Unisanta Science and Technology, **2019, 3, December**
Published Online 2019 Vol.8 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Avaliação da correlação existente na ASTM D6951 para estimativa do valor do Índice de Suporte Califórnia através do ensaio *Dynamic Cone Penetrometer* em solos tropicais

Caio Vinícius Schlögel, Jair de Jesus Arrieta Baldovino, Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

E-mail*:* schlogel@gmail.com
Received May, 2019

Resumo: Este artigo tem como objetivo comparar os resultados de Índice de Suporte Califórnia (ISC) obtidos por meio do ensaio laboratorial de com NBR 9895/16 e, pela correlação presente na norma americana ASTM D6951/2003, a qual estima valores de ISC em função dos resultados penetração por golpe (DN) do ensaio *dynamic cone penetrometer* (DCP). Os ensaios foram realizados sobre a plataforma de uma ferrovia próxima a cidade de Itu, localizada no estado de São Paulo, região sudeste do Brasil. Os resultados mostram que a replicabilidade do ensaio DCP torna-o uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade de compactação de qualquer camada inferior ao lastro ferroviário, além de poder se tornar uma ferramenta muito importante na avaliação qualitativa destas camadas através da análise do ângulo de inclinação da reta DN, estimativa de valores de CBR e módulo de resiliência. Entretanto, reforça-se a necessidade do estudo e elaboração de curvas de correlação regionais para obtenção destes resultados, haja visto que a normativa americana ASTM D6951/2003 foi desenvolvida para solos com geomorfologias diferentes aos solos estudados no presente estudo, levando a resultados errôneos para solos tropicais.

Palavras chave: Ensaios de solo, ASTM D6951, Índice de Suporte Califórnia, ensaio DCP.

Assessing the correlation suggested by the ASTM D6951 for estimating the California Bearing Ratio using the Dynamic Cone Penetrometer in tropical soils

Abstract: The main objective of this article is to compare the results obtained for California Bearings Ratio (CBR) through laboratory experiments based on the standard NBR 9895/16 and the correlation shown in the American Standard ASTM D6951/2003, which estimates the CBR values in function of the penetration by blow (DN) using the dynamic cone penetrometer (DCP). The experiments were done on a subgrade of railtrack localized in the city of Itu, state of São Paulo, southeast of Brazil. The results showed that the repeatability of the DCP makes the tool very useful for compaction quality control of soil layers based on the inclination of the DN function, estimating CBR values and resilient modulus. Nonetheless, it is important to point it out that local correlations need to be studied and made, since the equations presented by the ASTM D6951/2003 were developed for soils of different geomorphologies studied in this article, thus driving to erroneous results for tropical soils.

Keywords: Soil tests, ASTM D6951, California Support Index, DCP test.

1. Introdução

Empresas de transporte ferroviário no Brasil transportaram cerca de 538,8 milhões de toneladas por quilômetro útil (MTKU) em 2017, o que representa um acréscimo de 6,9% se comparado aos últimos anos e, o maior valor nos últimos 12 anos [1]. Desde 1997 o acréscimo em transporte de carga já chega na casa de 112,5%. [1].

A fim de garantir que a infraestrutura ferroviária apresente características de resistência compatíveis com esse aumento de fluxo e carga, uma avaliação eficiente do subleito deve ser feita.

Copyright © 2019 ISESC.

Estas investigações têm como objetivo liderar os investimentos para manutenções mais assertivas da infraestrutura ferroviária, haja visto que as intervenções são extremamente custosas [2, 22, 23]. Desta forma, é importante que sejam feitos ensaios de prospecção do subleito ferroviário a fim de determinar as propriedades do solo lá existente [3].

O Penetrômetro Sul Africano, também como é conhecido o DCP, permite uma caracterização bem definida não apenas de solos naturais, mas também de solos mais moles até camadas de solo britado [10, 24]. É consideravelmente mais barato, mais rápido do que ensaios envolvendo escavação, especialmente quando a profundidade do solo em estudo é rasa [4], além de apresentar ótima replicabilidade [25]. O relatório de resultados fornece uma relação da resistência à penetração pela profundidade da camada.

