

Análise da Correlação entre CBR e DN Aplicada ao Controle de Compactação de Materiais Diversos

Anna Marinella Carizzio Monteiro

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, anna_carizzio@hotmail.com

Yago Isaias da Silva Borges

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, byagoisaias@yahoo.com.br

Marta Pereira da Luz

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, martapluz@gmail.com

RESUMO: Este trabalho visa o estudo do penetrômetro DCP como método alternativo de controle de compactação em camadas de pavimento flexível. Para tanto foram avaliados dados coletados em duas pistas experimentais, localizadas na região metropolitana de Goiânia-GO, totalizando 5 sub-trechos de materiais variados, sendo estes: solo-filer, solo-brita, cascalho, solo- micaxisto e solo-RCD. A partir destes dados foram aplicados modelos encontrados na literatura, publicados entre 1982 e 2007, de correlação entre DN-CBR visando avaliar seu ajuste a realidade de resultados encontrados nos trechos experimentais. Com os resultados pode-se perceber que há modelos que apresentam correlação satisfatória entre DN e CBR, dependendo do tipo de material em questão, permitindo nestes casos a substituição de ensaios de controle de camada de pavimento tradicionais pelo uso do DCP, propiciando mais agilidade ao controle de compactação de camadas.

PALAVRAS-CHAVE: Penetrômetro, DCP, Compactação, Pavimento, Correlações.

1 INTRODUÇÃO

Os controles tecnológicos efetivados em campo, que visam analisar a qualidade executiva de materiais geotécnicos, devem ser realizados preferencialmente com o uso de equipamentos que permitam: fácil operação, baixo custo, portabilidade e que forneçam resultados rápidos e de fácil interpretação. Neste sentido, os penetrômetros têm se mostrado bastante interessantes tecnicamente, em especial para o controle de qualidade de camadas de compactação de solos aplicados à pavimentação rodoviária e a obras de aterro em geral.

Os penetrômetros oferecem agilidade na obtenção de resultados em campo e menor suscetibilidade de variação de resultados, quando comparado a metodologias tradicionais de controle de qualidade de compactação.

No entanto, por tratar-se de metodologia

relativamente nova, os relatos de aplicação em materiais geotécnicos não tradicionais são limitados e carecem de serem melhor estudados.

Desta forma o presente estudo visa abordar os dois aspectos:

- ✓ Analisar a correspondência, entre os modelos existentes na literatura, entre os resultados de DN (índice de penetração) e CBR (índice de suporte Califórnia), vislumbrando saber a qualidade da camada compactada de forma mais portátil e rápida;
- ✓ Comparar esta correspondência entre diferentes materiais empregados em trechos experimentais: solo-filer, solo-brita, cascalho, solo-micaxisto, solo-RCD (Resíduo de Construção e Demolição).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos pavimentos a ruptura ocorre pela

deterioração funcional e estrutural acumulada a partir de sua abertura ao tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2010). Deste modo, a determinação das propriedades geotécnicas dos solos revela-se de fundamental importância, a fim de se conhecer seus comportamentos em estado natural e/ou deformado e, assim, prever suas reações às solicitações impostas. Tal análise estrutural pode ser obtida através de métodos destrutivos ou semi-destrutivos (BERTI, 2007).

Habitualmente, os valores de capacidade de suporte obtidos em laboratório para o julgamento ou definição de solos do subleito utilizam-se de métodos indiretos como o CBR. Em campo, a compactação é analisada pela determinação do teor de umidade e massa específica seca, posteriormente comparando-os aos resultados de laboratório.

“..., embora no passado, o laboratório tinha o papel principal e os ensaios de campo o complementar, hoje estamos na etapa em que o ensaio de campo tem o papel principal e o laboratório o complementar” (SCHEMERTMANN, 1974, *apud* FONTAINE, 2004). Tal abordagem propõe a importância que tais métodos vêm ganhando, uma vez que possibilitam a obtenção de dados mais verídicos possíveis e em tempo real.

