

# DESENVOLVIMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO VERMELHO<sup>1</sup>

*Johnny Gilberto Moraes Coelho<sup>2</sup>*  
*João Guilherme Mota de Souza<sup>3</sup>*  
*Carmen Gilda Barroso Tavares Dias<sup>4</sup>*

## Resumo

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de pavimento colorido através de uma fina camada superficial de polímero vermelho no revestimento betuminoso. O polímero utilizado foi o Polietileno de alta densidade reciclado (RPEAD) de cor vermelha, os demais agregados foram obtidos na jazida do Paulo Macedo no município de Santo Antônio do Tauá no Estado do Pará, o ligante asfáltico utilizado foi o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70. Os métodos utilizados para selecionar a granulometria aceitável, e a percentagem dos constituintes foram fundamentadas na dosagem Marshall (DNER-ME 043/95) e Marshall em escala reduzida. Os corpos de prova Marshall de escala reduzida com 8% de CAP e polímero com 5% na mistura e 2% no revestimento tiveram melhores resultados de resistência à tração diametral, 0,9 MPa. As imagens no microscópio óptico feita com objetivas 4x a 10x da superfície do material revestido, apontam que o revestimento de polímero, de 2 mm de espessura, sob a mistura betuminosa possui uma boa adesão independente da porcentagem de CAP na mistura betuminosa.

**Palavras-chave:** CBUQ; Polietileno de alta densidade reciclado; Revestimento colorido.

## DEVELOPMENT OF RED ASPHALTIC PAVEMENT

### Abstract

The purpose of this work is the development of surface color through a thin layer of red polymer in the asphaltic pavement. The polymer used was of recycled high density red polyethylene (recycled HDPE), the other aggregates were obtained from the deposit of Paulo Macedo in Santo Antonio do Taua - Pará, the asphalt binder was used asphalt cement oil (CAP) 50/70. The methods used to select the acceptable size and the percentage of the constituents was based on dosage Marshall (DNER ME 043/95) and Marshall-scale. The specimens Marshall scale with 8% of CAP and polymer with the mixture 5% and 2% in the coating had better results diametric tensile strength, 0.9 MPa. The images in the microscope objective made from 4x to 10x the surface of the coated material, indicate that the polymer coating, 2 mm thick, under the asphalt has a good adhesion independent of the percentage of CAP in the asphalt

**Key words:** Hot mix asphalt; Recycled HDPE; Color asphalt pavement.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando em Engenharia Mecânica – UFPA – jogilmo@gmail.com*

<sup>3</sup> *Professor da Faculdade de Engenharia Civil – UFPA - joao@ufpa.br.*

<sup>4</sup> *Professora do Mestrado em Engenharia Mecânica – UFPA - cgbtd@ufpa.br*



## 1 INTRODUÇÃO

Em mecânica dos pavimentos, o pavimento flexível no geral, é constituído do revestimento betuminoso, e das camadas de infra-estrutura, do tipo base, sub-base, sub-leito, quando necessário, uma camada de reforço do sub-leito. O revestimento asfáltico por sua vez, é constituído de materiais do tipo viscoelásticos, na qual envolve e confere na flexibilidade do material, agregados de granulometria bem graduada, para constituir a rigidez do compósito, e dependendo do tipo de tráfego e das condições estruturais, materiais de reforço podem constituir os ligantes.

Quando falamos de aproveitamento de resíduos, a tendência é reaproveitar materiais que levam anos para deteriorar. Assim, a aplicação desse tipo de materiais utilizados em pavimentação em mistura, por exemplo, com outros materiais tipo seixo, areia, materiais pétreos, cimentos, são comuns.<sup>(1)</sup> Entre eles temos alguns termoplásticos pós-consumo, elastômeros e entulhos de obras, na substituição ou composição dos materiais de pavimentação.<sup>(2)</sup>

Os termoplásticos mais conhecidos e utilizados são: polietileno de baixa densidade (PEBD),<sup>(2,3)</sup> polietileno de alta densidade (PEAD),<sup>(3-5)</sup> polipropileno (PP),<sup>(6)</sup> poliestireno (PS).<sup>(7)</sup> Dentre os mais comuns entre os elastômeros temos o estireno-butadieno-estireno (SBS)<sup>(1,8-13)</sup> borracha de estireno-butadieno (SBR),<sup>(10)</sup> borracha natural (NR)<sup>(10)</sup> e o polímero que engloba todas as faixas de elastômeros citadas provenientes da sobra da raspa de pneu,<sup>(4,14,15)</sup> comumente chamada de borracha moída de pneu (BMP).

O objetivo do trabalho é desenvolver um revestimento asfáltico vermelho, ou seja, com uma camada superficial de polímero do tipo  $R$ PEAD.

