

36.^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36.^a RAPv

CURITIBA/PR - BRASIL - 24 a 26 de agosto de 2005

Local: Centro Integrado dos Empresários e Trabalhadores das Indústrias do Paraná - CIETEP

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DAS MISTURAS TIPO OGFC CONSIDERANDO O EMBRICAMENTO

João Virgílio Merighi¹ & Rita Moura Fortes²

¹ Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua Maranhão, 101 apto 72 São Paulo – SP - Brasil
jmerighi@terra.com.br

² Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua Maranhão, 101 apto 72 São Paulo – SP - Brasil
rmfortes@terra.com.br

RESUMO

A deformação permanente é um dos problemas encontrado nas misturas asfálticas densas. Esse tipo de defeito é acelerado em regiões de baixas velocidades tipo aclave e pelas altas temperaturas que ocorrem no Estado de São Paulo durante oito meses do ano. Por essas razões, é comum encontrar deformação permanente prematuras nessas rodovias. Por outro lado, a literatura tem indicado que em muitos casos, para se combater esse tipo de defeito, tem sido usado misturas tipo *Stone Mastic Asphalt* (SMA) e as misturas tipo *Open-Graded Friction Course* (OGFC), promovendo uma elevada resistência e uma boa aderência pneu/pavimento.

O objetivo deste trabalho é apresentar estudos laboratoriais focados nas propriedades das misturas OGFC em particular considerando o embricamento. Todas as misturas testadas foram compactadas pelo procedimento Marshall e suas características volumétricas foram analisadas sendo que, para cada mistura, foi realizada a previsão de desempenho quanto à deformação permanente através do ensaio do creep estático não confinado, às temperaturas de 25°C, 40°C e 50°C.

PALAVRAS-CHAVE: Camada Porosa de Atrito; dosagem; deformação permanente; ensaio de creep estático; permeabilidade.

ABSTRACT

In recent years the major performance problem found with dense graded asphalt mixture used in all bus lanes in São Paulo City is permanent deformation. The damage is accelerated by the low speed of the buses, which average around 25 km/h, and the high temperatures during eight months of the year. For these reasons, it is common to find premature rutting in these pavements. On the other hand, the literature reports many cases where Stone Matrix asphalt (SMA) and Open-Graded Friction Course (OGFC) applications were used to minimize rutting and promote the best tire/pavement contact.

The aim of this paper is to present the research conducted to overcome the rutting problem. This research was focused on the laboratory properties of OGFC with regard to stone-on-stone contact. All mixtures and test specimens were compacted with the Marshall apparatus and the volumetric properties for each mixture were determined. Unconfined static creep tests were conducted at 25°C, 40°C and 50°C.

KEY WORDS: Open Graded Friction Course; mixture design; permanent deformation; static creep test; permeability.

1 INTRODUÇÃO

A revisão bibliográfica acerca da deformação permanente tem conduzido a utilização da mistura asfáltica denominada de *Stone Matrix Asphalt* (SMA) como sendo a solução para aumentar a resistência à sua formação nos lugares em que o tráfego é considerado pesado e lento [1; 2; 3]. Esse atributo é garantido pelo contato pedra-a-pedra no esqueleto sólido da mistura asfáltica. Em geral, essas misturas apresentam um volume de vazios (V_v) na ordem de 4% levando a superfície pavimentada a uma baixíssima permeabilidade.

Contudo, para o melhor desempenho em termos de aderência pneu/pavimento, tem-se ressaltado na literatura que a alternativa com misturas denominadas de *Open-Graded Friction Course* (OGFC). Esse tipo de mistura tem sido utilizada nos Estados Unidos desde os anos 50, de acordo com [4] enquanto que misturas conhecidas como *porous asphalt mixes* têm sido utilizadas na África do Sul [5] desde os anos 70, objetivando melhorar as condições de aderência pneu/pavimento.

Por outro lado, o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER SP) não privilegia esses tipos de misturas em seu manual de projetos, ficando o projetista induzido a utilizar a famosa faixa “C” ou então a faixa “IV b” do Instituto do Asfalto dos Estados Unidos, sem, no entanto, ter uma alternativa que, de fato, melhore o desempenho da camada de rolamento, quer em termos de resistência à deformação permanente, quer em termos de aderência pneu/pavimento.

Considerando que a tendência é um aumento tanto do volume de caminhões como de eixos por caminhões, a aplicação de repetidas cargas em espaço de tempo de fração de segundos, induz a uma maior presença da deformação permanente, aumentando formação de trilha de roda, em particular em regiões de baixas velocidades e elevadas temperaturas como ocorre no interior do Estado de São Paulo.

Os objetivos deste trabalho são:

- Obter o melhor desempenho em termos de deformação permanente para algumas curvas granulométricas onde ocorre o embricamento, porém, com elevada porosidade (20%);
- Comparar o desempenho com as misturas normalmente preconizadas pelo DER SP para camada final de rolamento, considerando também, o uso de misturas com e sem polímero tipo SBS (*styrene-butadiene-styrene*).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Stone Matrix Asphalt – SMA

A mistura tipo SMA tem sido recomendada para ser utilizada em vias cujo tráfego é pesado, com a finalidade de se obter um melhor desempenho em termos de resistência à deformação permanente. Esse comportamento é garantido pelo contato pedra a pedra no esqueleto sólido.

