



IBP02802

## DESEMPENHO DE TRECHOS DE PAVIMENTOS ACOMPANHADOS NOS ÚLTIMOS 10 ANOS.

Laura M. G. Motta<sup>1</sup>, Leni M. F. Leite<sup>2</sup>

### Copyright 2002, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no *16º Encontro de Asfalto*, realizado no período de 03 a 05 de Dezembro de 2002, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pela Comissão Técnica do Evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. *Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos.* O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais do *16º Encontro de Asfalto*.

---

### Abstract

---

In the last ten years, a joined effort from CENPES and COPPE, with collaboration of others Institutions, Public road Departments, allowed the implementation of several experimental tracks that were submitted to various weather and traffic conditions for performance observation. It is done a description of these experiments, which are characterized for having different ages, for employing different binders' type and for using conventional design techniques and constructions. Their follow-up was made by periodical visits to the tracks, with core samples collection, deflections measurement and defects survey. The purpose of this work is to report the behavior and performance of these tracks.

### Resumo

---

Nos últimos 10 anos, um esforço conjunto do CENPES e da COPPE, apoiado por várias instituições, órgãos públicos e pessoas, permitiu a implantação de trechos de observação de desempenho, em várias condições de clima e tráfego. Cada trecho tem idades diferentes. Faz-se um relato destas experiências, que se caracterizam por terem empregados ligantes asfálticos diferentes e técnicas convencionais de projeto e construção, sendo que o acompanhamento se deu por visitas periódicas aos trechos, com coleta de amostras e levantamento de defeitos e deflexões. Neste trabalho faz-se o balanço das observações e do desempenho destes trechos.

### Introdução

---

Muito se tem falado no meio técnico nacional sobre a qualidade dos cimentos asfálticos brasileiros. Algumas questões relativas à durabilidade de misturas asfálticas são às vezes apresentadas verbalmente, no entanto sem serem apresentados dados numéricos que permitam comprovar determinadas alegações. Muito se diz e pouco se prova. É pouco comum no Brasil também o acompanhamento sistemático de obras de pavimentação ao longo da sua vida útil.

Com objetivo de acumular dados de desempenho de trechos de pavimentos e verificar o comportamento ao envelhecimento de misturas asfálticas em serviço, iniciou –se em 1991 uma parceria entre a COPPE e o CENPES que resultou em implantação de vários trechos de observação, sempre

---

<sup>1</sup> DSc., Professora Adjunta COPPE/UFRJ

<sup>2</sup> DSc., Consultor Técnico - CENPES/PETROBRAS

em parceria com órgãos federais e estaduais de estradas e também com outros grupos universitários. Resultou este esforço num banco de dados que vem sendo divulgado em trabalhos anteriores, citados ao longo deste trabalho, e neste artigo se fará uma síntese destes estudos. Cada trecho tem idades diferentes de implantação. Os trechos estudados são seis, em várias condições de clima e tráfego. O acompanhamento se deu por visitas periódicas aos trechos, com coleta de corpos de prova extraídos com sonda rotativa, medidas de avaliação de superfície e medidas de avaliação estrutural com viga Benkelman.

A comparação entre o envelhecimento de campo de cada mistura asfáltica destes trechos e o envelhecimento previsto pela equação proposta por Fonseca (1995), utilizando equação de envelhecimento de Mirza e Witzac (1995), está mostrada em Tonial (2001) e Tonial et al (2001a). O acompanhamento sistemático de trechos rodoviários em serviço permitiu comprovar que os ligantes asfálticos produzidos no Brasil comportam-se adequadamente quanto ao envelhecimento com o clima, comparável ao que acontece nos EUA, expresso pela equação de Fonseca. Tonial (2001) e Tonial et al (2001b) mostram os efeitos do envelhecimento das misturas na vida de fadiga dos pavimentos.

## Apresentação dos trechos

### 1 – Trecho RIO ORLA

O trecho denominado de Rio - Orla foi o primeiro a ser implantado e foi construído em novembro de 1991, em um trecho de 400m na Avenida Sernambetiba, no Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, com CAP55 (atual CAP40), em parceria com a Prefeitura do Rio de Janeiro (Ramos et al, 1994). A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 25°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 34°C. O CAP utilizado foi produzido na refinaria Duque de Caxias (REDUC) a partir de petróleo nacional tipo Cabiúnas.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, para a capa e o binder, respectivamente, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação.