Segundo Johnston (1983), o procedimento da pesquisa pode ser muito variado, mas todos têm em comum a necessidade de estabelecer a estratificação do solo até a profundidade desejada, as propriedades geotécnicas desses materiais e a previsão do desempenho da fundação (Johnston, 1983 *apud* Fontaine, 2004). Contudo, como Junior (2005) e outros tantos estudiosos e profissionais pontuam, a elaboração de novos processos de avaliação de resistência dos solos é corroborada pela necessidade de utilização de amostras indeformadas, além da impossibilidade de obtenção destas em alguns tipos de solos. Neste sentido, os métodos semi-destrutivos estão sendo cada vez mais desenvolvidos e utilizados.

Os penetrômetros são equipamentos utilizados para a determinação da resistência à penetração, portanto, uma aferição da compactação, de forma indireta. Tal avaliação é realizada através do IC (Índice de Cone), definido como a resistência do solo à

penetração de uma ponta cônica, expressa como a força por unidade de área da base do cone (CARBONERA, 2007). Estes têm sido largamente utilizados em diversas aplicações, podendo sua popularidade ser atribuída ao fato de serem rápidos, de fácil operação e de baixo custo; fornecerem dados de teste que são de fácil interpretação, além de serem ferramentas úteis para solos arenosos, onde há dificuldade de se obter amostra de solo não deformada (PUIGNAU, 1994). Nesta linha, contamos com a utilização do DCP (Cone de Penetração Dinâmica).

2.1 DCP

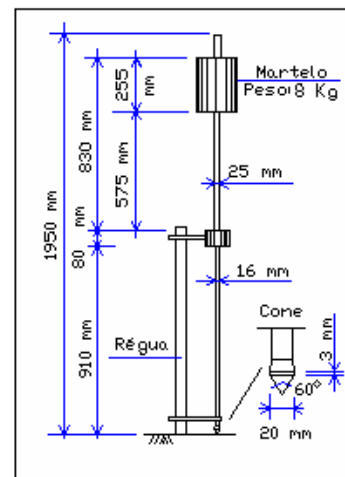


Figura 1. Cone de Penetração Dinâmica (DCP) (ALVES, 2002).

O *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) foi desenvolvido em 1956, na Austrália, e foi muito utilizado no sul da África para avaliação da capacidade de suporte de solos (AMINI, 2003, *apud* MARQUES, 2014). É caracterizado como um equipamento simples, portátil e de baixo custo, cujo ensaio revela ser praticamente não-destrutivo. Muito estudado e utilizado por vários órgãos do mundo, permite realizar uma grande quantidade de ensaios, obtendo-se uma melhor homogeneidade das camadas e um baixo coeficiente de variação (ALVES, 2002). Com ele é possível determinar o perfil de resistência de camadas de solo compactadas ou em seu estado natural, controlar a execução de obras viárias e avaliar estruturas de pavimentos (BERTI, 2005).

O DCP (Figura 1), também chamado “Cone Sul Africano”, constitui-se de duas lanças metálicas acopladas por meio de um batedor. A lança inferior possui uma ponta cônica, a qual é introduzida ao solo por meio de impactos dinâmicos no colar inferior a partir da queda livre de um peso (martelo – peças de 4,6 kg, simples, ou completado com mais 3,4 kg, duplo) de uma altura pré-estabelecida (575 mm). Geralmente, usa-se o conjunto duplo em subleitos de resistência média a rija. O diâmetro do cone é ligeiramente maior que o da lança para assegurar que a resistência determinada seja unicamente de ponta. Assim, a resistência do material, ou DN, é medida pela penetração (mm) por golpes.

O ensaio é realizado através de uma sucessão de golpes, onde o comprimento de penetração e o número de quedas são anotados e utilizados para se gerar um gráfico, que relaciona a penetração ao número de golpes acumulados. Através desta curva DCP, exemplificada na Figura 2, pode-se então determinar o índice de penetração (DN), que acaba por corresponder-se à inclinação do respectivo gráfico, tendo-se em vista uma profundidade pré-estabelecida a se estudar.

