

AVALIAÇÃO DO TIPO DE LIGANTE ASFÁLTICO E DA GRANULOMETRIA NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE ALGUMAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Elias Roumanos ¹; Caio Rubens Gonçalves Santos ²

¹ Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. Este trabalho teve como objetivo avaliar as vantagens e desvantagens de utilizar-se asfalto modificado com polímero em misturas densas com agregado graúdo ao invés de asfalto convencional não modificado. Para o experimento foram moldados vinte e quatro corpos-de-prova com asfalto convencional (CAP-50/70) e vinte e quatro corpos-de-prova com asfalto modificado (POLIFLEX 55/75) e avaliados à luz dos ensaios Marshall, resistência à tração por compressão diametral, dano por umidade induzida e módulo de resiliência utilizando o ensaio de compressão diametral de cargas repetidas. Os resultados dos ensaios Marshall acusaram melhor desempenho das misturas com asfalto modificado por polímero, os valores das densidades aparentes e das relações betume/vazios foram maiores para as misturas com asfalto convencional. As relações MR/σ_t encontradas para as ambas as misturas sugerem, a princípio, um melhor comportamento para as misturas modificadas. Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral detectaram uma performance superior das misturas com asfalto convencional, entretanto, para as demais propriedades como fluência e estabilidade, as misturas com asfalto modificado apresentaram desempenho superior.

1. Introdução

No Brasil, o transporte rodoviário corresponde a mais de 62% do volume de toda a carga movimentada e é o principal meio de transporte de passageiros no tráfego do país, contribuindo com quase 70% de nosso PIB (CNT, 2020). No entanto a condição das nossas ruas e rodovias está longe do ideal, sendo que a grande maioria está em péssimo estado devido à falta de manutenção e baixa qualidade do asfalto. Pensando nisso a introdução e utilização de ligante modificado por polímero surgiu como uma tentativa de solucionar este problema. Com um ligante convencional, o asfalto torna-se rígido e quebradiço em baixas temperaturas, ficando sujeito assim a trincamentos; torna-se fluído em altas temperaturas, causando deformações plásticas ao pavimento e possui maior tendência ao envelhecimento (DNIT, 2006). Já com um ligante modificado por polímero, temos uma melhora na suscetibilidade a oxidação; um aumento do ponto de amolecimento e da viscosidade; uma redução na penetração de fluidos; um aumento do comportamento elástico e redução do fluxo viscoso e um aumento da ductibilidade e do ponto de ruptura às baixas temperaturas. (BERNUCCI et al, 2008). O polímero que será avaliado na modificação do ligante é o SBS (Styrene-butadiene-styrene ou Estireno-Butadieno-Estireno em português).

2. Apresentação dos Materiais.

3.1 Agregados: o agregado graúdo e a parte de finos selecionados são a pedra britada mais conhecida como brita, classificado em peneira vibratória por faixas.

A distribuição granulométrica escolhida foi a “faixa III” da Especificação Técnica ‘CONCRETO ASFÁLTICO’ (ET-DE-P00/027).

Peneira de Malha Quadrada		Designação				Tolerâncias
		I	II	III	IV	
ASTM	mm	% em Massa, Passando				
2"	50,0	100	-	-	-	-
1 ½"	37,5	90 – 100	100	-	-	± 7%
1"	25,0	75 – 100	90 – 100	-	-	± 7%
¾"	19,0	60 – 90	80 – 100	100	-	± 7%
½"	12,5	-	-	90 – 100	-	± 7%
3/8"	9,5	35 – 65	45 – 80	70 – 90	100	± 7%
Nº 4	4,75	25 – 50	28– 60	44 – 72	80 – 100	± 5%
Nº 10	2,0	20 – 40	20 – 45	22 – 50	50 – 90	± 5%
Nº 40	0,42	10 – 30	10 – 32	8 – 26	20 – 50	± 5%
Nº 80	0,18	5 – 20	8 – 20	4 – 16	7 – 28	± 3%
Nº 200	0,075	1 – 8	3 – 8	2 – 10	3 – 10	± 2%
Camadas		Ligação (<i>Binder</i>)	Ligação ou Rolamento	Rolamento	Reperfilagem ^(*)	
Variação do teor de ligante		3,5 – 5,0	4,0 – 5,5	4,5 – 6,5	4,5 – 7,0	
Espessura máxima cm		6,0	6,0	6,0	3,0	

