

Reciclagem *in situ* de bases granulares de pavimentos asfálticos

In place recycling of granular bases of asphalt pavements

Taís Sachet & Fernando Pugliero Gonçalves

Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS

taiss@itake.com.br, pugliero@upf.br

RESUMO: Neste artigo são apresentados resultados de um estudo que visou a obtenção de elementos auxiliares, para assegurar o controle tecnológico de obras de restauração rodoviária, que envolvam a reciclagem *in situ* de bases granulares. Esta verificação foi realizada empregando-se as seguintes técnicas de verificação: CBR *in situ*, através do uso do DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) e o enquadramento granulométrico de materiais reciclados através da curva de Talbot. As investigações foram realizadas a partir de aplicações práticas em trechos rodoviários, recuperados de forma experimental. A restauração dos pavimentos foi feita através da reciclagem da base com a incorporação da camada de revestimento deteriorado existente. Através do processamento dos dados obtidos nos ensaios de campo, foi possível a elaboração de uma proposta de especificação técnica aplicável a obras de restauração de rodovias que envolvam a reciclagem *in situ* de bases granulares.

ABSTRACT: This work presents the results of a study intended the obtaining and introduction of the auxiliary elements to assure the road pavements technological control of rehabilitation which involves the recycling in place of granular bases. This verification was made using two techniques, the CBR in place verification, through the use of DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), and the granulometric framing, through the curve of Talbot, for recycled materials. The investigations were accomplished starting from practical applications in roads which involved, in an experimental way, the pavements rehabilitation through the base course recycling, incorporating the surface layer. Through the data processing obtained in the tests, it was possible the elaboration of the technical specification proposal of the granular bases recycling.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a inexistência de especificações técnicas, para execução de serviços de restauração de pavimentos contemplando a reciclagem *in situ* da base granular, tem impedido na prática a elaboração de projetos e a conseqüente adoção de medidas desse tipo pelos órgãos públicos responsáveis pela manutenção das rodovias em nosso país. Um aspecto importante, a ser destacado nesse contexto, é o fato de que as obras rodoviárias geram grandes quantidades de material fresado quando da restauração dos pavimentos. Nesse sentido, a técnica de reciclagem *in situ* viabiliza a reutilização desse material evitando, dessa forma, uma maior agressão ao meio ambiente.

Neste contexto, a pesquisa busca parâmetros para o estabelecimento de critérios aplicáveis ao controle tecnológico de obras rodoviárias, que envolvam a restauração da estrutura do pavimento

existente, através da reciclagem *in situ* de materiais de bases granulares e revestimentos asfálticos. Para tanto, alguns procedimentos, para verificação da adequação da base granular reciclada, foram estudados: (a) o CBR *in situ*, através do ensaio *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP); e (b) o enquadramento da granulometria através da Curva de Talbot.

2. RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

A idéia de reciclar pavimentos surgiu em 1915 e foi pouco difundida até meados dos anos 70. No Brasil, o processo de reciclagem de pavimentos iniciou na década de 80, contemplando somente o concreto betuminoso usinado a quente reciclado, DNER [7].

A reciclagem de pavimentos asfálticos, a exemplo da reciclagem de qualquer outro material, tem se mostrado uma exigência do mundo

contemporâneo, sobretudo em termos de uma consciência ambiental mais desenvolvida, além de trazer repercussões econômicas e sociais. Além disso, a reciclagem compreende a reutilização, total e parcial dos materiais existentes no revestimento, na base e/ou sub-base em que os materiais são misturados, no estado em que se encontram após a desagregação, tratados por energia térmica e/ou aditivados por ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica, MOMM E DOMINGUES [19]. Esta técnica elimina a necessidade de se explorar pedreiras ou executar aterros de bota fora e resolvendo, assim, um grande problema, que é a disposição final dos materiais em locais inadequados, principalmente ao longo do corpo estradal.

A associação de reciclagem asfáltica dos Estados Unidos (*The Asphalt Recycling and Reclaiming – ARRA* [2]) define cinco categorias principais (ver Figura 1) para os diferentes métodos de reciclagem:

- Reciclagem a frio (*Cold recycling*);
- Reciclagem a quente (*Hot recycling*);
- Reciclagem a quente *in situ* (*Hot in-place recycling*);
- Reciclagem a frio *in situ* (*Cold in-place recycling*);
- Reaproveitamento em toda a espessura (*Full depth reclamation*).