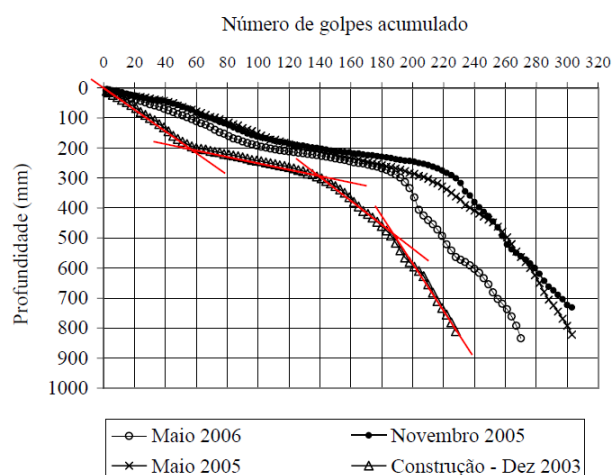


Figura 2. Curvas DCP da camada de base da pista experimental estudada por Oliveira, 2007.

Tem-se, ainda, que este equipamento não está sujeito às variações do operador, uma vez que a energia aplicada é mecanicamente controlada (JUNIOR, 2005). Conta-se ainda, através de literaturas, com várias correlações

para o cálculo do valor de CBR em função do DN (LUZ, 2008).

2.2 CORRELAÇÃO DN x CBR

Como grande parte dos métodos de dimensionamento têm como base o valor do CBR, a correlação entre este e o DN revela-se de grande valia, a fim de tornar o DCP mais útil, coletando dados para melhor julgamento e averiguação, principalmente tratando-se de ensaio “in situ”. Vertamati e Oliveira (1997) concluíram que os valores obtidos nos ensaios do DCP apresentam menor grau de dispersão, quando comparados aos obtidos no ensaio de CBR.

As correlações entre DCP e CBR são obtidas por meio de análises de regressão dos resultados. De acordo com Karunaprema & Edirisinghe (2002), a relação entre estes ensaios se dá de forma inversa. O que fica claro quando se constata que quanto maior a capacidade de suporte de um dado solo, o valor de CBR também se eleva, concomitantemente. O DN, por sua vez, dado em mm/golpe, revela que quanto maior seu valor, menor será a resistência do material analisado, pois implica num maior recalque (mm) a golpes padronizados.

O modelo matemático que melhor descreve a relação CBR x DCP é o do tipo Log x Log, com o CBR sendo a variável dependente e o DCP como independente (Equação 2.1).

$$\text{Log}(\text{CBR}) = a + b \cdot \text{Log}(\text{DN}) \quad (1)$$

Onde:

CBR = Índice de Suporte Califórnia (%);
DN = Índice de penetração do DCP (mm/golpe);
e a e b = constantes que podem variar conforme as características do material estudado (JORDÃO, 2009).

Esta relação é importante pelo ensaio DCP ser pouco utilizado no Brasil, facilitando a interpretação dos resultados para os profissionais que ainda não têm intimidade com o equipamento (ALVES, 2002).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa realizou-se em dois trechos experimentais localizados em Goiânia-GO. Na Figura 2 é apresentada a localização destas, bem como a jazida de solo utilizada na composição de suas camadas.



Figura 3. Mapa de localização dos trechos estudados

O trecho 01 é composto por RCD. A execução deste trecho ocorreu em novembro de 2003 para desenvolvimento dos estudos tratados por Oliveira (2007). Já o trecho 02, executado em agosto de 2007, está subdividido entre a aplicação dos demais materiais avaliados: solo-fíler, solo-brita, cascalho e solo-micaxisto. Este último trecho foi estudado por Luz (2008) e Araújo (2008). Na Tabela 1 são apresentados os detalhes executivos de cada trecho.

Com os dados de CBR e DN dos trechos 1 e 2 foram feitas análises de aplicação de modelos existentes na literatura.

4 RESULTADOS

Foram coletados os dados de CBR e DN dos trechos 01 e 02, levantados pelos autores Luz (2008) e Araújo (2008), durante a fase de execução das pistas, ambos utilizando o equipamento DCP provido de martelo duplo (8 kg). Para tanto, a fim de se verificar e estabelecer a correlação DN-CBR, foram feitas análises de aplicação de modelos existentes na literatura, avaliando-se a aplicabilidade e eficiência destas aos materiais aqui avaliados.

