

ANÁLISE DE MISTURAS ASFÁLTICAS REALIZADAS COM LIGANTE ASFÁLTICO CONVENCIONAL E COM O MODIFICADO COM BORRACHA APLICANDO O MÉTODO MARSHALL

Maikel P. Michels (1), Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)m.p.michels@hotmail.com (2)par@unesc.net

RESUMO

O presente artigo tem como propósito a análise de misturas asfálticas utilizando dois tipos de ligantes, o CAP 50/70 convencional e o ligante modificado com borracha Ecoflex B. As misturas asfálticas foram moldadas utilizando agregados comercializados por uma empresa localizada na região. Os ligantes foram adicionados a uma mistura de mesma granulometria, que atendia os parâmetros exigidos para uma composição de mistura asfáltica Faixa “C” do Deinfra. Foram moldados cinco corpos de prova para cada de teor de ligante, seguindo as especificações da metodologia Marshall, obtendo-se, assim, os valores necessários para a definição dos teores ideais para cada tipo de ligante utilizado. Com os teores ideais definidos, moldou-se mais cinco corpos de prova para cada teor, para determinação da resistência a tração, pelo ensaio de compressão diametral. Com todos os ensaios realizados, constatou-se a eficiência de ambos os ligantes para o traço utilizado neste trabalho, observando-se pequenas variações nos parâmetros que foram obtidos, através dos ensaios realizados.

Palavras-Chave: Método Marshall, Asfalto Borracha, Resistência a Tração.

1. INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura constituída por camadas de espessura finita, com diferentes características físicas e mecânicas, construídas sobre a camada final da terraplanagem. Esta estrutura recebe as cargas provenientes do tráfego de veículos e proporciona segurança e conforto aos usuários.

O pavimento flexível apresenta um revestimento constituído substancialmente de agregados pétreos e ligante asfáltico.

O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de melhorar as condições de rolamento (conforto e segurança). (BERNUCCI, et al., 2006, p.09).

Buscando uma maneira de atribuir os benefícios de polímeros aos ligantes asfálticos, e simultaneamente a isto, diminuir o impacto ambiental causados pelos mesmos, pode-se utilizar a borracha de pneus inservíveis em misturas asfálticas.

Segundo (FONTES, L., 2009, p. 217) a utilização do betume-borracha melhorará algumas características da mistura asfáltica convencional, entre as quais:

- Maior resistência à deformação permanente;
- Redução da propagação de fendas;
- Redução da desagregação;
- Melhor suscetibilidade térmica;
- Maior durabilidade;
- Maior flexibilidade;
- Maior resistência ao fendilhamento;
- Maior resistência a fadiga.

Para a obtenção da borracha, utilizam-se técnicas apropriadas para este fim, de modo a não modificar as características da mesma.

A obtenção de borracha de pneus usados é feita através da trituração à temperatura ambiente ou com temperaturas criogénicas (do grego Kryos que significa gelo em português) em que a redução da borracha em grãos é realizada em temperaturas negativas, inferiores a $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$, resultando a borracha com diversas granulometrias e diferentes características. (FONTES, L., 2009, p. 184)

Com a aplicação da borracha no ligante asfáltico consegue-se minimizar um dos problemas ambientais, causados pelo depósito inadequado de pneus inservíveis no meio ambiente. Os pneus abandonados a céu aberto podem contribuir para a procriação de mosquitos e outras doenças.

No Brasil já existem algumas rodovias executadas com a mistura asfalto-borracha, que num primeiro momento, conseguiu suprir as exigências físicas e mecânicas a que um pavimento convencional é submetido.

O presente trabalho tem por finalidade analisar misturas asfálticas realizadas com ligante asfáltico convencional e com o modificado com borracha, para a verificação do comportamento dos parâmetros obtidos nos ensaios Marshall.

2. MATERIAIS

2.1 LIGANTES ASFÁLTICOS

Nessa pesquisa foram utilizados os ligantes Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70) e Ecoflex B, o qual, possui em sua composição 15% de borracha. Ambos os ligantes foram fornecidos pela empresa Greca Asfaltos.

2.2 AGREGADOS

Os agregados utilizados na composição granulométrica das misturas foram fornecidos pela empresa Cedro Engenharia Comércio e Mineração, localizada na rodovia BR 101 – Km 401, Vila Beatriz, Maracajá – SC.

3. MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

3.1.1 Agregados

Para a caracterização dos agregados utilizados no presente trabalho, os mesmos foram submetidos aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica (DNER-ME 083/98);
- Densidade e Absorção (DNER-ME 081/98);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/97);
- Densidade Real, Aparente e Efetiva dos grãos (ME 084/95 e ME 085/94).
- Adesividade (DNER-ME 078/94);

3.1.2 Ligantes asfálticos

3.1.2.1 CAP 50/70

O ligante asfáltico CAP 50/70 foi caracterizado, pelos ensaios abaixo relacionados:

- Ensaio de penetração (ABNT NBR 6576/2007);

- Ensaio de viscosidade (ABNT NBR 14756/2001);
- Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560/2008);
- Ductilidade (ABNT NBR 6293/2001);
- Massa específica e densidade relativa (ABNT NBR 6296/2012);
- Ponto de fulgor (ABNT NBR 11341/2014).