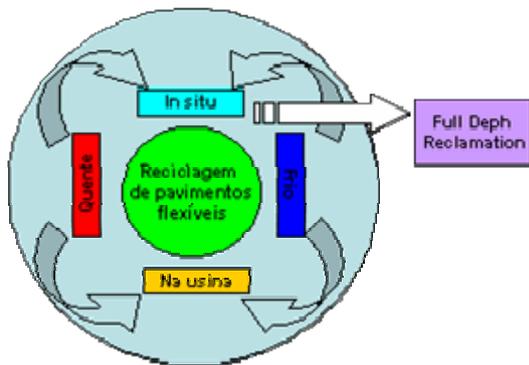
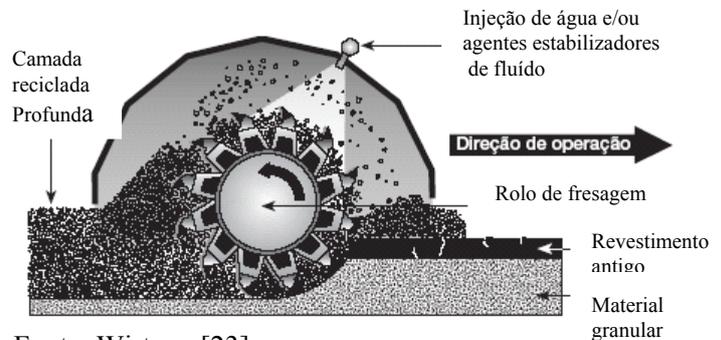


Figura 1 - Tipos de reciclagem

O Guia da FHWA [12] define a FDR, objeto desse estudo, como um método de reciclagem, onde toda a seção do pavimento asfáltico e uma quantidade pré-determinada de material das camadas subjacentes podem ser tratadas para produzir uma base estabilizada. O sistema incorpora as camadas do pavimento com a camada asfáltica do revestimento, como pode ser visto na Figura 2,

com ou sem a adição de novos materiais, produzindo uma nova camada de base estabilizada para pavimentos em estado de deterioração. Este método tem como vantagem a possibilidade de se corrigir defeitos estruturais no pavimento, especialmente nas camadas abaixo do revestimento.



Fonte: Wirtgen [23]

Figura 2 – Processo de reciclagem

3. CONE DE PENETRAÇÃO DINÂMICA

O ensaio DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) é um procedimento consagrado em países como África do Sul, Argentina, Chile, Estados Unidos, Inglaterra, Malásia e Israel. No Brasil, a utilização dessa técnica tem se limitado a escalas menores. Diversos trabalhos apontam aspectos relevantes do DCP como elemento auxiliar no controle tecnológico de obras rodoviárias, dentre estes se destacam Saskatchewan [21], TRL [22], Mn/Road [18] e Lima [16].

O uso principal do ensaio DCP consiste na estimativa da capacidade de suporte das camadas da estrutura do pavimento através da determinação do índice CBR (*California Bearing Ratio*) *in situ* dos materiais, o que é feito aplicando correlações entre o CBR e o parâmetro DCP.

O ensaio DCP consiste em se aplicar golpes sucessivos e anotar a posição de uma marca de referência na haste através da régua, anotando ao lado da posição o número do golpe aplicado (ver Figura 3). Finalmente, conforme a representação esquemática, apresentada na Figura 4, traça-se o gráfico - Posição da Haste versus Número de Golpes.



Fonte: TRL [24]

Figura 3 - Ensaio DCP

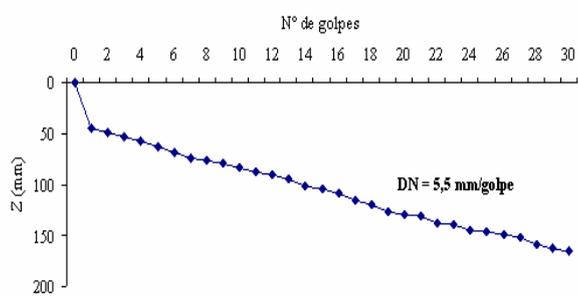


Figura 4 – Resultado típico do ensaio DCP

Dentre os autores que realizaram extensas pesquisas para desenvolver relações entre DCP e CBR podem ser citados Kleyn [15]; Harison [14]; Livneh, 1987; Livneh e Ishai, 1988; Chua, 1988; Harison, 1983; Van Vuuren, 1969; Livneh, et. al., 1992; Livneh e Livneh, 1994; Ese et. al., 1994; e Coonse, 1999, citados por Amini [1]. Baseado no resultado de estudos anteriores, muitas das correlações entre DCP e CBR tem a seguinte forma:

$$\log(CBR) = a + b \times \log(DCP) \quad (1)$$

Onde:

DCP = resistência à penetração (mm/golpe)

a = constante com valores entre 2,44 e 2,60

b = constante com valores entre -1,07 e -1,16

Valores de CBR obtidos através da aplicação de DCP em mm/golpe foram correlacionados por diversos autores e estão apresentados na Figura 5. Na Tabela 1 estão mostradas de modo resumido

correlações DCP x CBR obtidas por vários autores.