Inúmeras correlações e funções já foram publicadas envolvendo o DCP, como: controle de capacidade de carga em fundações diretas [17], estimativa de densidade relativa de areia [18, 21], módulo de resiliência [10, 26], rigidez do solo [20], e correlação com o ensaio CBR [9, 10, 11, 12].

Este trabalho comparará resultados de Índice de Suporte Califórnia (ISC) obtidos através das formulações presentes na normativa americana ASTM D 695, formulações publicadas na literatura e, resultados de CBR obtidos com base na norma brasileira NBR 9895/17.

2. Materiais e Métodos

A campanha de ensaios em campo foi realizada próxima à cidade de Itu, São Paulo -Brasil.

O clima da região é subtropical com temperatura anual média de 20 °C. Os locais selecionados para realização do DCP foram escolhidos pois já se possuíam os valores de ISC, massa específica aparente seca máxima e umidades ótimas obtidas previamente em laboratório para estudos de ampliação ferroviária na região.

Em cada ponto de realização do ensaio (Figura 1) foi avaliada a quantidade de pedra existente no local, levando a alguns casos em que foi necessária a escavação de até 30 cm de pedra a fim de que o DCP fosse realizado no solo.

Nos pontos em que não havia camada de lastro o ensaio foi realizado sem previa limpeza do material de maior granulometria.

Com a retirada do lastro se tornou possível à determinação visual do início da cravação da ponta cônica no solo, caso contrário, seria necessária a avaliação da curva DN (mm/golpe) para estimar a altura da camada de agregado.

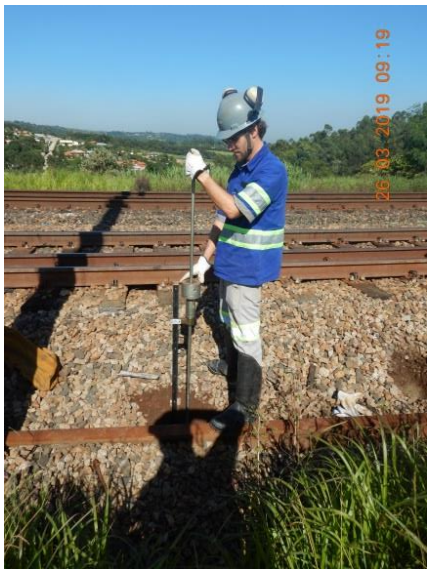


Figura 1. Realização do DCP na plataforma ferroviária.

Foram realizados três (3) ensaios DCP por ponto. Totalizaram-se dez (10) pontos de ensaio, resultando em trinta (30) ensaios DCP realizados. A distância máxima entre um ponto (P) de estudo e outro foi cerca de 40km, já os locais de realização dos ensaios, denominados estações (E), não ficaram espaçadas mais que 3m uma da outra. As estações foram locadas no pé do ombro do lastro ferroviário.

O equipamento empregado está representado na figura 2 e, o procedimento adotado para o ensaio seguiu a normativo norte americana ASTM D-6951 (2003) onde foi feita uma leitura por golpe do martelo.

Os critérios de finalização do ensaio foram a penetração de aproximadamente 70cm da haste, cerca de 30 golpes, ou então, se após cinco golpes consecutivos o equipamento não penetrar mais que 2 mm.

O solo da região foi classificado como um solo com grande presença de argila, ou seja, A6 de acordo com a classificação *Highway Research Board* (HRB).

As informações de características do solo em cada ponto de estudo foram fornecidas, porém dois ensaios de caracterização e CBR foram realizados posteriormente.

As amostras coletadas no local foram deformadas e, os ensaios realizados no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná seguiram as seguintes normativas: NBR 6467/16 – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 7181/16 – Análise granulométrica, NBR 6459/16 – Determinação do Limite de Liquidez, NBR 7280/16 – Determinação do Limite de Plasticidade, DNER-ME 93/94 – Densidade real dos grãos e por fim, NBR 9895/16 – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio.