3.1.2.2 Ecoflex B

O ligante asfáltico modificado com borracha foi caracterizado, pelos ensaios abaixo relacionados:

- Ensaio de penetração (ABNT NBR 6576/2007);
- Ensaio de viscosidade (ABNT NBR 15529/2007);
- Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560/2008);
- Densidade relativa (ABNT NBR 6296/2012);
- Ponto de fulgor (ABNT NBR 11341/2014);
- Recuperação Elástica (NLT-329/91).

3.2 DOSAGENS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Baseado nas granulometrias dos agregados produziu-se o traço na faixa especificada pelas normas do Deinfra (Faixa C), enquadrando-a na faixa de trabalho.

Uma vez obtida à faixa de trabalho ideal, através do método Marshall (DNER-ME 043-95) moldou-se cinco corpos de prova para cada teor com CAP 50/70 de 4% até 6%. Do mesmo modo foi moldado o mesmo número de corpos de prova com o Ecoflex B, porém nos teores de 5% a 7%.

3.2.1 Estabilidade Marshall e Fluência

No ensaio de estabilidade Marshall aplicou-se uma carga de compressão no corpo de prova de 100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura, numa prensa eletrônica.

A carga máxima resistente da peça corresponde à estabilidade Marshal e é expressa em unidade de força. O deslocamento vertical ocasionado pela aplicação da carga é denominado fluência, e é expressa em milímetros (mm).

3.3 RESISTÊNCIAS A TRAÇÃO

Após determinação dos teores ótimos das misturas asfálticas moldadas com ligante convencional, e o modificado com borracha, moldaram-se cinco peças para cada mistura para determinação da sua resistência a tração (DNER-ME 138/09).

O ensaio consistiu na aplicação de duas forças de compressão concentradas em geratrizes opostas, que geraram tensões de tração perpendicular a carga aplicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Agregados

Na tabela 1 estão os resultados das características dos agregados graúdo, miúdos e finos.

Tabela 1 - Valores característicos dos agregados

Agregado	Graúdo	Miúdo	Fino
Densidade real (g/cm ³)	3,020	2,992	2,970
Densidade aparente (g/cm ³)	2,844		
Absorção (%)	2,1		
Equivalente de areia (%)		78	
	CAP 50/70	ECOFLEX B	
Adesividade	Satisfatório	Satisfatório	

Fonte: Autor (2015)

Tendo-se realizado o ensaio de adesividade do agregado, com o ligante CAP 50/70, verificou-se que o mesmo não atendeu as especificações, e houve a necessidade de adição de um melhorador, denominado “Dope”.

Foi utilizado um teor de 0,07% de “Dope” para conseguir que o ligante envolva-se o agregado de forma satisfatória.

Na figura 1, nota-se perfeitamente o agregado com ligante puro e o com o “Dope”.

Figura 1 - Ensaio adesividade CAP 50/70



Fonte: Autor (2015)

Já o ligante Ecoflex B atingiu a adesividade necessária, conforme mostra a figura 2, sem uso do “Dope”.

Figura 2 - Ensaio adesividade Ecoflex B



Fonte: Autor (2015)

Segundo (FONTES, L., 2009, p. 216) o betume modificado com borracha melhora as características de adesividade do agregado, por ser sua viscosidade superior ao do CAP 50/70, gerando uma película de betume com espessura superior aquela encontrada nos ligantes convencionais, o que favorece a adesividade.

4.1.1.1 Análise granulométrica

Na tabela 2 estão os resultados das granulometrias dos três materiais pétreos utilizados nas dosagens da mistura para a faixa C do Deinfra.

