

Avaliação do Desempenho do Cone de Penetração Dinâmica – DCP em Vias Locais de Curitiba/PR

Vanessa Corrêa de Andrade

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vanessacorreandrade@yahoo.com.br

Wagner Teixeira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, teixeira.wagner@hotmail.com

André Fardin Rosa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, andrerossaa@gmail.com

Alexandre Mokdici dos Reis

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, amr.92@hotmail.com

Rodrigo José de Almeida Torres Filho

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, rodrigotorresfilho@yahoo.com.br

Adauto José Miranda Lima

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, adautojm@gmail.com

Juliana Lundgren Rose

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, julrose@gmail.com

Ronaldo Luis dos Santos Izzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, izzo@utfpr.edu.br

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar uma nova metodologia para controle geotécnico em vias urbanas de tráfego leve. Atualmente, dentre os diversos ensaios disponíveis para avaliação do comportamento mecânico dos solos, destaca-se o uso do CBR, porém, este possui desvantagem quanto à demora para obtenção de seus resultados, devido ao procedimento intrínseco do ensaio. Sob esta perspectiva, o presente trabalho se propõe a analisar a utilização do equipamento DCP - Cone de Penetração Dinâmica - como uma alternativa mais econômica, viável, segura e vantajosa para a análise dos níveis de compactação das camadas componentes das vias. A área de estudo encontra-se na cidade de Curitiba, no Estado do Paraná. O estudo é realizado através de ensaios laboratoriais, visando a caracterização do solo local e investigações de campo a fim de se comparar as características do subleito e da base do pavimento, sendo este último analisado sem cimento e na mistura solo-cimento em diferentes idades, tendo como foco principal a utilização do DCP em condições controladas no laboratório e em campo. Outro resultado aguardado é a utilização deste método em substituição aos métodos utilizados atualmente, por apresentar diversas vantagens tais como satisfatória mobilidade, facilidade de execução, imediata obtenção de resultados e baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: DCP, Pavimentação, Solo-cimento, Avaliação de vias locais.

1 INTRODUÇÃO

Para a realização de obras de terra é de suma importância que se tenha conhecimento acerca das propriedades geotécnicas dos solos, com o intuito de se prever seu comportamento tanto em seu estado natural (solo indeformado) quanto em seu estado amolgado (solo deformado).

No caso dos projetos de pavimentação, a fim de que este seja elaborado de forma eficiente, é necessário que se realize uma correta caracterização dos solos constituintes de suas camadas (tais como a base, sub-base, reforço e subleito). Essa caracterização depende da complexidade da obra viária é feita através de ensaios laboratoriais e também de campo.

Tendo em vista esse tipo de situação, é de suma importância a avaliação do comportamento mecânico dos solos em obras viárias, levando em consideração os aspectos de funcionamento, segurança e durabilidade que devem ser alcançados e mantidos nesse tipo de empreendimento. Para tanto, é necessário que haja um estudo acerca das características do local, dos materiais nele presentes e suas propriedades sob o ponto de vista estrutural. Conhecidas as variáveis que compõem o problema, é possível que se alcance uma solução mais adequada, com melhor desempenho e confiabilidade. Além disso, considera-se também imperativo que o projeto seja elaborado da forma mais econômica possível, ponderando sobre os múltiplos aspectos pertinentes ao estudo, tais como segurança, meio ambiente e sociedade.

Diante dessa necessidade, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação do cone de penetração dinâmica (DCP) como uma alternativa mais econômica, viável, segura e vantajosa para a análise dos níveis de compactação das camadas componentes das vias. Atualmente, dentre os diversos ensaios disponíveis para avaliação do comportamento mecânico dos solos, destaca-se o uso do CBR, porém, este possui desvantagem quanto à demora para obtenção de seus resultados, além de se apresentar significativamente dispendioso quando comparado do DCP. Além disso, como explicitado por Berti (2005), o CBR não

permite a investigação do pavimento ao longo de suas camadas, já o DCP, permite investigação de várias camadas de maneira imediata, com custo relativamente baixo tanto de equipamento quanto de operação.

De acordo com Claus e Ferreira (2014) o DCP possui a vantagem de ser não-destrutivo e de provocar menores perturbações na estrutura, além disso Bastos (2014) ressalta que o DCP apresenta facilidade quanto à sua mobilidade - por ser leve e pequeno - possibilitando a realização de ensaios em locais de difícil acesso. Além disso, segundo o autor, este equipamento ainda é pouco difundido no Brasil, fato que abre margem para maiores estudos.