Copyright © 2019 ISESC

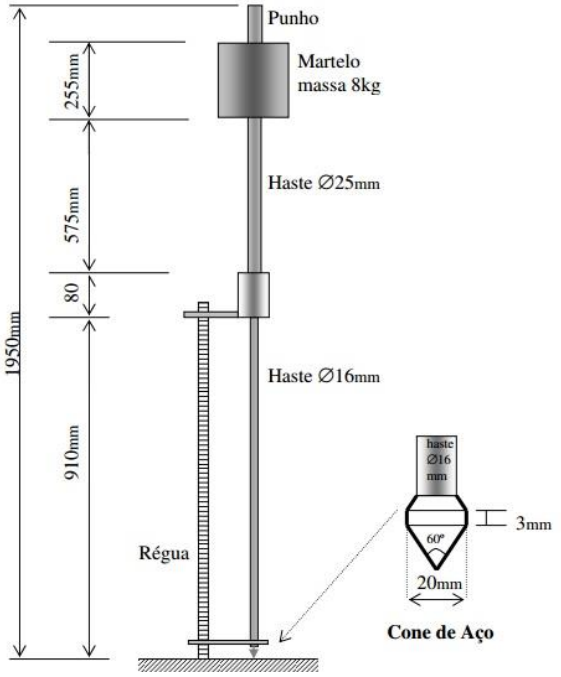


Figura 2. Dynamic Cone Penetrometer (DCP).
Fonte: Dal Pai, 2005

3. Resultados

Conforme previamente descrito, as características do solo dos pontos de ensaios foram fornecidas e são apresentadas na tabela 1.

Os valores não existentes na tabela não foram catalogados nos resultados disponibilizados.

Através da aplicação do equipamento nas três estações (E) de estudo nos pontos (P), foram obtidos os valores de profundidade penetrada no solo por golpe.

A partir destes dados foi possível plotar um gráfico, figura 3, de profundidade por golpe, o qual facilita a visualização do efeito do equipamento do solo.

O gráfico representa dois de dez pontos avaliados com o uso do DCP, os quais estão distantes cerca de 2km.

A taxa de penetração, denominada DN, é calculada com base na equação 1.

A partir do DN é possível distinguir os pontos onde foram realizados os ensaios DCP, pois ela representa o ângulo de inclinação das retas dos gráficos da figura 3.

Tabela 1. Informações do solo nos pontos de estudo.

		Granulometria % que passa			Limites Atterberg			Classificação	
Ponto (P)	**km**	**2,00**	**0,42**	**0,074**	**LL**	**LP**	**IP**	**HRB**	**SUCS**
1	**177+900**	100	97,36	86,58	35	23	12	A-6	CL
2	**178+450**	100	89,91	68,54	28	17	11	A-6	CL -ML
3	**182+200**	100	98,53	78,91	39	24	15	A-6	CL
4	**183+050**	100	95,95	74,75	38	23	15	A-6	CL
5	**196+500**	95,7	92,5	52,8	27	23	4	A-6	ML
6	**198+300**	100	93,99	86,19	34	21	13	A-6	CL
7	**201+500**	100	90,15	48,6	36	17	19	A-6	CL
8	**212+600**	100	86,85	38,13	-	-	0	A-6	-
9	**214+900**	100	87,45	37,41	24	16	8	A-6	-
10	**216+200**	100	76,07	48,03	41	22	19	A-6	CL