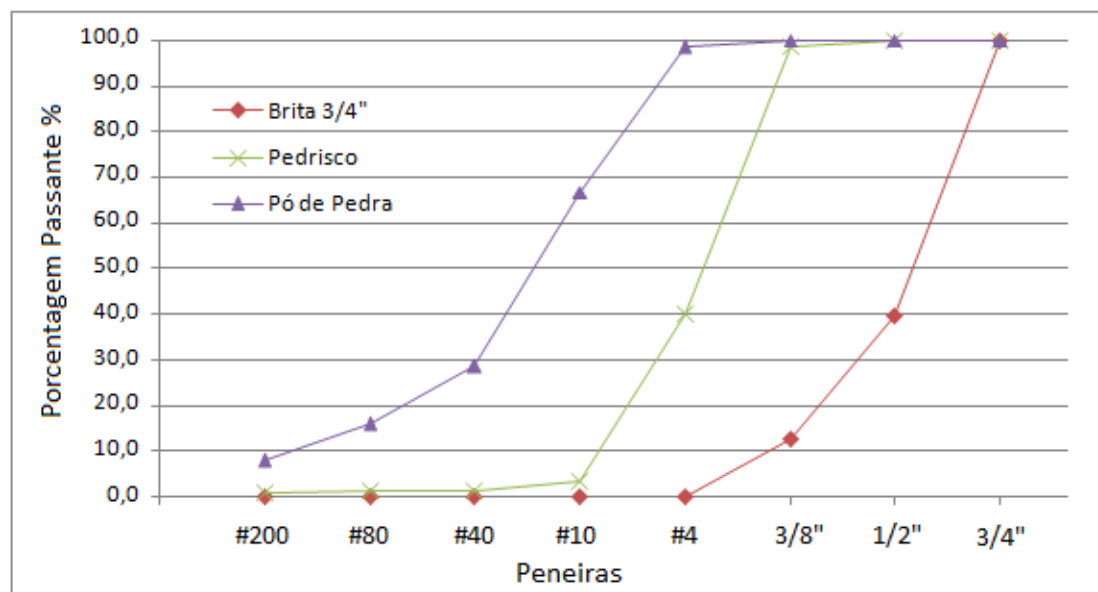
Tabela 2 - Granulometria dos agregados

PENEIRA		Porcentagem passante (%)		
mm	ASTM	BRITA 3/4"	PEDRISCO	Pó de Pedra
19,100	3/4"	100,0	100,0	100,0
12,700	1/2"	39,5	100,0	100,0
9,500	3/8"	12,7	98,7	100,0
4,800	#4	0,2	40,0	98,6
2,000	#10	0,2	3,3	66,7
0,420	#40	0,2	1,5	28,5
0,180	#80	0,2	1,4	16,1
0,075	#200	0,2	1,0	7,9

Fonte: Autor (2015)

Na figura 3 estão representadas as curvas correspondentes das granulometrias da tabela 2.

Figura 3 – Granulometria dos agregados



Fonte: Autor (2015)

4.1.2 Ligantes Asfálticos

4.1.2.1 CAP 50/70

Os resultados dos ensaios do ligante CAP 50/70 constam na tabela 3, os quais foram fornecidos pela empresa Greca Asfaltos.

Tabela 3 - Especificações CAP 50/70

Ensaio	Especificação	Resultado	Unidade
Penetração	50 a 70	62	0,1 mm
Ponto de amolecimento	46 mín	49,2	°C
Viscosidade Brookfield			
135 °C - SP21 20RPM	274 mín	338	cP
150 °C - SP21	112 mín	188	
177 °C - SP21	57 a 285	80	
Ducibilidade a 25 °C	60 mín	> 147	cm
Solubilidade no tricloroetileno	99,5 mín	100	% massa
Ponto de Fulgor	235 mín	>236	°C
Índice de suscetibilidade térmica	(-1,5) a (0,7)	-1,3	N/A
Densidade relativa, 25 °C		1,005	N/A

Fonte: GRECA ASFALTOS, 2015

4.1.2.2 Ecoflex B

Os resultados dos ensaios do ligante Ecoflex B constam na tabela 4, os quais também foram fornecidos pela empresa Greca Asfaltos.

Tabela 4 - Especificações Ecoflex B

Ensaio	Especificação	Resultado	Unidade
Penetração a 25°C	30 - 70	50	0,1 mm
Ponto de amolecimento	55 mín	57	°C
Viscosidade Brookfield a 175 °C, SP 3, 20 RPM	800 - 2000	1850	cP
Ponto de Fulgor	235 mín	>240	°C
Densidade relativa, 25°C		1,02	
Recuperação Elástica	50 mín	68,5	%

Fonte: GRECA ASFALTOS, 2015

4.2 TEMPERATURAS DE MOLDAGEM

As temperaturas utilizadas para moldagem dos corpos de prova constam na tabela 5. Os valores foram recomendados pela empresa Greca Asfaltos.

Tabela 5 - Temperaturas de mistura e compactação

Temperaturas (°C)	Laboratório		Usina e Campo	
	CAP 50/70	Ecoflex B	CAP 50/70	Ecoflex B
Ligante Asfáltico	153	175	150 - 155	170 - 180
Agregado	163	185	160 - 165	180 - 185
Compactação	140	175	135	150

Fonte: GRECA ASFALTOS, 2015

4.3 DOSAGENS MARSHALL

4.3.1 Composição granulométrica

Após caracterização dos materiais que foram utilizados na mistura, chegou-se a uma composição com 20% de brita 3/4", 19% de pedrisco e 61% de pó de pedra, com auxílio de um programa computacional, variando-se os valores de porcentagem dos materiais até chegar-se a composição ideal, obedecendo aos limites exigidos pela especificação do Deinfra para um projeto de CAUQ faixa "C", como demonstra a tabela 6.