Este trecho tem trânsito médio, composto principalmente de ônibus urbanos e de turismo (500 veículos comerciais dia). Compôs o estudo somente a pista sentido Recreio – Barra.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental RIO – Orla - CAPA.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência - MR (média) MPa	Resistência Tração - RT (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão ( $10^{-2}$ mm)
Dez-91	2	6346	1,36	4666	2,36	0	60
Mar-92	4		1,64	-	2,36		49
Jun-92	7	6547	2,12	3088	2,36		39
Dez-92	13	8361	2,04	4098	2,36		42
Ago-93	21		2,34	-	2,36		-
Dez-93	25	8969	2,61	3436	2,34	2	51
Set-94	35	-	2,44		-		57
Mai-96	55	10487	2,51	4178	-		
Nov-96	61	10600	-	-	2,36		

Dez-97	74	10910	2,33	4682	2,36		60
Mar-99	89	12194	-	-	2,37		60
Out-00	109	11350	2,40	4729	2,36	10	-

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental RIO – Orla - BINDER.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)
Dez-91	2	7569	1,47	5149	2,44
Mar-92	4	-	1,80	-	2,43
Jun-92	7	7762	1,87	4150	2,44
Dez-92	13	9900	1,99	4975	2,44
Ago-93	21	-	1,99	-	2,44
Dez-93	25	9773	2,00	4886	2,43
Set-94	35	-	2,01	-	-
Mai-96	55	10470	2,49	4205	-
Nov-96	61	10105	-	-	-
Dez-97	74	11672	2,21	5280	2,43
Mar-99	89	12197	-		2,44
Out-00	109	11680	2,40	4887	2,43

## 2 – Trecho BANDEIRANTES

O trecho denominado Bandeirantes foi construído em parceria com a DERSA, na rodovia dos Bandeirantes, com CAP de petróleo Marlim (Zanetoni et al, 1994, Leite et al, 1994, Leite et al, 2001). Implantado em novembro de 1993 com uma extensão de 300 metros, localizado na rodovia dos Bandeirantes –SP entre os km 95+ 700m e o Km 95 +400m, pista sul, sentido Campinas - São Paulo com um tráfego médio de 9.000 veículos dia por pista. A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 21°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 29°C. O trecho foi executado utilizando-se um cimento asfáltico tipo CAP-20 produzido na refinaria Henrique Lage (REVAP) em São José dos Campos - SP, a partir de uma mistura de petróleos nacionais com 84% de Marlim e 16% de Cabiúnas.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação, para a capa e o binder, respectivamente.

Os resultados obtidos indicam que o ligante se desempenhou adequadamente. Os poucos defeitos observados no pavimento - trincas tipo couro de jacaré e trincas longitudinais associadas a trilhas de roda - ocorreram na faixa 3 de maior volume de tráfego. O trecho de asfalto Marlim foi visitado pela última vez em 18 de abril de 2001, pelas autoras deste trabalho, com o apoio de engenheiros da Concessionária. Grande parte da faixa 3 (da direita) foi fresada em data próxima à da visita numa profundidade de 4cm, que foi preenchido com nova mistura asfáltica. Cabe dizer que trechos anteriores e posteriores ao trecho experimental onde foi usado ligante convencional também sofreram intervenção

de fresagem nesta mesma faixa 3 e em outros pontos de outras faixas. Houve também dificuldade de achar as estacas originais, pois foi feita uma ampliação de faixas contígua a esta faixa 3 como parte de um novo trevo executado no início de 2001 pela concessionária. Isto corresponde a uma vida útil observada de 7 anos.

O tráfego contado durante 1 hora da visita foi de 374 caminhões na faixa 2 (a faixa 3 estava interrompida para o tráfego para a nossa coleta de amostras). O tráfego informado pela concessionária é de 6500 veículos por dia.

A faixa 2 apresentava em abril de 2001 pouquíssimas áreas de intervenção, enquanto a faixa 1, na esquerda, portanto de tráfego mais leve em relação às demais, mas muito intenso também, não apresentava ainda nenhuma intervenção no trecho experimental nem próximo.

Verificou-se um adensamento precoce das camadas de TSU e PMQ que foram projetadas para acarretar alívio e dispersão das tensões advindas da base de BGTC. As densidades observadas durante todo o monitoramento foram da mesma ordem de grandeza da capa e binder. Provavelmente estas camadas não cumpriram seu papel e ocasionaram a reflexão das trincas da base cimentada para a superfície do revestimento.