A granulometria do material asfáltico foi feita através da redução de escala dos agregados constituintes, em uma escala de 3,92, assim como a dosagem de CAP. Esse método é baseado na metodologia Marshall<sup>(16)</sup> para misturas asfálticas, em escala reduzida.

Os parâmetros volumétricos Marshall em escala reduzida também foram feitos para determinação da estabilidade, volume de vazios, relação betume vazios e fluência.<sup>(2,6,8,9,17,18)</sup>

A resistência a compressão é feita através da prensa universal,<sup>(13)</sup> na qual o corpo de prova analisado é submetido à compressão em um molde de escala reduzida. Assim para podemos conferir a superfície de fratura o material submetido a análise morfológica em microscópio óptico<sup>(5)</sup> e ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV).<sup>(10)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material Betuminoso

O ligante asfáltico utilizado é o CAP 50/70 produzido pela Petrobras em sua refinaria localizada em Fortaleza, Ceará (Lubnor),<sup>(16)</sup> que possui as normas técnicas consultadas e características físicas do ligante descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físicas do CAP 50/70<sup>(2)</sup>

Ensaio	Método	Resultado
Penetração (0,1mm)	DNER - ME 003/93	58
Viscosidade Saybolt a 160 °C (segundos)	DNER - ME 004/94	92
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	DNER - ME 193/96	1,03
Ponto de amolecimento (°C)	ABNT - NBR 6560/85	52
Ponto de fulgor (°C)	DNER - ME 148/94	<340

## 2.2 Revestimento Colorido

O revestimento colorido constituído de  $RPEAD$  está inserido na camada superficial do concreto asfáltico modificado e não modificado, nas percentagens de 2%, 3% e 4% e 0,4 g; 0,6 g e 0,8 g respectivamente. Dados estes obtidos de forma experimental, analisando 36 amostras em um total de 12 ensaios nas percentagens citadas anteriormente. A espessura de polímero é de 2,76 mm, obtida ao medir a camada de revestimento colorido e retirando o excesso de  $RPEAD$  na parte superior do corpo de prova.

## 2.3 Granulometria

Por meio de tentativas, chegou-se a composição granulométrica, a tabelas 2 descreve as percentagens passantes de agregado tipo A e tipo B nas peneiras de malhas quadradas da  $\frac{3}{4}$ " a nº 200 segundo American Society for Testing and Materials – ASTM, como mostra a coluna materiais. Desta forma, faz-se um paralelo com em relação a percentagem de agregados na mistura, na coluna tentativa da Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição granulométrica, em 03/08/2009

Peneiras	MATERIAIS		TENTATIVA		
	A	B	A	B	TOTAL
			<b>54,0%</b>	<b>46,0%</b>	
3/4"	100,00	100,00	54,0	46,0	<b>100,00</b>
1/2"	12,02	100,00	6,5	46,0	<b>52,50</b>
3/8"	19,30	100,00	10,4	46,0	<b>56,40</b>
nº 04	29,94	100,00	16,2	46,0	<b>62,20</b>
nº 10	20,26	1,05	10,9	0,5	<b>11,40</b>
nº 40	15,00	33,30	8,1	15,3	<b>23,40</b>
nº 80	2,46	50,80	1,3	23,4	<b>24,70</b>
nº 200	1,01	14,85	0,5	6,8	<b>7,30</b>

Na Tabela 3, descreve as percentagens passantes de agregado tipo A, B e tipo C nas peneiras de malhas quadradas da  $\frac{3}{4}$ " a nº 200 segundo a ASTM, acrescentando 7,3% de  $RPEAD$  na fração granulométrica total.



**Tabela 3.** Composição granulométrica com polímero <sub>R</sub>PEAD, em 03/08/2009.

Peneiras	MATERIAIS			TENTATIVA			TOTAL
	A	B	C	A	B	C	
				<b>49,8%</b>	<b>42,8%</b>	<b>7,3%</b>	
3/4"	100,00	100,00	100,00	49,8	42,8	7,3	<b>99,90</b>
1/2"	12,02	100,00	100,00	6,0	42,8	7,3	<b>56,10</b>
3/8"	19,30	100,00	100,00	9,6	42,8	7,3	<b>59,70</b>
nº 04	29,94	100,00	100,00	14,9	42,8	7,3	<b>65,00</b>
nº 10	20,26	1,05	100,00	10,1	0,4	7,3	<b>17,80</b>
nº 40	15,00	33,30	99,11	7,5	14,3	7,3	<b>29,10</b>
nº 80	2,46	50,80	0,72	1,2	21,8	0,1	<b>23,10</b>
nº 200	1,01	14,85	0,17	0,5	6,4	1,2	<b>8,14</b>

Onde temos:

A – Porcentagem em peso de agregado graúdo;

B – Porcentagem em peso de agregado miúdo;

C – Porcentagem em peso de polímero <sub>R</sub>PEAD.

