

AVALIAÇÃO LABORATORIAL DO COMPORTAMENTO À DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM MISTURAS ASFÁLTICAS EMPREGADAS NO ESTADO DO PARÁ

Alex Dias Carvalho ^{*1}
Liedi L. B. Bernucci ^{*2}

RESUMO: São estudadas misturas asfálticas contínuas e fechadas, tendo como agregado graúdo brita ou seixo rolado natural, uma vez que este último é abundante no estado do Pará, norte do Brasil, enquanto que o primeiro, a brita, é rara e onerosa. O objetivo central do trabalho é de pesquisar as diferentes características dos materiais constituintes e as propriedades mecânicas das misturas asfálticas resultantes. São estudados os agregados a parâmetros quanto à forma, abrasão Los Angeles, desgaste, granulometria, etc e os ligantes asfálticos quanto a sua caracterização de modo a discutir esses parâmetros e a influência de cada um deles no comportamento das misturas asfálticas comumente utilizadas nessa região do Brasil. O estudo comparativo entre as misturas asfálticas é baseado em propriedades mecânicas testadas em laboratório através da medida da deformação permanente em trilha de roda com o simulador de tráfego do tipo LPC.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho visa avaliar de maneira clara e concisa o comportamento de algumas misturas asfálticas comumente empregadas como camada de revestimento de pavimentos viários no Estado do Pará, dando ênfase às características mecânicas do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) avaliando a sensibilidade dessas características quando modificados seus componentes (ligantes e/ou agregados).

O trabalho se desenvolve tomando-se como base estudos de dosagem granulométricas e teor ótimo de asfalto de misturas de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) aplicados como camada de rolamento em rodovias brasileiras localizadas no Estado do Pará, a saber: BR-316 e PA-391.

Foram trazidas ao Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de

São Paulo (LTP/EPUSP) amostras dos materiais constituintes dessas misturas utilizados nas rodovias citadas, quais sejam: pedra britada, seixo rolado, areias, filler e cimento asfáltico, a fim de garantir mínima variância possível com a real situação de campo.

As mudanças propostas têm por objetivo uma melhoria no comportamento estrutural dos CBUQs, em função da disponibilidade de materiais na região e dos aspectos econômicos envolvidos, sem detrimento da qualidade técnica às quais foram originalmente propostas.

2. DISPONIBILIDADE DE MATERIAIS NO PARÁ

Foram identificadas as ocorrências geológicas com base em mapas geológicos da região, analisando-se a abundância das jazidas de material pétreo adequado

^{*1} Engenheiro Civil pela UNAMA, Mestre em Engenharia Civil na área de Infra-estrutura de Transportes pela Universidade de São Paulo – Engenheiro e Consultor Técnico da firma ECCIR S/A

^{*2} Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo

para pavimentação, como rochas de granito, gnaiss, basalto, além das ocorrências de seixos rolados num raio de 200 km da capital do Estado, área onde se concentrou o estudo.

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Pará [5], observou-se a escassez de material rochoso adequado para produção de agregados, quer por britados ou naturais, em diversas sub-regiões do Estado, principalmente naquelas situadas nas proximidades da bacia do rio Amazonas.

3. DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM TRILHA DE RODA

As deformações permanentes em trilha de roda podem ser decorrentes de alguns dos seguintes problemas que podem estar atuando isolados ou conjuntamente [9]:

- Baixa capacidade de suporte do subleito, quando solicitado por tensões excessivas que levam à ruptura por cisalhamento ou adensamento progressivo em alguns casos;
- Compactação deficiente ou método construtivo inadequado de uma ou mais camadas que compõem a estrutura do pavimento, incorrendo em deformação permanente imposta pela ação do tráfego;
- Subdimensionamento da estrutura do pavimento levando à ruptura por cisalhamento de uma ou mais camadas pela ação do tráfego;
- Problemas de drenagem que levam à diminuição da resistência ao cisalhamento dos materiais que constituem a estrutura do pavimento, inclusive o subleito;
- Deformação plástica do revestimento por projeto inadequado da mistura asfáltica que o compõe; e
- Desgaste causado em países de clima frio, onde há utilização de pneus com pinos durante o inverno.

Em laboratório, atualmente existem diversos meios de se avaliar, o desempenho das misturas asfálticas quanto às deformações permanentes, através de equipamentos do tipo simulador de tráfego, quer seja com equipamentos que trabalhem com amostras confeccionadas em laboratório, quer seja com a construção de pistas experimentais instrumentadas com dispositivos de aplicação de carga de roda sobre a superfície do pavimento.

Existem diversos tipos de simulador de tráfego de laboratório, cada um com sua peculiaridade, mas sempre com o mesmo objetivo. Dentre eles, destacam-se o "Georgia loaded-wheel testing machine", desenvolvido no estado norte-americano Georgia, na década de 80; o "Asphalt Pavement Analyzer" (APA) que é uma versão mais atualizada do equipamento do "Georgia loaded-wheel testing machine", desenvolvido em 1996; o "PURWheel", também norte-americano, do estado de Purdue, o "Hamburg Wheel-Tracking Device" (HWTB), desenvolvido na Alemanha, na década de 80 [11] e o simulador de tráfego Francês, desenvolvido no início da década de 70 que na atualidade, tem-se um disponível desde 1994 no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo - LTP/USP.