Este trecho está descontinuado para o prosseguimento de observações tendo em vista que a concessionária, que atualmente administra a Rodovia Bandeirantes, fez obras no local para receber a interseção com outra via, com mudança geométrica em pequena parte e aplicação de microrevestimento sobre o revestimento.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Bandeirantes – CAPA- faixa direita.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão ( $10^{-2}$ mm)
dez-93	1	3900		-	-	0	40
Mai-94	6	4434	1,16	3822	2,58	4	26
Dez-94	13	3862	1,12	3448	2,57	3	34
Mai-95	18	5468	1,43	3823	2,57	5	22
Fev-96	27	5292	1,45	3650	2,58	-	-
Nov-96	37	4874	1,48	3293	2,58	-	-
Nov-97	49	5663	-	-	2,57	50	19
Abr-01	90	8017	-	-	2,58	-*	-

\* fresagem em alguns pontos da faixa 3(direita) e microrevestimento

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Bandeirantes - BINDER.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)
dez -93	2	-	-	-	-

Mai-94	6	4252	1,25	3402	2,56
Dez-94	13	4363	1,09	4002	2,57
Mai-95	18	5408	1,33	4066	2,56
Fev-96	27	5860	1,36	4309	2,57
Nov-96	37	4584	1,60	2865	2,57
Nov-97	49	5848	1,65	3544	2,57
Abr-01	90	6500	-	-	2,59

### 3 – Trecho FORTALEZA

O trecho denominado Fortaleza foi construído em 1995, em parceria com o DERT -CE e o DNER, com CAP 30/45 e 50/60 com extensão de 400 metros de CAP 30/45 e 200 metros de CAP 50/60, localizado na Av Washington Soares, parte urbana de uma rodovia estadual (CE-040) entre as estacas 158 e 176, em Fortaleza –CE (Viana et al, 1996; Leite et al, 1996; Soares et al, 1998, 1999). A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 27°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 36°C. O trecho foi executado utilizando-se um cimento asfáltico tipo CAP-30/45 classificado pela especificação SUPERPAVE como do tipo PG 70-22 produzido na então Fabrica de Asfalto de Fortaleza – ASFOR atualmente LUBNOR a partir de petróleo Bachaquero (venezuelano). Comparam -se os resultados do subtrecho de CAP 30/45 com os de outro subtrecho contíguo de 200 metros, construído com condições idênticas de estrutura e mistura asfáltica, diferenciando-se apenas pelo tipo de CAP utilizado – CAP-50/60, que é o usualmente empregado no Nordeste. Ressalte-se que estes 200 metros de mistura com CAP 50/60 estão sendo considerados de comparação somente pela continuidade física em relação ao primeiro e por ter sido executado simultaneamente. Todo o resto da avenida foi feito com CAP 50/60.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação, para o trecho com ligante 30/45 e 50/60, respectivamente.

Tabela 5 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Fortaleza – CAPA 30/45.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)
dez-95	2	4421	1,40	3158	-	0	48
Set-96	10	5235	1,66	3154	2,32	2	35
Mar-97	16	5043	1,63	3094	2,33	3	
Jun-98	31	5906	1,74	3394	2,33	15	
Jul-01	69	7848	1,90	4130	2,33	31	56

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Fortaleza – CAPA 50/60.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)
------	---------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------	----------------------------	-----	--------------------------------

dez-95	2	3717	0,93	4130	-	0	65
Set-96	10	4990	1,28	3898	2,32	3	32
Mar-97	16	4804	1,25	3843	2,32	3	
Jun-98	31	5733	1,49	3848	2,32	22	
Jul-01	69	8160	-	-	2,33	32	60

A tabela 7 apresenta os resultados para as camadas de binder, média dos dois subtrechos visto que ambas foram construídas com o ligante 50/60. Compôs a amostragem deste estudo somente a pista sentido centro da cidade. Porém toda a outra pista também foi construída com mistura e estrutura em tudo semelhante ao subtrecho de CAP 50/60. O tráfego estimado com base em contagem de 1999 é de 4350 veículos comerciais por dia.

Tabela 7 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Fortaleza - BINDER.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)
dez-95	2	3070	0,52	5900	2,28
Set-96	10	3721	0,70	5316	2,28
Mar-97	16	3198	0,70	4569	2,28
Jun-98	31	4512	0,85	5308	2,29
Jul-01	69	5245	-	-	2,29

#### 4 – Trecho MATIAS BARBOSA

O trecho denominado Matias Barbosa foi construído em abril de 1995, em parceria com DER-MG e Prefeitura de Juiz de Fora, na rodovia União e Indústria, antigo traçado da BR040, entre Matias Barbosa e Juiz de Fora, com mistura reciclada a quente com agente rejuvenescedor de óleo de xisto, com uma extensão de 180m. A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 19°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 26°C. O trecho foi executado em um serviço de reciclagem adicionando-se um agente rejuvenescedor derivado de óleo de xisto tipo RA-75 de acordo com a especificação ASTM D-4552 produzido na SIX e um CAP-20 produzido na REDUC, aos agregados (40% de material fresado e 60% material virgem). A especificação final da mistura de ligante envelhecido mais ligante novo mais agente rejuvenescedor foi de um CAP com 3000 poise a 60 °C. Os primeiros resultados do acompanhamento deste trecho foram apresentados no 13º Encontro de Asfalto do IBP por TONIAL et al. (1996).