## 2.4 Mini Marshall

A mistura foi feita baseada no método Marshall convencional e os corpos de prova foram moldados em tamanho reduzido a uma temperatura de 180°C. A mistura betuminosa foi feita a partir da redução do diâmetro do molde de corpos de prova Marshall, como é mostrado na Tabela 5, onde mostra a redução dos moldes utilizados na compactação e o peso da amostra, na qual convencionalmente temos um peso médio de 1.200 g, reduzido para 20 g nos corpos de prova mini Marshall.

**Tabela 5.** Dimensões dos moldes Marshall e mini Marshall, em 05/09/2009

Corpo de prova	Altura (cm)	∅Interno (cm)	∅Interno (pol.)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)
Marshall	8,61	10,00	3,94	675,89	1.200,00
Mini Marshall	2,19	2,54	1,00	11,09	19,69

O fator escala (f) com 10% de pó de polímero vermelho com agregado fica em torno de 60, retirado através da equivalência entre pesos do corpo de prova Marshall e Mini Marshall.

$$f = P_M / P_{MM} \quad (1)$$

Assim obtivemos as dimensões do compactador, soquete Marshall e moldes, como mostra a Tabela 6, onde há uma redução em peso dos equipamentos utilizados na compactação dividindo pelo fator de escala.

**Tabela 6.** Compactador Marshall e mini Marshall, em 05/09/2009

Equipamentos	Marshall (g)	Mini Marshall (g)
Peso Total	7.920	130
Peso de queda	4.530	74
Sapata	1.450	24
Haste e apoio	1.930	32

Desta forma foi obtido o corpo de prova mini Marshall como mostra na Figura 1, onde temos o compactador mini Marshall, com base e sapata de apoio dos moldes, a esquerda, e os moldes mini Marshall, a direita.



**Figura 1.** Mini Marshall – Compactador e Moldes.

## 2.5 Mistura Betuminosa

A mistura betuminosa foi feita seguindo os parâmetros da norma DNER-ME 043/95, e desta forma, foram obtidas as seguintes dosagens, com 2%, 3% e 4% de  $r$ PEAD no revestimento, como está mostrado na Tabela 7, onde a variação de CAP está em função de 5% de polímero inserido na massa asfáltica, tanto como agregado, quanto misturado no CAP.

**Tabela 7.** Dosagem mini Marshall com 6% de CAP, em 18/09/2009

Dosagem	6% CAP 50/70		7% CAP 50/70		8% CAP 50/70	
Seixo	48,00%	50,50%	47,50%	50,00%	47,00%	49,50%
Areia	41,00%	43,50%	40,50%	43,00%	40,00%	42,5%
Polímero	5,00%	-	5,00%	-	5,00%	-

## 2.6 Resistência a Compressão

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência máxima a compressão radial baseado na norma DNER-ME 043/95, em prensa universal, para a obtenção dos valores em MPa versus o deslocamento obtido pelo programa da prensa universal para observação da deformação total, expressa em milímetros.

A Máquina Universal de Ensaio é do modelo DL5.000, eletromecânica, micro processada, com capacidade máxima 5.000 kgf (50 kN).

O molde a compressão é de tamanho reduzido, baseado na norma DNER-ME 043/95, como mostra a Figura 2, durante o ensaio de compressão, o molde adotado para acomodar o corpo de prova.





**Figura 2.** Mini Marshall – Molde a compressão radial.

A velocidade de ensaio é de 50 mm/min., para finalização do ensaio foi computado um limite de força de 1.226 N e limite de deformação de 5 mm.

## **2.7 Morfologia**

No ensaio de morfologia foram observadas as amostras de polímero vermelho tipo  $R_{PEAD}$  assim como as amostras de asfalto modificado com o mesmo polímero acrescido de  $R_{PEAD}$  na superfície. Com o intuito de analisar a aderência superficial do polímero com o asfalto modificado.

O equipamento utilizado foi o microscópio ótico trinocular de luz polarizada, modelo Q706TKP com adaptador C-Mout para câmera de vídeo de 480L, modelo Q700A-CU480-Volts e câmera do tipo Day&Night, modelo KC-512.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para análise morfológica foi do modelo LEO-1430. As amostras foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2.0 minutos. Na análise de imagens de elétrons secundários ocorreu devido as seguintes condições: corrente de feixes de elétrons de 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante de 10 kV e distancia de trabalho entre 15 mm a 12 mm.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Mistura Betuminosa**

Foram obtidos corpos de prova com textura idêntica a de um asfalto convencional, porém de tamanho reduzido (Figura 3), a esquerda amostra com 3% de polímero no revestimento e a direita com 4% de polímero no revestimento. O revestimento polimérico foi inicialmente acrescido antes da compactação para formar uma sutil camada polimérica em cima do concreto betuminoso, com um controle térmico que varia de 150°C acrescido de 3°C para cada 1% de pol ímero, segundo a norma DNER-ES 386/99.



