

13ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA – 13ª RPU

MACEIÓ/AL – BRASIL – 5 A 7 de abril de 2006

Local: Centro Cultural e de Exposições de Maceió

**Metodologia de Investigação Geotécnica de Vias Urbanas Não Pavimentadas
Com o Emprego do Método das Pastilhas e Cone de Penetração Dinâmico–
DCP Parte 2 – Caracterização da Capacidade de Suporte**

Glicério Trichês¹; Cláudia Moreira Dal Paí²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Rua João Pio Duarte Silva s/n – Córrego Grande – CEP 88040-970 Florianópolis/SC e-mail: ecv1gtri@ecv.ufsc.br

² Rua José Feliciano Karasek, 51 – Carvoeira – CEP 88040 660 Florianópolis/SC, claudiamoreirasfs@hotmail.com

RESUMO

Estabelecer procedimentos de investigação geotécnica “in situ” empregando-se técnicas rápidas, eficazes e de baixo custo na caracterização das propriedades geotécnica de interesse para a pavimentação é uma tendência mundial, principalmente para as vias de baixo volume de tráfego. No Brasil tem sido uma constante a execução de pavimentos urbanos sem uma avaliação adequada do solo de fundação para o dimensionamento da espessura total do pavimento. O emprego de ensaios como o Método das Pastilhas e o Cone de Penetração Dinâmico (DCP - Dynamic Cone Penetrometer) podem contribuir de maneira decisiva para o aumento da vida útil dos pavimentos urbanos. Eles permitem avaliar as características de expansividade, resistência e de capacidade de suporte do solo de fundação e das camadas do pavimento, com a vantagem de serem ensaios simples, facilmente executáveis em campo e de baixo custo na obtenção dos resultados. Em 2005 foi finalizada uma pesquisa na Universidade Federal de Santa Catarina, em que se avaliou a potencialidade do emprego do Método das Pastilhas para a caracterização geotécnica e seleção de solos a serem empregados em corpo de aterro e camadas de reforço e o emprego do ensaio de DCP para caracterizar a capacidade de suporte “in situ” dos solos de fundação de vias urbanas não pavimentadas. A metodologia proposta foi testada no município de São Francisco do Sul-SC e reconhece-se que ela seja válida para a caracterização de solos finos desenvolvidos no ambiente tropical. A partir dos resultados obtidos, estabeleceu-se um procedimento para a caracterização geotécnica e avaliação da capacidade de suporte “in situ” dos solos com estes equipamentos, bem como desenvolvimento de ábacos de dimensionamento da espessura total do pavimento a partir destes dados. O presente trabalho (Parte 2) apresenta o procedimento para a obtenção da relação CBR x DCP em laboratório, bem como o procedimento para a avaliação da capacidade de suporte do solo “in situ” de uma via não pavimentada. São mostradas a repetibilidade obtida com o equipamento e a influência do teor de umidade nos resultados, bem como a importância fundamental da sua determinação para se definir a capacidade de suporte do solo “in situ”.

PALAVRAS-CHAVES: relação CBR x DCP, Umidade, resistência “in situ”, controle tecnológico.

ABSTRACT

It is a world tendency to establish geotechnical investigation procedures “in situ” using fast, efficient and with low cost techniques, in characterization of geotechnical properties of pavement, mainly for the ways of low volume of traffic. The execution of municipal urban floors without an adequate evaluation of the soil of foundation for unfamiliarity of the existence of simple techniques on the part of the City halls in the characterization of the hydraulical and mechanics properties of soil necessary for the sizing of the total thickness of the floor is a constant. The use of techniques as the Metodo das Patilhas (Disk Method) and the Dynamic Cone of Penetration (DCP) can contribute for the increase of the useful life of the urban pavements. These assays are procedures that allow to evaluate the expansive characteristics, resistance and bearing capacity of the soil of foundation and the layers of the pavement with the advantage to be simple assays, easily executed in field, and of low cost in the attainment of the results. In 2005, a research in the Federal University of Santa Catarina was finished, where it was evaluated the potentiality of the use of the Disk Method for the characterization and election of soils and the DCP to characterize the support capacity “in situ” of soil foundation of non-pavement urban ways. The methodology proposal was tested in the city of São Francisco do Sul - SC and it is recognized as validate for fine soil developed in Tropical environment. From the gotten results, one established a procedure for the geotechnical characterization and evaluation of the support capacity “in situ” of soil with these equipment, as well as development of abacuses of sizing of the total thickness of the pavement from these data. This work (Part 2) presents the procedure for the attainment of correlation CBR x DCP in laboratory, as well the procedure to evaluate the capacity of soil support “in situ” of a non-pavement way. In the results, there are shown the repeatability gotten with the equipment (coefficient of variation under 9%) and the influence of the quantity of moisture content in the results, as well as the basic importance of its determination to define the capacity of soil support “in situ”. The soil sample collection “in situ”, with the shower implemented to the DCP, it makes possible to identify to the type of soil of the investigated section until the final depth of the connecting rod of the DCP, to apply adequately the relation CBR x DCP, previously determined for the Geotechnical Unit of investigated soil. It is presented, also, a methodological procedure for the technological control of the final layer of earth moving with this equipment.

KEYS WORDS: correlation CBR x DCP, capacity of soil support “in situ”, technological control.