Tabela 1 - Correlações CBRxDCP (Lima [18])

Autor	País	Equação (Log CBR =)
Kleyn	África do Sul	2,631-1,280 x log DCP
Harison	Austrália	2,810-1320 x log DCP
TRRL	Inglaterra	2,480-1060 x log DCP
Heyn	Brasil	2,647-1,300 x log DCP
Hasin	Malasia	2,430-0,990 x log DCP
Angelone	Argentina	2,563-1,050 x log DCP
Ponce	Chile	2,890-1,460 x log DCP
Oliveira	Brasil	2,490-1,057 x log DCP
Triches	Brasil	2,710-1,250 x log DCP

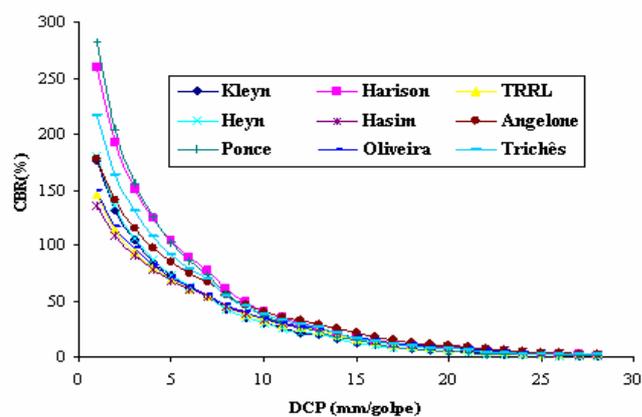


Figura 5 - Valores de CBR estimados com base em correlações CBR x DCP

4. PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

A necessidade de se buscar a garantia de qualidade para as obras de reciclagem de pavimentos requer o estabelecimento de critérios para aceitação da mesma. Para tanto, a metodologia adotada para a realização deste trabalho compreendeu as etapas mostradas no Anexo A deste artigo.

Numa primeira fase, fez-se o estudo do projeto de restauração apresentado pelo DAER [4], bem como das especificações técnicas vigentes em nosso país e outros órgãos internacionais, para a restauração de bases granulares e obras de reciclagem. Em seguida, foram escolhidos os trechos que fariam parte do estudo, seguido da obtenção de suas características. Finalmente, elaborou-se uma proposta inicial de especificação técnica, a qual foi aplicada nos trechos determinados para o estudo. Depois de obtidos os resultados dos ensaios, foi verificado se havia ou não a necessidade de se fazer alterações na proposta inicialmente idealizada.

Os trechos rodoviários fazem parte do Lote 1, do programa de Restauração do Departamento de

Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER [3]), no norte do RS (Figura 6), cujas características principais estão apresentadas na Tabela 3.

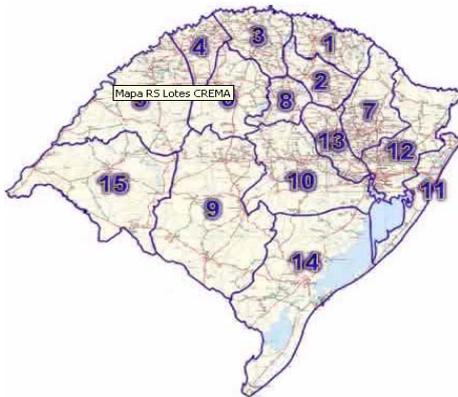


Figura 6 – Mapa de localização dos lotes

Tabela 3. Características dos trechos estudados

Trecho	Extensão (km)	VDM	Faixas de tráfego	Idade do pavimento (anos)
TR01	27,96	1920	2	19
TR02	9,84	2627	2	19
TR21	14,87	1798	2	13
TR22	8,82	1701	2	15

VDM = volume diário médio de veículos

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Proposta inicial de especificação técnica

A proposta inicial de especificação técnica tem como parâmetros principais o CBR *in situ* e a granulometria. Para tanto, os seguintes procedimentos foram definidos:

a) Para determinação do valor de CBR, primeiramente, foi adotada a correlação do USACE, válida para CBR > 10:

$$CBR = \frac{292}{DPI} \quad (2)$$

onde DPI (*Dynamic Penetration Cone Index*) é a penetração média verificada na camada, em mm/golpe.

b) O ensaio de granulometria foi realizado prevendo o atendimento dos critérios preconizados pela Especificação do DNIT para base granular (DNER-ES 303/97, [11]) e o grau de atendimento à Curva de Talbot dado pela expressão:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (3)$$

sendo avaliado o coeficiente de determinação de ajuste (r^2) dos pontos experimentais a esta função. As especificações dos valores de “n” não distantes de 0,5 a fim de maximizar a capacidade de densificação no campo. A Curva de Talbot deverá ser aplicável, com $r^2 > 0,70$ em pelo menos 90% dos pontos, espaçados em no máximo 200 m;

Os parâmetros D e n da Curva de Talbot deverão ter seus valores médios e correspondentes desvios-padrão determinados em segmentos, com no mínimo 9 pontos, espaçados em no máximo 200 m, determinados a partir da equação proposta no controle tecnológico da especificação do DAER-ES-P 08/91 [6] e deverão atender às seguintes faixas:

$$D_{\min} = D_{\text{méd}} - \frac{1,29\sigma_D}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

$$D_{\max} = D_{\text{méd}} + \frac{1,29\sigma_D}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

$$n_{\min} = n_{\text{méd}} - \frac{1,29\sigma_n}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

$$n_{\max} = n_{\text{méd}} + \frac{1,29\sigma_n}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

sendo N o número de pontos de ensaio, σ_D é o desvio-padrão do diâmetro máximo de agregados e σ_n é o desvio-padrão do expoente n da Curva de Talbot.