Figura 3. Mini Marshall.

### 3.2 Parâmetros Marshall

Para o estudo da dosagem Marshall é necessário obter parâmetros do material em estudo, como mostram as Figuras 4 a 7 que relacionam tais parâmetros com a porcentagem de polímero vermelho na superfície do asfalto.

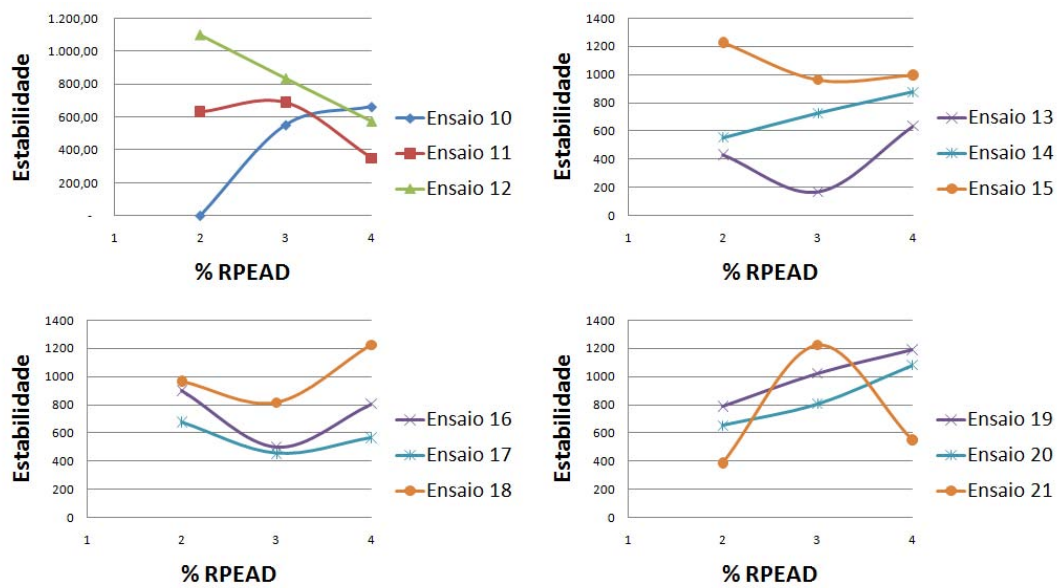


Figura 4. Estabilidade Marshall.

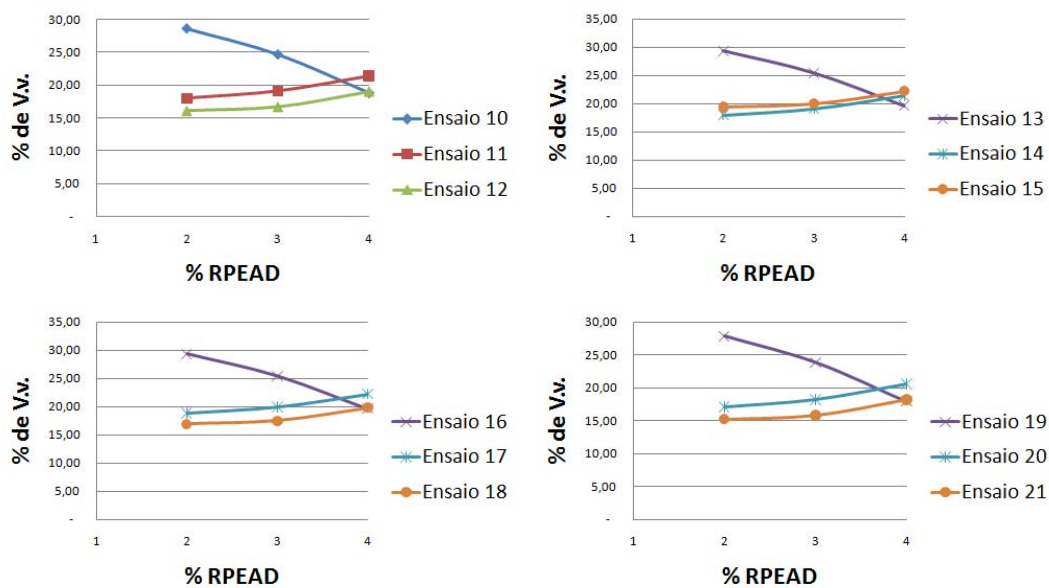


Figura 5. Volume de vazios.