Este último equipamento (ver Fig. 1), desenvolvido pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) da França e por suas divisões regionais, veio auxiliar no estudo do comportamento mecânico das misturas betuminosas do presente trabalho.



Figura 1: Equipamento Simulador de Tráfego do LTP/EPUSP.

O mecanismo de funcionamento do equipamento consiste na medição da deformação gerada pela passagem repetida de um pneu sobre uma amostra prismática de determinada mistura asfáltica. De acordo com Brosseaud et al. [4], esta simulação em laboratório do fenômeno da deformação permanente, é a que mais se aproxima das condições reais de solicitação sofridas pelo revestimento, de forma que os resultados obtidos podem prover um critério de seleção de misturas sob este aspecto.

Os resultados dessas medições, expressos sob a forma de regressão em função potencial, são representados em uma escala log-log, resultando na seguinte expressão:

$$DP = a \times N^b \quad \text{onde:}$$

- DP** é a percentagem de deformação permanente relativa à espessura da placa
N é o número de ciclos
a valor do afundamento em mm quando $N = 1000$ ciclos
b inclinação da reta de regressão

Nas especificações francesas dos produtos a serem usados nas diversas camadas do pavimento, série

de normas NF P 98-130 a NF P 98-141, o valor máximo de percentagem de deformação permanente para um determinado número de ciclos é fixado em função do tipo de cimento asfáltico e do domínio de uso do material [4] [1] [2].

4. MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Neste item, algumas propriedades dos materiais constituintes das misturas asfálticas utilizadas nesta pesquisa são abordadas visto que, conforme fora citado anteriormente, muitas destas propriedades podem afetar consideravelmente o comportamento mecânico e o hidráulico, escopo deste trabalho.

4.1. AGREGADOS

Algumas propriedades dos agregados que podem interferir direta ou indiretamente no comportamento mecânico e nas características de aderência superficial das misturas de concreto asfáltico pesquisadas foram testadas e seus resultados apresentam-se resumidamente na Tab. 1.

Tabela 1: Propriedades dos agregados pesquisados

Propriedade	Método de Ensaio	Resultados	
		Brita	Seixo Rolado
Abrasão Los Angeles	DNER-ME 35-64	28%	64%
Forma	*	Lamelar	arredondada
Massa Específica Seca	NBR 9937	2.64 g/cm ³	2.51 g/cm ³
Absorção em Água	NBR 9937	0.29 %	1.8 %
Textura Superficial	*	Aspera	lisa
Adesividade ao asfalto	DNER-ME 79-63	Má	má

* Determinação feita através de análise visual.

A seguir são apresentados os resultados de ensaios granulométricos efetuados com material que compunham as composições de referência, trazidos do Pará especialmente para o desenvolvimento desta pesquisa.

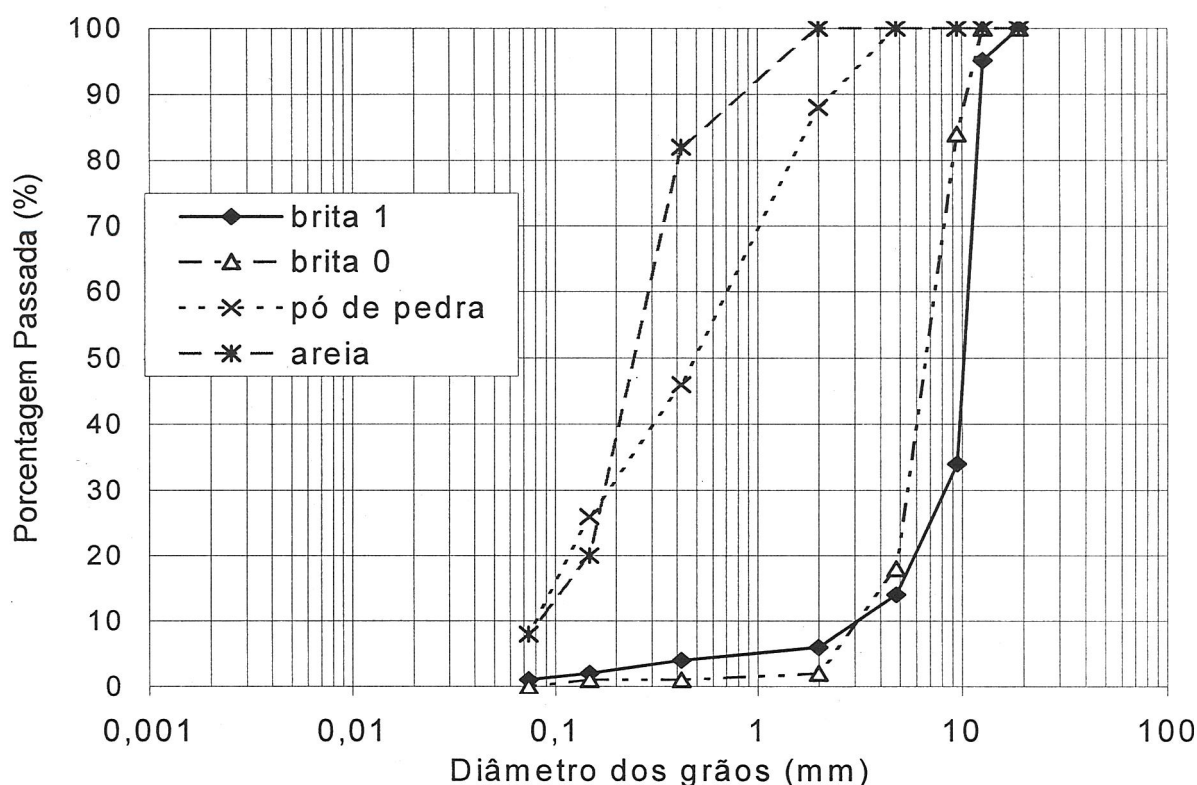


Figura 2: Distribuições granulométricas dos agregados constituintes da mistura de referência com brita.