A mistura SMA surgiu inicialmente no final dos anos 60 na Alemanha. De acordo com Lanchas [2], o objetivo era executar uma camada de elevada resistência à deformação permanente e, ainda de acordo com esse autor, a primeira obra utilizando esse conceito foi realizada na rua *Freiligrat of Wilhelms Street*, na Alemanha em 30 de julho de 1968 e que em 1999 ainda estava em excelente estado de conservação. Brown [3] afirma que esse tipo de mistura tem sido estudado nos Estados Unidos desde 1991. O fundamento dessa mistura se dá na estruturação do agregado graúdo de forma descontínua [6; 7]. Essas misturas devem ter de 65% a 85% de material retido na peneira de 4,75 mm. Devido a elevada presença de agregado graúdo, ocorre o embricamento e, o agregado fino forma com o cimento asfáltico um *mastic* que preenche os vazios da mistura fazendo com que apresente baixo índice de vazios (4%).

O conceito de mistura SMA só pode ser utilizado caso seja garantido um contato pedra a pedra. Baseando-se nesse conceito, Brown e Haddock [6] desenvolveram um método que foi apresentado por Brown e Mallick [8] para se avaliar se a mistura, ainda que apresente visualmente contato pedras a pedra, de fato o apresenta.

Este método consiste na relação entre os vazios do agregado mineral (VCA) na mistura SMA e os vazios de uma mistura produzida com a fração de agregados ≥ 4.75 mm e compactada com baixo teor de cimento asfáltico (2%) (VCA_{LA}), pelo procedimento Marshall, com 50 golpes por face.

Neste procedimento, se a razão VCA/VCA_{LA} for maior que 1, está garantido o embricamento. De acordo com Brown e Mallick [8], os vazios do agregado mineral (VCA) numa mistura são dados por:

$$VCA = 100 - [(\gamma_m / \gamma_{agr}) \times P_{ag}] \quad (1)$$

Onde:

VAC = Vazios do Agregado Mineral, expresso em percentagem;

γ_m = Peso específico do corpo-de-prova, expresso em kN/m^3 ;

γ_{agr} = Peso específico da mistura com agregado $\geq 4,75$ mm, expresso em kN/m^3 ;

γ_{ag} = percentagem agregado graúdo (≥ 4.75 mm) na mistura, expresso em percentagem.

Os vazios do agregado mineral compactado com baixo teor de cimento asfáltico é dado por:

$$VCA_{LA} = \{[(\gamma_{agr} \times \gamma_a) - \gamma_{agD}] / (\gamma_{agr} \times \gamma_a)\} \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

VCA_{LA} = Vazios do Agregado Mineral, compactado com baixo teor de asfalto, expresso em %;

γ_{agr} = Peso específico da mistura com agregado $\geq 4,75$ mm, expresso em kN/m^3 ;

γ_a = Peso específico da água, expresso em kN/m^3 ;

γ_{agD} = Peso específico da fração agregado graúdo, expresso em kN/m^3 .

2.2 Open-Graded Asphalt Friction Course (OGFC)

Open-Graded Friction Course é considerada como sendo uma mistura asfáltica de elevado índice de vazios interconectados, tornando-se poroso e com elevada permeabilidade. O excesso de água superficial pode ser drenado para a sua parte inferior e posteriormente removido através de uma camada impermeável logo abaixo. Com isso, reduz o potencial de hidroplanagem dos veículos.

Quando comparado com o concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), as misturas tipo OGFC têm demonstrado algumas vantagens de acordo com a literatura, tais como: redução do spray na roda do veículo, redução do potencial de hidroplanagem e redução do ruído pneu/pavimento.

Kandal e Mallik [9] afirmaram que as misturas tipo OGFC (figura 1) tem sido utilizadas nos Estados Unidos desde os anos 50 e, de acordo ainda com esses autores, a experiência americana tem sido muito variada. Eles afirmam que numa pesquisa realizada junto às agências estaduais de estradas de rodagem, foram encontradas opiniões divergentes quanto à utilização desse tipo de mistura. É importante ressaltar essa pesquisa [9 e10], onde 70% das agências de estradas de rodagem que utilizavam esse tipo de mistura reportaram que a vida de serviço é de oito ou mais anos. Aproximadamente 80% das agências que utilizavam especificação própria tanto para projeto como para execução e controle tecnológico enquanto a vasta maioria relata que a boa experiência está associada à utilização de asfaltos modificados por polímeros.