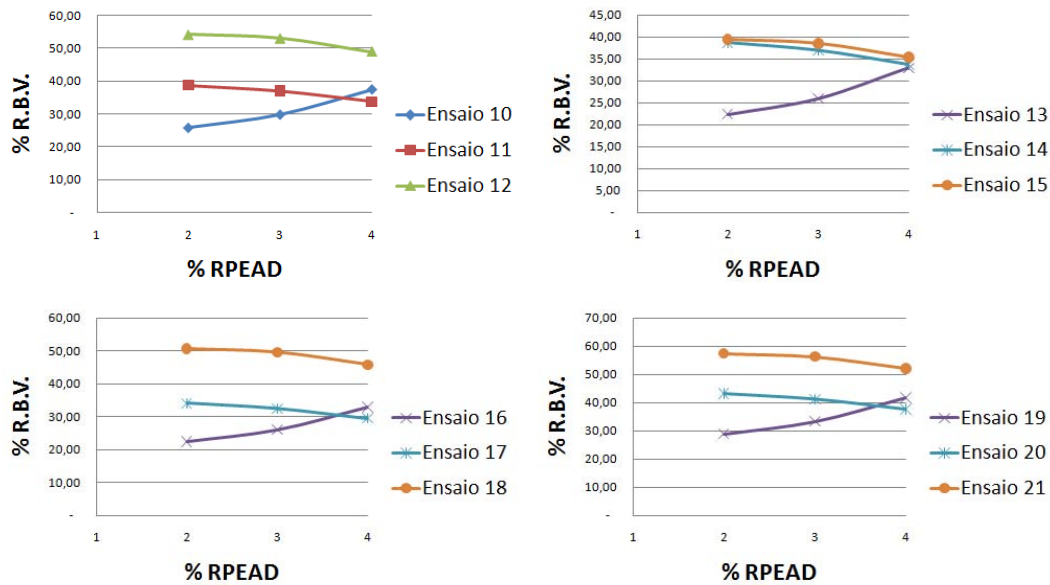


Figura 6. Relação betume vazios.

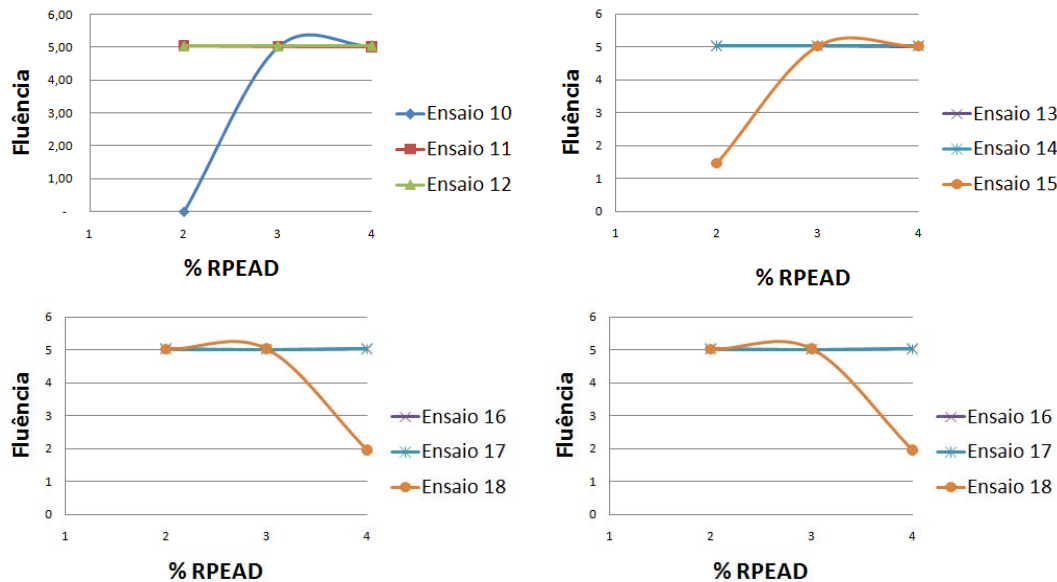


Figura 7. Fluência Marshall.

### 3.3 Resistência a Compressão

A Tabela 8 mostra os resultados via seca, com polímero tipo RPEAD inserido como agregado na mistura asfáltica e via úmida, com polímero vermelho misturado no CAP.