i. Composição granulométrica com **brita**:

A Fig. 2 traz as distribuições granulométricas dos agregados selecionados para a composição das misturas asfálticas.

As britas "1" e "0" são predominantemente lamelares, duras e ásperas. A areia utilizada na composição de referência apresenta características granulométricas e de forma que influenciam consideravelmente no comportamento mecânico das misturas asfálticas. É uma areia fina, de granulometria bastante uniforme e partículas de forma arredondada. A justificativa do emprego da areia em parcelas consideravelmente elevadas é dada em função do custo pois há pouca ocorrência de material pétreo na região e, muitas vezes, não é economicamente viável transportar este material de longas distâncias.

O filler utilizado nessas composições de concreto

asfáltico foi a cal. Sabe-se que apesar deste material apresentar características que podem melhorar em certos aspectos o comportamento das misturas asfálticas, como por exemplo na adesividade asfalto-agregado, seu emprego tem sido justificado primordialmente por razões econômicas, uma vez que o cimento tem apresentado preço superior no mercado paraense.

ii. Composição granulométrica com **seixo rolado**:

O seixo rolado tem sido empregado nas misturas de concreto asfáltico na sua forma natural, sem algum tipo de beneficiamento, como a britagem por exemplo. Com isso, para compor a parte fina da curva granulométrica destas composições, é necessária uma parcela elevada de areia, acarretando, geralmente, em misturas de difícil compactação e bastante suscetíveis às deformações permanentes.

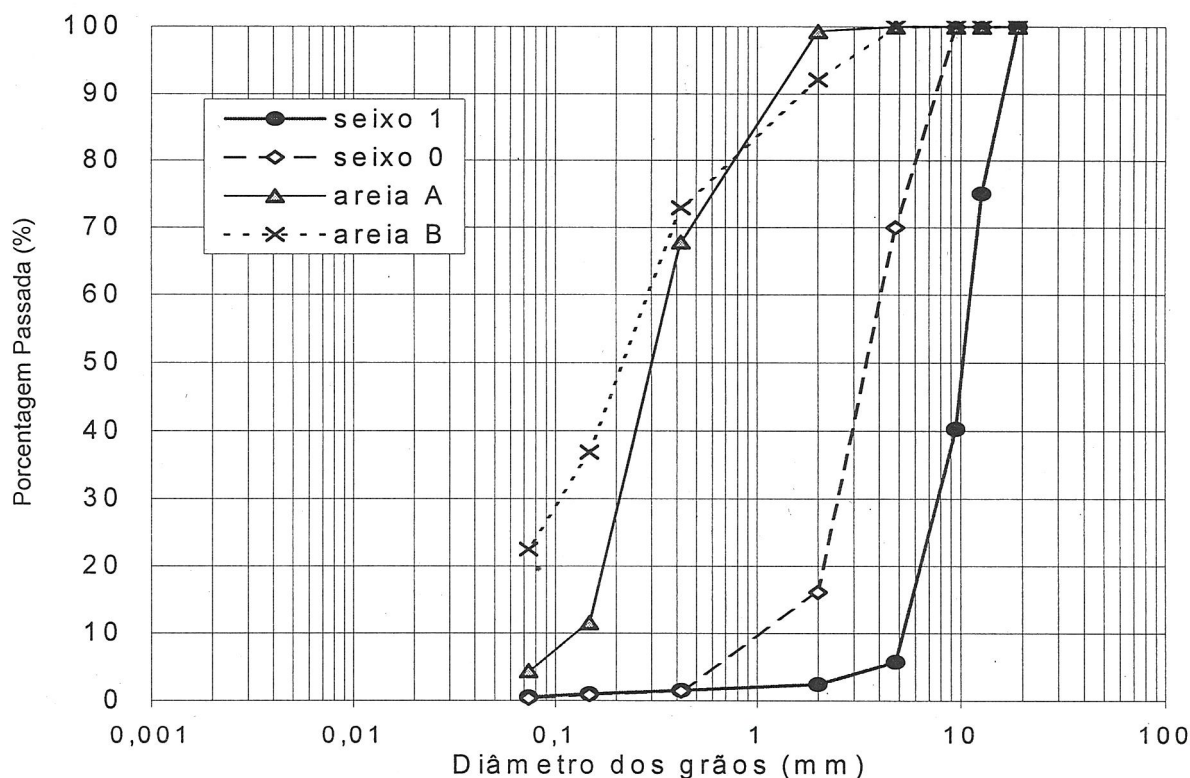


Figura 3: Distribuição granulométrica dos agregados da composição de referência com seixo rolado.