5.1 Aplicação prática da proposta

5.1.1 Ensaio de granulometria

Os ensaios realizados para verificação da granulometria do material reciclado foram executados obedecendo a espaçamentos máximos de 200 metros.

A granulometria da base reciclada foi verificada utilizando a Curva de Talbot, sendo que num primeiro momento, foram definidos os valores de D, n e r^2 , os quais determinaram os limites para a granulometria específica das faixas do DAER (Alternativa proposta para a manutenção dos

pavimentos do Lote 1 no Programa CREMA/RS [5]):

$$D_{\min} \geq 0,63''$$

$$D_{\max} \leq 2,1''$$

$$n_{\min} \geq 0,36$$

$$n_{\max} \leq 0,74$$

$r^2 > 0,70$, em pelo menos 90% dos pontos

A Tabela 4 apresenta os valores de D_{\max} e D_{\min} de cada trecho, bem como, os valores de n_{\max} e n_{\min} encontrados para os trechos em questão. As figuras 7 a 9 mostram os valores de D , n e r^2 de todos os trechos, em um mesmo gráfico. Os resultados na íntegra podem ser encontrados em SACHET [20].

Tabela 4. Valores máximos e mínimos de D e n

Trecho	D_{\min}	D_{\max}	n_{\min}	n_{\max}
TR01	1,159	1,400	0,588	0,642
TR02	1,134	1,242	0,623	0,663
TR21	0,984	1,025	0,652	0,677
TR22	0,923	1,005	0,710	0,749

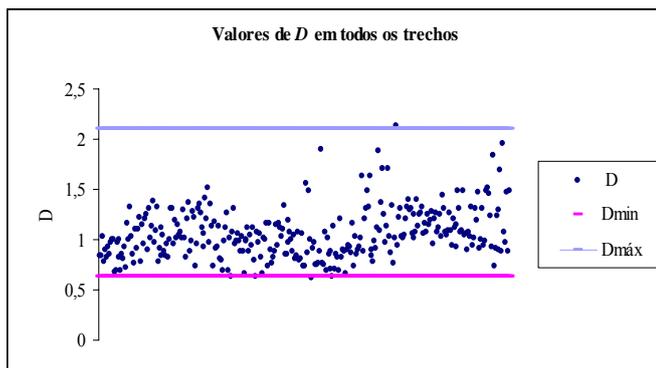


Figura 7 – Valores de D em todos os trechos

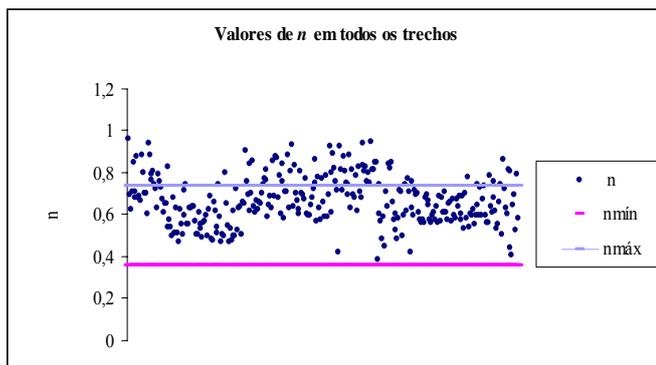


Figura 8 – Valores de n em todos os trechos

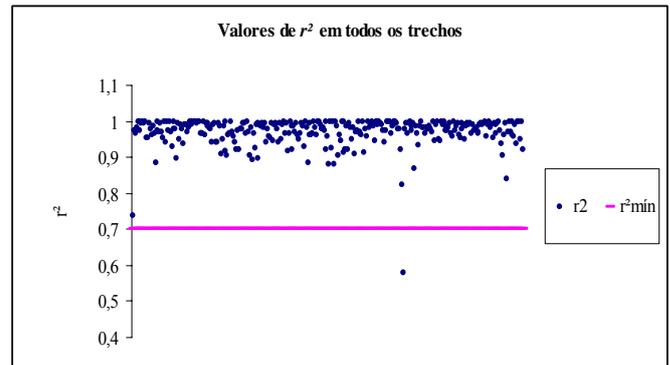


Figura 9 – Valores de r^2 em todos os trechos

Com base nestas considerações, é correto afirmar que o material reciclado (revestimento + base) encontrado nos quatro trechos estudados se enquadra na faixa granulométrica a ser atendida. É possível verificar que a média dos elementos D , n e r^2 , apresentadas, apontam valores aceitáveis e satisfatórios ao que se é exigido.

5.1.2 Ensaio DCP

Os ensaios DCP foram realizados em intervalos regulares de 100 metros. Os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 10 a 13, as quais mostram a variação dos valores de CBR *in situ* das camadas granulares recicladas nos Trechos TR01, TR02, TR21 e TR22. A análise nos trechos foi feita a cada 900 metros em cada um dos trechos.