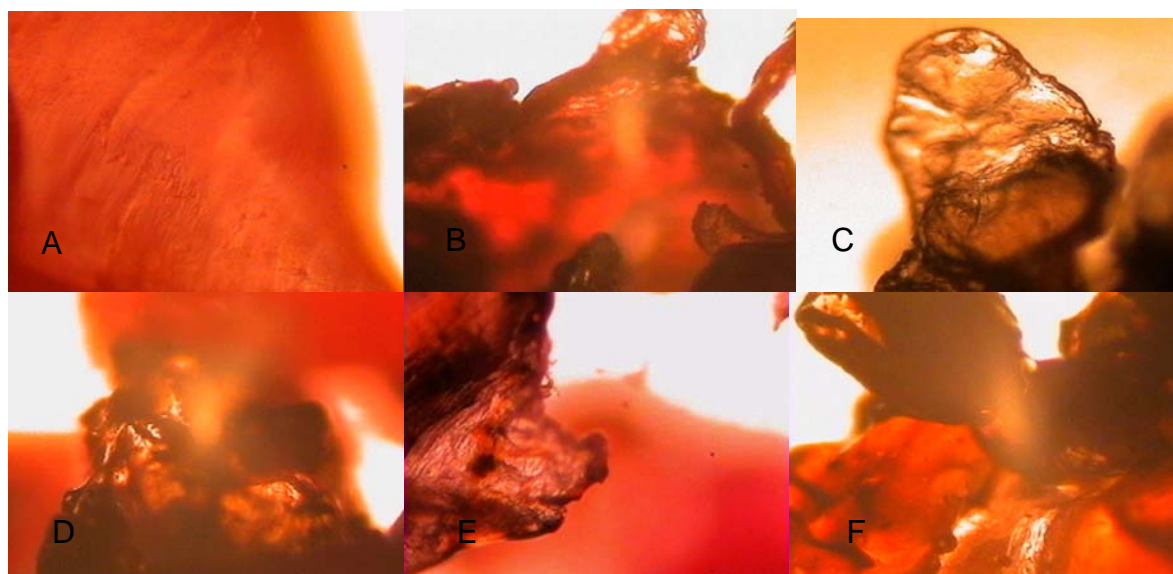


**Tabela 8.** Ensaios mecânicos, em 20/10/2009

Ensaio	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação (mm)	Mistura
CP 26 e 27	607,69	0,64	5,03	via seca
CP 28, 29 e 30	5,02	0,58	5,02	via seca
CP 31, 32 e 33	834,65	0,86	5,04	via úmida
CP 34, 35 e 36	410,64	0,43	5,02	-
CP 37, 38 e 39	718,40	0,74	5,04	-
CP 40, 41 e 42	1.063,37	1,1	3,83	-
CP 43, 44 e 45	736,55	0,77	5,03	via seca
CP 46, 47 e 48	566,04	0,59	5,02	via seca
CP 49, 50 e 51	1.003,43	1,04	4,00	via úmida
CP 52, 53 e 54	999,99	1,04	5,03	via seca
CP 55, 56 e 57	846,82	0,93	5,02	via seca
CP 58, 59 e 60	721,22	0,75	4,14	via úmida