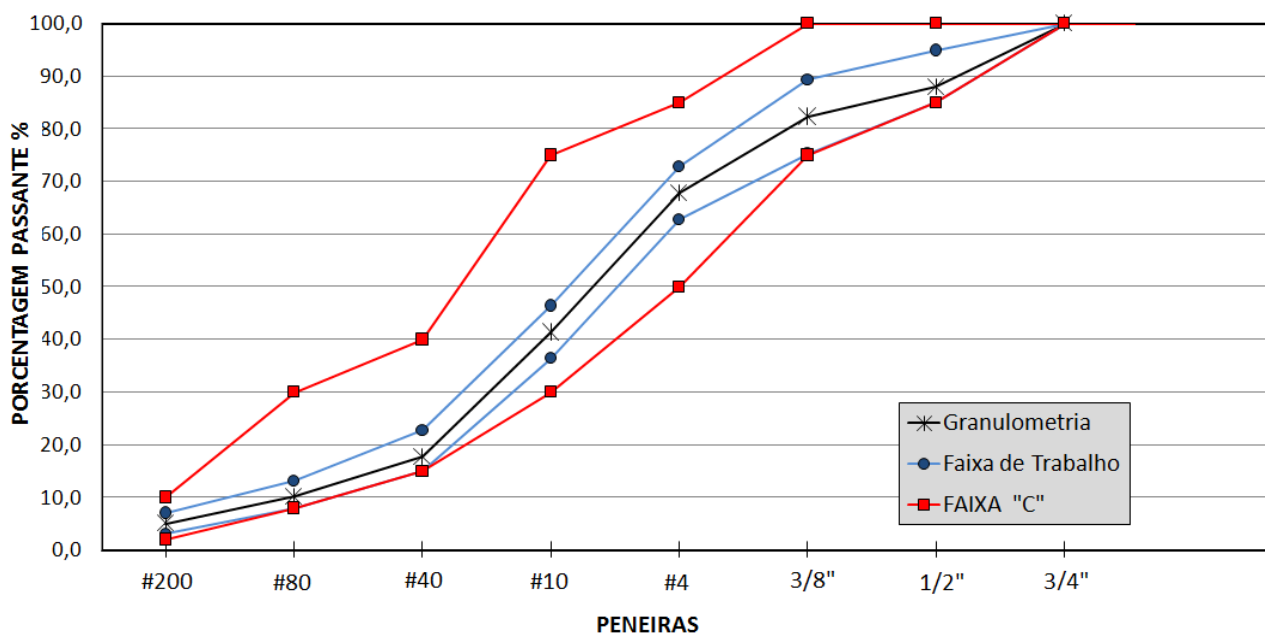
Tabela 6 - Composição dos agregados

COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS								
ESPECIFICAÇÃO DE INFRA					RESULTADO			
Peneiras		CAUQ FAIXA "C" % Passando			Faixa de trabalho % passando			Granulometria
mm	ASTM							
19,100	3/4"	100,0	-	100,0	100,0	-	100,0	100,0
12,700	1/2"	85,0	-	100,0	85,0	-	94,9	87,9
9,500	3/8"	75,0	-	100,0	75,3	-	89,3	82,3
4,800	#4	50,0	-	85,0	62,8	-	72,8	67,8
2,000	#10	30,0	-	75,0	36,4	-	46,4	41,4
0,420	#40	15,0	-	40,0	15,0	-	22,7	17,7
0,180	#80	8,0	-	30,0	8,0	-	13,1	10,1
0,075	#200	5,0	-	10,0	3,0	-	7,0	5,0

Fonte: Autor (2015)

Na figura 4, estão representadas a faixa "C" da especificação, a faixa de trabalho e a curva granulométrica da composição.

Figura 4 - Composição Granulométrica.



Fonte: Autor (2015)

4.3.2 Composição das misturas asfálticas

Com base na granulometria dos materiais que foram utilizados para a composição da massa asfáltica, e tendo em vista que para a moldagem de um corpo de prova são necessários aproximadamente 1200 gramas, pesou-se cada material, descontando-se o peso do ligante, pois o mesmo completa o total necessário. Desta forma obtiveram-se os pesos de ligante e da mistura dos materiais pétreos, para cada teor de betume pré-determinado. Os valores, tanto do betume quanto dos agregados, utilizados na mistura asfáltica, constam na tabela 7.

Tabela 7 - Composição da mistura – CAP 50/70

Teor de Betume (%)	4,00		4,50		5,00		5,50		6,00	
Material:	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.
Pesos (g):	48,0	1.152,0	54,0	1.146,0	60,0	1.140,0	66,0	1.134,0	72,0	1.128,0
Total (g):	1.200,0		1.200,0		1.200,0		1.200,0		1.200,0	

Fonte: Autor (2015)

O mesmo procedimento foi utilizado para a mistura asfáltica com Ecoflex B, cujos valores constam na tabela 8.

Tabela 8 - Composição da mistura – Ecoflex B

Teor de Betume (%)	5,00		5,50		6,00		6,50		7,00	
Material:	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.	Ligan.	Agreg.
Pesos (g):	60,0	1.140,0	66,0	1.134,0	72,0	1.128,0	78,0	1.122,0	84,0	1.116,0
Total (g):	1.200,0		1.200,0		1.200,0		1.200,0		1.200,0	

Fonte: Autor (2015)

Após determinação dos pesos para cada teor, foram realizadas as pesagens e a compactação das amostras, seguindo as especificações de temperaturas de moldagem e compactação demonstrada na tabela 5.

A figura 5 está demonstrando a mistura dos materiais com e sem betume respectivamente, cujos valores constam na tabela 7 e 8.

Figura 5 - Composição das misturas com identificação



Fonte: Autor (2015)

Os corpos de prova foram identificados com a marcação dos teores utilizados, conforme a figura 6, tanto para o CAP 50/70, como para o Ecoflex B respectivamente.