Copyright © 2019 ISESC

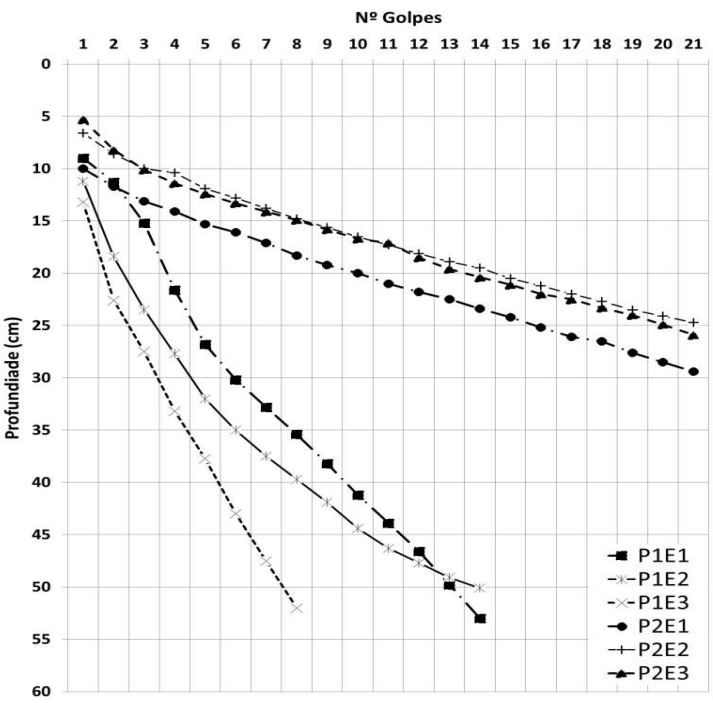


Figura 3. Correlação profundidade por golpe dos pontos de ensaio.

As estações do ponto 1 tiveram uma taxa de penetração superior as estações do ponto 2.

A tabela 3 apresenta os valores de DN (mm/golpe) calculados por meio da equação 1 com base nos ensaios de campo.

$$DN = \frac{profundidade}{número\ de\ golpes} \quad (1)$$

$$ISC = \frac{1}{(0{,}0170193 x DN)^2} \quad (2)$$

A partir dos valores de DN aplicados na equação 2 proposta na normativa ASTM D-6951/2003, se torna possível o cálculo do Índice de Suporte Califórnia (ISC). Os valores de ISC (%) calculados são apresentados na tabela 4.

A equação utilizada para obtenção do CBR (%), conforme denominação em inglês, foi escolhida com base nas orientações da própria ASTM D-6951/2003, a qual indica que a equação 2 seja aplicada para solos argilosos de média a baixa plasticidade, CL, de acordo com o *Soil Unified Classification System* (SUCS).

Tabela 2. Valores de DN (mm/golpe) e teor de Umidade (%)

	E1		E2		E3	
	DN	**w**	**DN**	**w**	**DN**	**w**
P1	33,85	20,32	29,92	19,48	55,43	27,14
P2	9,70	8,29	9,05	8,51	10,30	8,91
P3	4,36	16,43	9,43	17,69	7,32	17,52
P4	10,12	19,61	14,00	24,50	23,46	17,41
P5	11,00	9,55	2,87	14,58	5,50	4,05
P6	37,53	19,31	49,50	17,92	20,85	16,71
P7	32,88	11,75	45,40	12,94	36,24	11,54
P8	8,80	19,69	16,55	15,76	15,85	18,25
P9	16,30	5,32	8,70	8,84	12,48	5,81
P10	5,05	4,10	11,10	12,26	29,50	2,51

Copyright © 2019 ISESC

Tabela 3. Valores de ISC em função de DN através de formulação ASTM D-6951/2003.

	Valores calculados $ISC = \frac{1}{(0,0170193\ x\ DN)^2}$		
	E1	**E2**	**E3**
P1	3,01	3,86	1,12
P2	36,69	42,15	32,54
P3	181,85	38,84	64,41
P4	33,74	17,61	6,27
P5	28,53	420,11	114,13
P6	2,45	1,41	7,94
P7	3,19	1,67	2,63
P8	44,58	12,61	13,74
P9	12,99	45,61	22,18
P10	135,23	28,02	3,97

4. Discussão

Com base nos resultados apresentados na tabela 3, nota-se uma diferença nos valores de DN que podem chegar até 600% em um mesmo marco quilométrico.

A variação pode se dar devido influência da umidade, a qual impacta muito no comportamento da curva, principalmente quando o local ensaiado se encontra com umidade no ramo úmido da curva de compactação [12,13, 15, 16, 19].

A partir da plotagem dos valores de DN em função da profundidade de penetração, exposto na figura 4, se nota uma redução na taxa do DN na camada superior de 15 cm do local de estudo. A taxa de penetração por golpe se estabiliza próximo a um valor de 1 cm/golpe em uma profundidade compreendida entre 15 e 25cm de solo.

Com base neste resultado se conclui que a camada superior (0- 15cm) do solo possa ter passado por uma movimentação levando a perda de compactação, ou até mesmo, tenha sido mal compactada, o que leva a uma consequente redução na resistência a penetração

A estabilização dos valores de DN (mm/golpe) na camada que varia de 15- 25cm pode significar que o serviço de compactação no local foi bem executado, levando a crer, realmente, que a camada superior possa ter passado por uma posterior movimentação para fins de manutenção.