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação. O tráfego no local é de 1500 veículos comerciais por dia (contagem de 1997).

A figura 1 mostra a representação dos defeitos anotados durante a avaliação de 1999, que corresponde a 52 meses de implantação deste trecho. Uma observação importante é que os primeiros 100 metros foram construídos com o material reciclado colocado diretamente sobre a base e os outros

80 metros a mistura reciclada foi colocada sobre o revestimento antigo não fresado. Este segundo subtrecho teve desempenho muito melhor do que o outro. Na avaliação de 2000, a última realizada neste trecho as diferenças entre os dois subtrechos continuaram, mas em ambos o número de defeitos cresceu. Isto é uma indicação de que o projeto estrutural de fresar o revestimento antigo, de pequena espessura e colocar os mesmos 5 cm de mistura reciclada somente, não foi adequado.

De qualquer forma, este trecho, como um todo, é o que está mais deteriorado entre todos os observados em função da má compactação durante a construção e do baixo teor de ligante que resultou em película menor de ligante, que já era recuperado o que acelerou a formação de trincas.

Nas estacas 185 e 186 que correspondem a pontos onde há trincamento classe 3 as deflexões estão da ordem de 140 ( $10^{-2}$ mm) desde 1999 e estes valores não foram considerados para a média e o desvio, pois o trecho é muito pequeno e os outros pontos, apesar de já apresentarem defeitos tem deflexões bem mais baixas.

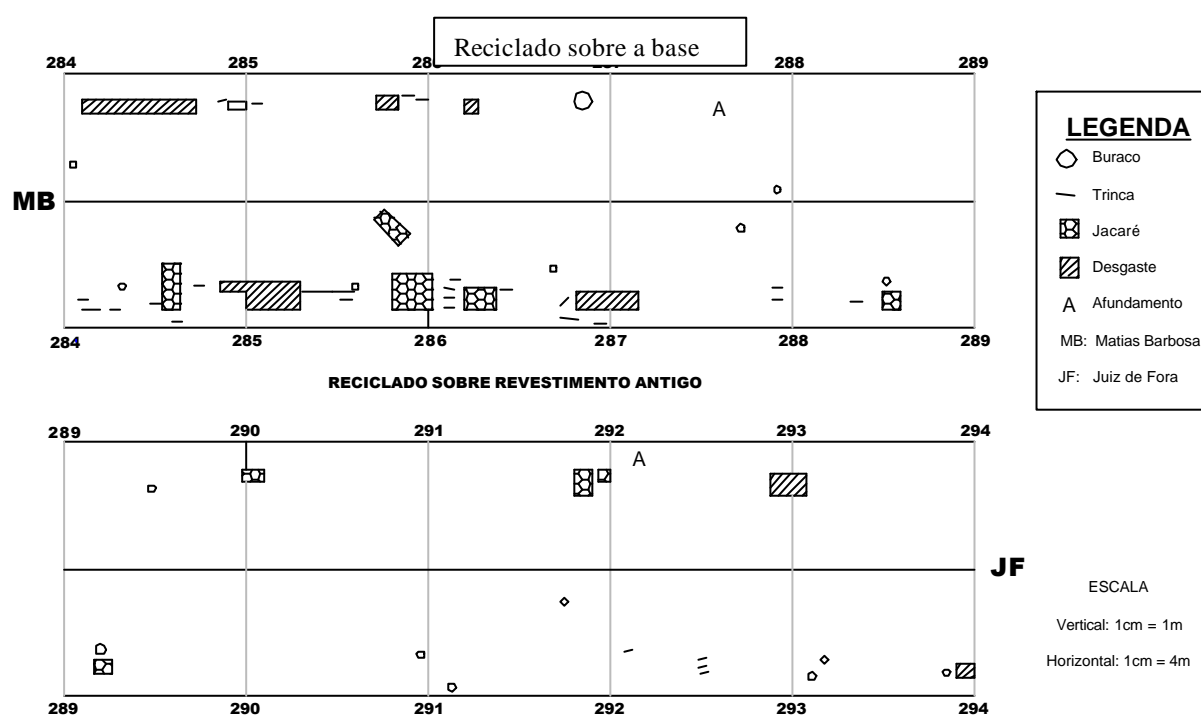


Figura 1 – Representação dos defeitos levantados no trecho Matias Barbosa, na avaliação de 1999 (52 meses).