Figura 6 – Corpos de prova com os teores de ligante



Fonte: Autor (2015)

4.4 RESULTADOS DOS PARÂMETROS MARSHALL

Na tabela 9 encontram-se todos os valores dos parâmetros obtidos pelo ensaio Marshall, nos diferentes teores, utilizando-se o ligante CAP 50/70.

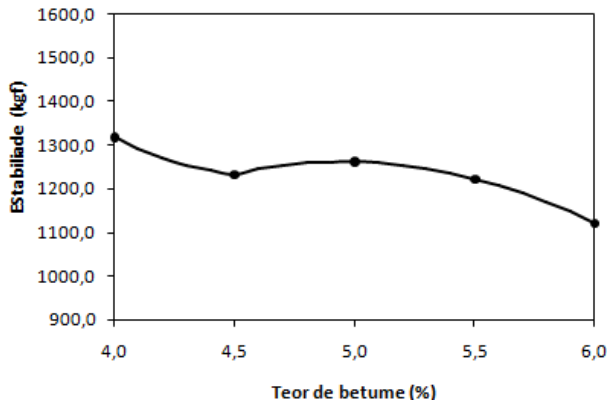
Tabela 9 - Resultados dos ensaios – CAP 50/70

Teor de Betume (%)	Corpo de prova	Densidade aparente (g/cm ³)	Volume de vazios (%)	V.A.M (%)	R.B.V (%)	Estabilidade (Kgf)	Fluência 0,01" (pol.)
4,0	1	2,541	7,76	17,88	56,58	1160,94	8,94
	2	2,534	8,01	18,10	55,73	1367,53	10,91
	3	2,552	7,37	17,53	57,96	1307,62	14,76
	4	2,567	6,84	17,06	59,90	1280,75	13,90
	5	2,559	7,11	17,30	58,88	1478,63	15,24
	Média	2,551	7,42	17,57	57,81	1319,09	12,75
4,5	1	2,579	5,56	17,11	67,48	1449,45	18,07
	2	2,567	5,98	17,48	65,77	1195,94	14,25
	3	2,572	5,79	17,31	66,53	1095,41	13,78
	4	2,570	5,86	17,37	66,26	1189,92	16,69
	5	2,566	6,04	17,53	65,55	1236,94	13,54
	Média	2,571	5,85	17,36	66,32	1233,53	15,27
5,0	1	2,576	4,80	17,62	72,74	1051,49	16,14
	2	2,606	3,69	16,65	77,86	1266,17	16,57
	3	2,599	3,96	16,89	76,55	1292,56	12,20
	4	2,606	3,69	16,65	77,86	1349,23	13,82
	5	2,603	3,82	16,77	77,22	1349,47	11,73
	Média	2,598	3,99	16,92	76,45	1261,79	14,09
5,5	1	2,598	3,15	17,37	81,85	1126,76	14,92
	2	2,611	2,65	16,94	84,37	1318,90	14,09
	3	2,611	2,67	16,95	84,27	1357,69	14,29
	4	2,607	2,81	17,08	83,53	1186,66	12,68
	5	2,603	2,97	17,21	82,75	1124,36	13,90
	Média	2,606	2,85	17,11	83,35	1222,87	13,98
6,0	1	2,607	1,95	17,51	88,88	964,66	16,81
	2	2,606	1,99	17,55	88,67	1202,53	12,48
	3	2,607	1,94	17,50	88,93	1205,21	13,62
	4	2,608	1,90	17,47	89,14	1214,79	14,37
	5	2,593	2,49	17,97	86,15	1019,94	16,22
	Média	2,604	2,05	17,60	88,35	1121,42	14,70

Fonte: Autor (2015)

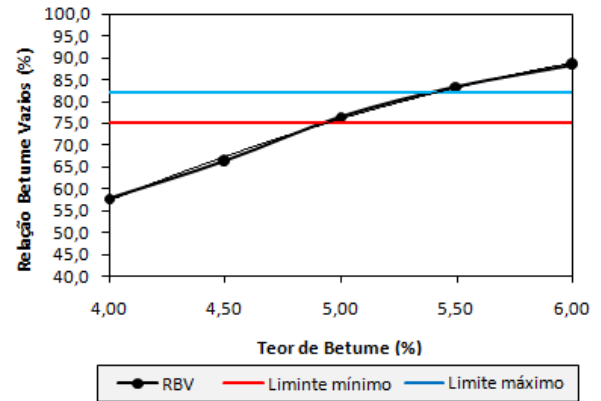
As figuras 7 a 12 representam o comportamento dos parâmetros, graficamente, dos teores utilizados de CAP 50/70 pelos ensaios do método Marshall.