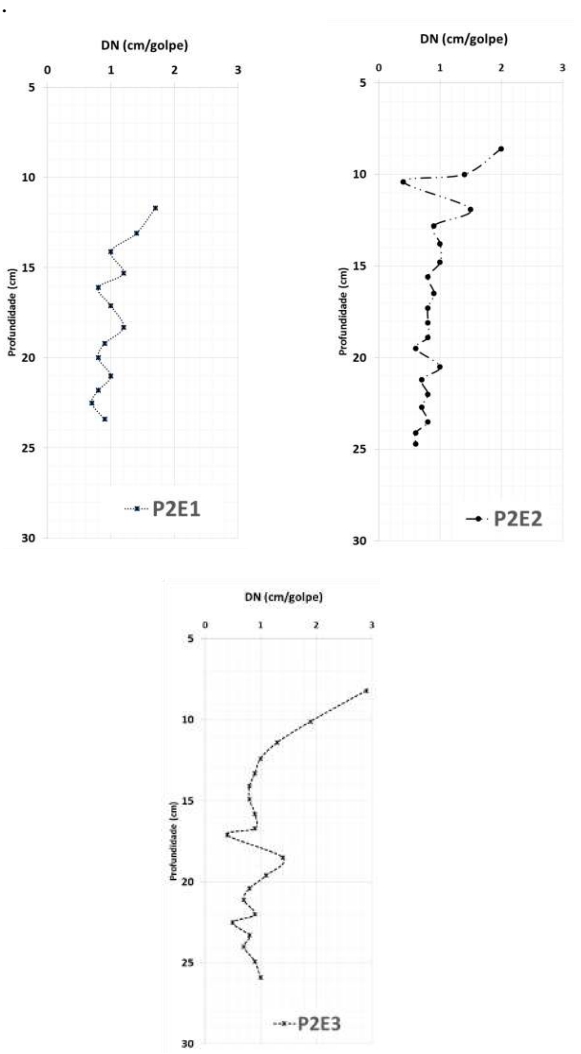


Figura 4. Relação DN (cm/golpe) pela profundidade (cm).

Outra possível hipótese, é que as camadas inferiores (15- 25cm) possam ter sofrido um maior adensamento frente a camada superior (0 – 15cm).

Mais uma avaliação que pode ser feita a partir dos gráficos plotados na figura 4, é a variação do tipo de solo existente na camada até 15cm de profundidade em comparação a camada que varia de 15 até 25cm [19]. Entretanto, essa hipótese só pode ser corroborada se fossem extraídas amostras de solo ou, realizadas cavas ao lado do ponto de execução do ensaio.

Por fim, os acréscimos pontuais de DN podem ter ocorrido devido a pequenos fragmentos de pedra lastro estar misturada junto ao solo.

As variações notadas no ensaio DCP em campo sugerem uma variação considerável nos resultados obtidos para os valores de CBR através da normativa americana ASTM D-6951, conforme exposto na figura 5.