A Figura 3 traz as distribuições granulométricas dos agregados utilizados nas composições com seixo rolado.

A Areia "A" apresenta características bastante semelhantes à areia utilizada na composição com brita, diferindo um pouco na distribuição granulométrica.

A Areia "B" serve como material de enchimento. Trata-se de uma areia de cava, também bem arredondada e granulometria uniforme e fina, na qual a fração passante na peneira n.º 200, ultrapassa 20% e apresenta uma quantidade considerável de material orgânico.

4.2. LIGANTES ASFÁLTICOS

Nas misturas asfálticas estudadas, foi utilizado inicialmente o cimento asfáltico de petróleo CAP 50/60 produzido pela Petrobrás, na sua refinaria de Fortaleza/CE, a LUBNOR (antiga ASFOR), que é a refinaria em atividade mais próxima da região norte, entretanto, avaliado o comportamento das misturas quanto a algumas propriedades mecânicas em que se empregaram o CAP 50/60, optou-se por utilizar também nesta pesquisa um CAP mais duro, com viscosidade da ordem de 5000 P: o CAP 40 produzido pela Petrobrás, na REPAR, verificando assim quais seriam as variações no comportamento das misturas geradas pela mudança do cimento asfáltico.

Tabela 2: Caracterização dos CAPs testados

Índices	Métodos	Resultados	
		CAP 50/60	CAP 40
Viscosidade a 60° C	MB-827	3.273 P	5.000 P
Penetração a 25° C	MB-107	54 (0.1 mm)	40 (0,1 mm)
Ponto de Amolecimento	-	52° C	55° C
Índice de Suscetibilidade Térmica	MB-50	-1	-0,5

Na sequência, estão demonstradas na Tabela 2 algumas características dos CAPs empregados nas misturas de concreto asfáltico testadas na Divisão de Pavimentação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

5. MISTURAS ASFÁLTICAS TESTADAS

A seguir, são apresentadas as composições granulométricas, como também os teores de asfalto adotados nas misturas de concreto asfáltico.

5.1. COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS

Em geral, as composições granulométricas para misturas de concreto asfáltico obedecem às especificações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem –DNER, que especifica a Faixa “C” para camadas de rolamento.

Devido às variações passíveis no processo de coleta, transporte, além das inevitáveis variações entre os dados de projeto e os de campo, foram propostas modificações de ordem granulométrica nas composições escolhidas como de referência posto que os resultados dos ensaios de granulometria feitos no LTP não estavam totalmente condizentes com os originais de projeto e de obra.

Na composição de referência com **brita**, foram feitas duas modificações de ordem granulométrica:

- A primeira foi diminuir o percentual de areia natural para melhorar a forma da curva granulométrica, reduzindo a fração passante na peneira n.º 40. Para tanto, baixou-se o percentual de areia na composição, compensando esta redução com o acréscimo, principalmente, da parcela de pó de brita, passando esta nova composição a ser denominada de “*brita com curva corrigida*”.
- A segunda, foi substituir parte do material graúdo (composto inicialmente apenas por brita) por seixo rolado natural, além da diminuição da parcela de areia natural, corrigindo, também, a forma da curva granulométrica. Com a introdução desta parcela de seixo rolado, pretendia-se baratear o custo de produção da mistura, visto que este material tem preço de mercado inferior ao da brita¹. Para esta nova composição, deu-se a denominação de “*brita + seixo*”.

A Tab. 3 mostra as mudanças na contribuição percentual dos agregados nas composições denominadas de “*brita com curva corrigida*” e “*curva brita + seixo*”, relacionadas às suas misturas de referência.

¹ A ocorrência consideravelmente reduzida e a distância de transporte são os fatores mais influentes no custo elevado deste material.

Tabela 3: Composições granulométricas com brita

Material	Composição de Referência com Brita	Composição "Brita com Curva Corrigida"	Composição "Brita + Seixo"
	Porcentagem em peso		
Brita 1	15%	15%	15%
Brita 0	31%	34%	18%
Pó de Pedra	17%	36%	34%
Areia Quartzosa	35%	13%	13%
Filler (cal)	2%	2%	2%
Seixo 0	-	-	18%

Os resultados destas modificações mostram que foi conseguido um arranjo nas curvas granulométricas geradas de maneira consideravelmente melhor que o

sugerido pela composição inicial, com mostra a Fig. 4, que segue.