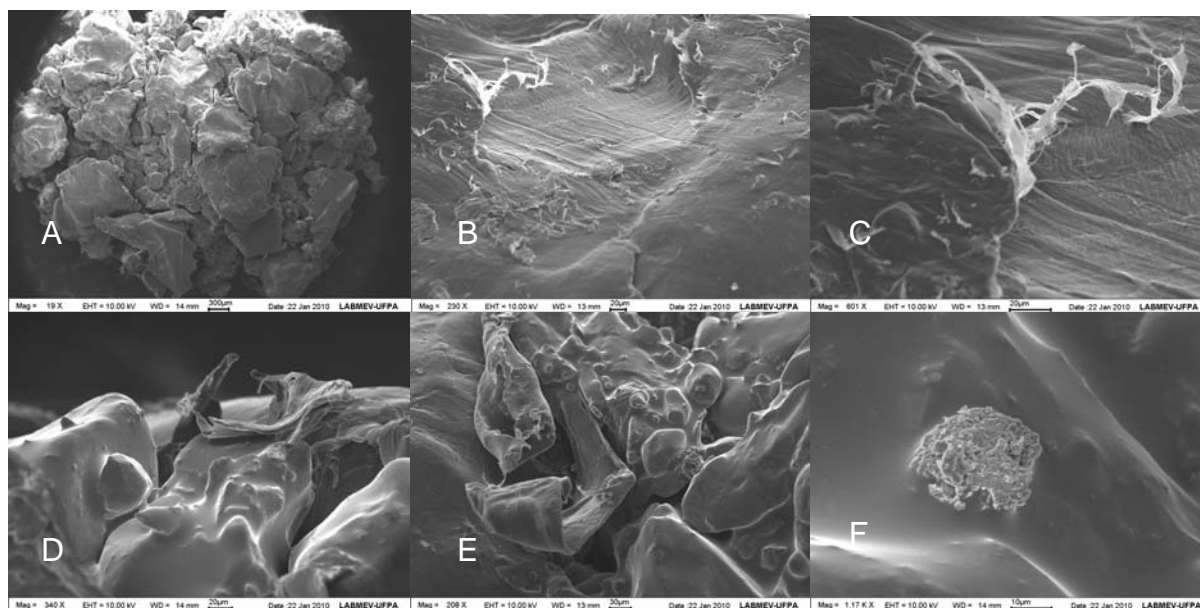
### 3.4 Morfologia

A Figura 8 mostra micrografia através do microscópio ótico do  $RPEAD$  e do  $RPEAD$  misturado no asfalto.



**Figura 8.** Microscopia ótica do mini Marshall em 02/01/2010.

A Figura 9 mostra a mistura asfáltica com polímero vermelho reciclado de diversas formas, a Figura 9-A e Figura 9-E mostram a superfície do asfalto revestido com  $RPEAD$ .



**Figura 9.** MEV do mini Marshall em 10/01/2010.

## 4 DISCUSSÃO

A mistura baseada no método convencional Marshall feita manualmente resultou em corpos de prova bem envolvidos com cimento asfáltico de petróleo, assim podemos concluir que o tempo e o tipo de mistura são fatores essenciais na confecção dos corpos de prova.<sup>(3)</sup> Devido a diminuição da granulometria, uma maior percentagem de finos foi absorvida a principio pelo CAP,<sup>(19)</sup> desta forma, a amostra teve que ser submetida ao calor de 180°C para novamente ser feita uma nova mistura e resultar nos corpos de prova da Figura 3.

Após a mistura betuminosa, ao retirar os corpos de prova do molde cilíndrico é perceptível a perda de RPEAD na superfície, perda esta vista nos corpos de prova com 3% e 4% de polímero.

Segundo a análise dos parâmetros baseado no método Marshall, praticamente todos os resultados foram satisfatórios aos corpos de prova com 8% de CAP com e sem polímero introduzido tanto a seco quanto úmido, pois nas Figuras 4 a 7 é perceptível o ganho na resistência máxima do compósito e menores valores de volume de vazios.<sup>(2,6)</sup> O acréscimo da relação Betume vazios nas amostras com 8% de CAP, está relacionado diretamente ao volume de vazios e não representa grande divergência quando comparado a outras amostras, por exemplo, no ensaio 15 representado graficamente, ficou pouco a cima dos ensaios 13 e 14, isso ocorreu devido neste ensaio não ter o RPEAD como constituinte via seca ou úmida. Os resultados de fluência deram mesmos valores em todos os casos, havendo certas divergências nos corpos de prova com 8% de CAP em todos os casos.

Desta forma partimos para análise de resistência, os corpos de prova com 8% de CAP e 5 % de RPEAD tanto a seco quanto a úmido resistiram a maiores valores de carga que os demais,<sup>(2)</sup> porem os resultados apontam nenhuma influencia do revestimento superficial polimérico no revestimento betuminoso.

Nos ensaios de morfologia da Figura 8, feitas através do microscópio ótico, a Figura 8 – A, representa o RPEAD sem acréscimo de betume em seu constituinte, porém nos outros casos, podemos detectar a boa aderência do ligante na parte superficial com RPEAD.



O mesmo acontece com as amostras da Figura 9, submetidas ao ensaio MEV, a Figura 9 – A é um apanhado geral do corpo de prova rompido após ensaio de compressão radial, é perceptível a influencia do  $r$ PEAD, devido a sua boa distribuição entre os agregados. Na Figura 9 – D e E, observamos como o polímero vermelho ficou na superfície do material, ratificando assim a boa aderência e a compatibilidade existente deste material ao ligante.<sup>(2)</sup>

## 5 CONCLUSÃO

O material betuminoso tanto com ou sem polímero em seu constituinte, tiveram melhores desempenho com a adição de 8% de CAP. Corpos de prova com 2% de  $r$ PEAD como revestimento superficial, são os que apresentam menor perda durante a compactação. Nos ensaios mecânicos, na qual possuem vinculo as normas do DNIT, os resultados foram abaixo do esperado, assim há necessidade de correções futuras no molde de ensaio para averiguar a compressão radial, para obtenção de maiores valores de deformação e maior coerência nas curvas de compressão.

Há a necessidade, em trabalhos futuros, fazer a mistura com outros tipos de ligantes e caracterizar-los através de ensaios reológicos.