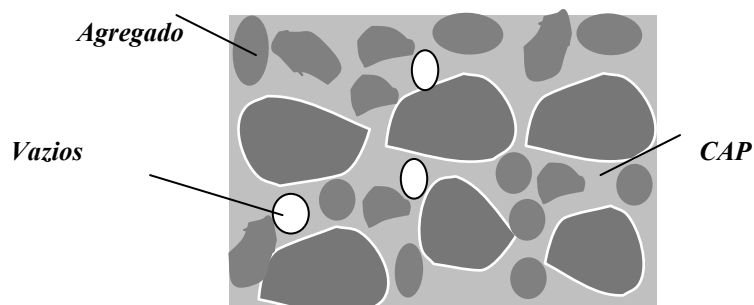


Figura 1. Esquema da representação do OGFC

3 MATERIAIS

Os agregados utilizados nesta pesquisa foram obtidos na pedreira localizada na Grande São Paulo e a origem é rocha granítica. A tabela 1 apresenta seis diferentes tipos de curvas granulométricas obtidas. A massa específica obtida do agregado de granito foi de $27 kN/m^3$.

Tabela 1: Seis diferentes graduações de agregados estudadas nesta pesquisa.

Abertura (mm)	Porcentagem Passada/Tipo de Agregado					
	A	B	C	D	E	F
	Pedra # 1” Embu 2	Pedra # 1”	Pedra ½” Embu 2	Pedra ½”	Pedrisco	Pó-de-pedra
25.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
19.0	88.2	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0
12.5	61.0	55.7	98.2	100.0	100.0	100.0
9.5	6.0	31.4	65.0	69.0	100.0	100.0
4.75	1.5	4.3	3.3	2.0	23.2	100.0
2.36	1.4	1.5	3.0	2.0	7.6	71.4
0.42	1.4	0.5	2.8	2.0	3.9	28.8
0.175	1.0	0.3	2.6	2.0	3.0	15.5
0.075	0.1	0.1	2.1	1.2	2.2	6.7
Abrasão Los Angeles (%)						25.1
Índice de forma #1						Cubica
EA (equivalente areia) – agregado fino (%)						66.0
Densidade máxima teórica #1 (kN/m ³)						27.00
Pó-de-pedra – máxima densidade teórica (kN/m ³)						25.83
Areia – máxima densidade teórica (kN/m ³)						25.15

Os asfaltos utilizados nas misturas estudadas foram o AC-20 e asfalto modificado por polímero tipo SBS conforme pode ser visualizado na tabela 2.

Tabela 2: Propriedades dos cimentos asfálticos utilizados nas misturas

Ensaio	Resultado	
	CAP-20	SBS
Peso específico, 25°C (g/cm ³)	1.023	1.040
Penetração 25°C, 100 g, 5 s	54.0	50.0
Viscosidade SSF – 135°C (s)	202	-
Viscosidade SSF – 155°C (s)	78	-
Viscosidade SSF – 177° C (s)	35	-
Ponto de Fulgor (C)	295	235
Ponto de amolecimento (°C)	49.5	75
Viscosidade a 175 C (cP)	65	450
Recuperação elástica (%) 25°C	0	85
Índice de susceptibilidade térmica	1.3	2.0

4 ESTUDO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram conduzidos através de dois procedimentos distintos: procedimento Marshall com 50 golpes por face e os valores correspondendo a média aritmética de 3 corpos-de-prova e, procedimento obtendo-se os corpos-de-prova através de broqueamento em placa de mistura asfáltica moldada em laboratório e compactada com placa vibratória com grau de compactação correspondendo a 98% daquela obtida na dosagem Marshall, (Figura 2).

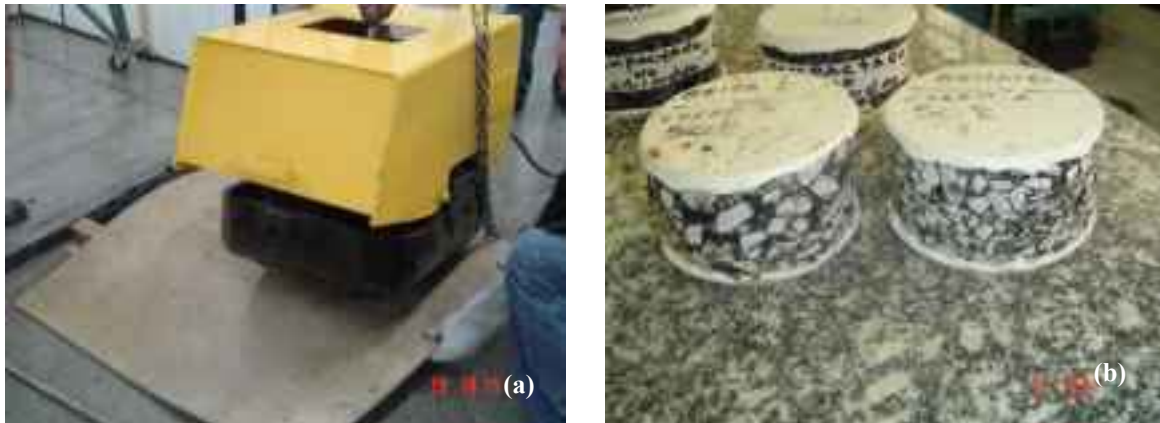


Figura 2: (a) Compactação da mistura asfáltica com placa vibratória (b) broqueamento dos corpos-de-prova.