O local de estudo encontra-se na cidade de Curitiba, no Estado do Paraná, e é realizado através de investigações de campo e ensaios laboratoriais do solo local a fim de se obter correlações matemáticas que garantam a correspondência entre a penetração do cone no solo e o CBR, obtendo-se, assim, o seu grau de compactação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de realização dos ensaios

Para o presente estudo, são analisadas três vias, sendo que duas delas apresentam dois quarteirões estudados e, a terceira, um quarteirão. A escolha de quantas e quais vias são parte desse estudo, baseou-se de acordo com a disponibilidade da Prefeitura de Curitiba, sendo este o ente federado responsável pela execução e manutenção das supracitadas vias.

Na Figura 1 é apresentada a localização da cidade de Curitiba, no estado do Paraná. Na Figura 2 são representadas as vias estudadas e as suas respectivas quadras estudadas.

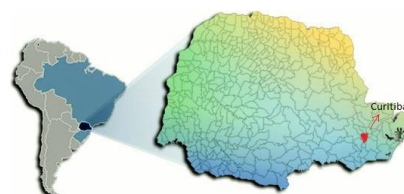


Figura 1. Cidade de Curitiba e Estado do Paraná. Fonte: Governo do Estado do Paraná (adaptado).

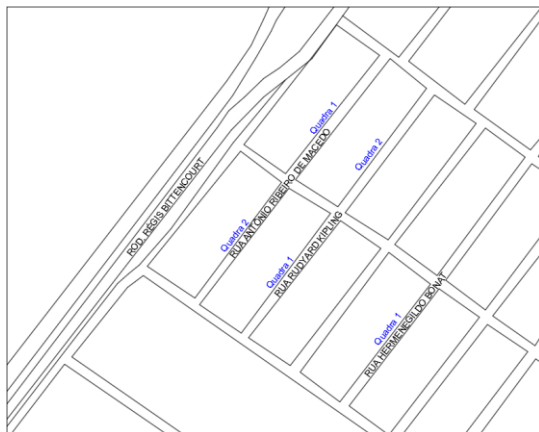


Figura 2. Vias ensaiadas e suas quadras.

2.2 Ensaios laboratoriais

Cada um dos ensaios e suas etapas são explicados nos subitens deste capítulo.

2.1.1 Ensaios de caracterização

O ensaio de granulometria foi realizado seguindo os procedimentos de acordo com o método descrito na NBR 7181.

Posteriormente, seguindo os procedimentos conforme o método descrito na NBR 6508 fez-se o ensaio de determinação da massa específica dos grãos.

O Limite de Plasticidade foi realizado seguindo as diretrizes da NBR 7180. Por fim, o ensaio do Limite de Liquidez foi executado de acordo com a 6459, com a utilização do Aparelho de Casagrande.

2.1.2 Equipamento DCP e Ensaio de Proctor Normal

Alguns dos elementos básicos constituintes do equipamento DCP são uma ponta cônica de 60 graus, uma régua graduada – que mede a cravação do equipamento no solo - um martelo de 8kg que cai de uma altura de 57,5 cm, guiado por uma haste metálica.

O conceito do ensaio consiste na transferência de energia do martelo para o solo, sendo esta traduzida na forma de medida de cravação (em milímetros) do equipamento por golpe. Na Figura 3 a seguir é apresentado um esquema do DCP e seus elementos.

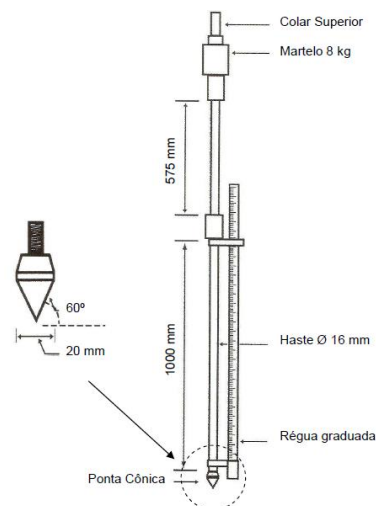


Figura 3. Esquema do equipamento DCP. Fonte: Benevides (2012).

O DCP neste trabalho foi utilizado tanto em campo quanto em laboratório, sendo seu objetivo em laboratório retirar medidas de cravação do equipamento em condições controladas - de umidade e energia de compactação - do solo retirado em campo. Para tais medidas foram realizados ensaios de Proctor na energia normal, conforme NBR 7182 e, em cada ponto de umidade, feito o ensaio DCP. Desse modo obteve-se a cravação do DCP para diversos pontos de umidade e densidade do solo estudado. Na Figura 4 apresenta-se o ensaio DCP após a realização do Proctor normal.