Tabela 8 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Matias Barbosa – CAPA reciclada a quente.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão
abr-95	2	3558	0,73	4874	2,24	0	40
mar-96	11	5643	1,30	4340	2,29	20	48
jun-97	26	6591	1,31	4423	2,31	35	68
jul-99	52	7523	1,49	5048	2,30	60	60

abr-00	61	8500	1,70	5000	2,30	80	-
--------	----	------	------	------	------	----	---

## 5 – Trecho SÃO MATEUS DO SUL

O trecho denominado São Mateus do Sul foi construído em outubro de 1993, em um trecho de 800m com ligante obtido a partir de óleo de xisto, em parceria com a Prefeitura de S. Mateus e com a coordenação da SIX/ PETROBRAS e localizado na rodovia BR 476, Curitiba – União da Vitória, no trecho de contorno do município de São Mateus do Sul – PR. A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 17°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 24°C. O trecho foi executado utilizando-se um cimento asfáltico com Penetração igual a 52 (0.1mm) e viscosidade absoluta a 60°C igual a 932 poise, produzido na refinaria Lamdulfo Alves (RLAM) em Mataripe -BA, a partir de óleo de xisto obtido na Superintendência de Industrialização do Xisto (SIX) em S. Mateus do Sul –PR. Os primeiros resultados do acompanhamento deste trecho foram apresentados em congresso do Instituto Panamericano de Carreteras por LEITE et al. (1994).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação.

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental São Mateus do Sul.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)
Out-93	2	2186			2,27		70
Jun-94	8	4470	1,30	3438	2,38	17	60
Mai-96	31	5495	1,22	4500	2,41	102	60
Mai-01	84	8273	1,50	5515	2,40	150	46

Na avaliação visual de 2001, a última visita do trecho, foi constatado que o principal defeito do trecho segue sendo os afundamentos, bastante severos, mas há também vários pontos de trincamentos classe 2 e 3, embora as deflexões, estranhamente sejam baixas. Considere que a base é de 20 cm de brita e a subbase de 30 de “rachão”.

Pequena parte deste trecho já foi substituída em 1999 devido à presença de deformações permanentes muito acentuadas que ocorreram junto ao quebra-molas em vista de problemas de má dosagem (estabilidade Marshall muito baixa) e ainda problemas construtivos que resultaram em baixas densidades. O tráfego no local é bastante intenso e pesado, com muitas carretas vindas do Mercosul e também das fábricas da região, foi estimado 4000 veículos por dia.

## 6 – Trecho BRASÍLIA

O trecho denominado Brasília foi construído em 1999, em parceria com a NOVACAP, com CAPPLUS, que é um ligante modificado com asfaltita (Liberatori, 2000, Liberatori et al, 2001). Na



avaliação de 2001 contou com o apoio da UNB. A temperatura média anual do ar (TMAA) deste trecho fica em torno de 22°C e a temperatura média anual do pavimento (TMAPav) em torno de 30°C. A obra selecionada pela NOVACAP foi a duplicação da via L4 sul, entre o acesso da ASBAC e o trevo do Presidente, próximo a Esplanada dos Ministérios. Este trecho caracteriza-se pela elevada deformação permanente dos revestimentos habitualmente ali colocados, oriunda do tráfego de ônibus no local. Na obra foram aplicadas misturas confeccionadas com CAP 20 em uma área de 22.300 m<sup>2</sup> e CAP 20 modificado com 2% de asfaltita em uma área de 28.000 m<sup>2</sup>, para que se pudesse realizar o estudo comparativo entre os dois produtos. A obra foi iniciada em setembro de 1999 e concluiu em dezembro de 1999.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para os ensaios mecânicos de resistência a tração e módulo de resiliência realizados nos corpos de prova extraídos a cada visita, a densidade aparente média destes corpos de prova e a avaliação funcional e estrutural ao longo dos meses de observação.

Tabela 10 – Resultados dos parâmetros medidos, trecho experimental Brasília.