Figura 1 Faixa III da Especificação Técnica em destaque

ASTM	mm	% em Massa, Passando	% Escolhida	% Retida	% de cada faixa	Corpo de prova (g)
3/4"	19	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90-100	95	5	5	60
3/8"	9,5	70-90	80	20	15	180
Nº 4	4,75	44-72	58	42	22	264
Nº 10	2	22-50	36	64	22	264
Nº 40	0,42	8-26	17	83	19	228
Nº 80	0,18	4-16	10	90	7	84
Nº 200	0,075	2-10	6	94	4	48
Soma:					94	1128
finos + ligante:						72

Figura 2 Massa em gramas de cada peneira que deve ser colocada em um corpo de prova

3.2 Ligantes: Os asfaltos empregados na pesquisa foram um convencional do tipo CAP 50/70 e um modificado com polímero SBS, o Poliflex B 55/75

Ensaio:	Ligante:	
	CAP 50/70	POLIFLEX 55/75
Ponto de amolecimento	45,05°C	50,25°C
Penetração	63,2 mm	53,8 mm
Recuperação Elástica	23%	83,25%
Viscosidade (135 °C, 30 rpm)	501,7 cP	362,2 cP

Figura 3 Características Físicas dos Ligantes

3. Ensaios Realizados:

4.1 Ensaio Marshall (DNER-ME 043/95): o Ensaio Marshall tem como seus objetivos principais a análise da Estabilidade e Fluência do corpo de prova, visando identificar o Teor Ótimo de ligante para a mistura. As etapas do Ensaio Marshall são: compactação dos corpos de prova com diferentes teores de ligante, após o esfriamento por completo dos corpos de prova moldados, temos a submersão destes na água a 60°C por 30 minutos e pôr fim a compressão mecânica na prensa Marshall que irá pressionar o molde e monitorar a carga exercida sobre ele até que o corpo de prova se deforme ou rompa, medindo assim a estabilidade e a fluência.

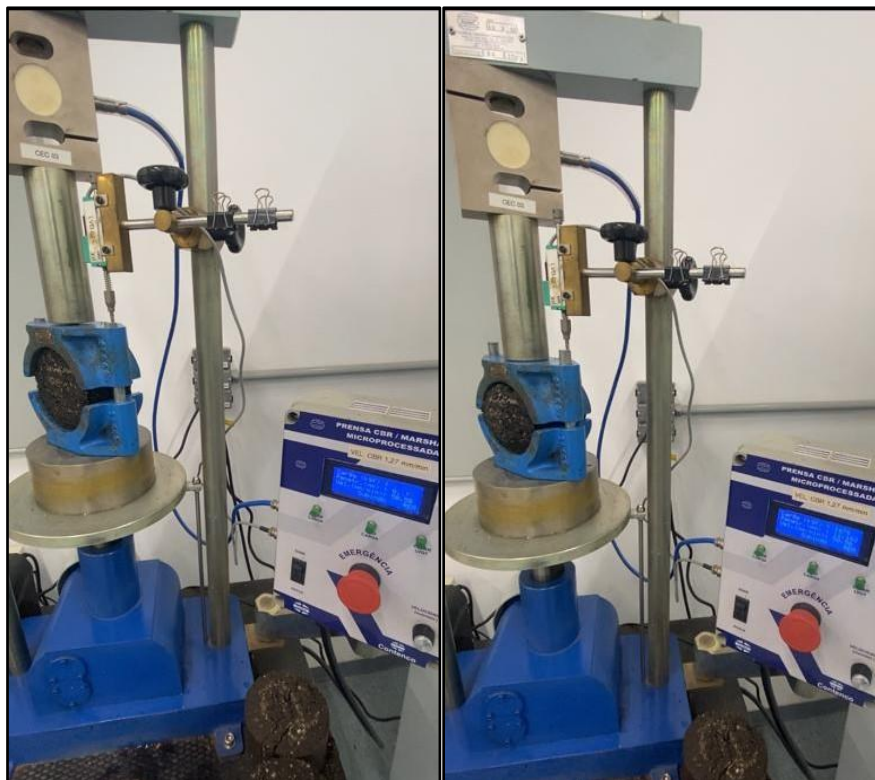


Figura 4 Ensaio Marshall antes e depois da ruptura do corpo de prova pela prensa hidráulica