Figura 7 – Teor de Betume x Estabilidade



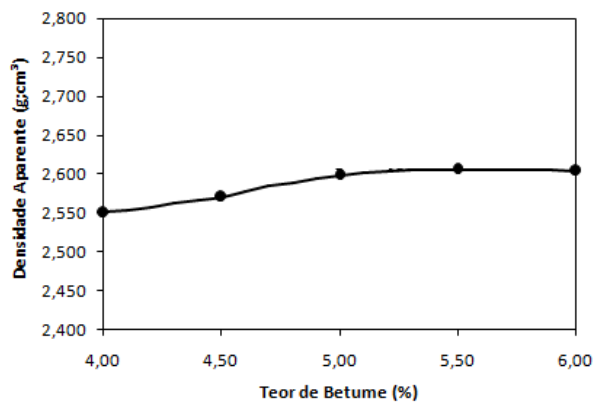
Fonte: Autor (2015)

Figura 8 – Teor de Betume x RBV



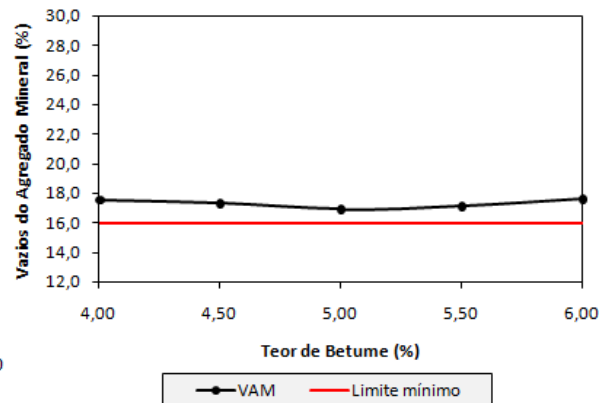
Fonte: Autor (2015)

Figura 9 – T. de Betume x Densidade Aparente



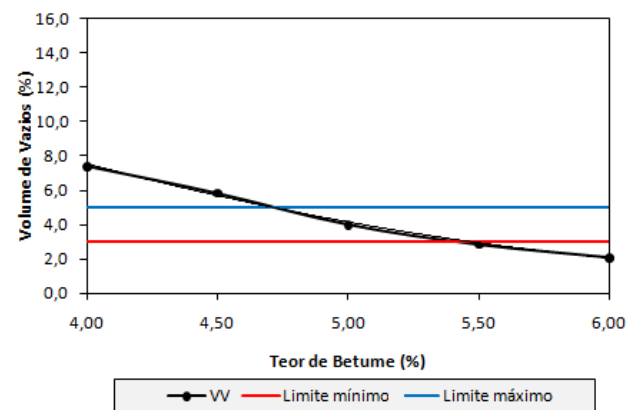
Fonte: Autor (2015)

Figura 10 – T. de Betume x VAM



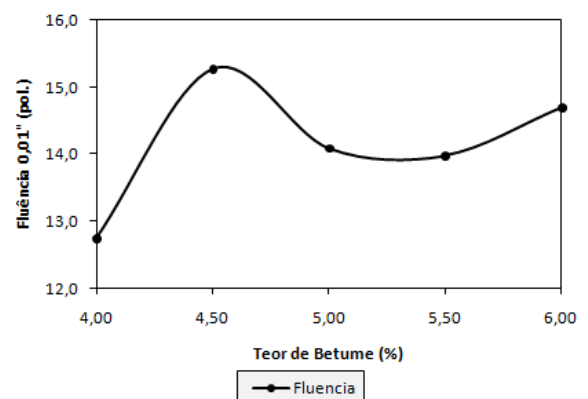
Fonte: Autor (2015)

Figura 11 – Teor de Betume x VV



Fonte: Autor (2015)

Figura 12 – Teor de Betume x Fluência



Fonte: Autor (2015)

Na tabela 10 encontram-se os valores dos parâmetros obtidos pelo ensaio Marshall, nos diferentes teores, utilizando-se o ligante Ecoflex B.

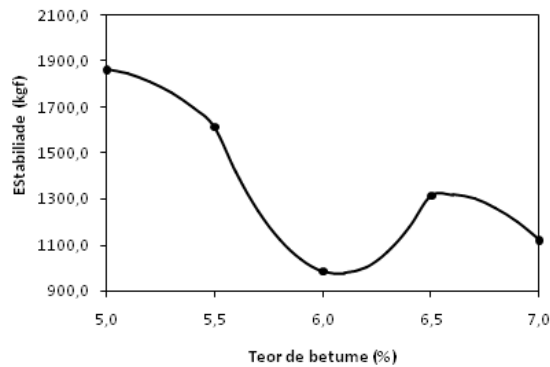
Tabela 10 - Resultados dos ensaios – Ecoflex B