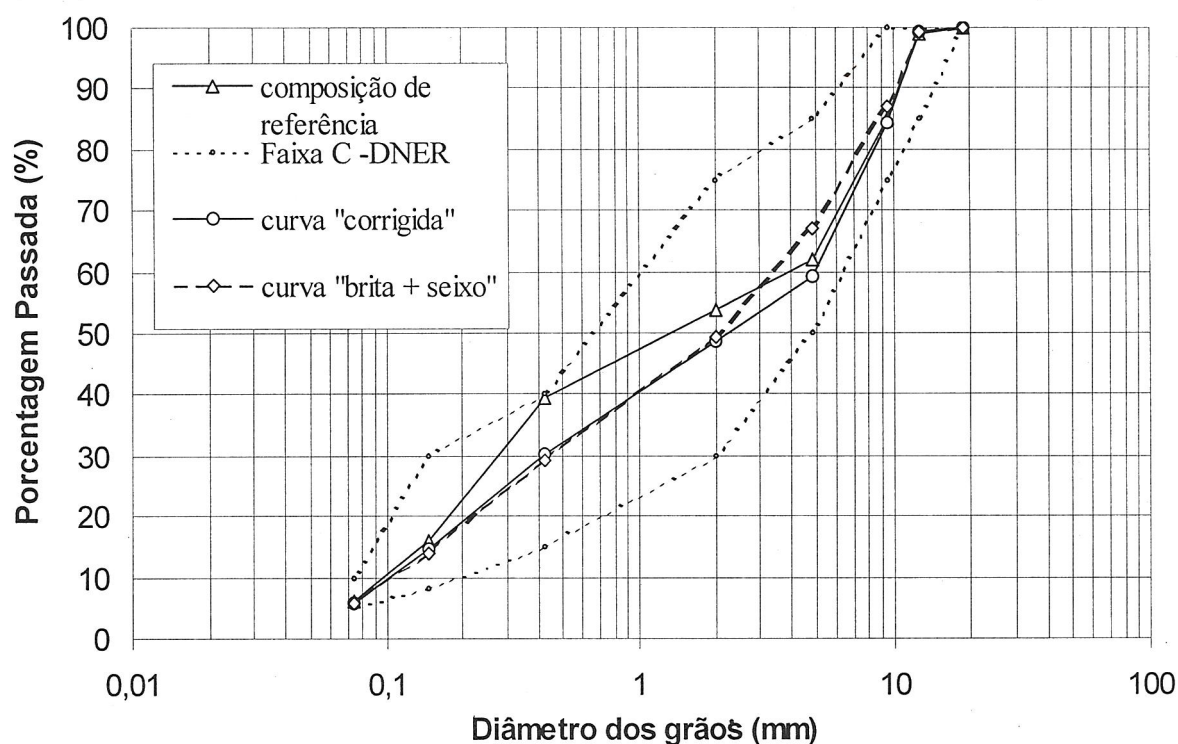


Figura 4: Modificações na composição da mistura de referência com brita.

As modificações propostas para a composição de referência com **seixo rolado natural** tiveram a mesma intenção das adotadas para as composições com brita, ou seja, buscar um melhor ajuste na curva granulométrica buscando melhoria, principalmente, no comportamento mecânico. Em função das características granulométricas deste material (parcela pequena de material fino¹), não foi possível um ajuste contundente na parcela de areia natural. A britagem do seixo rolado, que melhoraria consideravelmente a forma deste agregado, além de fornecer uma parcela de material fino, muitas vezes não parece ser solução a esta problemática devido aos aspectos econômicos envolvidos neste processo.

Entretanto, havia também deficiência de filler² na composição de referência. A solução encontrada para suprir esta deficiência foi introduzir um percentual de

Tabela 4: Composições granulométricas com seixo rolado

Material	Composição de Referência com Seixo Rolado	Composição "Seixo + cal"
	Porcentagem em peso	
Seixo 1	18%	19%
Seixo 0	42%	40%
Areia "A"	33%	30%
Areia "B"	7%	8%
Cal	-	3%

pó calcário nas composições granulométricas, melhorando, ainda, a forma da curva granulométrica. Dessa forma a composição dos agregados ora modificada e denominada de "*seixo + cal*", ficou distribuída conforme apresentado na Tab. 4.

A distribuição da curva granulométrica gerada pelas modificações (*seixo + cal*) consta da Fig. 5 que segue.