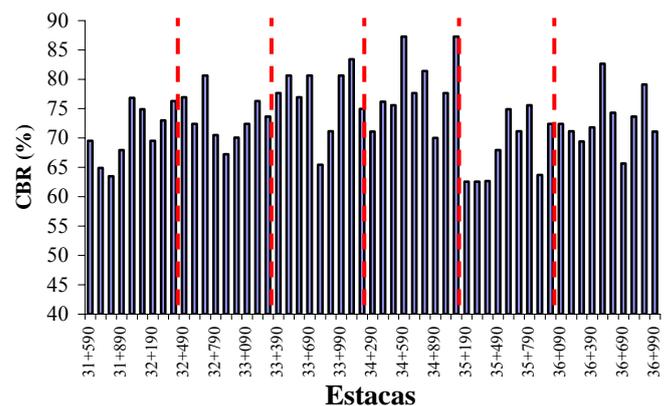


Figura 10 – Resultados do DCP no trecho TR01

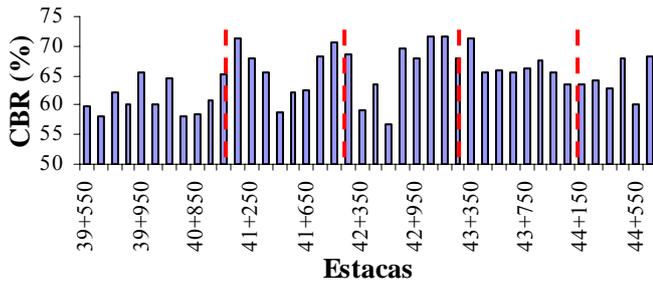


Figura 11 – Resultados do DCP no trecho TR02

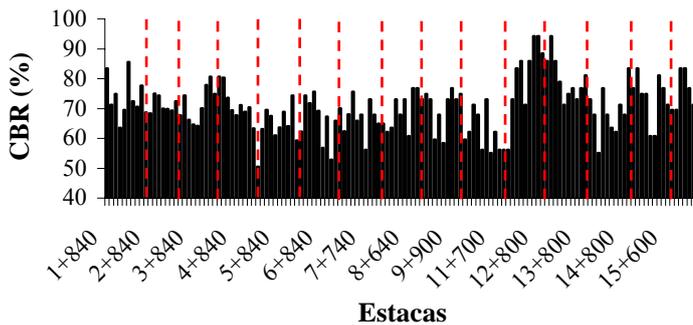


Figura 12 – Resultados do DCP no Trecho TR21

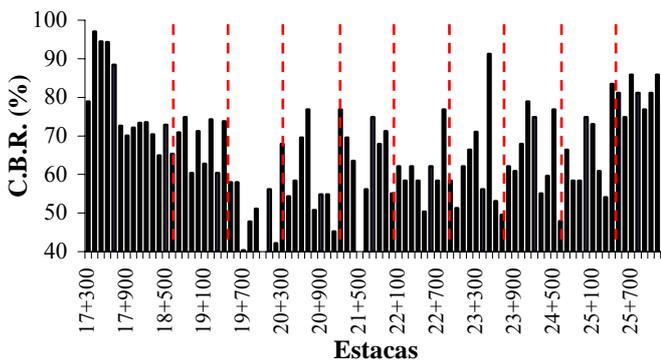


Figura 13 – Resultados do DCP na rodovia IV

De acordo com SACHET [20], as análises mostraram que todos os trechos foram aceitos em termos de capacidade de suporte da base granular reciclada. Sendo que para o trecho TR01 os valores de CBR variaram de $CBR_{\min} = 62$ e $CBR_{\max} = 87$, garantindo a aceitação do trecho no que se refere a sua capacidade de suporte. O trecho TR02 apresentou valor médio de $CBR = 65$, e valores mínimos e máximos iguais a 57 e 72, respectivamente, garantindo dessa forma, a sua aceitação. No caso do trecho TR21 obteve-se um $CBR_{\min} = 71$, enquanto que no trecho TR22 um $CBR_{\min} = 64$, de modo que ambas as rodovias devem ser consideradas aceitas em termos de capacidade de suporte.

A Tabela 5 apresenta, de modo simplificado, os resultados do ensaio DCP nas rodovias restauradas, através do valor médio de CBR obtido com a aplicação de correlação entre $CBR \times DCP$.

Tabela 5. Resultados do ensaio DCP

Rodovia	Média CBR(%)	Desvio Padrão	Cv (%)
I	73	6,03	8,21
II	65	3,14	4,85
III	71	8,52	12,02
IV	64	12,12	19,07

Os dados de campo possibilitaram a investigação dos valores de CBR, através de outras correlações, para que fosse possível estabelecer a equação mais adequada a ser inserida na proposta inicial de controle tecnológico, idealizada neste estudo.