O teor de asfalto das misturas GB e GC foram determinados de acordo com o procedimento do método Marshall enquanto que as misturas M1, M2, M8 e M10, foram obtidas inicialmente para a condição de contato pedra a pedra e posteriormente determinado o teor ótimo de CAP.

O estudo da deformação permanente utilizando-se do ensaio de creep estático descrito por Fortes e Merighi [11] foi realizado às temperaturas de 25°C, 40°C e 50°C. A vantagem de se utilizar o ensaio de creep estático não confinado, de acordo Kalousk e Witzak [12] é que o procedimento é simples, fácil de ser realizado e apresenta boa correlação com o que ocorre no campo em termos de deformação permanente.

Considerando que o procedimento existente na dosagem Marshall que corresponde à medida da fluência a 60°C não tem correlação com o desempenho da mistura asfáltica em termos de formação de trilha-de-roda e, que outros procedimentos exigem equipamentos muito sofisticados, os autores utilizaram as recomendações da citação bibliográfica recomendada anteriormente.

As composições das misturas estudadas estão apresentadas na Tabela 3, enquanto que as curvas granulométricas utilizadas conforme descrito no item 2.1, exceto as misturas GB e GC por serem misturas densas, encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Tabela 3 Composição das misturas estudadas

MISTURAS	M1	M2	M8	M10	GB	GC
# 2"			-	-	15	-
# 1" Embú2	80					
# 1"				-	15	25
½" Embú2		80				
# ½"			83	78	15	15
pedrisco				8	15	15
Pó de pedra	20	20	17	14	40	45

5 RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados obtidos encontram-se detalhados nas Tabelas 4, 5 e 6. O teste de permeabilidade foi conduzido de acordo com instruções do Departamento de Estradas de Rodagem da Flórida (Florida DOT) e recomendado por Kandhal e Mallick [9 e 10]. Os corpos de prova denominados de M1 e M2 foram obtidos a partir de extração de placa moldada através de compactação com auxílio de placa vibratória (tipo utilizada em serviços de tapa-valas).