Data	Tempo (meses)	Módulo de Resiliência (média) MPa	Resistência Tração (média) MPa	MR/RT	Densidade Aparente (média)	IGG	Deflexão (10 <sup>-2</sup> mm)	Observação
Nov-99	0 (lab)	2715	0,47	5777	2,38	0	-	CAP20
Mai-01	18	3464	0,78	4441	2,26*	4	58	
Nov-99	0 (lab)	3254	0,48	6779	2,39	0	-	CAP20+ 2%Asfaltita
Mai-01	18	4360	0,78	5590	2,21*	4	60	

\*retirados do acostamento

### Características Gerais dos resultados.

A tabela 11 apresenta as principais características das misturas asfálticas utilizadas nos trechos estudados.

Cabe ressaltar que os trechos são chamados de “experimentais” somente devido ao fato de terem sido demarcados e acompanhados sistematicamente ao longo de alguns anos, mas as práticas construtivas, as dosagens e o dimensionamento estrutural dos trechos foram os tradicionais, sendo os mesmos que foram usados na extensão total de cada obra vinculada ao local, com exceção de Juiz de Fora onde a fresagem e a reciclagem só foram feitas no local do experimento.

Pode-se perceber neste estudo que o envelhecimento das misturas asfálticas se refletem nas características mecânicas, tais como o módulo de resiliência e a resistência à tração estática. Mas a relação entre estas duas características mantém-se razoavelmente constante. Há, como esperado, menor envelhecimento nas camadas de ligação que nas capas. Para todos os trechos, os coeficientes de variação dos módulos de resiliência e das resistências à tração variaram entre 20 a 30%, valores estes muito maiores do que os habitualmente encontrados durante a fase de dosagem de misturas asfálticas em laboratório, mesmo para trechos tão curtos. Portanto, ao se dimensionar um pavimento este aspecto deve ser levado em conta.

Não foi detectada mudança sensível de densidades dos corpos de prova ao longo do tempo, na

maioria dos trechos, exceção acontece onde tem deformações permanentes acentuadas. Mas há grande variação de densidades num mesmo trecho, sendo que foram obtidos em todos os trechos coeficientes de variação de 3 a 4% para este parâmetro.

O trecho RIO ORLA feito com CAP 55, bastante duro, apresenta comportamento muito adequado até hoje, mostrando que para o clima do Rio de Janeiro, quanto mais consistente o CAP melhor, como já dizia desde os anos 80 o Jorge Salathé, grande defensor do uso de ligantes duros no Brasil (lembrando que foi dele o dimensionamento deste trecho) e como discutem Leite et al (1996), Tonial e Leite (1994) entre outros. É o trecho nota 10.

Nos trabalhos anteriores sobre os trechos estudados, citados ao longo deste artigo, foram apresentados alguns resultados de ensaios executados sobre os ligantes recuperados de cada uma das etapas de avaliação, a partir dos corpos de prova retirados da pista. Estes dados já publicados e os outros posteriores não se mostraram consistentes com os dados mecânicos das misturas, nem com a situação funcional e estrutural dos trechos. Há oscilações de características impossíveis, como se os ligantes, em algumas etapas se renovassem ao invés de envelhecer paulatinamente. Por isso estes dados não estão aqui apresentados. Muito se tem comentado sobre as dificuldades de repetibilidade e reprodutibilidade, associadas aos ensaios de recuperação de ligante, os dados encontrados nesta pesquisa confirmam estas dificuldades.

Tabela 11 – Principais características das capas dos trechos experimentais estudados.

RIO ORLA BAND. FORTALEZA 30/45 FORTALEZA 50/60 MATIAS BARBOSA S.Mateus DO SUL Brasília Brasília CAPPLUS
Cap20
<b>CAPA</b>

Espessura. (cm)

4,0

5,0

4,5

4,5

5,0

4,5

5,0

5,0

**MISTURA**

Vazios (%vol)

3,9

3,2

4,2

4,2

7,5

5,2

3,79

3,79

RBV (%vol)

79

80

77

77

60

63

79,9

79,9

CAP (total) (%m)

6,4

4,9

5,8

5,8

4,3

6,6

6,5

5,0

**GRANULOMETRIA DO AGREGADO%**

# 3/4

100

Agregado graúdo: 46,75%

Agregado miúdo: 43,95%

Filer (cal): 2,8

100

100

100

#1/2

100

94,5

96,7

94,9

94,9

# 3/8

98

81,1

100

93,2

92,0

92,0

# N° 4

70

65,8

82

73,6

62,4

62,4

# N° 10

55

39,1

66

44,3

36,0

36,0

# N° 40

25

22,4

31

21,1

20,0  
20,0

# N° 80  
18  
10,6

18  
11,2  
10,0  
10,0

# N° 200  
6  
5,2

8  
5,3  
4,8  
4,8

#### DADOS CAP

Tipo  
CAP-55  
CAP-20  
CAP-30/45  
CAP-50/60  
CAP-20 (REC)  
CAX -  
50/60

CAP20

CAPPLUS

Visc @ 60°C (Poise)