Teor de Betume (%)	Corpo de prova	Densidade aparente (g/cm³)	Volume de vazios (%)	V.A.M (%)	R.B.V (%)	Estabilidade (Kgf)	Fluência 0,01" (pol.)
5,0	1	2,529	6,73	19,13	64,81	1511,49	14,17
	2	2,545	6,13	18,61	67,05	1824,68	12,13
	3	2,526	6,84	19,22	64,42	2070,41	14,80
	4	2,537	6,43	18,87	65,92	1715,29	14,57
	5	2,548	6,02	18,52	67,46	2203,60	13,90
	Média	2,537	6,43	18,87	65,93	1865,09	13,91
5,5	1	2,538	5,59	19,27	71,00	1546,01	12,91
	2	2,538	5,56	19,25	71,10	2237,99	13,98
	3	2,549	5,17	18,91	72,67	1433,76	15,67
	4	2,554	4,97	18,74	73,48	1814,93	14,06
	5	2,537	5,62	19,30	70,88	1040,96	14,69
	Média	2,543	5,38	19,10	71,83	1614,73	14,26
6,0	1	2,489	6,62	21,26	68,87	790,22	16,38
	2	2,535	4,88	19,79	75,35	1195,81	13,94
	3	2,544	4,54	19,50	76,73	909,65	14,02
	4	2,539	4,73	19,67	75,94	997,00	19,96
	5	2,542	4,60	19,55	76,48	1039,77	12,60
	Média	2,530	5,07	19,95	74,68	986,49	15,38
6,5	1	2,553	3,38	19,65	82,79	1107,90	12,40
	2	2,560	3,13	19,44	83,90	1386,87	15,91
	3	2,577	2,48	18,90	86,86	1301,42	16,54
	4	2,572	2,65	19,04	86,09	1493,71	13,58
	5	2,580	2,35	18,79	87,49	1287,48	20,20
	Média	2,568	2,80	19,17	85,43	1315,48	15,72
7,0	1	2,500	4,59	21,74	78,90	951,50	20,71
	2	2,561	2,27	19,84	88,56	1121,17	17,64
	3	2,562	2,20	19,79	88,86	1035,11	13,98
	4	2,575	1,70	19,37	91,23	1374,43	19,65
	5	2,566	2,04	19,66	89,61	1120,75	19,13
	Média	2,553	2,56	20,08	87,43	1120,59	18,22

Fonte: Autor (2015)

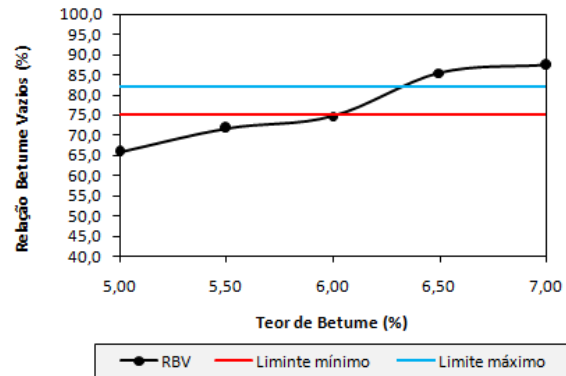
As figuras 13 a 18 representam o comportamento dos parâmetros, graficamente, dos teores utilizados de Ecoflex B pelos ensaios do método Marshall.

Figura 13 – Teor de Betume x Estabilidade



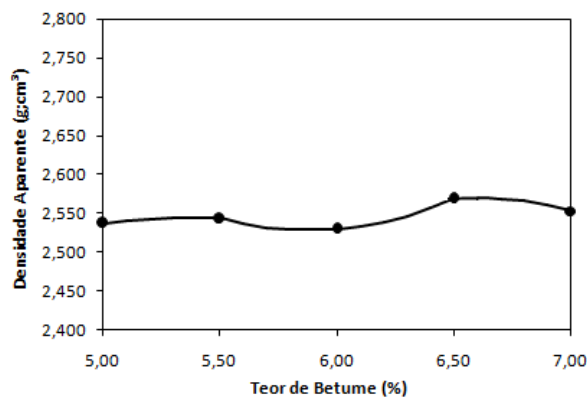
Fonte: Autor (2015)

Figura 14 – Teor de Betume x RBV



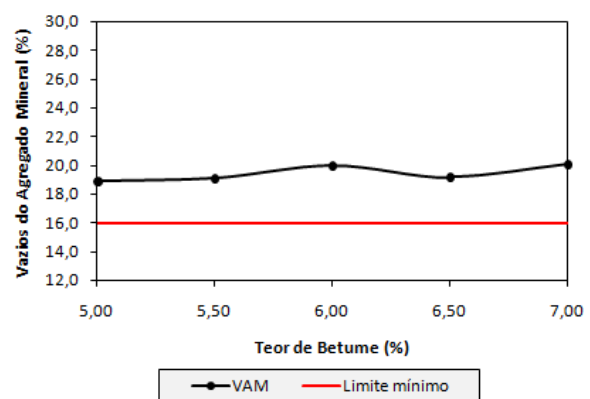
Fonte: Autor (2015)

Figura 15 – T. de Betume x Densidade Aparente



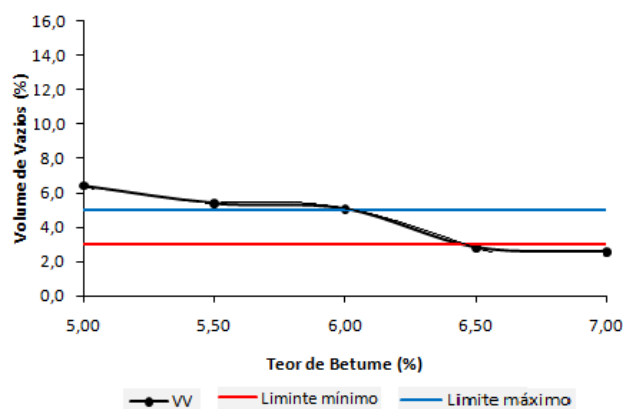
Fonte: Autor (2015)