INTRODUÇÃO

No Brasil, na década de 80 foram iniciadas pesquisas relacionadas ao uso do DCP para a caracterização da capacidade de suporte “in situ” do solo de fundação, sendo uma tecnologia com grande tendência de crescimento na investigação geotécnica em nosso País. Um dos grandes problemas que se apresenta às Prefeituras brasileiras de pequeno e médio porte relativo ao Sistema Viário, diz respeito à verificação da qualidade dos pavimentos contratados junto à iniciativa privada ou executados por administração direta e a sua posterior manutenção pós-recebimento, por não disporem pessoal capacitado, não terem acesso à tecnologias desenvolvidas nos centros mais desenvolvidos.

A aplicação do DCP se caracteriza como um ensaio semi não-destrutivo (Semi-NDT), não ocasionando transtorno ao tráfego. É um equipamento simples e de fácil mobilidade, permitindo realizar grandes quantidades de ensaios avaliando a homogeneidade de suporte das camadas do terreno de fundação e do corpo estradal e, principalmente por ser um equipamento de baixo custo de aquisição e exigir mão-de-obra pouco qualificada para sua operação.

O DCP proporciona uma rápida caracterização dos materiais quanto aos parâmetros de resistência, além de poder ser aplicado como um procedimento de investigação geotécnica de um novo pavimento, controle tecnológico das camadas de terraplenagem e camadas do pavimento durante a execução da obra, desde que conheça a “curva de calibração” que relaciona o ensaio de DCP e o de CBR (Alves e Trichês, 2002).

O equipamento DCP consiste em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro e um cone aço de 20 mm de diâmetro com 60° fixado na extremidade dessa barra. O impacto de um peso de 8 kg, caindo a uma altura de 575 mm introduz a barra de 16 mm no solo até uma profundidade de 800 mm. Na lateral da barra de 16 mm há uma régua de aço graduada usada para medir a profundidade de penetração do cone para cada série de golpes escolhidos arbitrariamente.

No presente trabalho apresenta-se os procedimentos para a obtenção da relação CBR x DCP em laboratório, para a avaliação da capacidade de suporte e umidade do solo “in situ” e a importância da determinação da umidade nos resultados do DCP. Os resultados apresentados são relativos à amostra de solo AM03 do Jardim Acaraí, (Cambissolo – horizonte B – classificado como LG’). Os resultados para os demais solos estudados na pesquisa podem ser obtidos em Dal Pai, 2005.

PROCEDIMENTO PARA A OBTENÇÃO DA CORRELAÇÃO CBR X DCP EM LABORATÓRIO

Resultados do Ensaio de Compactação e DCP

Foram realizados ensaios de compactação nas energias Normal, Intermediária e Modificada, e para cada corpo-de-prova (CP) da curva de compactação executou-se o ensaio DCP. Todos os CPs do ensaio de compactação foram moldados sem reuso de material e com secagem prévia até a umidade higroscópica. A umidade dos CPs foram obtidas após realização do ensaio de DCP, tirando-se duas porções de solo do centro do CP. A Figura 1 mostra os resultados de compactação e ensaio DCP num CP moldado no cilindro CBR.

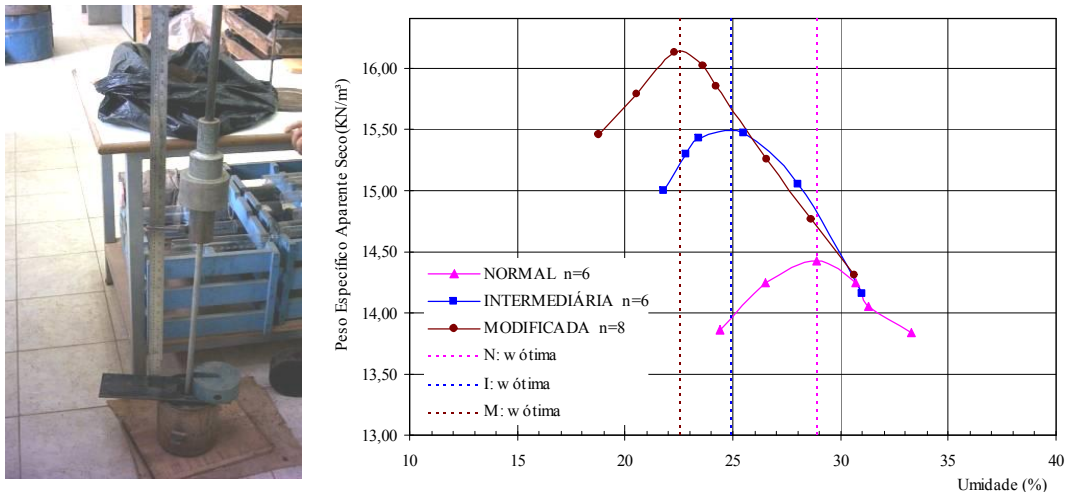


Figura 1: Resultados de compactação nas três energias e ensaio DCP no cilindro CBR da AM 03.

Foram utilizadas 3 energias de compactação para que o DCP e o CBR fossem avaliados em diversas condições de peso específica e umidade. Com isso a correlação estabelecida terá uma maior validação.

A Figura 2 mostra a variação do índice de penetração do DCP (DN – DCP Number) com a umidade para as 3 curvas de compactação. Para o estabelecimento desta correlação não são considerados os ensaios em que a umidade é 2 pontos percentuais abaixo da umidade ótima. Isto é feito porque para valores muito baixos de umidade (ramo seco da curva de compactação) a correlação CBRxDCP tende a apresentar baixos valores do coeficiente de determinação.