4.2 Resistência à tração por compressão diametral (DNIT136/2018-ME): Neste ensaio foi utilizada a mesma prensa Marshall, mas neste caso com ajuste automático de velocidade e com um outro módulo onde se posiciona o corpo de prova, adaptado para que a carga de compressão seja aplicada ao longo do eixo diametral dos corpos de prova. Antes da execução do ensaio, os corpos de prova são estabilizados a 25°C por mais ou menos uma hora, o prato da prensa foi ajustado e o corpo-de-prova corretamente posicionado, aplica-se então uma carga até atingir a ruptura fazendo a leitura e a seguir calcula-se a carga de ruptura pela formula:

$$\sigma_T = \frac{2 * F}{\pi * d * h}$$

Onde:

σ_T = resistência à tração, MPa

F = carga de ruptura, N

d = diâmetro do corpo-de-prova, mm

h = altura do corpo-de-prova, mm



Figura 5 Prensa hidráulica para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral

4.3 Dano por umidade induzida (DNIT 180/2018 – ME): neste ensaio são preparados 6 corpos de prova para cada tipo de ligante, 6 de ligante asfáltico comum e 6 de ligante asfáltico com polímero neste caso. Destes 6 corpos de prova de cada ligante, 3 serão ensaiados na condição seca em resistência à tração indireta, e os outros 3 passarão por uma série de condicionamentos: serão submetidos à saturação em vácuo por água até atingirem um valor entre 55% e 80% de grau de saturação, depois um ciclo de congelamento à -18 °C por 16 horas, seguido por submersão em água morna á 60 °C por 3 horas, para depois serem testados em resistência a tração. Os índices numéricos resultantes das propriedades de resistência à tração indireta são obtidos pela comparação dos dois grupos: seco e condicionado.

O dano por umidade induzida é definido como a razão entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova condicionados e não condicionados:

$$RRT = \frac{RT_c}{RT} * 100\%$$

Onde:

RRT = razão de resistência à tração retida

RT_c = média da resistência à tração por compressão diametral de três corpos de prova que sofreram condicionamento

RT = média da resistência à tração por compressão diametral de três corpos de prova que não sofreram condicionamento



Figura 6 Bomba de vácuo para a saturação dos corpos de prova

4.4 Módulo de Resiliência utilizando o ensaio triaxial de cargas repetidas (DNIT 135/2018 – ME): Este ensaio determina o módulo de resiliência de misturas asfálticas, o módulo instantâneo e o módulo total e pode determinar o coeficiente de Poisson, utilizando o equipamento de compressão diametral de carga repetida. Para se realizar o ensaio é necessário primeiro determinar a resistência à tração por

compressão diametral de pelo menos 3 corpos de prova de mesmas características da amostra descrita. previamente ao ensaio de carga repetida, os corpos de prova devem ser condicionados à 25 °C na câmara de temperatura por um período de 4 horas. posteriormente o corpo de prova deve ser colocado no dispositivo de carregamento, alinhado e centralizado verticalmente entre os frisos de carga. aplicar primeiramente 50 ciclos de carga para teste e calibração e depois os 1000 ciclos do ensaio.