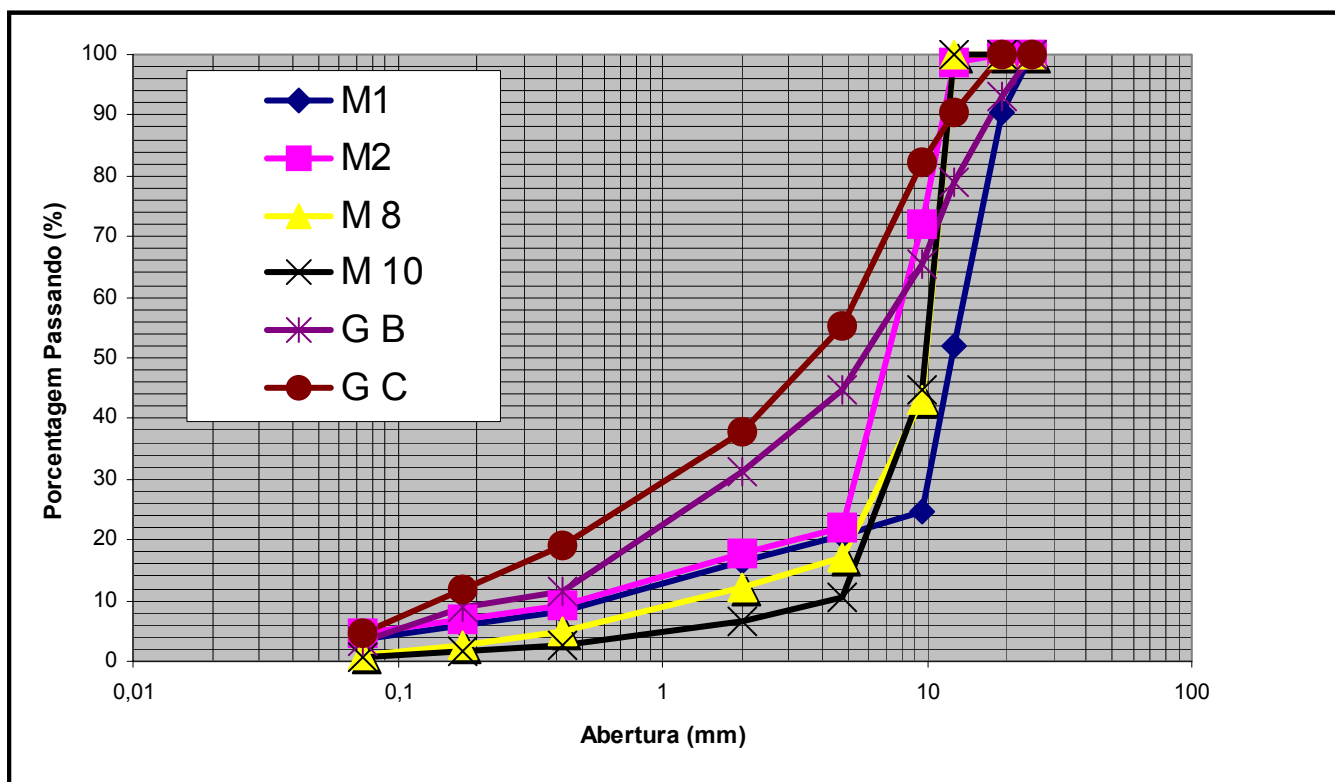


Figura 3. Curvas Granulométricas Estudadas

Tabela 4. Resultados das características volumétricas das misturas estudadas

Amostra	γ_m (kN/m ³)	γ_{agr} (kN/m ³)	Volume de Vazios (%)	VMA (%)	VCA (%)	VCA _{LA} (%)
M1	19.70	27.00	21.5	30.7	30.6	43.4
M2	20.02	27.00	19.5	29.0	28.8	46.1
M8	19.00	27.00	27.3	31.0	41.0	41.6
M10	18.46	27.00	29.4	33.0	38.7	39.6
GB	24.02	27.00	4.9	15.9	-	-
GC	24.09	27.00	3.8	15.5	-	-

Tabela 5. Resultado das características volumétricas, resistência à tração por compressão diametral e permeabilidade das amostras

PROPRIEDADES/ MISTURAS	CAP (%)	γ_m (kN/m ³)	VMA (%)	Vv (%)	Marshall Estabilidade 60 C (kN)	σ_{T25} (MPa)	Permeabilidade (cm/s)
M1	4.8	19.70	30.7	21.5	4.21	0.42	3.4×10^{-3}
M2	4.8	20.02	29.0	19.5	5.10	0.51	3.0×10^{-3}
M8 AC-20	5.0	19.91	29.9	20.2	3.92	0.55	7.2×10^{-3}
M8 AC-20	5.5	20.13	29.6	18.7	3.75	0.51	3.0×10^{-3}
M8 AC-20	6.0	20.28	29.4	17.5	3.29	0.47	1.2×10^{-3}
M8 Polymer SBS	5.3	20.15	29.5	19.8	4.25	0.75	4.2×10^{-2}
M10 AC-20	4.8	20.35	28.3	18.7	1.72	0.86	4.6×10^{-3}
M10 AC-20	5.3	20.59	27.8	17.1	4.76	0.73	3.5×10^{-3}
M10 AC-20	5.8	20.80	26.2	14.2	4.01	0.78	2.8×10^{-3}
M10 Polymer SBS	5.0	20.45	30.7	18.5	5.12	1.05	4.6×10^{-2}
G B AC-20	4.9	24.24	15.9	4.9	12.70	1.90	6.0×10^{-6}
G C AC-20	5.2	24.07	15.5	3.8	11.45	1.21	7.0×10^{-7}

A figura 4 apresenta o volume de vazios (V_v) obtido em cada mistura estudada. Pode-se observar que as misturas M1, M2, M8 e M10, com e sem polímero respectivamente, mantém a mesma porcentagem de volume de vazios.

A Figura 5 ilustra a variação da tensão de tração obtida por compressão diametral para todas as misturas estudadas. As misturas GB e GC, ambas com misturas densas apresentam baixo volume de vazios e elevada resistência à tração quando comparada com as demais misturas. A presença de polímero, naturalmente contribui para o aumento da resistência à tração.

Tabela 6. Resultado do ensaio de creep estático sem confinamento

Mistura	Deformação permanente (mm) x Temperatura (°C)		
	25	40	50
M1 _{SBS}	0.12	0.22	0.27
M2 _{SBS}	0.00	0.07	0.20
M8 _{AC-20}	0.27	0.45	0.49
M8 _{AC-20}	0.28	0.51	0.56
M8 _{AC-20}	0.29	0.54	0.60
M8 _{SBS}	0.20	0.38	0.41
M10 _{AC-20}	0.29	0.35	0.45
M10 _{AC-20}	0.33	0.40	0.48
M10 _{AC-20}	0.32	0.41	0.55
M10 _{SBS}	0.25	0.32	0.44
G B _{AC-20}	0.32	0.43	0.54
G C _{AC-20}	0.47	0.81	0.98

Os resultados da influência do volume de vazios, da dosagem e do ligante modificado sobre a permeabilidade são mostrados na Figura 6. A mistura densa apresentou menor permeabilidade (coeficiente permeabilidade = $k < 10^{-6}$ cm/s). Observa-se que o coeficiente de permeabilidade decresce com a adição de cimento asfáltico de petróleo, mas, como mostrado na Figura 6, ele aumenta quando o asfalto é modificado por polímero. Naturalmente, quando o volume de vazios aumenta, o coeficiente de permeabilidade aumenta.

Observa-se que M2 apresentou o melhor desempenho em termos de deformação permanente (Figura 7).