Figura 4. Ensaio DCP no cilindro de Proctor.

2.3 Ensaios de campo

Primeiramente foram realizados ensaios DCP nas vias - seguindo as diretrizes da ASTM D-6951 - na forma de pares de pontos, sendo o primeiro deles na margem da via, a fim de se ensaiar o solo sem cimento (P1- S/C) e, o segundo, através de furos feitos no pavimento, com o objetivo de ensaiar a base com solo-cimento (P1-C/C).

Foram executados dois pares de furos por quadra, totalizando quatro pares de furos por rua. Mostra-se na Figura 5 um esquema com a distribuição dos pares de pontos em cada rua.

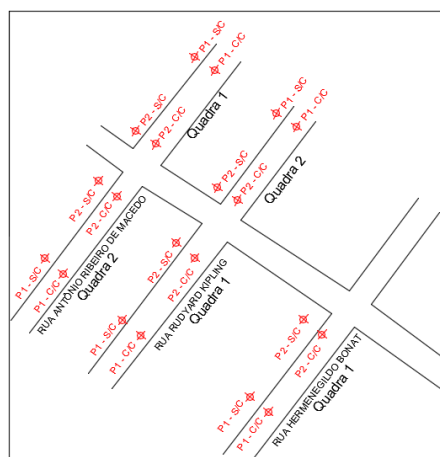


Figura 5. Distribuição dos pares de pontos nas vias.

Feitos os ensaios no pavimento, a etapa seguinte consistiu na coleta de material na lateral de cada uma das vias, ao lado de cada um dos furos, com auxílio de uma escavadeira.

Na Figura 6 apresenta-se um exemplo de coleta de material.



Figura 7. Coleta de material em uma das vias.

Foram realizados ainda em campo, ensaio de frasco de areia no subleito do pavimento, de acordo com a NBR 7185, a fim de se obter o grau de compactação das vias e analisar a sua interferência com os resultados do DCP. Foram feitos um total de 4 frascos de areia, distribuídos entre as ruas.

3 RESULTADOS

3.1 Limites de Liquidez e Plasticidade

Os limites de liquidez e plasticidade, assim como o índice de plasticidade de cada um dos materiais estudados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Limites de Atterberg dos materiais estudados.

Rua	LL	LP	IP	Classificação
Rua1-quadra1	39,51	27,39	12,13	Plastic. média
Rua1-quadra2	40,07	36,77	3,30	Pouco plástico
Rua2-quadra1	36,37	26,22	10,15	Plastic. média
Rua2-quadra2	41,02	31,07	9,95	Plastic. média
Rua3-quadra1	41,63	38,27	3,36	Pouco plástico

Nota-se que na rua 1 há uma diferença quanto à plasticidade do material, mostrando a heterogeneidade do subleito nesta via. Já na segunda via, apesar de a classificação ser a mesma (plasticidade média), nota-se que os índices de liquidez e plasticidade, quando observados separadamente, apresentam alguma diferença.

Para a rua 3 essa mesma comparação não pode ser realizada, já que apenas uma quadra foi ensaiada.

Percebe-se também a heterogeneidade dos materiais das ruas, apesar de estarem próximas entre si.

3.2 Frasco de areia

A partir da obtenção da densidade máxima seca a partir do ensaio de Proctor na energia normal e dos frascos de areia realizados em campo foram obtidos os graus de compactação apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Grau de compactação das vias.

Local	Grau de compactação (%)
Rua1-quadra1	72,81
Rua1-quadra2	93,35
Rua1-quadra2	81,28
Rua3-quadra1	77,49

Observa-se a heterogeneidade na compactação do subleito entre as vias. O mesmo pode ser observado inclusive numa mesma via, como mostrado na rua 1.

3.3 Ensaio DCP

Neste item são apresentados os resultados referentes aos ensaios com o equipamento DCP em laboratório e em campo, sendo este último realizado no solo com e sem cimento.

3.3.1 DCP em laboratório

Nas figuras 7 a 11 a seguir são apresentados os resultados dos ensaios DCP feitos em laboratório, para as amostras de solo coletadas das ruas Antônio Ribeiro de Macedo (Rua 1), Rudyard Kipling (Rua 2) e Hermenegildo Bonat (Rua 3), para cada uma de suas quadras estudadas.

Os ensaios foram executados concomitantemente aos ensaios de Protor normal, no próprio cilindro, com a umidade h indicada em cada um dos pontos.