Foram levantadas 22 correlações de distintos autores aplicados a variados materiais, datados de 1982 a 2007. Estas foram cruzadas com os dados coletados, durante a etapa de execução

Tabela 1. Descrição dos trechos experimentais

Trecho	Material	Estrutural	Camada	Composição
01	RCD	Dimensões: 9m X 56m	Sub-Base	17% Solo Argiloso 83% Agregados RCD
		Base e Sub-Base : 15 cm	Base	25% Solo Argiloso 75% Agregados RCD
02	Fíler	Dimensões: 7m X 600m	Sub-Base	80% solo 20% filer de micaxisto
			Base	70% solo 30% filer de micaxisto
	Brita	Base e Sub-Base: 15 cm	Sub-Base	70% solo 30% brita
			Base	100% Cascalho
	Cascalho	Revestimento: CBUQ 3 cm	Sub-Base	70% Solo 30% Pó de micaxisto
			Base	80% Solo 20% Pó de micaxisto

dos trechos já citados, utilizando a média de DN das devidas camadas para a obtenção do CBR estimado pelas modelagens matemáticas. Deste modo, procurou-se avaliar as fórmulas que mais se aproximaram dos resultados de laboratório, as quais serão apresentadas neste trabalho.

Na Tabela 2 são apresentados o resumo dos dados e os modelos de correlação que mais se alinharam a cada realidade. As Figuras 4 e 5 retratam as curvas das correlações, bem como os valores de $DN_{méd}$ e CBR_{lab} , das bases e sub-bases, propiciando uma análise gráfica das aproximações obtidas.

Ponderando os resultados, pode-se constatar que as correlações mais discrepantes foram as relativas aos materiais alternativos que, ao se analisar a variação entre o CBR de laboratório e o das correlações, destacou-se o sub-trecho de solo-fíler, cujas base e sub-base apresentaram

Tabela 2. Dados de laboratório, DN médio de campo e melhores correlações

Trecho	Material	Camadas	DN (mm/golpe)	CBR _{Lab} (%)	CBR _{Correl} (%)	Variação (%)	Correlação
01	RCD	Base	3,2	83,0	81,5	1,8	ASTM D-6951
		Sub-Base	1,8	90,0	87,0	3,4	Kryckjy & Trichês (2000)
		Subleito	5,6	13,0	25,7	97,7	Cardoso e Trichês (1998)
			15,5		12,6	3,1	Kleyn e Savage (1982)
02	Fíler	Base	11,3	56,0	36,0	35,6	Amaral e Vertamatti (2006)
		Sub-Base	31,4	42,0	35,1	16,4	Amaral e Vertamatti (2006)
		Subleito	75,5	9,0	8,1	10,0	Kryckjy & Trichês (2000)
	Brita	Base	12,6	56,2	73,3	30,5	Amaral e Vertamatti (2006)
		Sub-Base	14,8	56,2	64,4	14,6	Amaral e Vertamatti (2006)
		Subleito	70,7	9,0	8,4	8,2	Kryckjy & Trichês (2000)
	Cascalho	Base	6,4	62,3	64,1	2,9	Angelone et. al. (1991)
		Sub-Base	15,2	62,3	63,0	1,2	Amaral e Vertamatti (2006)
		Subleito	60,8	9,0	9,3	3,2	Kryckjy & Trichês (2000)
	Pó de Micaxisto	Base	7,0	52,0	52,5	1,0	Lima (2000)
		Sub-Base	13,8	40,0	28,6	28,5	Angelone et. al. (1991)
		Subleito	55,0	9,0	8,6	4,1	Kryckjy & Trichês (2000)