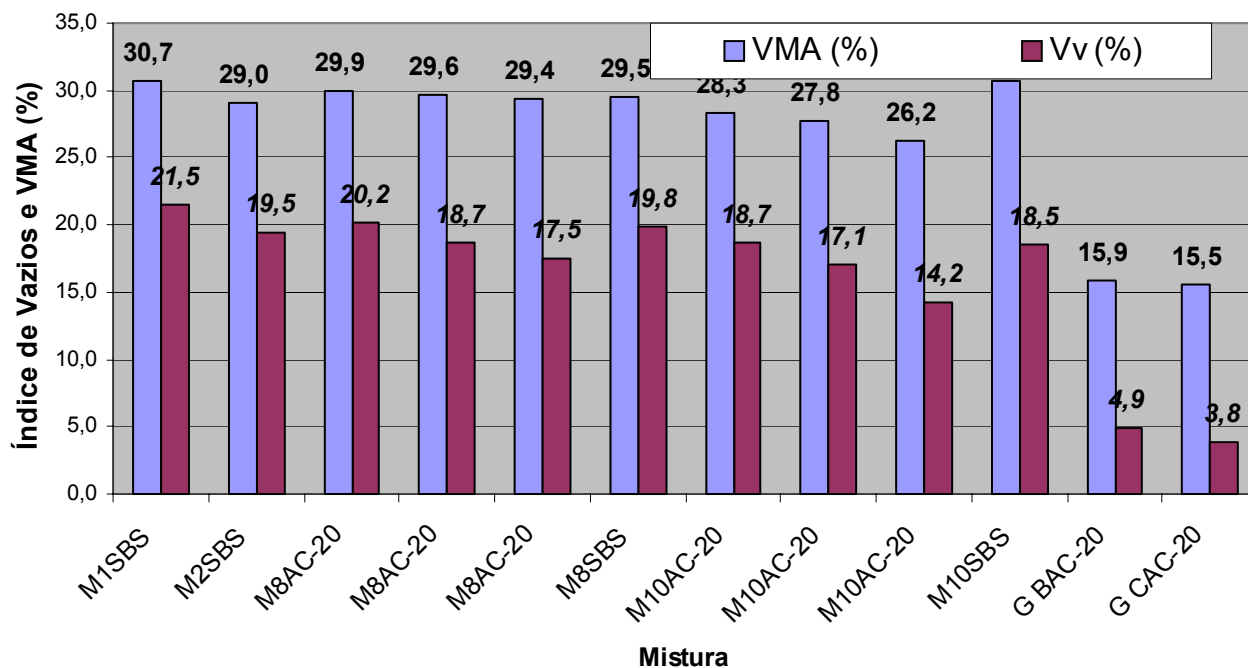


Figura 4. VAM e V_v versus teor de CAP para todas as misturas estudadas.

A determinação da espessura da Mancha de Areia foi realizada conforme preconizado pela ASTM, 1996-2001. A Figura 8 mostra que o valor obtido foi de 3.06 mm.

Verificando-se os valores obtidos, pode-se notar que o valor obtido para a mistura asfáltica densa (GB e GC) foi de 0,8 mm, enquanto que para a M1 foi de 3.00 mm, e para a M2, M8 e M10, 2.1 mm, ou seja, 4 e 2.5 vezes maior, respectivamente.

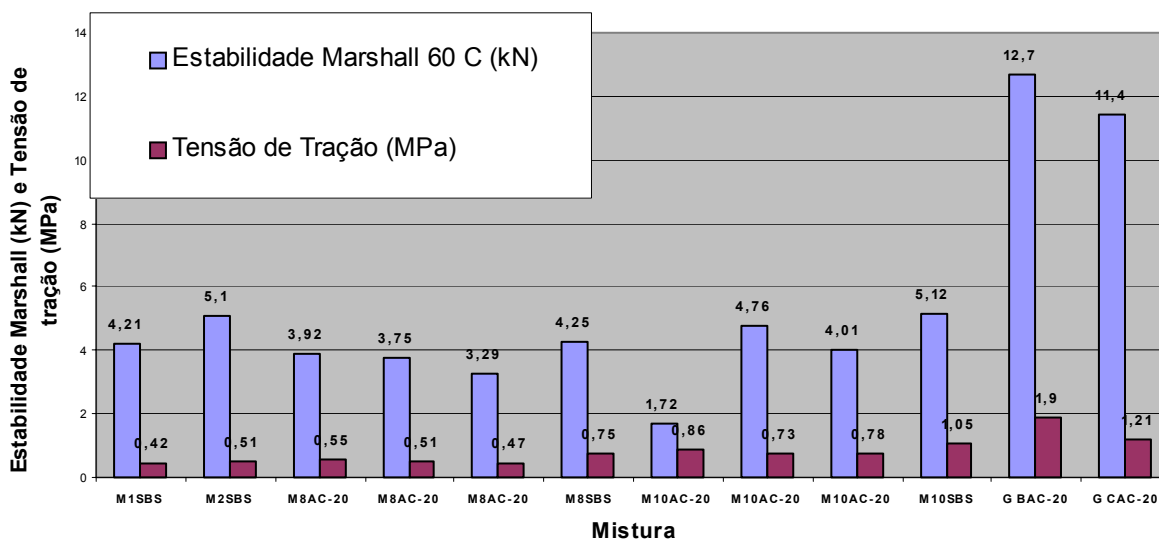


Figura 5. Variação da tensão de tração por compressão diametral (σ_{T25C}) e estabilidade Marshall obtida para todas as misturas estudadas