O polímero vermelho na superfície do corpo de prova, praticamente não teve influencia no acréscimo de resistência, ao falarmos dos ensaios físicos, porém foi constatada boa aderência do polímero  $r$ PEAD a superfície asfáltica e com essa adesão, podemos mudar na prática a cor de pavimentos.

## Agradecimentos

Agradeço a CAPES pelo incentivo a pesquisa. Aos que trabalham no sub-laboratório de eco-compósitos da engenharia Mecânica, no LABMEV da geociência na UFPA e no laboratório de solos e asfalto da SETRAN-PA, sem vocês não seria possível.

## REFERÊNCIAS

- 1 AL-HADIDY, A.I.; -QIU, T.Y. Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2941–2950, n° 08, ago. 2008/mar. 2009.
- 2 AL-HADIDY, A.I.; -QIU, T.Y. Effect of polyethylene on life of flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 1456–1464, n°03, abr. 2008/ago. 2008.
- 3 -LEPEA, A.P.; -BOZA, F.J.M.; GALLEGOSA, C.; GONZÁLEZB, O.; MUÑOZ, M.E.; SANTAMARÍA, A. Influence of the processing conditions on the rheological behavior of polymer-modified bitumen. *Fuel*, v. 82, p. 1339–1348, 2003.
- 4 FANG, C.; LI, T.; ZHANG, Z.; WANG, X. Combined Modification of Asphalt by Waste PE and Rubber. *Polymer Composites*, v. 29, p. 1183-1187, n° 10, out. 2008.
- 5 -KADI, A.A.; BRAHIMI, B.; BOUSMINA, M. Polymer Blends for Enhanced Asphalt Binders. *Polymer Engineering and Science*, v. 36, n° 12, 1996.
- 6 AL-HADIDY, A.I.; -QIU, T.Y. Mechanistic approach for polypropylene-modified flexible pavements. *Materials and Design*, v. 30, p. 1133–1140, n°04, mai./jun. 2008.
- 7 BOTARO, V.R.; CASTRO, S.R.; JUNIOR, F.R.; CERANTOLA, A.E. Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve. *REM: R. Esc. Minas*, v. 59, p. 117-122, jan./mar. 2006.
- 8 LARSEN, D.O.; ALESSANDRINI, J.L.; BOSCH, A.; CORTIZO, M.S. Micro-structural and rheological characteristics of SBS-asphalt blends during their manufacturing. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2769–2774, n°08, nov. 2008/abr. 2009.

- 9 YU, J.; CONG, P.; WU, S. Investigation of the properties of asphalt and its mixtures containing flame retardant modifier. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2277–2282, n°06, Jun. 2008/jan. 2009.
- 10 LESUEUR, D. The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 145, p. 42–82, n°01-02, set. 2008.
- 11 SENGOZ, B.; TOPAL, A.; ISIKYAKAR, G. Morphology and image analysis of polymer modified bitumens. *Construction and Building Materials*, vol. 23, p. 1986–1992, 2009.
- 12 ZHANG, F.; YU, J. The research for high-performance SBR compound modified asphalt. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 410–418, 2010.
- 13 GORKEM, C.; SENGOZ, B. Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2227–2236, 2009.
- 14 XIAO, F.; AMIRKHANIAN, S.N.; SHEN, J.; PUTMAN, B. Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 1028–1034, n° 02, Fev. 2008/jun. 2008.
- 15 SHEN, J.; AMIRKHANIAN, S.; XIAO, F.; TANG, B. Influence of surface area and size of crumb rubber on high temperature properties of crumb rubber modified binders. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 304–310, n°01, dec. 2007/jan. 2008.
- 16 COELHO, J.G.M. Estudo da mistura betuminosa para a pavimentação do aeroporto de Conceição do Araguaia no estado do Pará. IV Congresso de Pesquisa e Inovação da rede Norte e Nordeste de Educação tecnológica, Belém – Pará, 2009.
- 17 IGWE, E.A.; AYOTAMUNO, M.J.; OKPARANMA, R.N.; OGAJI, S.O.T.; PROBERT, S.D. Road-surface properties affecting rates of energy dissipation from vehicles. *Applied Energy*, v. 86, p. 1692–1696, n° 09, Jan. de 2009.
- 18 AHMEDZADEA, P.; SENGOZ, B. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete. *Journal of Hazardous Materials*, v. 165, p. 300–305, n° 01-02, mai./out. 2008.
- 19 RATTANASOM, N.; PRASERTSRI, S.; RUANGRITNUMCHAI, T. Comparison of the mechanical properties at similar hardness level of natural rubber filled with various reinforcing-fillers. *Polymer Testing*, v. 28, p. 8-12, n°01, jun. 2008/fev. 2009.