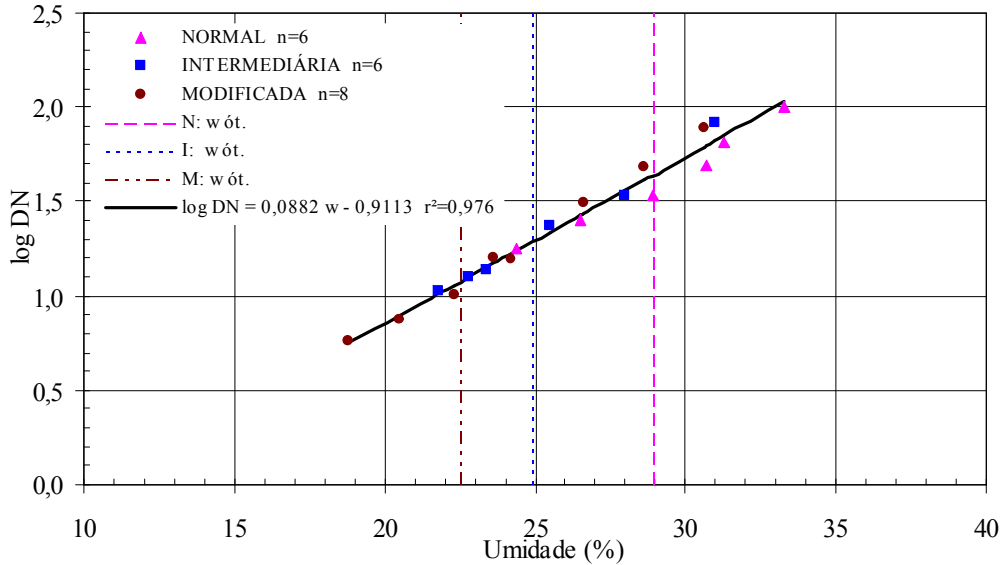


Figura 2: Relação DN versus umidade de moldagem da AM03.

Resultados do Ensaio de Compactação e CBR

A moldagem dos CPs para o ensaio de CBR não foram realizadas no mesmo instante que a moldagem dos CPs para determinação de DN. Porém, a moldagem dos CPs para o CBR foram realizadas para as mesmas condições de energias, quantidades de peso de solo seco, de umidade higroscópica e água adicionada nos ensaios de compactação. A Figura 3 mostra a variação de CBR com a umidade de moldagem (as linhas tracejadas representam as umidades ótimas para cada energia de compactação).

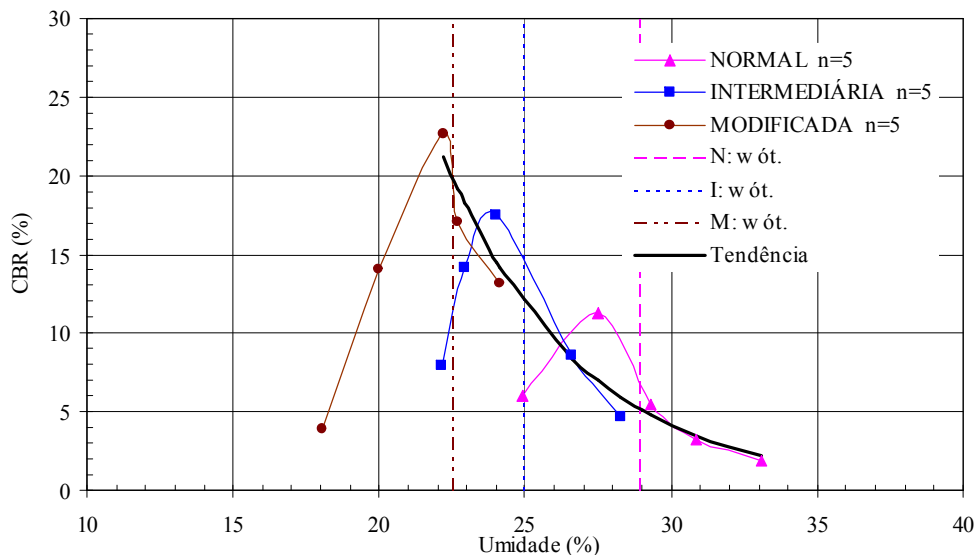


Figura 3: Variação de CBR com a umidade de moldagem Amostra AM03- LG'.

Observa-se, na Figura 3, que há uma tendência de relação entre CBR e umidade de moldagem para os pontos ao redor da umidade ótima e no ramo úmido da curva de compactação. Isto não acontece no ramo seco. Para todas as três amostras de solo analisadas foram obtidas as melhores relações de CBR versus umidade moldagem para o intervalo de 2 (dois) pontos percentuais abaixo da umidade ótima e ramo úmido, para um nível de confiança acima de 99% segundo os critérios estatísticos de regressão linear. Os valores do coeficiente de determinação (r^2) foram para estas três amostras variaram de 0,834 (horizonte C - AM01 - saibro) a 0,930 (horizonte B - AM03).