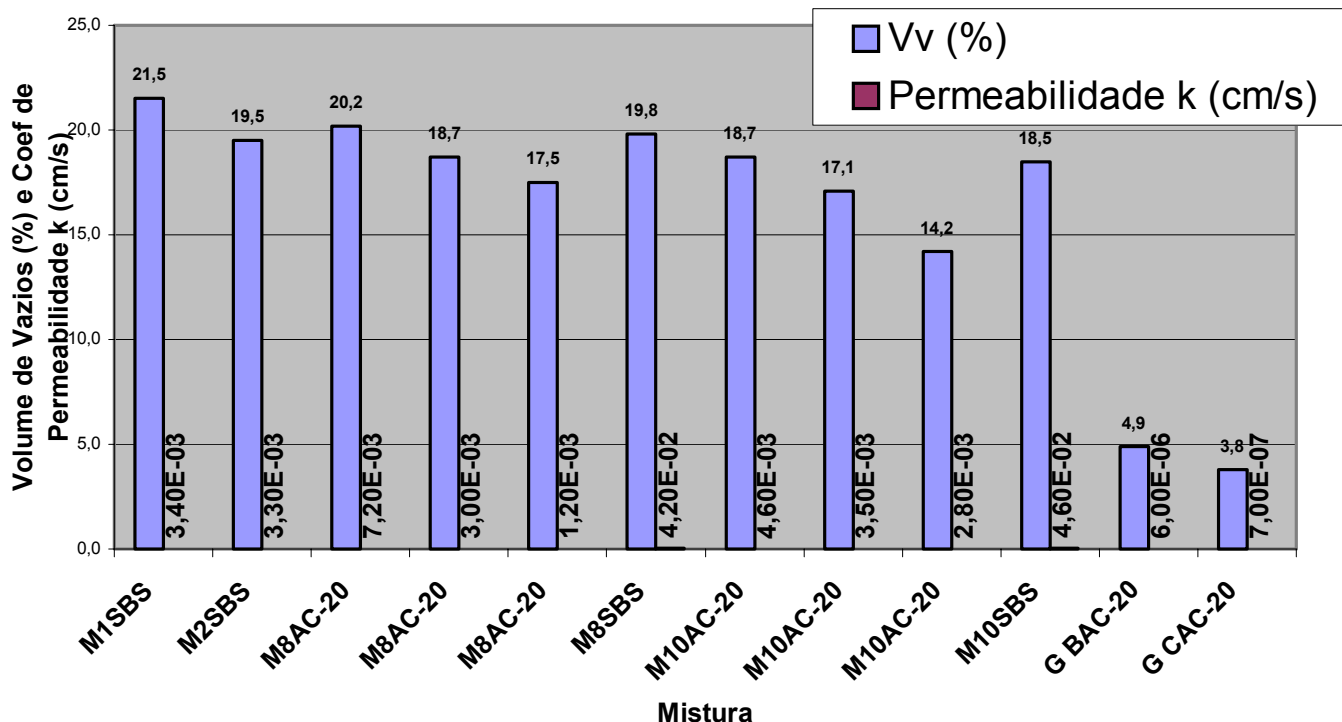


Figura 6. Coeficiente de permeabilidade k (cm/s)

