



BETUME BORRACHA

Pedro Seixas, PROBIGALP

Luís Gomes, MOTA-ENGIL

Susana Maricato, GALP ENERGIA

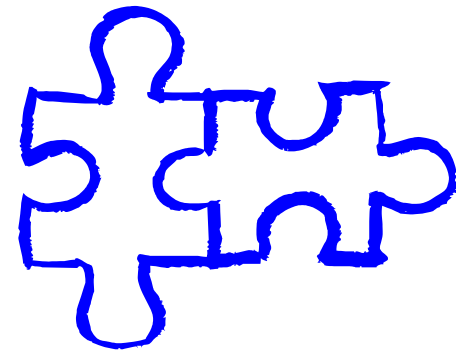


Princípios gerais

- Construir Estradas de altas prestações;
- Colaborar na protecção do meio ambiente. “Eco-eficácia”;
- Cumprir as normas em vigor.

Como construir as Estradas do século XXI?

- Materiais e tecnologias avançados;
- Execução cuidadosa e com alta capacidade de produção;
- Controlo de qualidade.



Colaborar na protecção do meio ambiente

- Reciclar

- Pavimentos;
- Fresados;
- Resíduos:

- No entanto... as estradas não são vazadouros!

- Minimizar emissões contaminantes.

- Emissões de CO₂;
- Emissões de CO.



Colaborar na protecção do meio ambiente



Como utilizar o pó de borracha proveniente da reciclagem de pneus fora de uso ?

- Via húmida:
 - Desenvolvimento de produtos standard.
- Via seca:
 - Aplicação específica para cada obra.

Quais as principais características que um Betume Modificado com Borracha deve ter?

- Qualidade similar ou melhor do que um BMP convencional
 - Prestações
 - Estabilidade no armazenamento
- Rastreabilidade
 - Marcação **CE** (garantia de Qualidade para o cliente)
- Trabalhabilidade similar a um BMP (viscosidade)
 - Fabrico
 - Espalhamento
- Desempenho eco-eficaz
- Probígalp aposta nesta “filosofia”
 - Polybetume[®] C
 - Patente mundial W02004081098

Gama Polybetume C

Polybetume C-2 \Rightarrow BM-2

Polybetume C-3a \Rightarrow BM-3a

Polybetume C-3b \Rightarrow BM-3b

Características do betume borracha Polybetume C-2 (BM-2)

Polybetume C-2	Valores típicos	Mínimo	Máximo
Penetração (0,1 mm)	37	35	50
Ponto de amolecimento (°C)	67	65	-
Recuperação elástica	25	10	-

Características do betume borracha Polybetume C-3a (BM-3a)

Polybetume C-3a	Valores típicos	Mínimo	Máximo
Penetração (0,1 mm)	53	50	70
Ponto de amolecimento (°C)	61	58	-
Recuperação elástica	30	15	-

Características do betume borracha Polybetume C-3b (BM-3b)

Polybetume C-3b	Valores típicos	Mínimo	Máximo
Penetração (0,1 mm)	51	50	70
Ponto de amolecimento (°C)	63	60	-
Recuperação elástica	42	40	-

Critérios de caracterização de ligantes betuminosos

Metodologia de B.Brûle

Característica	Classe							
	0		1		2		3	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Intervalo de plasticidade (°C)		85	85	90	90	95	95	
Susceptibilidade térmica		-0,07	-0,07	-0,065	-0,065	-0,06	-0,06	
Ângulo de desfasamento	75		65	75	55	65		55
Coesão Vialit (J/cm ²)		0,9	0,9	1,3	1,3	1,8	1,8	
Susceptibilidade à oxidação								
Δ (°C)	4		2	4		2		
R	2		1,5	2		1,5		

Critérios de caracterização de ligantes betuminosos Gama Polybetume ® C vs BMP

Característica	Polybetume		
	C-2	C-3a	E-3c
Intervalo de plasticidade (°C)	3	3	3
Susceptibilidade térmica	3	3	3
Ângulo de desfasamento δ	2	2	2
Coesão Vialit (J/cm ²)	1	1	2
Susceptibilidade à oxidação			
Δ (°C)	2	2	2
R	1	1	1
Total	12	12	13