Copyright © 2019 ISESC

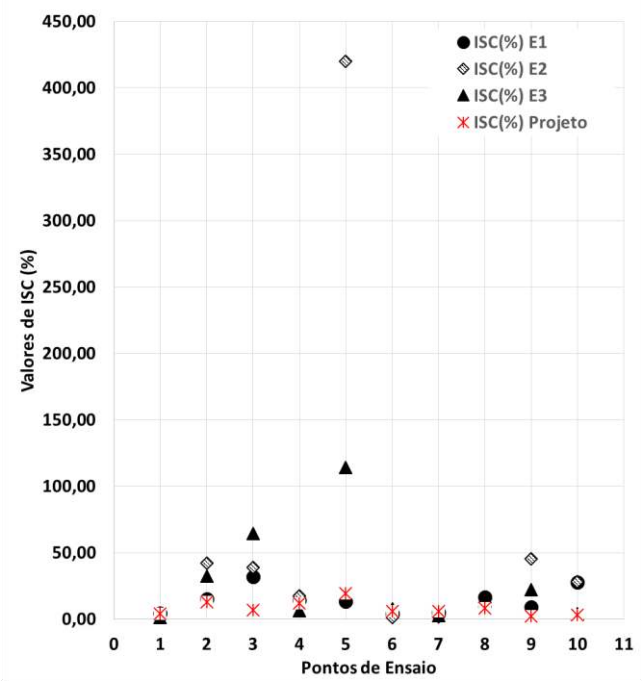


Figura 5. Resultados ISC (%) calculados a partir da ASTM D-6951

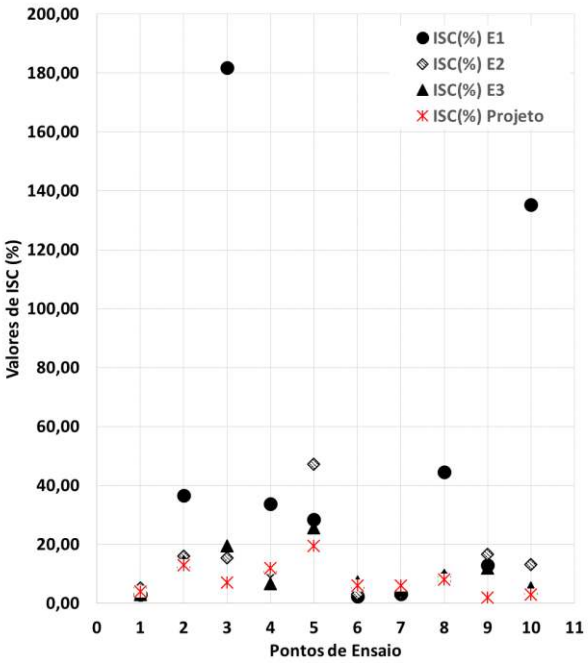


Figura 6. Resultados ISC(%) calculados a partir de Alves, 2002 [10].

Percebe-se que os valores obtidos para CBR através da equação 2, previamente exposta no trabalho, apresentaram erros que variaram 3,61% até cerca de 4.500%. De acordo com [14], os valores calculados para ISC (%) apresentam boa correlação se as condições de campo não se alterarem. Tendo em vista que a proposta do trabalho é obter o valor de ISC (%) atualmente, desvios são esperados, até um certo limite.

Em compensação, utilizando a equação 3 elaborada por Alves [10], para solos classificados pela HRB como A -4, ou seja, solos siltosos, os valores se aproximam muito mais, como pode ser visto na figura 6.

$$ISC = 127{,}19 * DN^{(-0{,}94)} \quad (3)$$

$$erro = \frac{ISC_{calc.} - ISC_{lab.}}{ISC_{lab.}} \quad (4)$$

A partir dos resultados de ISC (%) calculados através das equações 2 e 3, foram obtidos valores de erro frente ao ISC (%) obtido em laboratório. Os erros expostos na tabela 7 foram calculados com base na equação 4, onde $ISC_{calc.}$ representa os valores obtidos pelas formulações 2 e 3 e, $ISC_{lab.}$ significa os valores de CBR obtidos por meio do ensaio normatizado pela NBR 9895/16.

Avaliando os resultados expostos na tabela 7 é possível concluir que, apesar de não ser indicado para o solo argiloso encontrado na região de Itu, a formulação elaborada por Alves [10], indicada para solos siltosos, é mais representativa para o solo tropical da região sul e sudeste do Brasil do que o proposto pela normativa americana ASTM D-6951.

A baixa correlação para solos argilosos, classificados como A-6 pela HRB, já havia sido observado por Monteiro [27], onde concluiu, com base em ensaios de DCP em solos arenosos com influência de silte ou argila (A-2-4 e A-2-6) e pedra britada com areia (A-1-B), que os resultados obtidos para A-6 não seguiam a mesma correlação vista nos outros.

De acordo com [28], a formação do solo tropical é mais complexa do que apenas decomposição de rocha, desta forma, ele reforça que é importante considerar a distribuição da estrutura do solo, porosidade e também

Copyright © 2019 ISESC

do local onde o solo está localizado nas questões de resistência mecânica. Portanto, ainda se torna necessária uma correlação local para a região de estudo, haja visto que os valores de erro encontrados neste trabalho podem levar tomadas de decisão erradas em campo e projeto devido valores encontrados pela equação.