Figura 16 – T. de Betume x VAM



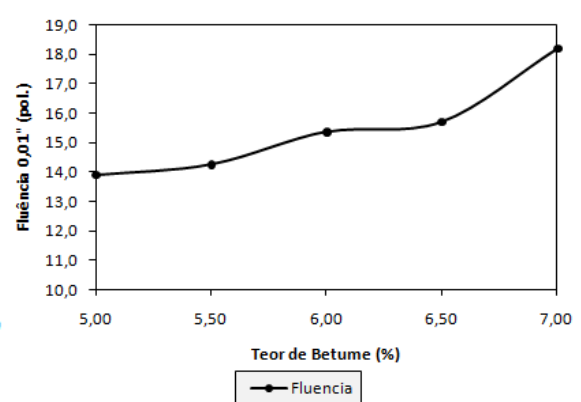
Fonte: Autor (2015)

Figura 17 – Teor de Betume x VV



Fonte: Autor (2015)

Figura 18 – Teor de Betume x Fluência



Fonte: Autor (2015)

A tabela 11 demonstra os valores máximos e mínimos determinados por norma, para obtenção do teor de betume ideal para este projeto.

Tabela 11 – Parâmetros máximos e mínimos

Volume de vazios (%)		Vazios do agregado mineral (%)		Relação betume vazios (%)		Estabilidade (Kgf)	
Mínimo	3,0	Mínimo	16,0	Mínimo	75,0	Mínimo	800,0
Máximo	5,0	Máximo	-	Máximo	82,0	Máximo	-

Fonte: Fonte: Autor (2015)

Analisando todos os resultados apresentados nas tabelas e figuras anteriores, determinaram-se como sendo os teores ótimos das misturas os valores de 5,1% e 6,2% para o CAP 50/70 e Ecoflex B respectivamente.

4.5 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Definidos os teores ótimos das misturas, foram moldados mais cinco corpos de prova para cada teor, para a realização do ensaio de tração por compressão diametral. A figura 19 demonstra o rompimento dos corpos de prova com a utilização de uma prensa eletrônica.

Figura 19 – Ensaio de tração



Fonte: Autor (2015)

Os valores obtidos no ensaio de compressão diametral, com os teores de 5,1% e 6,2%, para as misturas com CAP 50/70 e Ecoflex B, respectivamente, constam na tabela 12.

Tabela 12 – Resultados dos teores ótimos das misturas

Ligante	Teor de Betume (%)	Densidade aparente (g/cm ³)	Carga de Ruptura (Kgf)	Resistência a tração por compressão diametral (MPa)
CAP 50/70	5,1	2,577	688,00	0,75
		2,588	731,00	0,80
		2,593	732,00	0,80
		2,579	604,00	0,66
		2,573	741,00	0,81
	Média	2,582	699,20	0,76
Ecoflex B	6,2	2,579	592,00	0,65
		2,571	559,00	0,62
		2,575	450,00	0,49
		2,569	559,00	0,61
		2,570	552,00	0,60
	Média	2,573	542,40	0,60

Fonte: Autor (2015)

Verificou-se que tanto a mistura com o ligante CAP 50/70 e Ecoflex B atingiram uma resistência a tração mínima de 0,60 MPa, especificada pela norma DEINFRA-SC-ES-P-05B/05.

5. CONCLUSÃO

Com os procedimentos realizados nesta pesquisa, chegaram-se as seguintes conclusões:

- Os agregados na mistura com o ligante CAP 50/70 necessitou de um melhorador de adesividade para a sua utilização, devido das características do mesmo.
- A mistura dos agregados com o ligante modificado com borracha Ecoflex B, não necessitou a aplicação do melhorador de adesividade em sua composição, devido à maior viscosidade.

- O teor ideal das misturas asfálticas com o ligante Ecoflex B foi superior ao do CAP 50/70 em 1,1%, devido a sua maior viscosidade, onde a película de betume que envolve o agregado é mais espessa.
- Os dois projetos de misturas asfálticas satisfizeram os parâmetros mínimos estipulados pelas normas.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576**: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 14756**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade cinemática. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6560**: Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6293**: Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6296**: Produtos betuminosos semissólidos - Determinação da massa específica e densidade relativa. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 11341**: Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15529**: Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2017.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.

Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006. 501 p.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRA-ESTRUTURA - DEINFRA-SC. **Camadas de misturas asfálticas usinadas a quente - com asfalto borracha**: DEINFRA-SC-ES-P-05B/05. Santa Catarina, 2005.

FONTES, Liseane. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. 2009. 545p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Univ. do Minho, Portugal. Univ. Fed. de Santa Catarina, Florianópolis.

MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **DNER-ME 083/98**: Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

_____. **DNER-ME 054/97**: Equivalente de areia. Rio de Janeiro: IPR, 1997.

_____. **DNER-ME 078/94**: Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

_____. **DNER-ME 084/95**: Agregado miúdo – determinação da densidade real. Rio de Janeiro: IPR, 1995.

_____. **DNER-ME 085/94**: Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

_____. **DNER-ME 081/98**: Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

_____. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro: IPR, 1995.

_____. **DNER-ME 117/94**: Misturas betuminosas – determinação da densidade aparente. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

_____. **DNER-ME 138/09**: Pavimentos flexíveis - Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

NLT 329/91. **Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados**: NLT 329. Madrid : Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Espanha, 1991.