Prestações similares segundo os ensaios convencionais

Critérios de caracterização de ligantes betuminosos Gama Polybetume ® C vs Betume tradicional

Característica	Polybetume C-2		Betume 70/100	
	Valor	Pontuação	Valor	Pontuação
Intervalo de plasticidade (°C)	110	3	86	1
Susceptibilidade térmica	-0,055	3	-0,076	0
Ângulo de desfasamento δ	56	2	80	0
Coesão Vialit (J/cm ²)	1,15	1	0,73	0
Susceptibilidade à oxidação				
Δ (°C)	1,5	2	-0,6	2
R	1,91	1	1,89	1
Total		12		4

Melhores prestações quando comparado com um betume tradicional

Polybetume® C

Vantagem Técnica: Redução do ruído

A partir de dois distintos fusos de misturas betuminosas e com a utilização de BMB, foram efectuados estudos com o objectivo da redução do nível de ruído.

Mistura F10

Abertura das malhas	Percentagem acumulada do material que passa
prEN 13108-E	
12,5 mm	100
10 mm	75-97
4 mm	23-38
2,00 mm	18-32
0,5 mm	11-23
63 µm	7-9

Mistura M10

Abertura das malhas	Percentagem acumulada do material que passa
prEN 13108-E	
12,5 mm	100
10 mm	75-97
4 mm	14-27
2,00 mm	11-22
0,5 mm	8-16
63 µm	5-7

Polybetume® C

Vantagem Técnica: Redução do ruído

- Através de ensaios efectuados em zonas urbanas da cidade de Barcelona, pela Univ. Politécnica da Catalunha e conduzidos pelo Prof Catedrático de “Camínos” - Félix Edumundo Pérez Giménez, obtivemos os seguintes resultados:

- Para a velocidade de 80 km/h: Redução do ruído atinge os 4,6 db, para “Misturas F10” e os 6,1 db para “Misturas M10”.

- Para a velocidade de 120 km/h: Redução do ruído mais significativa atingindo os 6,6 db para as “Misturas M10”.

Polybetume® C

Vantagem Técnica: Redução do ruído

Principais características / Formulação tipo:

- Mistura F10:
 - 70% (6/12mm), 25% (0/3mm) e 5% filler
 - % ligante = 5,0% +/- 0,5%
 - Porosidade: 4% (mínimo)
- Mistura M10:
 - 76% (6/12mm), 20% (0/3mm) e 4% filler
 - % ligante = 6,0% +/- 0,5%
 - Porosidade: 12% (mínimo)



Aplicações de Polybetume[®]C

- Misturas densas e semi-densas
- Misturas descontínuas

Misturas densas com Polybetume C

- Deformabilidade reduzida
- Resistência à fluência estática e dinâmica
- Possibilidade de adicionar mais ligante sem problemas de rodeiras
- Maior durabilidade

Misturas descontínuas com Polybitume C

- Prestações similares a um BMP
- Condições de trabalhabilidade idênticas

Algumas obras executadas



Valladolid



Fafe



La Rioja

CASO ESTUDO

- Consistiu na realização dos estudos de uma mistura betuminosa fina descontínua para camada de desgaste, utilizando um betume modificado com borracha reciclada de pneus;
- Esta mistura betuminosa pretende constituir uma camada de desgaste com características funcionais adequadas com particular atenção à redução do ruído (Mistura anti-ruído M10);
- Os estudos de formulação da mistura foram conduzidos no Laboratório Central da Mota-Engil e num laboratório subcontratado;
- O trecho experimental foi construído na obra do IC 24 - Lote 9 da Mota-Engil.