Dentre todos os autores pesquisados e depois de uma extensa procura em trabalhos já realizados, foram selecionadas as seguintes correlações para compor o cálculo do valor de CBR nos trechos em estudo:

- Harison(1987)[13]:
 $LogCBR = 2,55 - 1,14Log(DPI)$
- Livneh et al (1992):
 $LogCBR = 2,45 - 1,12Log(DPI)$
- Kleyne (1975)[15]:
 $LogCBR = 2,438 - 1,065Log(DPI)$
- South Africa para $DPI > 2$:
 $CBR = 410 \times (DPI)^{-1,27}$
- Harison (1987):
 $LogCBR = 2,55 - 0,96Log(DPI)$
- Mn/Dot (1992):
 $CBR = \frac{292}{DPI^{1,12}}$
- USACE:
 $CBR = \frac{292}{DCP}$

As correlações foram aplicadas para os valores de DCP coletados nos quatro trechos analisados. As diferentes correlações apresentam alguns valores bastante dispersos e outros muito próximos como pode ser visto na Figura 14, que mostra os resultados obtidos para o trecho TR01. Os demais trechos também foram analisados apresentando as mesmas variações, disponíveis em SACHET [20].

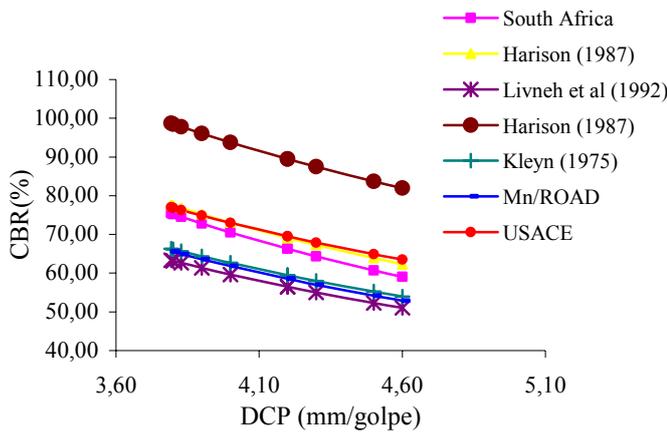


Figura 14 – Correlações CBRxDCP no Trecho TR01

5.1.3 Proposta de especificação técnica para o controle tecnológico de bases granulares recicladas *in situ* (procedimentos)

Baseado nos resultados obtidos e nas especificações brasileiras para bases novas, elaborou-se a Proposta de Especificação Técnica, a qual contempla procedimentos para o controle tecnológico de bases granulares recicladas *in situ*. Os principais elementos estão mostrados no Anexo B deste trabalho e descritos abaixo:

a) A verificação do enquadramento da granulometria deverá ser feita pela aplicação dos seguintes critérios:

- A Curva de Talbot deverá ser aplicável, com $r^2 > 0,70$ em pelo menos 90% dos pontos, espaçados em no máximo 200 m;
- Os parâmetros D e n da Curva de Talbot deverão ter seus valores médios e respectivos desvios-padrão determinados em segmentos, com no mínimo 9 pontos, espaçados em no máximo 200 m, e deverão atender às faixas, associadas às faixas granulométricas especificadas:

onde:

$$D_{\min} = D_{\text{méd}} - \frac{1,29\sigma_D}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

$$D_{\max} = D_{\text{méd}} + \frac{1,29\sigma_D}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

$$n_{\min} = n_{\text{méd}} - \frac{1,29\sigma_n}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

$$n_{\max} = n_{\text{méd}} + \frac{1,29\sigma_n}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

Sendo N é o número de pontos de ensaio, σ_D é o desvio-padrão do diâmetro máximo de agregados e σ_n é o desvio-padrão do expoente n da Curva de

Talbot.

b) O Índice de Suporte Califórnia (CBR) de laboratório, nas condições de projeto para compactação (umidade e densidade ótimas do Proctor Modificado) e após saturação de 4 dias, com valores de projeto: $CBR_p = 60$ em tráfego leve ($N \leq 5 \times 10^6$) e $CBR_p = 80$ em tráfego pesado ($N \geq 5 \times 10^6$), ou CBR de laboratório nas condições de umidade e densidade próximas às de campo, sem saturação de 4 dias, com valores de projeto iguais aos do caso de execução do ensaio DCP.

c) CBR *in situ*, determinado através do ensaio DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), com valor de projeto $CBR_p = 60$ para rodovias de tráfego leve ($N_{\text{AASHTO}} < 1,0 \leq 105$ repetições anuais do eixo-padrão de 8,2 tf) e $CBR_p = 80$ para rodovias de tráfego pesado, onde CBR_p é o valor de projeto, obtido pela equação 1:

$$CBR_p = CBR_{\text{médio}} - \frac{S \times t_{90}}{\sqrt{n-1}} \quad (5)$$

Onde, $CBR_{\text{médio}}$ é o valor médio, S é o desvio-padrão, t_{90} é o valor da distribuição t de Student para 90% de confiança, e n é o número de pontos da amostra. Os resultados terão por finalidade tanto a verificação da qualidade obtida pelo processo como a verificação do grau de homogeneidade da execução.