Relação entre CBR e DCP

Para a definição da relação entre CBR e DN adotou-se o modelo já empregado por diversos pesquisadores (Smith e Pratt, 1983; Hasim e Kasim, 1987; Harison, 1987, 1989; Ponce, Guzmán e Guzmán, 1991; Karunaprema e Edirisinghe, 2002). O modelo é dado pela equação

$$\log \text{CBR} = c + a \times \log \text{DN},$$

onde a e c são parâmetros de regressão linear e DN, o índice de penetração

Foi constatado pelos critérios estatísticos que estando o solo compactado, o peso específico aparente seco não tem uma relação significativa com as resistências DN e CBR, uma vez que a umidade de moldagem esteja incluída no modelo. Para se relacionar as resistências CBR e DN, é preciso garantir que as duas resistências sejam determinadas nas mesmas condições de umidade.

A Figura 4 ilustra, em um mesmo gráfico, as resistências CBR e DN versus umidade de moldagem da amostra AM03. Neste gráfico, os pontos DN x umidade ficarão na ordem inversa (negativo), alterando apenas o sinal de DN. O gráfico auxilia na definição do CBR para as umidades correspondentes nas quais as resistências DN foram obtidas e vice-versa.

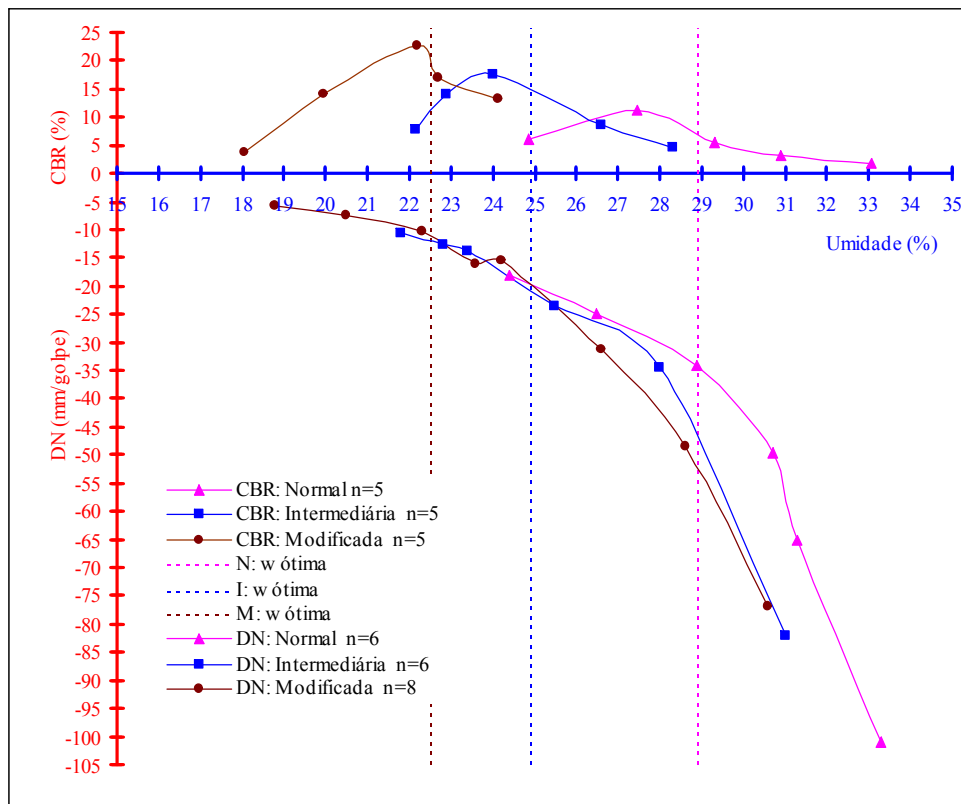


Figura 4: Variação CBR e DN com a umidade da Amostra 3.

A Figura 5 mostra a relação CBRxDN obtida para o intervalo de umidade de 2 p.p. abaixo da ótima e ramo úmido, que é dada por:

$$\log CBR = 2,5119 - 1,1145 \times \log DN, \quad \text{com } r^2 = 0,938$$

a qual é válida para o intervalo de umidade de moldagem de $22\% < \varpi \leq 34\%$ e para o intervalo de $10\text{mm/golpe} < DN \leq 90\text{mm/golpe}$.

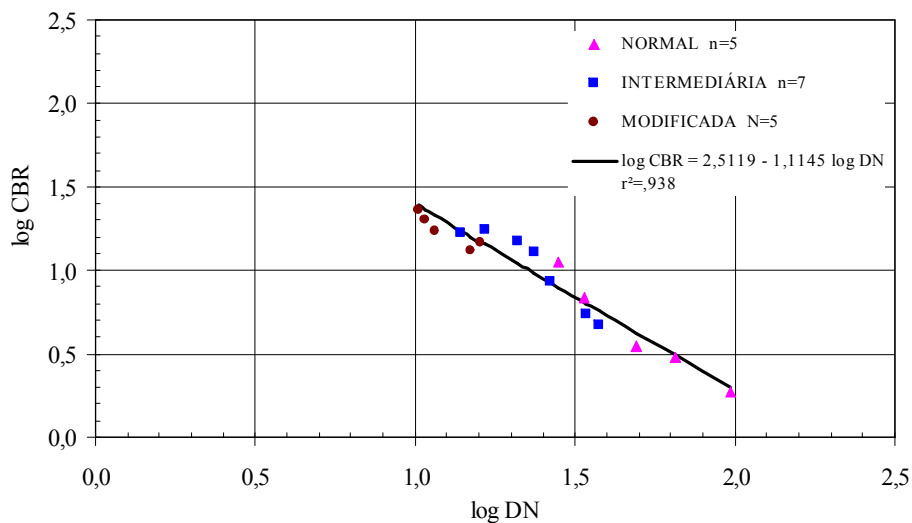


Figura 5: Variação de CBR x DN para amostra AM03 (Horizonte B – LgG²).