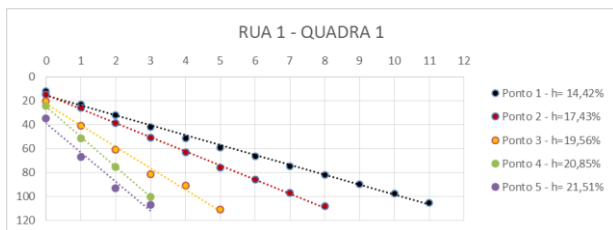


Figura 7. DCP em laboratório – rua 1 – quadra 1.

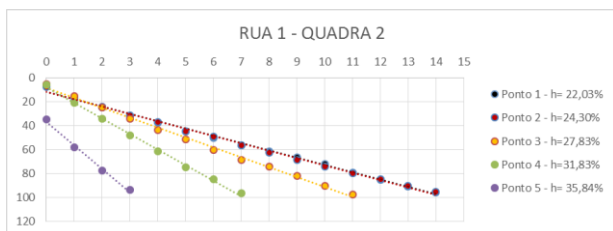


Figura 8. DCP em laboratório – rua 1 – quadra 2.

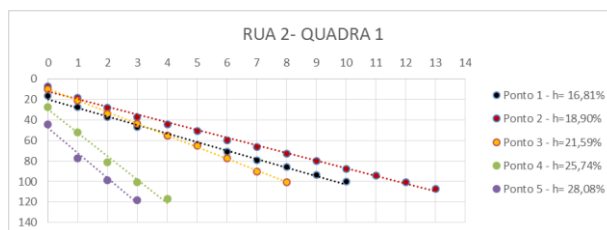


Figura 9. DCP em laboratório – rua 2 – quadra 1.

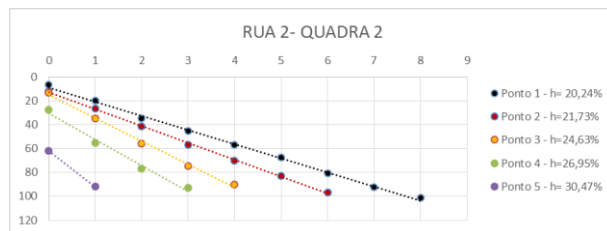


Figura 10. DCP em laboratório – rua 2 – quadra 2.

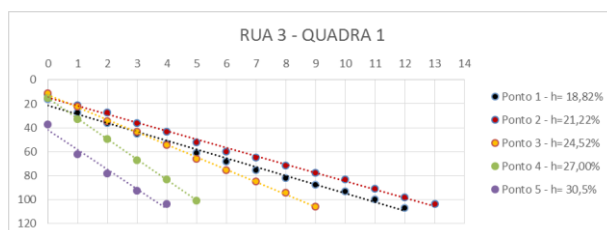


Figura 11. DCP em laboratório – rua 3 – quadra 1.

3.3.2 DCP em campo

Nas figuras 12 a 16 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios DCP realizados em campo, em cada um dos solos nas condições sem cimento e com cimento, na composição de 3%. Para este último, foram realizados ensaios para nas idades de 30 e 90 dias da mistura solo-cimento.

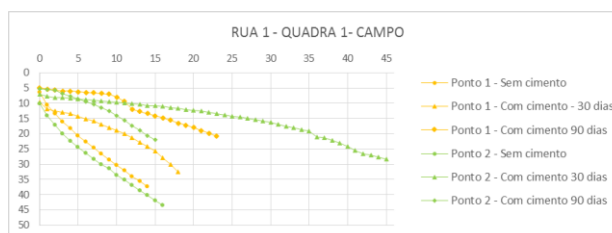


Figura 12. DCP em campo – rua 1 – quadra 1.

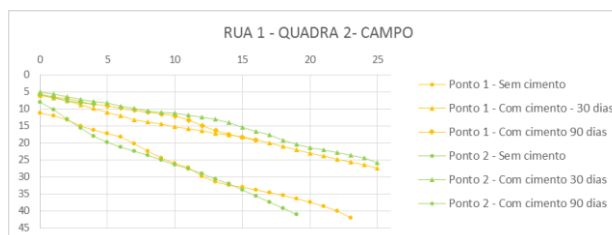


Figura 13. DCP em campo – rua 1 – quadra 2.