Figura 7 Modelo de montagem do ensaio triaxial de cargas repetidas

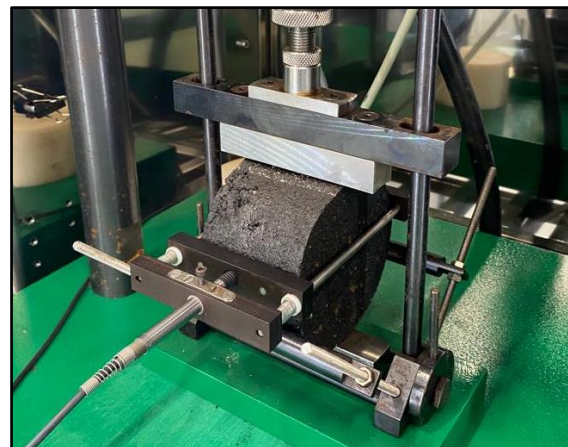


Figura 8 Demonstração do corpo de prova pronto para ensaio

4. Resultados e Discussão:

5.1 Ensaio Marshall determinação do teor ótimo de ligante asfáltico: Os teores ótimos de ligante foram encontrados a partir da análise dos gráficos de Volume de Vazios, Relação betume/vazios e Densidade Aparente. Notou-se que os teores ótimos obtidos segundo esse critério são iguais a 5% e um valor entre 5,8 e 6%, respectivamente, para o asfalto convencional (CAP-50/70) e para o asfalto modificado (POLIFLEX 55/75)

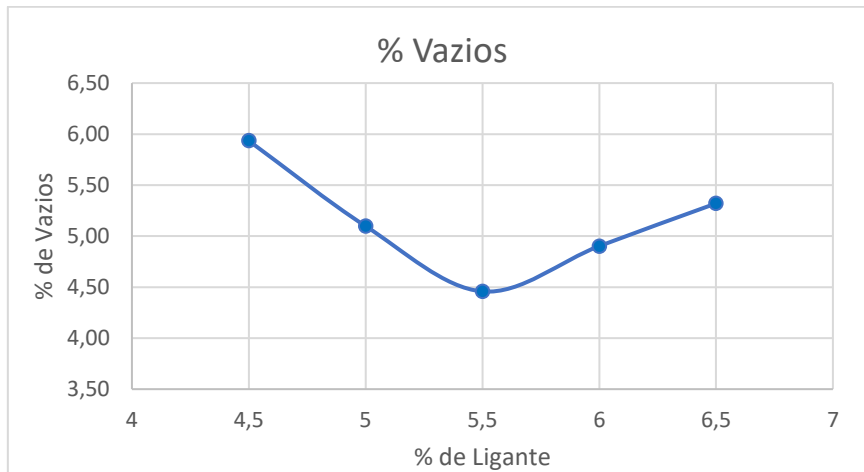


Figura 9 Gráfico de % Volume de Vazios pelo Teor do Ligante Convencional

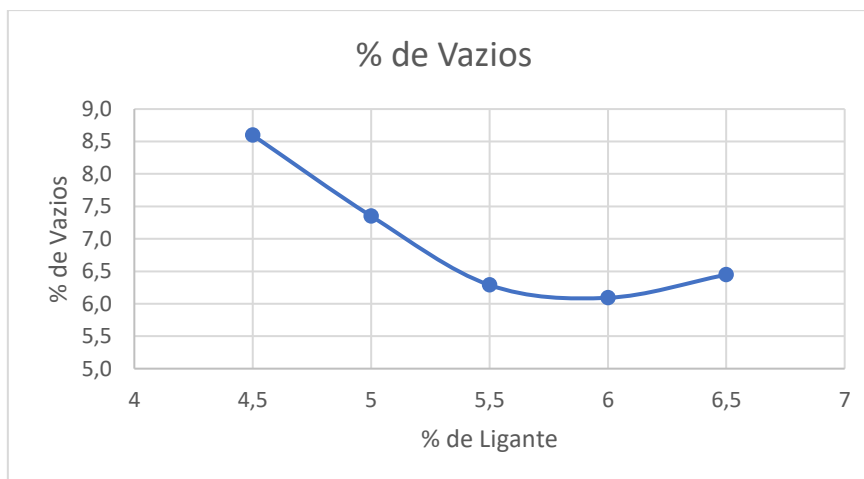


Figura 10 Gráfico de % Volume de Vazios pelo Teor do Ligante Modificado

Observando-se as FIGURAS 9 e 10, nota-se que os teores ótimos obtidos segundo esse critério (VV 4%) são iguais a 5,5% e 5,85%, respectivamente, para o asfalto convencional (CAP 50/70) e para o asfalto modificado (POLIFLEX 55/75).