Portanto, é possível estimar o valor da resistência CBR a partir do valor de DN.

DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO E DA UMIDADE “IN SITU”

Na pesquisa conduzida para validação da metodologia proposta, a capacidade de suporte e umidade “in situ” foram determinadas em 50 seções transversais, espaçadas aproximadamente a cada 50m, sendo executados três ensaios de DCP na seção, um no eixo (EX), um na trilha de roda externa direita (TRLD) e um na trilha de roda externa esquerda (TRLE). A distância entre o eixo e as trilhas de roda variava de 2 a 3 metros. Em algumas seções foram executadas de 4 ou 5 ensaios de DCP.

Para o ensaio DCP e coleta de amostra para determinação de umidade em campo procede-se da seguinte forma: a) com um ponteiro de $\cong 25\text{mm}$ diâmetro, abre-se um furo até uma profundidade de 5 a 10,0cm, sendo esta camada desconsiderada na curva DCP, pois geralmente encontra-se muito seca; b) posiciona-se verticalmente o DCP no aberto com o ponteiro e aplica-se um primeiro golpe sem levantar totalmente o martelo de 8kg, de forma a permitir uma pequena penetração do cone e a mobilização total da resistência da ponta, anotando-se a leitura zero na planilha de campo; c) inicia-se a cravação do cone, anotando-se a leitura de penetração obtida na régua para cada golpe do martelo até uma profundidade de aproximadamente de 800 a 1000mm.

Finalizado o ensaio DCP, eram coletadas amostras de solo para a determinação de umidade “in situ”, empregado-se um tubo amostrador de 16mm de diâmetro por 150mm de comprimento, desenvolvido durante a pesquisa. Retira-se o cone e o amostrador é adaptado na própria haste do DCP para a sua cravação, como ilustra a Figura 6.

A coleta da amostra para a determinação de umidade foi realizada a uma distância de 5,0 a 10,0cm do ponto do ensaio DCP. As amostras eram coletadas em diferentes profundidades, de modo a se conhecer a variação da umidade ao longo do perfil do solo e na própria seção transversal.



Figura 6: Haste do DCP e tubo amostrador de 16mm de diâmetro por 150mm de comprimento.

A Figura 7 ilustra duas amostras coletadas para determinação de umidade no Jardim Acaraí, no perfil de solo da Unidade Pedológica Cambissolo: à esquerda da figura, tem-se a amostra coletada no horizonte B e à direita, amostra coletada no horizonte C (NG'-NS'). Em campo, as amostras de solo eram acondicionadas em cápsulas de alumínio com tampa, numeradas e colocadas em uma caixa de isopor, determinando-se a umidade em laboratório pelo método da estufa.



Figura 7: Coleta de amostra para a determinação de umidade em perfis de solo de horizontes B (AM03 - LG') e C (AM02 - NG'/NS') da Unidade Pedológica Cambissolo do bairro Jardim Acaraí.

A coleta de amostra para determinação de umidade no perfil de solo, possibilita identificar o tipo de horizonte amostrado permitindo-se, assim, empregar a relação CBR x DN definida para cada horizonte e estimar o valor de CBR com maior precisão.

A Figura 8 ilustra a apresentação das curvas DCP e os diagramas de umidade em uma das seções transversais investigadas.

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA RESISTÊNCIA DCP

Foi constatado nos ensaios de laboratório e pelos critérios estatísticos que o DN tem uma relação significativa com a umidade do solo compactado, como mostrado na Figura 2, e que estando a umidade no modelo, o peso específico aparente seco tem uma influência negligenciável nos valores do DN.

Medina e Mota (1997), citam “que as condições de clima e solos tropicais determinam uma abordagem diferente de dimensionamento de pavimentos. A umidade de equilíbrio dos subleitos, determinada “in situ” em poços e trincheiras, revelou-se inferior ou igual ao teor ótimo do ensaio de compactação Proctor Normal”. Smith (1988) também verificou que a umidade do solo de fundação estava em equilíbrio (dados coletados em campo após 5 anos de construção) e ao redor da ótima, geralmente maior que a de construção.

É de se esperar então que após o recobrimento do subleito com o pavimento, a umidade do subleito tende a entrar em equilíbrio ao redor da umidade ótima do solo. Assim se o solo encontra-se compactado no ramo seco, ele tenderá a absorver água por sucção, perdendo resistência; por outro lado, se o solo encontra-se compactado no ramo úmido, a umidade tenderá a se aproximar da região da umidade ótima, ganhando alguma resistência.