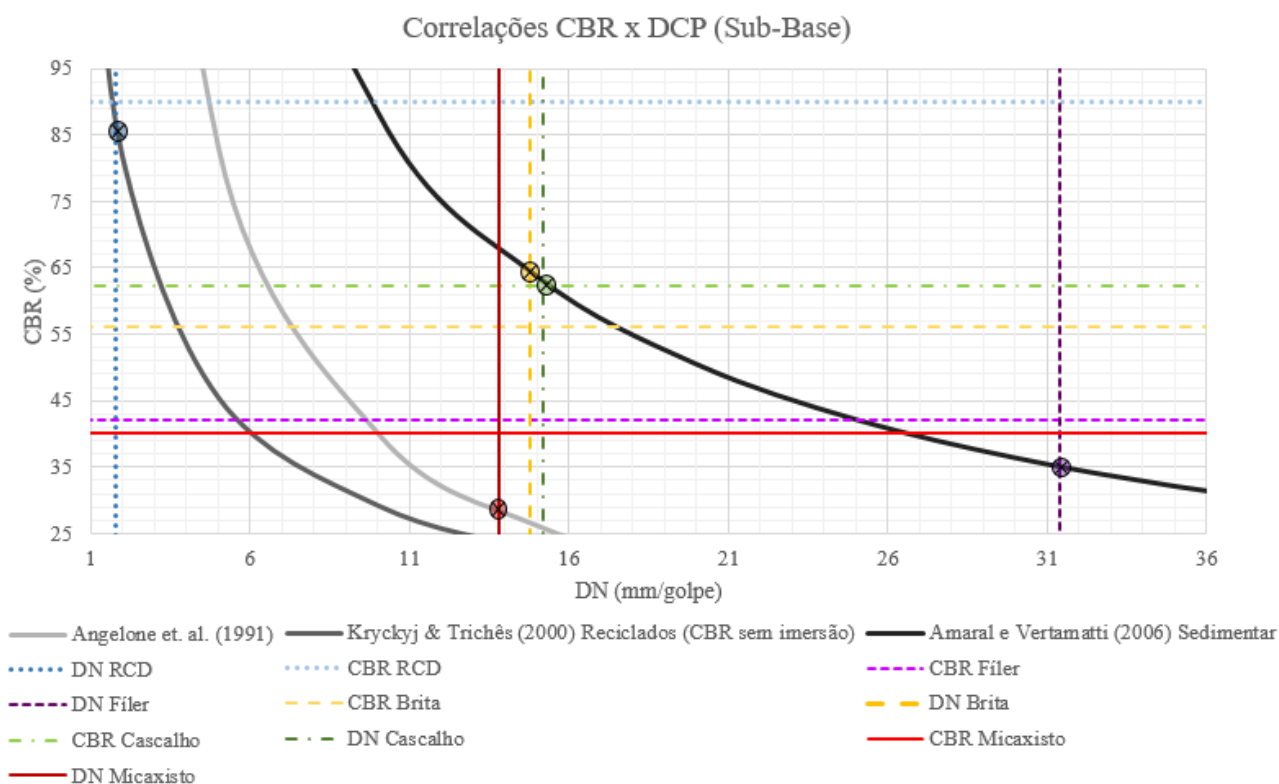


Figura 4. Gráfico das Correlações, DN_{méd} e CBR_{lab}, aplicados à sub-base dos pavimentos