7232  
2020  
6000  
3500  
2500  
932  
2300  
3240

Visc @ 135°C (Poise)

7  
3,7

6,3  
4,5  
3,2  
0,9  
4,2  
4,5

Rel. Visc. @ 60°C

2,4  
2,4  
2,9  
2,9  
2,4  
2,9  
2,3  
2,5

Penetração@25°C (dmm)

25  
84  
40  
51  
75  
80  
59  
47

Ponto Amolecimento (°C)

57  
46,6  
52,6  
48,5  
45  
49,3  
50

IP  
- 1,0  
-0,8  
- 1,1  
- 1,5  
-1,7

- 1,0  
-1,2

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

TMAA (°C)

25

21

27

27

19

17

22

22

TMAPav (°C)

34

29

36

36

26

24

30

30

### **Considerações finais**

O acompanhamento sistemático de trechos rodoviários em serviço permitiu comprovar que os ligantes asfálticos produzidos no Brasil comportam-se adequadamente quanto ao envelhecimento com o clima, comparável ao que acontece nos EUA.

O envelhecimento do ligante modifica as características mecânicas das misturas, tanto aumenta o módulo de resiliência como a resistência à tração estática.

Não foi possível detectar mudança significativa nas densidades aparentes dos corpos de prova ao longo do tempo, a não ser no trecho de São Mateus do Sul que apresentou deformação permanente acentuada devido à deficiência de projeto de dosagem Marshall e na construção da mistura feita com CAX.

O envelhecimento dos ligantes asfálticos no curto prazo e no longo prazo afeta o comportamento mecânico das misturas asfálticas, devendo ser considerado no dimensionamento dos pavimentos asfálticos, especialmente quanto ao aspecto da fadiga, e também a variabilidade destes parâmetros

Comprova-se que o envelhecimento de curto prazo vai contribuir de forma significativa para o envelhecimento total da mistura asfáltica. Assim sendo recomenda-se a utilização desta prática durante a dosagem da mistura betuminosa, que já faz parte da metodologia de dosagem SUPERPAVE.

Verificou-se que o envelhecimento de longo prazo em serviço desacelera bastante ao final de três anos.

### **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas contribuíram decisivamente para que estes trechos e seus acompanhamentos fossem possíveis. Por serem muitos, não serão listados, para não cometer alguma eventual injustiça por esquecimento. Mas sintam-se todos lembrados, com nossos agradecimentos. Em especial não poderíamos deixar de agradecer ao Rômulo Constantino e ao Ilonir Tonial, parceiros na maioria das avaliações.