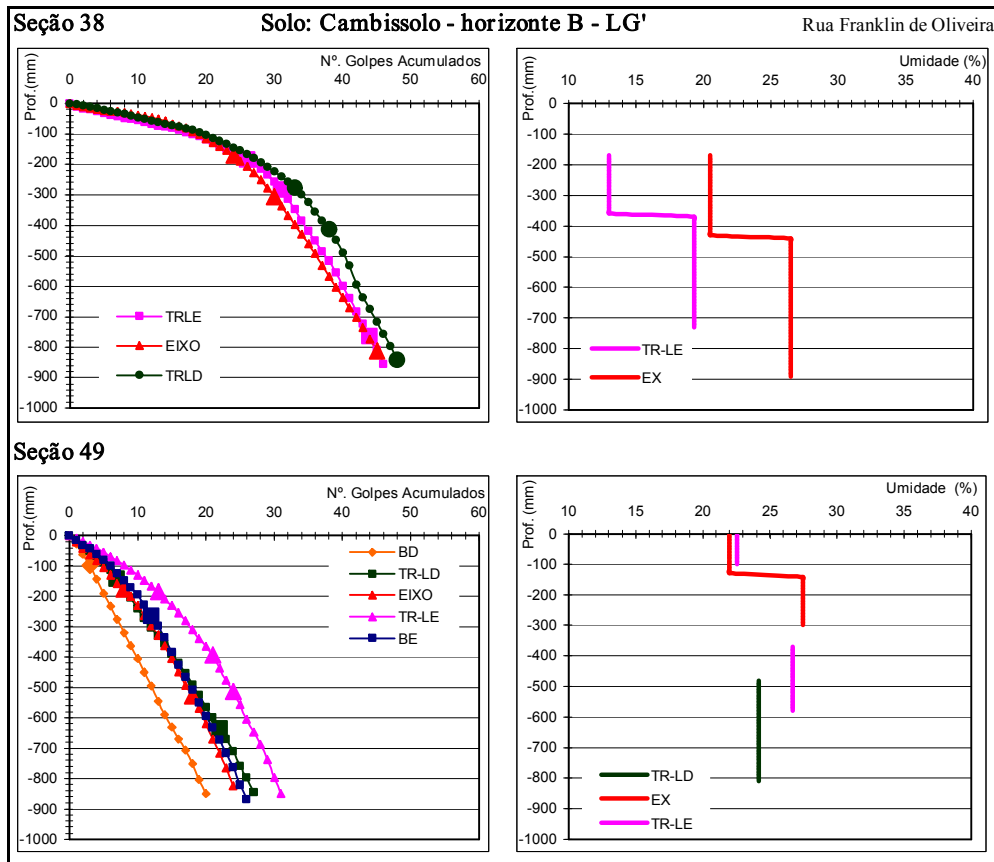


Figura 8: Curva DCP e diagrama de umidade por seção transversal.

Este comportamento foi verificado por Vertamatti e Oliveira (1997). Eles observaram um trecho de via urbana durante 8 meses onde foram realizadas, periodicamente, determinações da resistência DN, da umidade ao longo do perfil das camadas e medidas de deflexão com a viga Benkelmann junto ao eixo e bordos direito e esquerdo. O trecho com 127m de comprimento por 6,5m de largura era constituído de subleito compactado e 20,0cm de base, ambos executados com solos transicionais (T) da região do Vale da Paraíba (leste do Estado de São Paulo), e 4,0cm de revestimento asfáltico CBUQ. O solo transicional de subleito foi classificado como grupo TA'G' (transicional arenoso argiloso) e o da base como grupo TG' (transicional argiloso), com cerca 50% de teor de argila.

Foi constatado pelos autores, que “ocorreram aumentos sensíveis de umidade durante o período das medições, notadamente nas regiões superiores das camadas de base e subleito compactado, tendo havido ressecamento após a sua construção. Entretanto, mesmo tendo ocorrido intensas precipitações pluviométricas, durante os meses de março, outubro e dezembro de 1996, os teores de umidade praticamente não excederam os valores ótimos aos solos empregados, mesmo próximo aos bordas das ruas”. Eles constataram que “esses teores, com o tempo, aumentaram até estabilizarem-se em valores ligeiramente inferiores ao ótimo no eixo e ligeiramente superiores nos bordos”.

Portanto, após a construção do pavimento, tenderá ocorrer um aumento ou diminuição do DN quando a umidade entrar em equilíbrio. Assim, os DN de campo a serem considerados para definição do DN de projeto (DNp) para o dimensionamento da espessura total do pavimento serão os valores DN no entorno da umidade ótima (umidade de equilíbrio). Os DN fora do entorno da umidade ótima devem ser corrigidos, segundo uma tendência de comportamento que segue aproximadamente a relação DN x umidade apresentada na Figura 2.

Alves (2002) constata que no ramo seco, abaixo da umidade ótima, os valores de DN são praticamente constantes, em cada energia para solos finos e granulares, e de acordo com a autora, “se a umidade estiver em níveis abaixo da umidade ótima, o DN obtido não será capaz de avaliar o grau de compactação do material”. Assim, a determinação de DN em

solos com baixo teor de umidade (abaixo da umidade ótima), conduzem a valores baixos de DN (o que indicaria elevada resistência do solo). Porém, caso ocorra a saturação do solo, geralmente ocorre uma queda significativa de sua resistência, passando a ter uma resistência muito baixa.

A Figura 9 ilustra um esquema de tendência de comportamento do DN com a variação da umidade para o solo da amostra AM03. Nela são indicados: a) o valor máximo de DN de 65mm/golpe (CBR = 3,1%) e mínimo de 31mm/golpe (CBR = 7,0%); b) os valores de umidade ótima para as três energias de compactação; c) o valor de DN na umidade ótima do Proctor Normal e seu intervalo de ± 2 p.p.; d) e três pontos ilustrativos de DN e umidade obtidos “in situ”. A equação de regressão da Figura 9 é a mesma ao da Figura 2, mudando-se apenas a escala de DN na ordenada, passando-se de logarítmica para decimal, para facilitar a análise do DN.