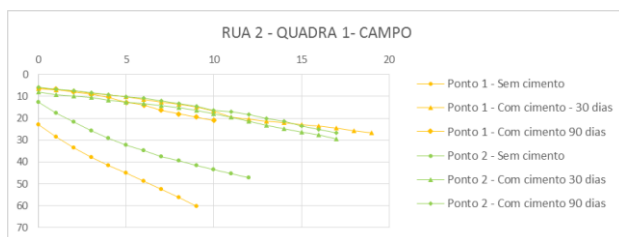


Figura 14. DCP em campo – rua 2 – quadra 1.

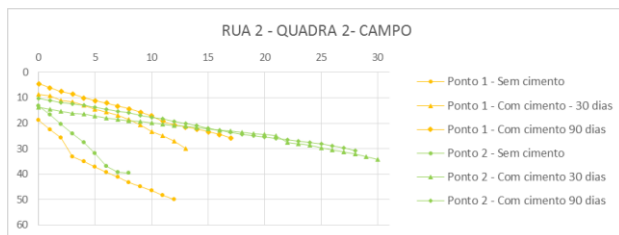


Figura 15. DCP em campo – rua 2 – quadra 2.

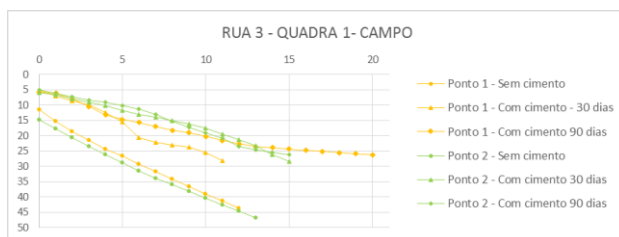


Figura 16. DCP em campo – rua 3 – quadra 1.

Percebe-se uma aproximação dos gráficos na medida em que a idade da mistura solo-cimento avança, denotando aproximação da resistência final alcançada pela mistura.

4 CONCLUSÕES

Os valores dos limites de Liquidez e Plasticidade denotam presença de argilo-minerais tais como a ilita e a caulinita, indicando baixa tendência à expansão.

Quanto aos valores do grau de compactação, nota-se que estes se apresentam abaixo de 95%, apresentando níveis insatisfatórios de compactação. Tal fato implica uma menor vida útil do pavimento, estando este sujeito a patologias tais como trincas na camada de revestimento.

Já nos ensaios DCP, o equipamento apresentou-se grande versatilidade tanto em campo quanto em laboratório. Facilidades como transporte, manuseio e custo também foram observadas.

Os resultados dos ensaios em laboratório mostraram a sensibilidade do equipamento com a mudança de umidade, sendo esta mais

relevante para a penetração do que a densidade do material.

Por fim, nos ensaios de campo, nota-se a aproximação das curvas, tendendo à horizontalidade com o ganho de resistência do cimento, uma vez que a penetração do DCP torna-se menor a cada golpe.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da Universidade Tecnológica federal do Paraná e à Prefeitura de Curitiba.

REFERÊNCIAS

- American society for testing and materials. ASTM D-6951: *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. West Conshohocken, PA, USA, 7p. 2009 (Reapproved 2015).
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 6459: *Solo: Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 6508: *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 7180: *Solo: Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 7181: *Solo: Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 7182: *Solo: Ensaio de Compactação*. Rio de Janeiro, 1986.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 7185: *Solo: Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego de frasco de areia*. Rio de Janeiro, 1986.
- Bastos, N. J.; Bernardes, G. P., Pereira, D. A. P. S. (2014). *Influência da Geometria da Ponta do Penetrômetro Dinâmico Leve - DPL na Resistência à Penetração e no Atrito Mobilizado*. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia, Brasil.
- Benevides, L. D. (2012). *Avaliação do uso do DCP em areias para controle da capacidade de carga em fundações diretas e controle de compactação de aterros*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Dissertação de Mestrado, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Berti, C. (2005). *Avaliação da capacidade de suporte de solos "in situ" em obras viárias através do cone de penetração dinâmica - estudo experimental*. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

Dissertação de Mestrado, Campinas, São Paulo, Brasil.

Claus, R. P.; Ferreira, S. R. M. (2014). *Uma proposta para se avaliar o grau de compactação e a homogeneidade da camada compactada utilizando DPL*. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia, Brasil.

Fontes, L. P. T. L.; (2001). *Contribuição à investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas através do emprego do penetrômetro dinâmico de cone*. Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Governo do Estado do Paraná.
<http://www.cidadao.pr.gov.br/modules/catasg/catalogo.php?servico=384&id=e?&mobile=1>. Acesso em 17/02/2016.