Tabela 4. Comparação de erro dos métodos ASTM e Alves, 2002

	Erro (%) ASTM		Erro (%) Alves, 2002	
	Limite inferior	**Limite Superior**	**Limite inferior**	**Limite Superior**
P1	71,91%	3,61%	27,01%	30,30%
P2	150,32%	224,25%	9,26%	23,38%
P3	454,79%	2.497,86%	120,48%	355,52%
P4	47,73%	181,17%	45,41%	20,39%
P5	46,32%	2.054,41%	31,53%	142,37%
P6	76,52%	32,36%	45,88%	21,99%
P7	72,08%	46,78%	41,30%	20,50%
P8	57,64%	457,26%	13,71%	105,85%
P9	549,70%	2.180,59%	361,28%	732,29%
P10	32,24%	4.407,75%	76,08%	824,75%

Ressalta-se também neste estudo que a utilização do DCP facilitou na obtenção de um maior número de resultados de ISC, reforçando a característica de replicabilidade que a ferramenta possui.

O aumento no número de ensaios é uma condição importante para projetistas durante dimensionamento das camadas de solo e, avaliações de acompanhamento de execução. Caso não fosse utilizada a ferramenta ensaios CBR laboratoriais deveriam ser executados, o qual tomaria muito tempo e seria feito em menores quantidades devido custo do ensaio.

5. Conclusões

Após realizações dos ensaios DCP em campo e, comparando os valores obtidos de ISC através das formulações propostas pela ASTM D 695, Alves [10] e pelo ensaio CBR feito em laboratório, é possível chegar nas seguintes conclusões:

- A normativa ASTM D 695 não apresenta uma correlação que possa ser utilizada par obtenção de valores de ISC para solos argilosos (A-6) tropicais;
- Para o caso de solos tropicais, há necessidade de realização de maior número de correlações entre o ensaio CBR e DCP devido formação do solo e características a ele implícitas;
- O equipamento DCP tem uma boa replicabilidade, levando o controle de qualidade de compactação de solo e avaliação do ISC a um nível muito bom no quesito quantidade de ensaios capazes de serem feitos [25];
- A replicabilidade do ensaio torna possível um maior número de ensaios ISC no local, aumentando a probabilidade de uma melhor solução de reforço, caso fosse o caso, ser projetada;
- A variação de umidade observada nos pontos de ensaio e a falta de controle de qualidade influenciaram no resultado do ensaio DCP;
- O DCP possui ampla serventia além da correlação DCP x CBR, haja visto, que através da simples avaliação do ângulo de inclinação da curva DN é possível se extrair inúmeras avaliações do solo em questão;

Referências

[1] Agência Nacional de Transportes Ferroviários. Disponível em: https://www.antf.org.br/. Acessado em: 27 de outubro de 2019

[2] F. Lamas- Lopez, Y. J.Cui, S. Costa D'Aguiar, N. Calon. Geotechnical auscultation of a French conventional railway track-bed for maintenance purposes. Soils and Foundations 2016; 56(2): 240-250.

[3] Paixão, A., Fortunato, E., Calçada, R., 2014. Transition zones to railway bridges:track measurements and numerical modelling. Eng. Struct.80, 435–443.

[4] Connolly, D., Giannopoulos, A., Forde, M. C., 2013. Numerical modelling of ground borne vibrations from high speed rail lines on embankments .Soil Dyn. Earthq.Eng.46,13–19 Elsevier.

[5] ASTM – D-6951 Standard Test Method for use of the dynamics cone penetrometer in shallow pavement applications. ASTM International, 2003. 7p.

[6] LIMA, L.C. O Ensaio DCP aplicado no Controle de Qualidade de Compactação de Obras Viárias executadas com Solos Lateríticos de Textura Fina. Tese de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. ITA, 2000.

[7] HEYN, A.T. Aplicações de Penetrômetro Dinâmico de Ponta Cônica na Avaliação de Estruturas de Pavimento. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 21.,1986, Salvador. Anais...Rio de Janeiro: ABPv, 1986. p.139-149

Copyright © 2019 ISESC

[8] VERTAMATTI, E.; OLIVEIRA, L.E.de. Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego Executado com Solos Transicionais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO, 1., 1997, Rio de Janeiro. Anais... p. 326-344."