O posicionamento dos pontos em relação à curva DN x umidade tem a seguinte interpretação: a) se o ponto estiver abaixo, o solo está bem compactado para aquela umidade; caso esteja acima, estará com grau de compactação inferior; b) Se a umidade estiver a da ótima, o solo tenderá perder umidade após a construção do pavimento, diminuindo ligeiramente o DN (ganha resistência); c) Se a umidade estiver abaixo da ótima, o solo tenderá a absorver umidade, aumentando o valor do DN (perde resistência); e d) Valores de DN acima de 65mm/golpe indicaria uma baixa capacidade de suporte e seria recomendada a substituição do solo na região de influência do ensaio.

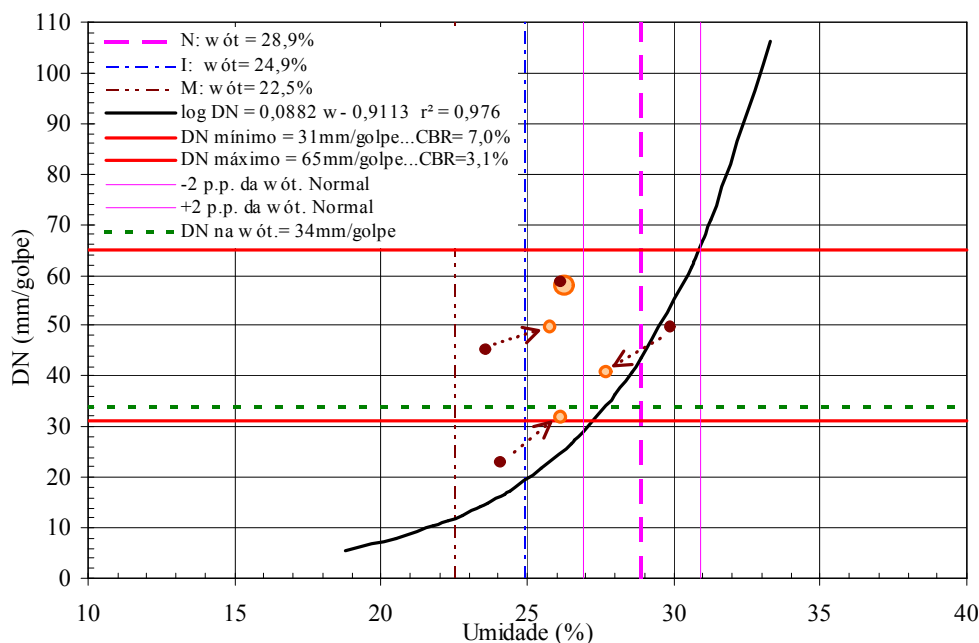


Figura 9: Flutuação de DN e umidade “in situ” do solo de fundação no entorno da energia Normal, após construção da estrutura do pavimento (Cambissolo – horizonte B).

REPETIBILIDADE DO ENSAIO DCP

Para avaliar a grau de repetibilidade do ensaio DCP de solos compactados, os ensaios foram conduzidos sem imersão para caracterizar a situação de campo em que se determina a capacidade de suporte de solos compactados com o equipamento DCP. Foram moldados CPs em um cilindro com 45cm de diâmetro e 40cm de altura. A avaliação de repetibilidade do ensaio foi realizada para as amostras de solo finos dos horizontes B e C, com mais de 80% passando na peneira 0,42mm. Para cada amostra de solo foram moldados 3 CPs nas energias Normal, Intermediária e Modificada no intervalo de umidade de 2 p.p. abaixo e acima da umidade ótima, bem como na umidade ótima, perfazendo no total em 9 CPs por amostra. Para a moldagem deste CPs foi empregada uma prensa com capacidade de 300 toneladas da UFSC, e disco de madeira flutuantes para comprimir o solo, de modo a obter a mesma densidade dos CPs de compactação realizados no cilindro CBR. Na seqüência, realizou-se o ensaio DCP em 11 pontos marcados por um gabarito em meia seção do CP. Na outra meia seção, eram feitos ensaios de forma aleatória. A Figura 10 mostra um CP compactado e o gabarito, a execução do ensaio DCP e CP após a penetração do DCP do horizonte B (AM03).



Figura 10: Realização do ensaio DCP no CP de grandes dimensões: a) CP prensado e gabarito, b) execução do ensaio DCP e c) CP após penetração do DCP (AM03).

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os resultados do ensaio de repetibilidade para os horizontes B (AM03) e C (AM02), sendo respectivamente, umidade média do CP no cilindro grande, peso específico aparente seco, valores médios de DN e os parâmetros estatísticos de todos os valores individuais do ensaio DCP para valores de DN afastado a 3cm da parede do cilindro.

Quadro 1: Resultado Repetibilidade do ensaio DCP, horizonte B (AM03) - LG'.

CP	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w (%)	28,10	29,02	30,58	25,52	24,74	26,41	19,65	22,00	23,70
γ_d (KN/m ³)	14,41	13,95	14,27	15,16	15,49	15,07	15,70	16,19	15,85
\overline{DN}	33,90	51,22	64,93	22,45	17,97	25,51	8,15	10,49	14,57
Desv. pd.	1,02	2,23	3,14	0,54	0,59	0,91	0,26	0,37	0,64
CV (%)	3,00	4,40	4,80	2,40	3,30	3,60	3,10	3,50	4,40
n	18	20	17	17	19	20	17	20	20

Quadro 2: Resultado Repetibilidade do ensaio DCP, horizonte C (AM.02) - NG'/NS'.