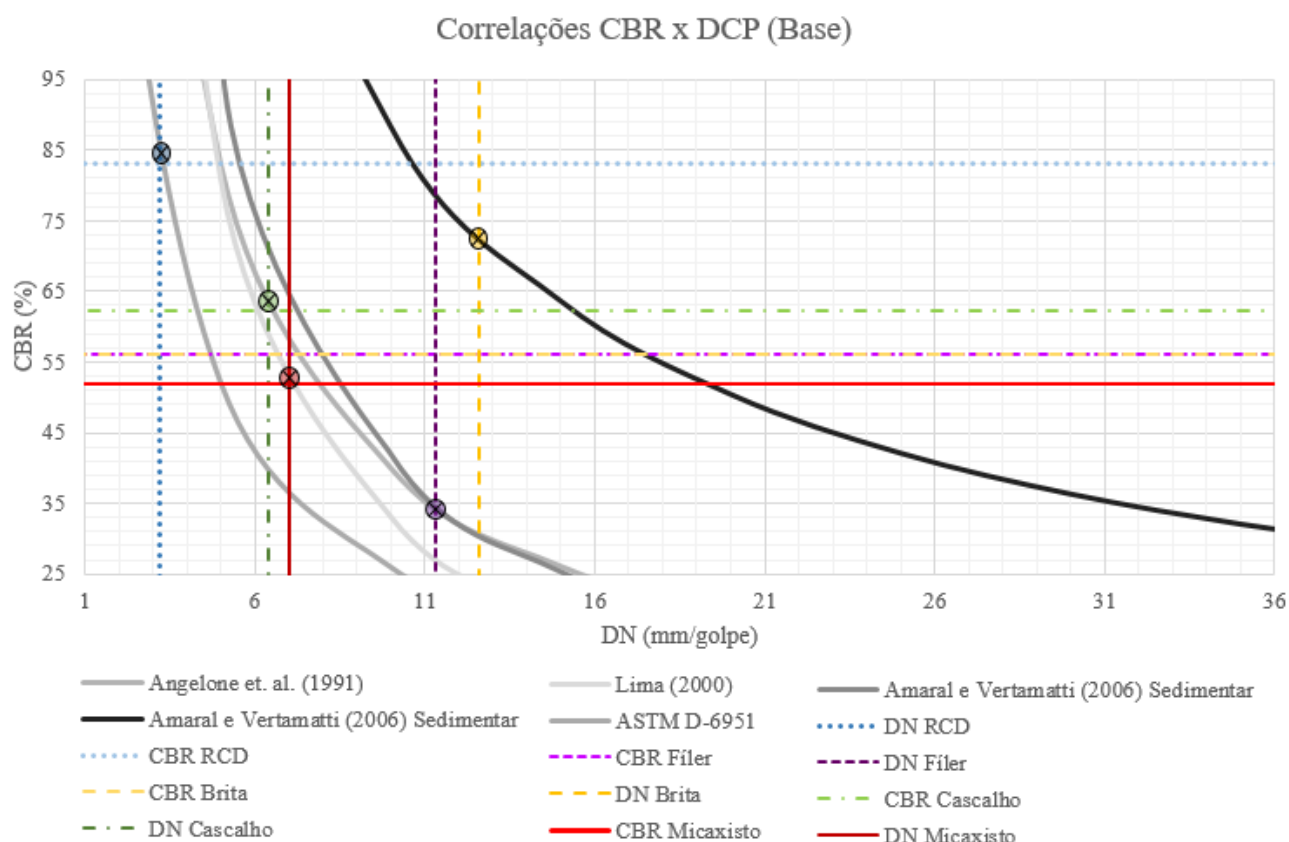


Figura 5. Gráfico das Correlações, $DN_{méd}$ e CBR_{lab} aplicados à base dos pavimentos

35,6% e 16,4%, respectivamente, e a sub-base de pó de micaxisto (28,5%). Como justificativa, pode-se inferir que as correlações não abrangem materiais tão finos como estes, além da dificuldade de se obter uma homogeneização uniforme em campo. Observa-se também uma variação considerável no solo-brita (30,5% e 14,6%), podendo também ser devido a questão da homogeneização, tendo o ensaio sido executado num perfil com maior presença de brita, tendendo à uma maior resistência. Devendo-se, ainda, pontuar sobre o trecho de solo-RCD, onde Oliveira (2007) constata a existência de duas camadas de subleito, uma contando com um maior grau de compactação que o de projeto e, portanto, gerando a maior das variações apresentadas. Contudo, segundo Trichês & Cardoso (1999, *apud* Guedes, 2008), os resultados de ensaio de CBR em laboratório podem gerar uma dispersão de até 40% de variação. Averiguando ainda mais a eficiência destas correlações, uma vez que ficaram abaixo desta.

Das correlações classificadas como mais

adequadas à este estudo, temos que as de Amaral e Vertamatti (2006), relativas a solos sedimentares, mais se destacam, sendo a equação (2), aplicada à base e sub-base de solo-brita e às sub-bases de cascalho e de fíler, e a equação (3), aplicada à base de fíler.

$$\text{Log (CBR)} = 2,7537 - 0,8073 \text{ Log(DN)} \quad (2)$$

$$\text{Log (CBR)} = 2,8704 - 1,2473 \cdot \text{Log(DN)} \quad (3)$$

Como era de se esperar, o subleito de todos os materiais presentes no trecho 2 obtiveram bons resultados, quanto a similitude e a baixa variação. Apresentaram, pois, correlação com a equação de Kryckyj & Trichês (2000), a maioria pertinente à Agregados Reciclados (CBR sem imersão) (4), excetuando-se o sub-trecho de pó de micaxisto, que, apesar de ter obtido um bom resultado para com esta, revelou-se ainda melhor aplicado à equação com o CBR com emersão (5).

