dinâmico Leve, é, de acordo com Passos (2005), um equipamento manual de pequeno porte, projetado para uso em sondagens in situ que é, essencialmente, utilizado em solos não coesivos.

Semelhante ao SPT, o ensaio de DPL consiste em registrar a quantidade de golpes aplicados para cravar uma ponteira em forma de cone por meio da queda livre de um martelo com massa de 10 kg caindo de uma altura de 50 cm. A resistência à penetração ( $N_{10}$ ) é definida como o número de batidas necessário para penetrar o cone (penetrômetro) ao longo de 10 cm.

Mota (2003) afirma que as características geométricas e o peso do material são especificados por DIN (1991), enquanto ISSMFE (1989) define metodologia do ensaio. Os ensaios, segundo Nilsson (2011), devem ser iniciados pela realização de um furo de diâmetro 15 cm a uma profundidade de 30 cm. Feito o furo, insere-se uma haste, com a ponteira montada, na plataforma niveladora, pondo, em seguida, este conjunto no furo, com a ponteira posicionada verticalmente em relação ao solo.

Após o posicionamento adequado de uma haste com a ponteira montada, a plataforma e a haste são niveladas. Parte-se, na sequência, para a execução, parafusando o conjunto batente/guia na haste com o auxílio de operários. 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. A quantidade de golpes necessária para a penetração de cada 10 cm da haste é registrada. Remove-se o martelo e o batente é desparafusado.

Logo em seguida, há a opção de, com auxílio de um torquímetro, 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, repetindo o procedimento de penetração. A figura 2 apresenta a disposição do equipamento.

Realizado o ensaio, obtém-se, entre outros, a quantidade de golpes necessária para a cravação de 10 cm da haste – a resistência à penetração ( $N_{10}$ ). Uma vez que este procedimento de sondagem não utiliza água para a penetração, é possível verificar, ainda, de forma clara, o nível da água na retirada das hastes.

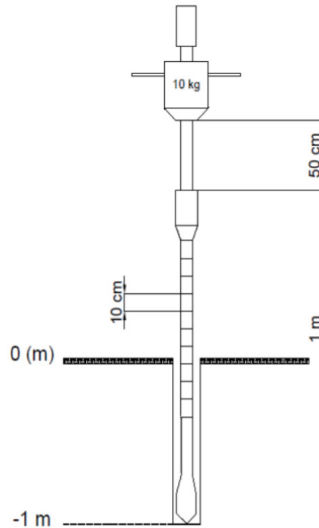


Figura 2 – Vista do equipamento de sondagem DPL

Fonte: Matos (2015).

### 1.3 Correlações entre $N_{10}$ e $N_{30}$

Tendo em vista a supremacia da utilização do SPT como forma de investigação do subsolo perante às outras sondagens, bem como a diversidade de métodos de dimensionamento de fundações que partem de seus resultados, algumas propostas de correlação entre os resultados obtidos com o ensaio com o DPL ( $N_{10}$ ) e com o SPT ( $N_{30}$ ) foram realizadas.

DIN (2003) sugere uma correlação para solos granulares acima do nível d'água, quando  $3 \leq N_{10} \leq 50$ , conforme Equação 1.

$$N_{30} = 1,4N_{10} \quad (1)$$

DIN (2003) propõe uma correlação, conforme Equação 2, para solos finos de baixa e média plasticidade acima do nível d'água quando  $2 \leq N_{10} \leq 30$ .

$$N_{30} = 0,6N_{10} \quad (2)$$

Matos (2015), para areias siltosas, com ensaio realizado no campo experimental da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), chegou à correlação da Equação 3.

$$N_{30} = 0,6N_{10} - 7,6 \quad (3)$$

Sanchez et al. (2010), correlacionou  $N_{30}$  e  $N_{10}$ , de três maneiras distintas, encontrando as respectivas correlações para solo arenoso. Para a correlação entre  $N_{30}$  e a média entre os todos os valores de  $N_{10}$  obtidos em cada metro, tem-se conforme Equação 4.

$$N_{30} = 0,5933N_{10} + 0,3755 \quad (4)$$

Para a correlação entre  $N_{30}$  e a média entre os valores de  $N_{10}$  obtidos nos últimos 30 cm de cada metro, tem-se a Equação 5.

$$N_{30} = 0,6062N_{10} + 0,3644 \quad (5)$$

Por fim, para a correlação entre  $N_{30}$  e a soma dos valores de  $N_{10}$  obtidos na penetração dos últimos 30 cm da haste em cada metro, tem-se a Equação 6.

$$N_{30} = 0,1972N_{10} + 1,6854 \quad (6)$$

Nilsson (2004), ainda, apresenta uma quantidade considerável de correlações entre os parâmetros advindos do SPT e do DPL, porém essas expressões se caracterizam como específicas de cada região onde o ensaio foi realizado.

## 2 | METODOLOGIA

Foram realizados 3 ensaios SPT e a mesma quantidade de ensaios DPL, estes dispostos ao lado dos furos para sondagem SPT, em camada de areia de depósito eólico localizado no nordeste da cidade de Fortaleza. Partindo dos resultados obtidos nas sondagens SPT e DPL, determinou-se, por regressão linear simples, a equação que propõe uma correlação entre os parâmetros dos dois ensaios.

Para isso, os valores de  $N_{30}$  obtidos foram comparados com a média dos golpes  $N_{10}$  na faixa de influência do SPT, ou seja, no comprimento em que se estima o número de batidas necessário para penetrar os últimos 30 cm do amostrador.