CP	NORMAL			INTERMEDIÁRIA			MODIFICADA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w (%)	20,35	21,81	24,10	16,76	18,64	21,21	12,18	15,66	17,07
γ_d (KN/m ³)	14,91	15,13	14,95	16,09	16,19	15,99	16,95	16,89	16,95
\overline{DN}	20,78	25,20	32,16	11,57	13,27	17,94	6,55	8,36	9,57
Desv. pd.	1,01	1,26	1,49	0,60	0,63	0,98	0,54	0,48	0,76
CV (%)	4,86	5,00	4,62	5,21	4,77	5,47	8,20	5,78	7,98
n	20	18	19	18	17	21	19	19	17

A repetibilidade de DN para solos argilosos (LG') e siltosos (NG'-NS') compactados apresentaram um coeficiente de variação abaixo de 9%. Isso indica um alto grau de resposta pelo equipamento DCP na avaliação da resistência de solo compactados. Os resultados mostram ainda que o equipamento pode ser de extrema utilidade para o controle tecnológico.

CONTROLE TECNOLÓGICO COM O DCP

Para o emprego do DCP no controle tecnológico, por exemplo, da camada final de terraplenagem a ser executada com o solo do horizonte B (AM03), procede-se da seguinte forma: a) Após a compactação da camada final de terraplenagem realiza-se o ensaio de DCP no eixo e bordos e ao longo do “pano”, determinando-se o DN em cada ponto; b) Determina-se a umidade do solo ao longo do “pano”; c) Calcula-se o DN característico do “pano”; c) Compara-se o DN característico com o DN de projeto.

O critério de aceitação pode ser estabelecido particularmente para cada obra.

CONCLUSÕES

Através dos parâmetros estatísticos de regressão múltipla e seus critérios, verificou-se que estando o solo compactado, existe uma relação significativa da resistência, seja DN ou CBR, com a umidade e havendo uma contribuição negligenciável do peso específico aparente seco no modelo. Portanto, é possível estimar o valor de DN em função da umidade, no intervalo de menos dois pontos percentuais abaixo da umidade ótima e ramo úmido do solo compactado.

O equipamento DCP apresenta vários pontos positivos quanto a sua aplicação no procedimento proposto. O DCP possibilita avaliar a resistência dos solos em campo, na condição natural ou compactada, sendo aplicado para solos finos, sem presença de grão de rocha que impeçam a penetração do cone. Pode ser um equipamento empregado na avaliação da resistência, identificando sua variação ao longo do perfil, definindo as espessuras das diferentes camadas em função da suas resistências.

O procedimento de amostragem de solo com o tubo amostrador de Ø16mm adaptado ao equipamento DCP permitiu coletar amostra para a umidade e identificar o tipo de solo no perfil até 1000mm para aplicar a relação CBR x DCP adequada para o solo identificado.

Há uma relação significativa entre a resistência CBR e DN no intervalo de dois pontos percentuais da umidade ótima e ramo úmido da curva de compactação com um grau de confiança acima de 99% e um coeficiente de determinação maior que 0,897, para os solos analisados na pesquisa.

A repetibilidade de DN para solos argilosos e siltosos compactados apresentaram um coeficiente de variação abaixo de 9%. Isso indica um alto grau de resposta pelo equipamento DCP na avaliação da resistência de solo compactados, sendo útil num controle tecnológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 de Mestrado, Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002, 171p.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – Especificação de Serviço – *ES 282/97 – Terraplenagem – aterros*. Rio de Janeiro-R.J, 1997.

HASIM, M.S.B. e KASIM, Z.A.B.M.: Quick In Situ-CBR for Road Engineering from DCP / In Situ Relationship Developed in Malaysia. 1987

KARUNAPREMA, K.A.K e EDIRISINGHE, A.G.H.J. A Laboratory Study to Establish Some Useful Relationships for the Use of Dynamic Cone Penetrometer. *EJGE*, 2002. Disponível em: <<http://www.ejge.com/2002/Ppr0228/Ppr0228.htm>>. Acesso em: 17 jan.2004.

MEDINA, J., MOTTA, L. Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego. In.: *1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. I SINBATRA, ABPV. Rio de Janeiro, 1997, p.190-199.

SMITH, R.B. Cone penetrometer and in situ testing of an active clay. Penetration test 1988, Balkema, Rotterdam, 1988.

SMITH, R.B. e PRATT, D.N. A Field Study of In Situ California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Testing for Road Subgrade Investigations. *Australian Road Research*, 13(4), December, 1983.

PONCE H., GUZMÁN Z., Luis e GUZMÁN Z., Elias. Utilizacion del Penetrometro de Cono Dinamico Portatil em la Caracterizacion y Evaluacion de los Suelos em al Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles de Caminos de Transito Medio y Bajo. *6º CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO*. T3-14, 1991.

VARGAS, M. *Introdução à Mecânica dos Solos*. Editora Mcgraw-Hill, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. 1914.

VERTAMATTI, E. e OLIVEIRA, L.E. Análise de Pavimento de Baixo Volume de Tráfego Executado com Solos Transicionais. In.: *1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. Rio de Janeiro/RJ, Out. 1997, p.325-344.