$$\text{CBR} = 126,35 \times (\text{DN})^{-0,6354} \quad (4)$$

$$\text{CBR} = 121,02 \times (\text{DN})^{-0,659} \quad (5)$$

A sub-base de RCD, por sua vez, também obteve uma maior proximidade com a equação (4). E base com a obtida pela ASTM D-6951 (6)

$$\text{CBR} = 292 / \text{DN}^{1,12} \quad (6)$$

As camadas de pó de micaxisto correlacionaram-se com a equação de Lima (2000) (7) e Angelone et al. (1991) (8), base e sub-base, respectivamente. Sendo esta última também aplicada à base de cascalho. O subleito natural do trecho de RCD, por sua vez, obteve melhor resultado com a de Kleyne e Savage (1982) (9).

$$\text{Log (CBR)} = 2,809 - 1,288 \cdot \text{Log (DN)} \quad (7)$$

$$\text{CBR} = 450 \cdot \text{DN}^{-1,05} \quad (8)$$

$$\text{Log (CBR)} = 2,60 - 1,26 \cdot \text{Log(DN)} \quad (9)$$

5 CONCLUSÕES

As correlações são de fundamental importância, tendo em vista possibilitar a obtenção de resultados de ensaios de forma mais prática, versátil e barata. Possuem uma real aplicabilidade, porém, observa-se que os modelos já existentes não englobam materiais alternativos, sendo, portanto, limitados. Necessitando, para maior precisão e a fim de se ampliar o banco de dados, que sejam levantados novos modelos, adequados a realidade de materiais não tradicionais, uma vez que estes vêm ganhando maior atenção e desenvolvimento.

Fica claro, ainda, a eficiência da aplicação do DCP na avaliação da qualidade do pavimento executado. O que pode dinamizar a sondagem, não danificando as pistas, possibilitando uma varredura com maior quantidade de pontos ensaiados, contando com uma maior agilidade e a um preço muito mais acessível. Garantindo ainda uma fácil identificação das camadas e uma boa aproximação de suas respectivas resistências.

É importante destacar que, para um monitoramento de trechos extensos, o ideal é se executar um estudo que levante uma equação

própria para o solo avaliado, minimizando a taxa de erro devido ao cruzamento de dados. Tal questão não se tornará um limitador, tendo em vista que, como Alves (2002) sugere, a “curva de calibração do solo” pode ser obtida através da execução de ensaios CBR e DN em apenas dois corpos de prova, um sem e outro com imersão. Como o estudo laboratorial se revela imprecindível para levantamento do teor de umidade ótimo, o CBR de projeto dentre outros dados, esta etapa se tornará apenas um detalhe, de grande importância e que otimizará bastante o processo de monitoramento.

Destaca-se, ainda, o fato de o uso das médias aqui abordado, ter sido utilizado apenas para se levantar a utilidade e eficiência do penetrômetro dinâmico, de forma generalizada nos estudos de caso pontuados. Para tanto, em campo, cada ponto de ensaio será correlacionado possuindo compactação de acordo ou não com o de projeto, minimizando ainda mais as margens de erro devido análise estatísticas. Isto porque o presente estudo visa avaliar o equipamento, porém, em campo, o que será analisado será a conformidade da compactação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPE) da PUC Goiás pelo apoio para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Anelise B. C. *Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrômetro dinâmico de cone*. Mestrado, Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2002.
- AMARAL, F. C. F.; Vertamatti, E. (2006). *Correlações DCP x CBR para areias médias e finas uniformes*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, XIII, Curitiba, 2006. Anais. Curitiba, ABMS.
- AMINI, F. (2003). *Potencial Applications Of Dynamic And Static Cone Penetrometers In Pavement Design And Construction*. Final Report. Department Of Civil Engineering Jackson State University In Cooperation With Mississippi Dept. Of Transportation and the U.S. Dept. Of Transportation Federal Highway Administration.
- ARAÚJO, W.E.L. (2008). *Aproveitamento de resíduos*