[9] CARDOSO, A.B.; TRICHÊS, G. Utilização do Penetrômetro Dinâmico de Cone no Controle Tecnológico de Camadas Finais de Aterros Rodoviários e na Avaliação da sua Capacidade de Suporte. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31.,1998, São Paulo. Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 1998. p. 686-698."

[10] ALVES, A. B. C.. Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplenagem utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone. Dissertação (Mestrado) - UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 171p.

[11] BERTI, C. Avaliação da capacidade de suporte de solos "in situ" em obras viárias através do cone de penetração dinâmica – Estudo experimental. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade estadual de campinas, 2005, 122 págs. Dissertação de Mestrado.

[12] TORRES, V. C. de A. Ensaio de cone de penetração dinâmica para Controle para compactação de vias urbanas na cidade de Curitiba/PR. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Engenharia Civil, Curitiba, 2017. p 90-96

[13] CHIBWE, J., MUSENERO, L. Comparative Analysis of the Dynamic Cone Penetrometer – Cone Penetration Rate Design Approach against Other Methods Used for Upgrading of Low Volume Roads: Case of Uganda and Zambia, 2019. Journal of the transportation Research Board.

[14] SIDHU, D. S., JAH J., and GILL, K. S. Development of correction factor for penetration index of dynamic cone penetrometer to assess in situ soaked California bearing ratio, 2018 Journal of The Institution of Engineers (India): Series A: 1-7.

[15] CHUKKA, D., CHAKRAVARTHI, V. K. Evaluation of Properties of Soil Subgrade Using Dynamic Cone Penetration Index – A Case of Study, 2012. International Journal of Engineering Research and Development, Volume 4, Issue 4, PP. 07-15

[16] ABBAS M. et al. (2019): A practical technique for the compaction control of sand in road construction: using a dynamic lightweight cone penetrometer, Road Materials and Pavement Design, DOI: 10.1080/14680629.2019.1634123

[17] BENEVIDES, L. D. Avaliação do uso do DCP em areias para controle da capacidade de carga em fundações diretas e controle de compactação de aterro. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Natal, 2012 p111.

[18] ALAM, M. J., et al. Development of correlation between dynamic cone resistance and relative density of sand Journal of Civil Engineering (IEB), 42 (1) (2014) 63-76

[19] SRIVASTAVA S. et al. Measuring the penetration resistance of soil using dynamic cone penetrometer. Dissertation (Masters), Delhi Technology University, 2018 p 46.

[20] Sawangsuriya, A., Edil, T.B., 2005. Evaluating stiffness and strength of pavement materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Geotechnical Engineering. 158 (4): 217-230.

[21] MACROBERTS, C.J. et al. Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Relative Density Correlations for Sands. Soils and Rocks, São Paulo, 42(2): 201-207, May-August, 2019.

[22] HONG, W. T., et al. Strength and stiffness assessment of railway track substructures using cross-hole-type dynamic cone penetrometer. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 100 (2017) 88–97.

[23] BROUGH, M., et al. Evaluation of rail trackbed and formation: a case study. NDT&E International 36 (2003) 145–156

[24] GREEN, P. P. et al. Use and interpretation of the dynamic cone penetrometer (DCP) test. CSIR Built Environment Pretoria, 2009.

[25] HAMLD, A. M., et al. Assessing the effect of density and water level on the degree of compaction of sand using Dynamic Cone Penetration Test. Arabian Journal for Science and Engineering, 2018.

[26] ANGELONE, S., TOSTICARELLI, J. and MARTINEZ, F., El Penetrometro Dinamico de Cono, su Aplication al Control y Diseñño Estructural de Pavimentos, 6o Congresso Ibero-Latino Americano del Asfalto, 1991.

[27] MONTEIRO, F. F., et al. CBR Value Estimation Using Dynamic Cone Penetrometer: A Case Study of Brazil's Midwest Federal Highway Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2016 (21.14), pp 3649-3656

[28] CARVALHO, J. C., et al. Tropical soils for highway construction: Peculiarities and

Considerations. Transportation Geotechnics 5 (2015) 3–19.

Copyright © 2019 ISESC