Dessa forma, considerou-se a média dessas medidas para cada metro de sondagem. Por exemplo, supondo a realização de um ensaio SPT iniciado na cota de 1 m até a profundidade de 1,45 m, o valor de  $N_{10}$  a ser considerado para a correlação será a média das medidas obtidas nas profundidades de 1,20 m e 1,30 m.

## 3 | RESULTADOS

Para a determinação da correlação entre os parâmetros obtidos com o ensaio DPL e SPT, levou-se em consideração os valores da Tabela 1.

Profundidade (m)	$N_{30}$	$N_{10}$ médio	Tipo de solo
1	7	41	Areia fina
2	15	79	Areia siltosa
3	34	98	Areia siltosa
4	11	147	Areia siltosa
5	8	190	Areia siltosa

Com esse conjunto de dados, elaborou-se uma linha de tendência que possibilitou definir o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a equação de correlação entre os valores  $N_{30}$  e  $N_{10}$  (Figura 3). Para a determinação da equação de correlação, destacou-se o melhor ajuste da linha de tendência em relação à nuvem de pontos obtidas a partir do ensaio, amparando-se, ainda, no coeficiente de determinação satisfatório encontrado ( $R^2 = 0,81$ ).

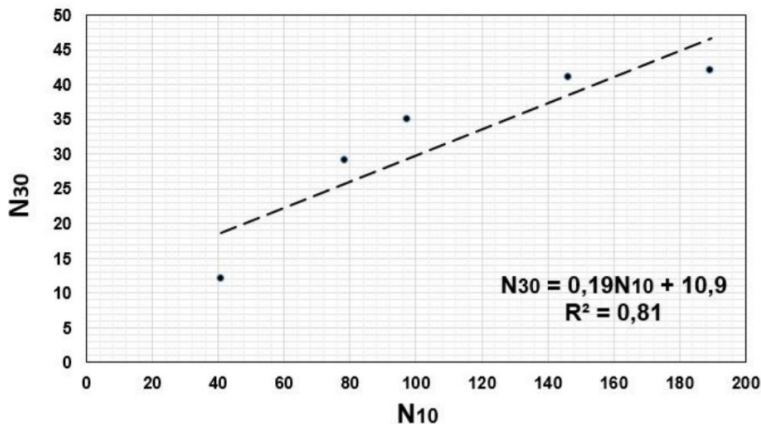


Figura 3 – Equação de correlação entre  $N_{30}$  e  $N_{10}$

Fonte: Prado (2016).

Vale salientar que a correlação foi obtida a partir de cinco pontos como dados de entrada, podendo ser melhor ajustada para uma quantidade maior de resultados, permitindo, assim, sua validação por meio de novos estudos.

## 4 | CONCLUSÃO

Identificou-se uma correlação satisfatória entre os parâmetros obtidos nos ensaios SPT e DPL para o tipo de solo analisado, com um coeficiente de determinação pertinente ( $R^2 = 0,81$ ). Salienta-se que deve ainda ser validada, em novos estudos, para verificação de aplicabilidade em larga escala.

Acredita-se que a partir dessa correlação e de futuras validações o DPL pode ser uma alternativa pertinente, em termos técnicos e, possivelmente, econômicos, para projetos de fundações, já que sua utilização se configura como alternativa à sondagem SPT, especialmente em obras de pequeno porte. Sugere-se a realização de estudos sobre a viabilidade econômica do ensaio DPL, além da melhoria da correlação proposta levando em conta mais dados de entrada para ajuste, afim de reforçar sua funcionalidade.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BOWLES, J. E. **Foundation analysis and design**. New York: McGraw-Hill, 1996.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C. H. C.; GIACHETI, H. L. **Fundações: Ensaios estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 4094: **Erkundung und Untersuchung des Baugrunds**. Berlin: Beuth, 1991.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 1054: **Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau**. Berlin: Beuth, 2003.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING. **Report of the ISSMFE technical committee on penetration testing of soils – TC 16 with reference test procedures: International reference test procedure for dynamic probing (DP)**. Linköping: Swedish Geotechnical Society, 49 p., 1989.

MATOS, Y. M. C. **Verificação da Aplicação de Sondagens com o Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) em Projetos de Fundações para Pequenas Edificações**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade de Fortaleza, 76 f. Fortaleza. 2015.

MOTA, N. M. B. **Ensaios avançados de campo na argila porosa de Brasília: interpretação e aplicação em projetos de fundação**. Tese (Doutorado) – Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 335 f. Brasília, 2003.

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

NILSSON, T. U. **Penetrômetros Dinâmicos em Projetos Rodoviários**. 13º Congresso Brasileiro de Geologia e de Engenharia Ambiental. São Paulo, 2011.

PASSOS, P. G. O. **Melhoramento de solos arenosos com estacas de areia e brita**. Tese (Doutorado) – Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 141 f. Brasília, 2005.

PRADO, S. C.; MENDES, G. C. M.; RODRIGUES, E. S. F. AGUIAR, M. F. P. **Estudo da Correlação entre DPL e SPT para Camada de Areia em Depósito Eólico de Fortaleza**. XXII Encontro de Iniciação à Pesquisa. Universidade de Fortaleza. Fortaleza, 2016

SCHNAID, F. **Ensaios de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SANCHEZ, P. F. et al. **Estudo da Viabilidade do Uso do Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) para Projetos de Fundações de Linhas de Transmissão em Solos do Estado do Paraná**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado. Anais... pp. 1-8. Gramado, 2010.