- da extração de micaxisto em pavimentos flexíveis. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Univ. Federal de Goiás, Goiânia, 76-135 p.
- ASTM (2003). American Society for Testing and Materials -D 6951-03 *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. ASTM International. 7p.
- BERNUCCI, L. B; Motta, L M G; CERATTI, J A P & Soares, J B. *Pavimentação Asfáltica: Formação para Engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- BERTI, Carolina. *Avaliação da capacidade de suporte de solos "in situ" em obras viárias através do Cone de Penetração Dinâmica - Estudo experimental*. Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, SP: [s.n.], 2005.
- CARBONERA, Lucelha. *Comparação entre diferentes penetrômetro para diagnóstico de compactação de solo*. Projeto de Iniciação Científica – PIBIQ. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CARDOSO, A. B., Trichês, G. (1998). *Avaliação da capacidade de suporte de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone*. XI COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Brasília, Distrito Federal, 2:649-656.
- FONTAINE, Eduardo Beira. *Utilização de ensaios geotécnicos especiais de campo (cone elétrico e pressômetro) em solos do interior do estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Engenharia Agrícola. Campinas, SP: [s.n.], 2004.
- GUEDES, S.B. *Estudo da Viabilidade Técnica do Cone de Penetração Dinâmica (CPD), do Cone de Penetração Estática (CPE) e do Penetrômetro Panda no Dimensionamento de Pavimentos Urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande, 2008.
- HEYN, A.T. (1986). *Aplicações do Penetrômetro Dinâmico de Ponta Cônica na Avaliação de Estruturas de Pavimento*. In: Reunião Anual De Pavimentação, Salvador. Anais... Rio De Janeiro: ABPv, p.139-149.
- JOHNSTON, I. W. *Why in situ testing?. In situ testing for geotechnical investigation*. Ed A.A. Balkema. The Netherlands. 1983.
- JORDÃO, Hugo P. *Contribuição ao projeto de pavimentos urbanos de baixo volume de tráfego, através da utilização do cone de penetração dinâmica*. Mestrado, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2009.
- JUNIOR, Francisco Alves da Silva. *Cone de Penetração Dinâmica (DCP): Uma alternativa ao Dimensionamento de Pavimentos Urbanos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2005.
- KARUNAPREMA, K.A.K.; EDIRISINGHE, A.G.H.J. *A Laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer*. In: University Peradeniya, Sri Lanka. EJGE, 2002.
- KRYCKYJ, P. R. E Trichês, G. (2000). *Use os civil construcion waste in urban pavements: a feasibility study*. 5th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development. COD 142, ID 065, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.
- LUZ, Marta Pereira da. *Aproveitamento de filer de Pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos – Avaliação técnica e socioambiental*. Doutorado, Ciências Ambientais, Universidade Católica de Goiás; Goiânia–GO, 2008.
- MARQUES, Michelle de O.; REZENDE, Lilian R. de; GITIRANA, Gilson de F.N. Jr. *Análise comparativa entre resultados do Dynamic Cone Penetrometer (DCP) e do Penetrometre Autonome Numerique Dynamique Assisté par Ordinateur (PANDA) em trechos de pavimentos experimentais*. Artigo submetido ao XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia-GO, 2014.
- OLIVEIRA, João Carlos de. *Indicadores de potencialidade e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis*. Doutorado, Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília –DF, 2007, 134-140.
- PUIGNAU, J. P. *Dialogo XXXIX, Metodologias para investigacion en manejo de suelos*. Montivedeo, IICA, 1994.
- SCHEMERTMANN, J. H. *Penetration pore pressure effects on quasi-statics cone bearing, qc*. Proceeding of the European Symposium on Penetration Testing, ESOPT. Stockholm. 1974. Sweden.
- VERTAMATTI, E.; OLIVEIRA, L.E.de. *Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego Executado com Solos Transicionais*. In: Simposio Internacional De Pavimentacao De Rodovias De Baixo Volume De Tráfego, 1. Anais... p. 326-344, Rio de Janeiro, 1997.