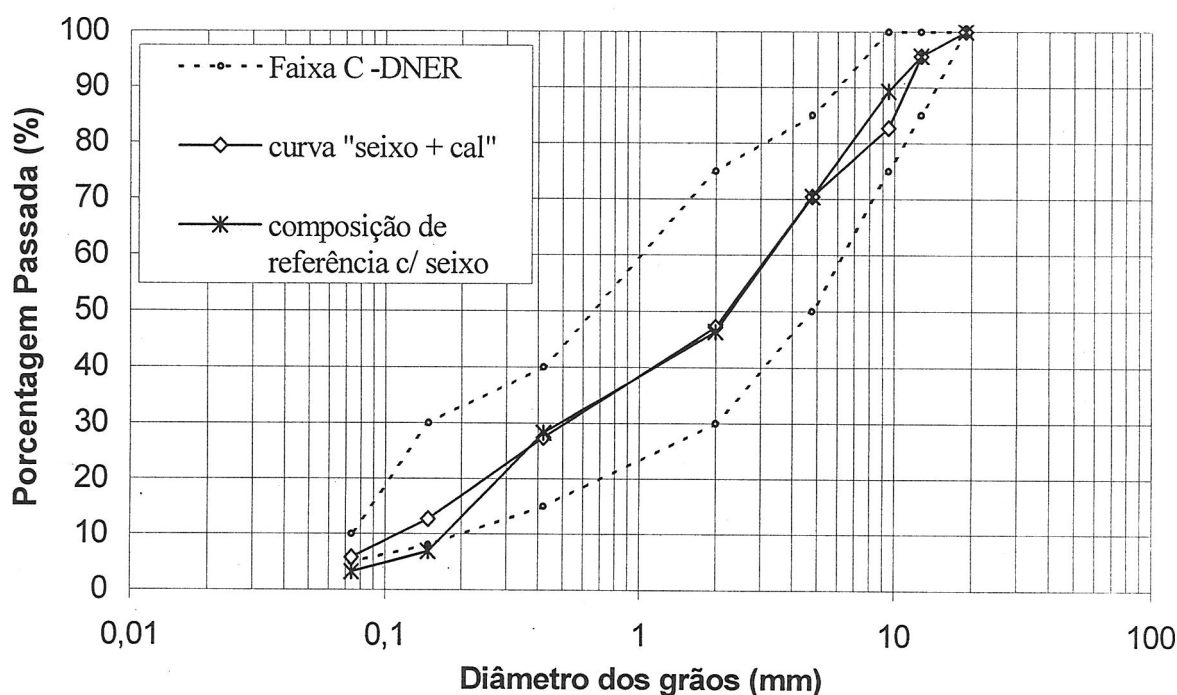


Figura 5: Modificação na composição da mistura de referência com seixo rolado.

¹ Material passante na peneira Nº 40

² Material passante na peneira Nº 200

5.2. TEOR E TIPO DE LIGANTE ASFÁLTICO NAS MISTURAS

A definição do teor de ligante asfáltico nas misturas de concreto asfáltico obedeceu ao mesmo critério adotado para as composições granulométricas, isto é, fundamentado nos projetos de referência. Desta forma, partindo dos projetos de referência das misturas com **brita** e com **seixo rolado**, foram feitas certas modificações, tanto no teor quanto no tipo de CAP utilizado.

Os teores de ligante asfáltico foram fixados em 5,9%, pois não se objetivou discutir o problema da dosagem das novas misturas asfálticas geradas. Como as curvas granulométricas são muito próximas umas das outras, provavelmente a variação do teor de ligante seria pequena.

O tipo de ligante asfáltico empregado nas misturas foi o CAP (cimento asfáltico de petróleo). Na mistura de referência com **seixo rolado** o teor ótimo, também obtido pelo Marshall, era de 5,9% em peso de CAP 50/60. Como não foi possível um ajuste mais contundente na composição granulométrica sem que a curva de granulometria alterada saísse dos limites da Faixa C do DNER, ficou estabelecido que a modificação

principal seria no tipo de ligante asfáltico a ser utilizado, a saber: CAP 40. Presumiu-se uma possível melhora no comportamento mecânico das misturas de concreto asfáltico com CAP 40, em função das suas características apontarem para uma melhor adequação de seu emprego em relação às do CAP 50/60. Deve-se sempre ressaltar que o Estado do Pará encontra-se em região com clima quente, o que afeta consideravelmente as características de viscosidade do ligante asfáltico e portanto as deformações permanentes.

6. RESULTADOS OBTIDOS

A avaliação dos resultados de afundamento na trilha de roda em misturas de concreto asfáltico submetidas ao simulador de tráfego tipo LPC, foi fundamentada nas especificações francesas. O critério utilizado foi o que especifica porcentagem máxima de afundamento em trilha de roda de 10% (em relação a espessura da amostra ensaiada) para misturas de concreto asfáltico em camadas de revestimento.

Misturas com **Brita**: os resultados de deformação permanente nas misturas com brita constam da Fig. 6.

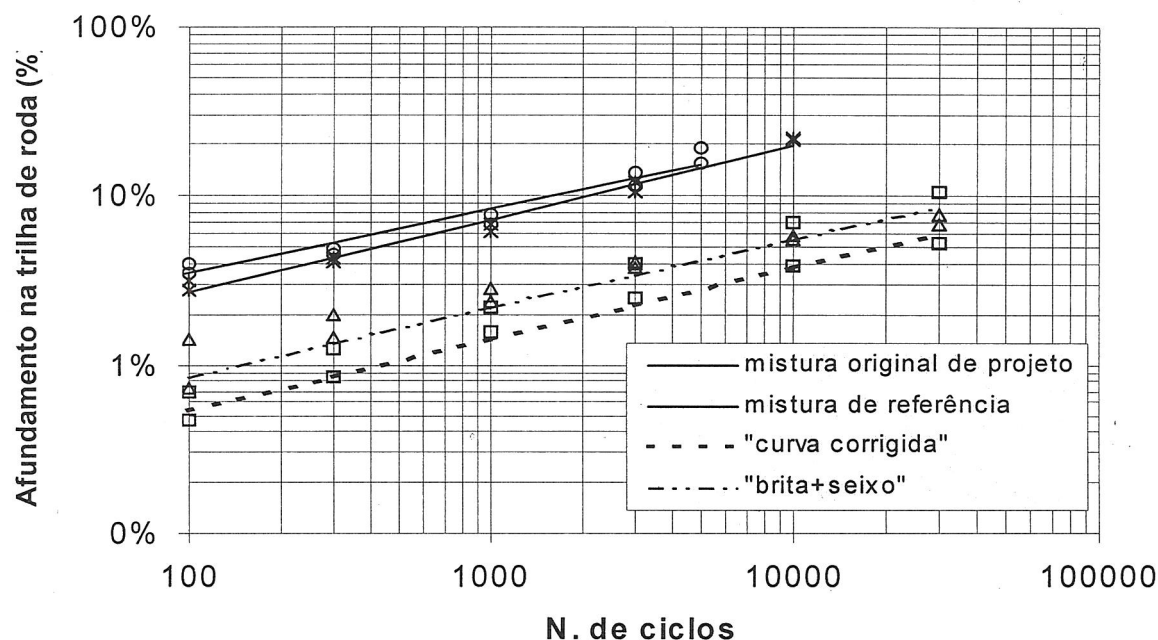


Figura 6: Afundamento na trilha de roda nas misturas asfálticas com brita.