Ainda, deve ser calculado em cada segmento o parâmetro estatístico através da equação 2:

$$CBR_{\min} = CBR_{\text{médio}} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

onde σ é o desvio-padrão e n é o número de pontos. Este mínimo estatístico deverá atender ao critério: $CBR_{\min} \geq CBR_p$.

- Para o cálculo do CBR há que se aplicar equações de correlação entre CBR e DCP (DPI) que sejam adequadas para o tipo de material em uso. Para tanto, é necessária a execução de um trecho experimental, na fase inicial da obra, para realização de ensaios de CBR e ensaios de DCP de modo a permitir o estabelecimento de uma correlação para a obra. Aplicando-se a seguinte seqüência de procedimentos:

- Um ensaio CBR a cada 100 metros;
- Um ensaio DCP a cada 30 metros;
- Elaboração da correlação através dos resultados obtidos de CBR e DCP. Os dados podem ser analisados através de modelos lineares, logarítmicos, exponenciais ou bi-logarítmicos ($\log x \log$). A correlação pode ter a seguinte forma:

$$\log(CBR) = a + b \times \log(DCP) \quad (7)$$

Onde:

DCP = resistência à penetração (mm/golpe)

a = constante com valores entre 2,44 e 2,60

b = constante com valores entre -1,07 e -1,16

e ainda,

$$CBR = a \times DCP^b \quad (8)$$

Onde:

CBR = é dado em porcentagem (%)

DCP = resistência à penetração (mm/golpe)

a e b = são constantes obtidas através da análise de regressão

d) A determinação do módulo de elasticidade da camada reciclada poderá ser realizada através de ensaios de campo como os equipamentos do tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ou *Light Weight Deflectometer* (LWD). O ensaio deve ser realizado a cada 100 metros. A partir de investigações experimentais, também, pode-se determinar o valor da rigidez da camada reciclada através de correlação com o DCP. Um exemplo de correlação proposta com esse propósito é a desenvolvida pelo MnDOT [17]:

$$E = 10^{3,04758 - [1,061661 \log(DPI)]} \quad (9)$$

Onde:

E = Módulo de Young (MPa)

DPI = Índice de penetração (mm/golpe)

e) Controle do material

Deverão ser adotados os seguintes procedimentos:

- Ensaios de caracterização e de equivalente de areia do material

espalhado na pista pelos métodos DNER-ME 054/97 [9] e DNER-ME 083/98 [8], e locais determinados aleatoriamente. Deverá ser coletada uma amostra por camada para cada 500 m de pista, ou por uma jornada diária de 8 horas de trabalho para ensaio de equivalente de areia e amostras coletadas a cada 200 m para ensaio de granulometria.

- Ensaios de Índice Suporte Califórnia – ISC e expansão pelo método DNER-ME 049/94 [10], na energia de compactação indicada no projeto para o material coletado na pista, em locais determinados aleatoriamente. Deverão ser coletadas amostras a cada 500 m de pista, sendo representativas da base granular reciclada.
- Ensaio DCP (*Cone de Penetração Dinâmica*) consiste em se aplicar golpes de sucessivos e anotar a posição de uma marca de referência na haste através da régua, anotando ao lado da posição o número de golpes. Por fim, traça-se o gráfico, *Posição da haste x número de golpes*, conforme Figura 2. Este ensaio deve ser realizado na base reciclada, em intervalos de 50 em 50 metros.

f) Controle da execução

- Ensaio de umidade higroscópica do material reciclado a cada 100m, imediatamente após a passagem da recicladora e antes da compactação.
- Ensaio de massa específica aparente seca *in situ* em locais escolhidos aleatoriamente, por camada, preconizados pelo método DNER-ME 092/94, espaçados em no máximo 100 metros, na seqüência LE (lado esquerdo), E (eixo), LD (lado direito), como o objetivo de determinar o GC (Grau de Compactação) e a 0,60 metros do bordo.
- Ensaio de compactação com energia modificada, com amostras nas condições de pista, realizado a cada 500m, realizado logo após a passagem da

recicladora e antes da compressão.

- Ensaio de granulometria do material reciclado deverá ser feito a cada 200m de pista, logo após a passagem da recicladora e antes da compressão.
- Ensaio do ISC, realizado a cada 100m, com amostras da pista moldadas no controle de compactação, logo após a passagem da recicladora e antes da compressão.
- Ensaio LWD, realizado a cada 100m no material reciclado, logo após a passagem da recicladora e antes da compressão.

6. CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas, para a restauração das rodovias dos trechos escolhidos para o estudo, verificou-se que a solução envolvendo a reciclagem *in situ* da base granular apresentou os custos de restauração reduzidos em relação aos métodos convencionais de restauração de pavimentos;

Os resultados de CBR obtidos com os ensaios DCP, realizados nas rodovias em estudo, mostraram que as bases granulares recicladas apresentaram características de suporte compatíveis com os valores recomendados pelas especificações técnicas brasileiras, em termos da capacidade de suporte exigida para estruturas de pavimentos flexíveis submetidos a níveis de solicitações de tráfego médio, ficando acima do limite mínimo exigido de 60%. Portanto, todos os trechos foram considerados aceitos em termos de capacidade de suporte da base reciclada;

Os materiais reciclados *in situ* nas rodovias estudadas não apresentaram necessidade de correção granulométrica ou adição de agentes para estabilização química, em vista da natureza dos materiais existentes na pista. Sendo, adicionados apenas o teor de umidade necessário à compactação, em função da umidade observada no campo no momento da reciclagem;

A metodologia proposta para o controle da granulometria envolvendo valores mínimos e máximos para o diâmetro dos agregados e valores

mínimos para o expoente “n” da Curva de Talbot mostrou-se adequada, pois torna mais flexível o enquadramento dos materiais existentes na pista sem confiná-los a uma faixa específica; Devido a dispersão nos resultados encontrados, tornou-se inviável optar pela correlação que seria a “ideal” para a determinação do CBR *in situ*. Para tanto, uma solução para tornar mais confiável a determinação dos valores de CBR no campo seria a realização de estudos experimentais na fase inicial de execução da obra;

A proposta de especificação técnica mostrou-se suficiente e adequada no que se refere ao controle dos parâmetros que asseguram a adequação estrutural de bases granulares recicladas *in situ*. Com aplicação prática da proposta foi possível determinar os intervalos e frequências dos ensaios a serem realizados, para garantir a qualidade das obras de reciclagem.

REFERÊNCIAS

1. AMINI, F. Potential applications of dynamic and static cone penetrometers in pavement design and Construction. Department of Civil Engineering. Jackson State University. Mississippi. 36 p. 2003.
2. ASPHALT RECYCLING & RECLAIMING ASSOCIATION - ARRA. Cold recycling. Asphalt Recycling & Reclaiming Association. Disponível em <http://www.arra.org/hot_in_place_recycling.html>. Acesso em 21 jul. 2005.
3. DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODOGAEM DO RIO GRANDE DO SUL (DAER/RS). Crema. :<<http://www.daer.rs.gov.br/crema/>>. Acesso em 03 mai. 2006.
4. _____. Projeto executivo de restauração dos pavimentos do LOTE I do DAER/RS. 2005.
5. _____. DAER/RS. Alternativa Proposta para a Manutenção dos Pavimentos do Lote 01 do CREMA-RS. 2005.
6. _____. DAER-ES-P 08/91: Base Granular. 1991. 8p.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de pavimentação. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006. 278p.
8. _____. DNER ME 083/98: Agregados: análise granulométrica. Rio de Janeiro. 1998. 05p.
9. _____. DNER ME 054/97: equivalente de areia. Rio de Janeiro. 1997. 10p.
10. _____. DNER ME 049/94: Solos – determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro. 1994. 14p.
11. _____. DNER ES 303/97: Base Estabilizada Granulometricamente. Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte. Rio de Janeiro.

12. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Pavement recycling for state & local governments. FHWA. Publication N°. : FHWA-SA-98-054. 1997.
13. HARISON, J. A. Correlation between California bearing ratio and dynamic cone penetrometer strength measurement of soils. In: Proceedings of Instn. Civil Engineers, Australia, Part 2, p. 833-844. 1987.
14. HARISON, J.A. Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils. *Australian Road Research, Technical Note N° 2*, p. 130-136. 1986.
15. KLEYN, A.T. The Use of Dynamic Cone Penetrometer. *Transvaal Road Department, África do Sul, Report L2/74*, 50p. 1975.
16. LIMA, L.C. (2000). Ensaio DCP Aplicado no Controle de qualidade de Compactação de Obras Viárias Executadas com Solos Lateríticos de Textura Fina. *Dissertação de mestrado – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos – SP*, 164 p.
17. Mn/DOT . Validation of DCP and LWD Moisture Specifications for Granular Materials. 2006. Department of Transportation Minnesota. Office of Materials. Research Services Section. Maplewood, MN.
18. Mn/ROAD (1993). Office Minnesota Road Research. User Guide to the Dynamic Cone Penetrometer. *Department of Transportation Minnesota*. Ed. Affairs & Marketing Manager. Maplewood, 20 p.
19. MOMM, L.; DOMINGUES, F. A. A. Reciclagem de Pavimentos à Frio "in situ", Superficial e Profunda. Reunião Anual de Pavimentação, 29ª, Cuiabá, 1995.
20. SACHET, T. (2007). Controle tecnológico de obras rodoviárias envolvendo a reciclagem *in situ* de bases granulares de pavimentos asfálticos. Dissertação de mestrado – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo – RS, 173p.
21. SAKATCHEWAN HIGHWAYS AND TRANSPORTATION (2005). Standard Test Procedures Manual – *Dynamic Cone Penetrometer*. Ed. Revisada, 10 p.
22. TRL. (2004). Dynamic cone penetrometer - Tests and Analysis. *Transport Research Laboratory – Department International development*. Referência do projeto: R8157, 8 p.
23. WIRTGEN. Manual de reciclagem a frio. 2ª ed. 2004. Wirtgen GmbH. Alemanha.

ANEXO A – Etapas para execução do trabalho