### **Referências Bibliográficas**

- FONSECA, O. A., 1995, Development of a time dependent model for the dynamic modulus of asphalt mixes. Ph.D. Dissertation, University of Maryland, Maryland.
- TONIAL, I. A, 2001 – Influência do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos. - Tese de mestrado COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro.
- TONIAL, I. A, MOTTA, L. M. G., LEITE, L. M.F. e CONSTANTINO, R. S. (2001b) – Alteração da vida de fadiga de pavimentos asfálticos devido a seu envelhecimento. – 33a. Reunião Anual de Pavimentação - ABPv – Florianópolis.
- TONIAL, I. A, MOTTA, L. M. G., LEITE, L. M.F. e CONSTANTINO, R. S. (2001a) Envelhecimento de ligantes asfálticos observado em trechos experimentais comparado a modelo de previsão. XV ANPET – Campinas – SP.
- LEITE, L., CAPUTI, G., MOTTA, L., 1994, Estudo da durabilidade de pavimento construído com cimento asfáltico de xisto. Congresso do Instituto Panamericano de Carretera – outubro de 1994 – S.Paulo.
- MIRZA, M.W., WITCZAK, M., 1995, Development of a Global Aging System for Short and Long Term Aging of Asphalt Cements. Association of Asphalt Paving Technologists–AAPT, v 74, pp 393-430.
- RAMOS, C., TONIAL I., MOTTA, L.M. G., LEITE, L. F. M. 1994, Três Anos de Observação do Trecho Experimental Rio Orla. - 12º Encontro de Asfalto, pp. 74-93, Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 05 a 09 de dezembro de 1994.
- TONIAL, I., LEITE, L. F. M., AUGUSTO Jr, F., et al., 1996, Reciclagem a Quente Utilizando Agente Rejuvenescedor de Óleo de Xisto. 13º Encontro de Asfalto, pp. 22-34, Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 11 a 13 de dezembro de 1996.
- VIANA, M.A., SILVEIRA, M. A., VASCONCELOS, J.A.G., et al., 1996, Trecho Experimental/CE: Monitoramento do Pavimento que Testa a Aplicação da Especificação Superpave na Região Nordeste. 13º Encontro de Asfalto, pp. 260-267, Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 11 a 13 de dezembro de 1996.
- ZANETONI, A. C, NETO, A.M.C., PORTO, H.G., et al., 1994, Revestimento Asfáltico com CAP-20 Oriundo de Petróleo Marlim Feito na Rodovia dos Bandeirantes. 28º Reunião Anual de Pavimentação. Belo Horizonte, 29/08 a 02/09 de 1994.
- LEITE, L. F M., TONIAL, I. A, 1994, “Qualidade dos Cimentos Asfálticos Brasileiros Segundo as Especificações SHRP” In: Anais do 12º Encontro de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- LEITE, L. F. M., 1999, Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímero. Tese de D.Sc., Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro – IMA/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- LEITE, L.F. M; CONSTANTINO, R; GUEDES, G. P; MACCARINI, J; PORTO, H. S; CASTRO NETO, A.M; AQUINO, O M; MOTTA, L. M. G; ZANETONI, A C. E CAMPOS, O S. (1994) - Trecho Experimental com Revestimento Asfáltico Construído com CAP-20 oriundo de Petróleo Marlim na Rodovia dos Bandeirantes - 12º Encontro de Asfalto- IBP – Rio de Janeiro.



- 
- LEITE, L. F. M; TONIAL, I; CONSTANTINO, R; MENEZES, L; RAMOS, C; MACHADO, R; CHAVES, R., BASTOS, A.C. R; MOTTA, L. M. G; PIRILO; N.X. E VASCONCELOS, J. AG (1996) - Utilização de CAP duro nos pavimentos brasileiros - 30a Reunião Anual de Pavimentação - ABPv - Salvador - Anais vol. 3.
- LIBERATORI, L. A., 2000, Estudos de Cimentos Asfálticos Modificados por Asfaltita e sua Influência em Misturas Asfálticas. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- LIBERATORI, L. A; MOTTA, L.M.G; LEITE, L. F. M; MORO, J.P; CONSTANTINO, R.S. (2000) -o uso de asfaltita como modificador de cimentos asfálticos – 15o Encontro de Asfalto – IBP –Rio de Janeiro.
- MOTTA, L. M. G., LEITE, L. F. M., 2000, “Efeito do Filer nas Características Mecânicas das Misturas Asfálticas”, XI Encontro Panamericano de Asfalto.
- MOTTA, L. M. G. LEITE, L. F. M; CONSTANTINO, R. S. e TONIAL, I. A 1996, Curso Sobre Programa.SHRP: Aplicação a Ligantes, Agregados e Misturas Betuminosas. Rio de Janeiro. IBP.
- LEITE, L. F. M; CONSTANTINO, R. S; MOTTA, L. M. G e TONIAL, I. A (2001) – Trecho experimental da Rodovia Bandeirantes - 2<sup>o</sup>. Simpósio Internacional de Avaliação e Projeto de Reforço - Alabama
- SOARES, J. B; MOTTA, L. M. G; NÓBREGA, L. M. E LEITE, L. M. F. (1998) – Estudo comparativo de cimentos asfálticos de petróleo na pista experimental do Ceará - XII ANPET – Fortaleza.
- SOARES, J. B; LEITE, L. F M; MOTTA, L. M. G. e CASTELO BRANCO, J. V. (1999) – O efeito da consistência dos cimentos asfálticos de petróleo no teor ótimo e nas propriedades das misturas asfálticas do Ceará - XIII ANPET – São Carlos.
- SOARES, J. B; MOTTA, L. M e LEITE, L. F. M. (1999). – Quatro anos de observação da pista experimental do Ceará. - XIII ANPET – São Carlos.
- SOARES, P.S; LEITE, L. F. M. CONSTANTINO, R; MOTTA, L. M. G; CAPUDI, G; TORRES, W; AUGUSTO, F; MACHADO, R; QUEIROZ, M. N. E. FRANCO, J. P(1995) Utilizacion de derivados de óleo de xisto em pavimentacion - 8o. Congresso Ibero- Latinoamericano del Asfalto - Sta. Cruz de la Sierra, Bolívia - - vol. 3.