Na mistura original de projeto, com teor ótimo de ligante asfáltico de 6,2 % de CAP 50/60, o desempenho apresentado quanto à deformação permanente foi insatisfatório visto que a determinação do afundamento na trilha de roda medido no simulador de tráfego para a mistura original de projeto, conseguiu-se obter leituras até 5.000 ciclos, devido à deformação ser plástica com compensação lateral de volume de material, caracterizando excesso de ligante asfáltico na mistura.

A fim de evitar deformações plásticas excessivas, reduziu-se em 0,3% o teor de ligante asfáltico adotado na mistura original de projeto. Esta nova configuração passou a ser denominada de “mistura de referência com brita”. Foram feitas leituras até 10.000 ciclos, apesar de que isto não pode ser apreciado como uma melhoria significativa no desempenho, pois os valores absolutos de afundamento obtidos para as misturas em questão foram equivalentes. Ocorre que, devido à diminuição no teor de betume, propiciou-se o aumento do volume de vazios na mistura, acarretando um processo de consolidação com pequena compensação lateral, menor que aquela apresentada anteriormente com a mistura com 6,2% de teor de ligante asfáltico.

Sentiu-se ainda a necessidade de reduzir os níveis de afundamento na trilha de roda. Com isso, optou-se em introduzir alterações granulométricas, visto que, de acordo com a distribuição granulométrica dos agregados utilizados, a curva original de projeto

apresentava algumas discontinuidades localizadas.

A correção da curva granulométrica, que reduziu significativamente a parcela de areia natural, mostrou-se bastante influente no comportamento das misturas asfálticas testadas, reduzindo consideravelmente os níveis de deformação permanente nas misturas em que esta implementação fora incorporada. As misturas asfálticas com esta nova composição obtiveram percentuais de deformação permanente abaixo do limite máximo estabelecido.

Com a introdução da parcela de “seixo rolado natural” na composição da brita ora corrigida, a suscetibilidade à formação de trilhas de rodas da mistura asfáltica aumentou. Contudo, este acréscimo foi considerado pouco significativo, mostrando que, sob o aspecto da deformação permanente confrontado ao custo de produção das misturas, esta é uma alternativa bastante viável.

Observou-se ainda que a inclinação das retas de regressão do afundamento em trilha de roda em função do número de ciclos são muito próximas. Houve uma “translação” dessas retas, mostrando a importância da distribuição granulométrica nas deformações permanentes, fato conhecido no meio técnico especializado e confirmado experimentalmente no presente trabalho.

Misturas com **seixo rolado natural**: o comportamento quanto à deformação permanente das misturas com seixo rolado natural está exposto na Fig. 7, que segue.

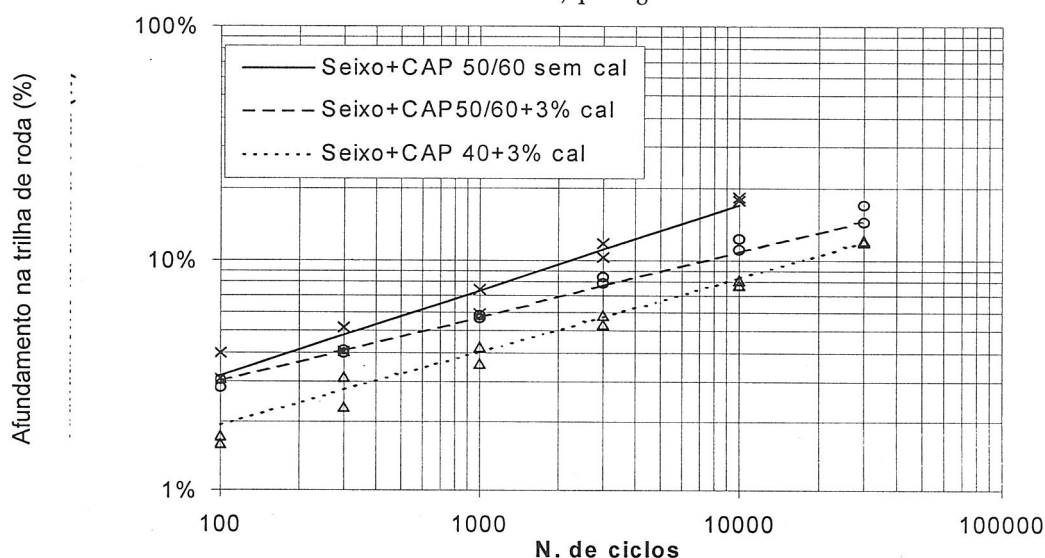


Figura 7: Afundamento na trilha de roda nas misturas asfálticas com seixo rolado natural.