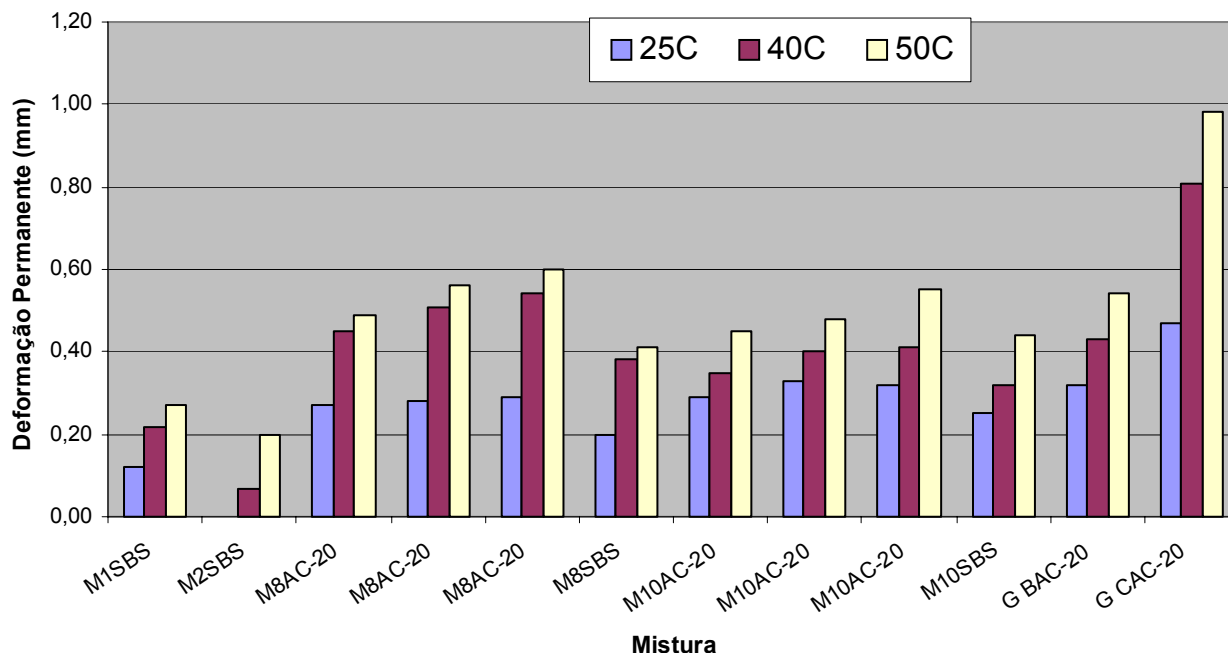


Figure 7. Deformação permanente vs. temperatura x % ótima de CAP para todas as misturas estudadas.



Figure 8. Medida da macrotextura na mistura OGFC #19.0 mm

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo do desempenho em termos de deformação permanente, permeabilidade e tração indireta foi realizado com amostras obtidas em laboratório e amostra broqueadas de uma placa compactada com a utilização de uma placa vibratória.

As seguintes conclusões e recomendações podem-se obter da presente pesquisa.

Quatro misturas foram obtidas utilizando-se o contacto pedra a pedra: M1, M2, M8 e M10.

A mistura M2 que atendeu ao conceito de contacto pedra a pedra, apresentou os melhores resultados em termos da relação VCA/VCA_{LA} , deformação permanente e σ_{t25} quando o ligante utilizado foi polímero.

A faixa GC apresentou pior desempenho que a GB. Em São Paulo, esta mistura é utilizada na camada superficial. Assim sendo, os autores propõem que a sua utilização em camadas superficiais seja alterada nas recomendações da PMSP.

Embora o desempenho da faixa GB foi melhor que a GC, embora o coeficiente de permeabilidade seja muito baixo em ambas, o que prejudica ainda mais a baixa aderência pneu/pavimento, principalmente em condições do pavimento molhado.

De acordo com a Tabela 5, é possível observar que as misturas com ligante modificado por polímero apresentaram melhor desempenho em termos de deformação permanente e permeabilidade.

Verificando a deformação permanente e permeabilidade, a mistura M2 confirma o que era esperado. Apresenta valores de resistência à deformação permanente muito maior que a mistura GC, usualmente utilizada em camadas superficiais, conforme recomendado pela PMSP.

Os autores tencionam continuar sua pesquisa realizando um maior número de ensaios em campo.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Ipiranga Asfaltos pelo fornecimento de material asfáltico e a LENC por sua assistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Stephenson, G and Bullen, F. 2002. The design, creep and fatigue performance of Stone Mastic Asphalt. 9th Conference Proceedings, ISAP.
- [2] Lanchas, S. 1999. Características del stone mastic asphalt SMA. 10^o Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Sevilla – Spain. pp727-730.
- [3] Brown, E R. 1992. Experience with stone matrix asphalt in the United States. NCAT Report No. 93-4. 34 p. March.
- [4] Watson, D R, Moore, K A, Williams, K, and Cooley Jr, L A. 2003. Refinement of new generation open-graded friction course mix design. TRB 2003. Annual Meeting, Washington DC.
- [5] Sadzik, E S, Visser, A T and van Wijk, I. 1999 Some aspects of the performance of porous asphalt in South Africa (case study). 7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA).
- [6] Brown, E R and Haddock, L E. 1997. A method to ensure stone-on-stone contact in stone matrix asphalt paving mixtures. NCAT Report No. 97-2, 20 p.
- [7] Bolzan, P E. 2002. The rehabilitation of the Ricchieri highway in Argentina with SMA and thin-SMA technologies. Ninth International Conference on Asphalt Pavements. Copenhagen, Denmark.
- [8] Brown, E R and Mallick, R B. 1994. Stone matrix asphalt properties related to mixture design. NCAT Report No. 94-2, 83 p.
- [9] Kandhal, P S and Mallick, R B. 1997. Design of new-generation open-graded friction courses. NCAT Report No. 97-2.
- [10] Kandhal, P S and Mallick, R B. 1998. Open-graded asphalt friction: state of the practice. NCAT Report No. 98-7.
- [11] Fortes, Rita Moura and Merighi, João Virgilio. 2004. Open-graded HMA considering stone-on-stone contact. International Symposium on Design and Construction of Long-Lasting Asphalt Pavements. Auburn, Alabama, USA.
- [12] Kalousk, K E and Witzak, M W. 2002. Simple Performance Test for Permanent Deformation of Asphalt Mixtures. TRB.