Fuso para mistura de agregados da mistura betuminosa

Abertura das malhas prEN 13108-E	Percentagem acumulada do material que passa
12,5 mm	100
10 mm	75-97
4 mm	14-27
2,00 mm	11-22
0,5 mm	8-16
63 μ m	5-7

Especificações para as características físicas e mecânicas dos agregados

Característica	Especificação
Los Angeles (Granulometria B), máximo	20%
	(26% em granitos)
Percentagem de material britado	100%
Índices de lamelação e de alongamento, máximos	15%
Coeficiente de polimento acelerado, mínimo	0,50
EA (mistura de agregados, sem a adição de filler), mínimo	50%
Azul-de-metileno (material de dimensão inferior a 75 μm), máximo	0,8
Absorção de água, máxima	2%

Especificações para as características do betume modificado com borracha

Características do betume modificado	Norma de ensaio	Especificações	
		Mínimo	Máximo
Penetração (0,1 mm)	NLT 124	35	50
Ponto de amolecimento (°C)	NLT 125	65	
Recuperação elástica (%)	NLT 329	10	
Ductilidade 5 °C (cm)	NLT 126	2	
Estabilidade ao armazenamento	NLT 328		
Diferença de penetração			8
Diferença no ponto de amolecimento			5
Ensaio sobre o resíduo de película fina	NLT 185		
Variação de massa (%)	NLT 185		0,8
Penetração (% da penetração original)	NLT 124	70	
Variação do ponto de amolecimento (°C)	NLT 125	-4	8
Ductilidade 5 °C (cm)	NLT 126	1	

Especificações e valores obtidos para as características da mistura betuminosa no estudo de formulação

Características da mistura betuminosa	Especificação	Valor obtido
Número de pancadas em cada extremo do provete	50	-
Percentagem de filler, mínima	4%	4%
Baridade geométrica	-	2,183 g/cm ³
Baridade máxima teórica	-	2,471 g/cm ³
VMA, mínimo	18 %	23%
Porosidade, mínima	12%	12%
Percentagem de ligante (Polybetume C-2)	6,0 % ± 0,5 %	5,5
Cântabro seco, máximo	15%	6%

Fórmula de trabalho

Material	Percentagem
Agregado 0/3 (Granito, Moinho de Vento)	18,9 %
Agregado 4/11 (Granito, Moinho de Vento)	71,8 %
Cal hidráulica (Cimpor)	3,8 %
Betume polybetume C-2 (Probígalp)	5,5 %

Para avaliação da resistência às deformações permanentes foram realizados ensaios de pista sobre a mistura betuminosa com a fórmula de trabalho resultante do estudo de formulação utilizando o equipamento wheel tracking tendo-se obtido o valor para a velocidade de deformação ($V_{105/120}$) de 6,4 $\mu\text{m}/\text{min}$.

Valores obtidos para as características da mistura betuminosa aplicada no trecho experimental

Características da mistura betuminosa	Valor obtido
Número de pancadas em cada extremo do provete	50
Baridade geométrica	2,186 g/cm ³
Baridade máxima teórica	2,478 g/cm ³
VMA (percentagem de vazios na mistura de agregados)	25 %
Porosidade	13 %
Percentagem de ligante modificado com borracha (Polybetume C-2)	5,4
Cântabro seco	14 %

Fabrico e aplicação da mistura:

- Central descontínua
- Temperatura de mistura - 180 °C
- Temperatura de compactação – 170 °C
- Compactação com cilindros de rolos metálicos

OBRA – IC 24 Lote 9 – Trecho experimental



Conclusões (1/2)

- É possível fabricar Betumes Modificados com Borracha com prestações similares às dos BMP
- Foram desenvolvidos BMB's com aplicações específicas (Mist. Densas, descontínuas e anti-ruído)
- Estes BMB's podem ser fabricados com viscosidades que permitem a sua utilização dentro do exigido nas normas Europeias no que diz respeito à temperatura de fabrico, com emissões de gases similares aos BMP
- Estabilidade no armazenamento destes BMB: Fundamental para a garantia de um correcto sistema de controlo de qualidade

Conclusões (2/2)

- Estes BMB's apresentam excelentes propriedades de resistência às deformações permanentes plásticas e dinâmicas
- O espalhamento em obra não exige particularidades distintas relativamente aos betumes modificados com polímeros convencionais
- Encontram-se desenvolvidas e testadas misturas com BMB que permitem efectivas reduções do nível de ruído desde 4,6dB até 6,6dB
- Existe, neste momento, uma larga experiência na utilização deste tipo de BMB's através da realização de um número significativo de obras