A mistura de referência com seixo rolado apresentou resultados considerados insatisfatórios quanto à deformação permanente.

A fim de melhorar o comportamento à deformação permanente, optou-se, primeiramente, por manter o tipo de ligante asfáltico (CAP 50/60) e corrigir a curva granulométrica com a adição da cal. Com isso, conseguiu-se melhorar consideravelmente os níveis de afundamento em trilha de roda, mostrando a importância da distribuição granulométrica na suscetibilidade da mistura asfáltica à deformação permanente. Não se sabe se a cal coopera com a redução de deformação permanente pelo seu caráter pozolânico ou se é somente pela sua função como filler.

A mudança do tipo de CAP, feita através da introdução de um CAP mais duro (CAP40) na composição ora corrigida, reduziu um pouco mais os percentuais de afundamento na trilha de roda apresentados por esta nova configuração, o que aponta, também, para a importância da utilização de um CAP mais viscoso e menos suscetível à temperaturas mais elevadas (neste caso, 60 °C).

Com referência à inclinação das retas de regressão de afundamento em trilha de roda em função do tráfego, faz-se valer as mesmas observações feitas às misturas asfálticas com **brita**.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos resultados obtidos no ensaio de deformação permanente em trilha de roda das misturas de concreto asfáltico ensaiadas neste trabalho, pôde-se concluir que:

- i. No caso das misturas asfálticas com **brita**:

- É importante trabalhar com curvas granulométricas bem distribuídas;
- A redução da parcela de areia quartzosa constituída de partículas arredondadas e granulometria fina e uniforme mostrou ser o fator de maior influência na melhoria do comportamento à deformação permanente;
- A alternativa de introduzir uma parcela de seixo natural em substituição de parte do material britado ("brita 0") mostrou-se viável principalmente sob o aspecto econômico.

ii. Para as misturas com **seixo rolado**:

- Com a correção da distribuição granulométrica imposta pela adição de 3% de cal houve melhora de resistência ao afundamento na trilha de roda, dado, principalmente, a redução do índice de vazios.
- Contudo, visto que não foi possível reduzir a parcela de areia fina e arredondada, prejudicial ao comportamento mecânico das misturas testadas, o maior responsável pela significativa melhora quanto à deformação permanente foi o emprego do CAP 40, devido à sua viscosidade mais elevada e ser menos suscetível a temperaturas mais altas, mostrando-se uma alternativa promissora para a região, dado os fatores climáticos envolvidos.

É importante salientar que o ensaio de previsão de deformação permanente em trilha de roda através do simulador de tráfego do tipo LPC, é realizado sob condições severas de frequência de carregamento e de temperatura, então, apesar de fortes indícios de ocorrência de afundamento em trilha de roda principalmente nas misturas adotadas com de referência, é possível que isto não ocorra em pista.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION, AFNOR. **Compactage des Plaques** AFNOR-NF-P-98-250-2. Essais Relatif aux Chaussées – Préparation des Mélanges Hyfrocarbonés. Paris, 1993. (Parte,2).
2. ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALISATION, AFNOR. **Essai d'Orniérage**. AFNOR-NF-P-98-253-1, Essais Relatif aux Chaussées – Préparation des Mélanges Hyfrocarbonés. S.l., 1993. (Partie,1).
3. BERNUCCI, L. B., et all. **Influência do Tipo do Asfalto no Comportamento à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas**, in: Congreso Ibero- Latinoamericano del Asfalto, 9 . Asunción, , p. 458-467, 1997.
4. BROSSEAUD, Y., DELORME, J-L., HIERNAUX, R. **Study of permanent deformations in asphalt with help of the LCPC wheel tracking rutting tester: evaluation and future prospects**. In: Annual Meeting of Transportations Reserach Board, 72. USA, 1993. [S.N.T.].
5. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS -CPRM . **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Carta Geológica 1:250.000 – anexo 1, Folha Castanhal SA 23-V-C**. Belém, 1998.
6. CORTÉ, J-F, et all. **Étude de l'Orniérage des Couches de Roulament au Manège d'Essai du LCPC**. In: **Bulletin de Liasion des Laboratoires des Ponts et Chaussées**. S.l., n. 217, p. 13-30,1998.
7. MERIGHI, J. V., BERNUCCI, L. B., SUZUKI, C.Y. **A Importância da Avaliação da Deformação permanente no Comportamento das Misturas Asfálticas**. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 10. Brasília, DF, 1995, p. 741-752.
8. MOMM, L. **Estudo dos Efeitos da Granulometria sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e seu Comportamento Mecânico**, São Paulo, 1998. Tese doutoramento apresentada à Escola Politécnica da USP.
9. PIARC. **Enrobés Bitumineux a Haute a Resistance a l'Orniérage par Fluage**. Comité Techique AIPCR des Routes Souples, CT 8 Rédaction: J. Verstraeten, Permanent International Association of Road Congress. S.l., 1994
10. SECRETARIA DE TRANSPORTES DO ESTADO DO PARÁ. **Anuário Estatístico da Rede Rodoviária do Estado**. Belém: SETRAN,1997.
11. WILLIAMS, R. C., PROWELL, B. D. **Comparison of Laboratory Wheel-Tracking Tests Results to Westrack Performance**. in: Annual Meeting of Transportations Research Board, 72. USA, 1979.