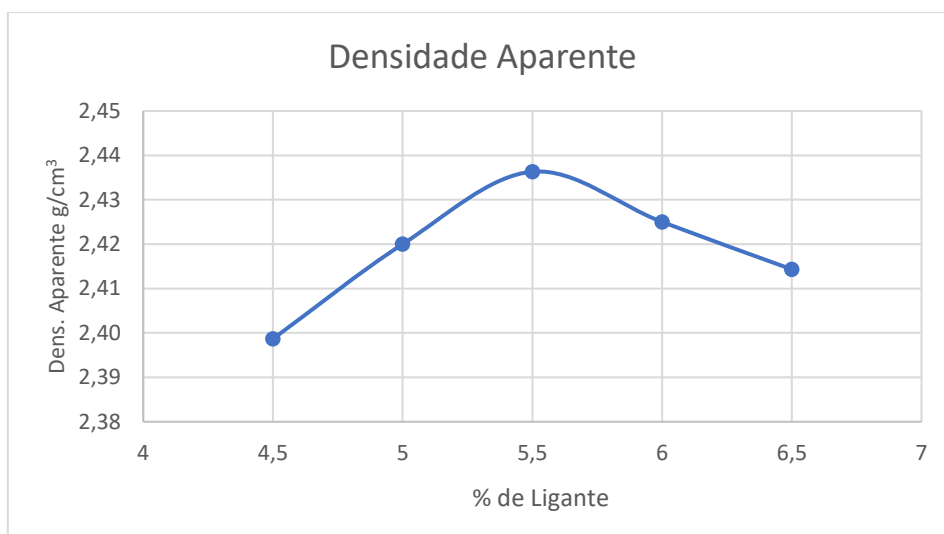


Figura 11 Gráfico de Densidade Aparente pelo Teor do Ligante Convencional

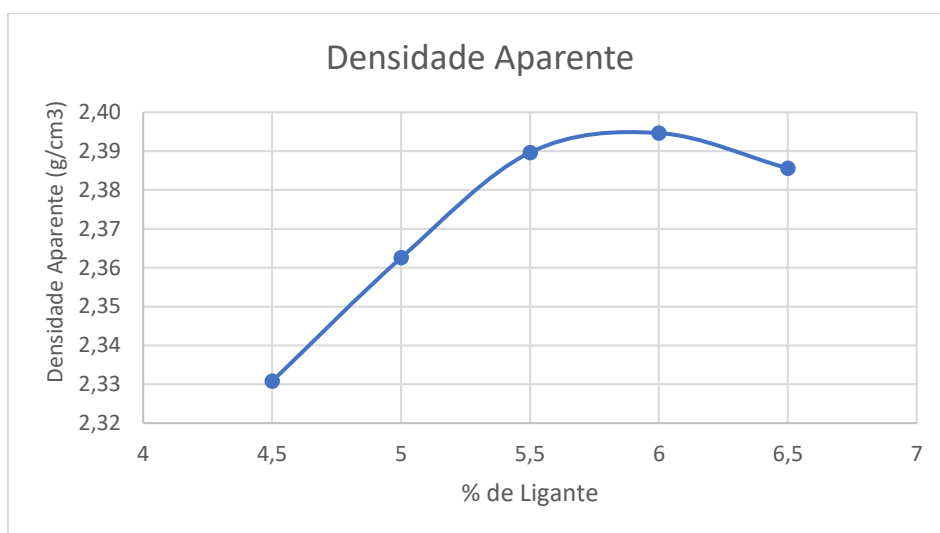


Figura 12 Gráfico de Densidade Aparente pelo Teor do Ligante Modificado

Nas FIGURAS 11 e 12 são apresentadas as curvas de variação das densidades aparentes das misturas em função dos teores de asfalto e pode-se notar que as máximas densidades ocorrem para um teor de ligante igual a 5,5 % para o Ligante Convencional e 5,85 % aproximadamente para o Ligante Modificado.

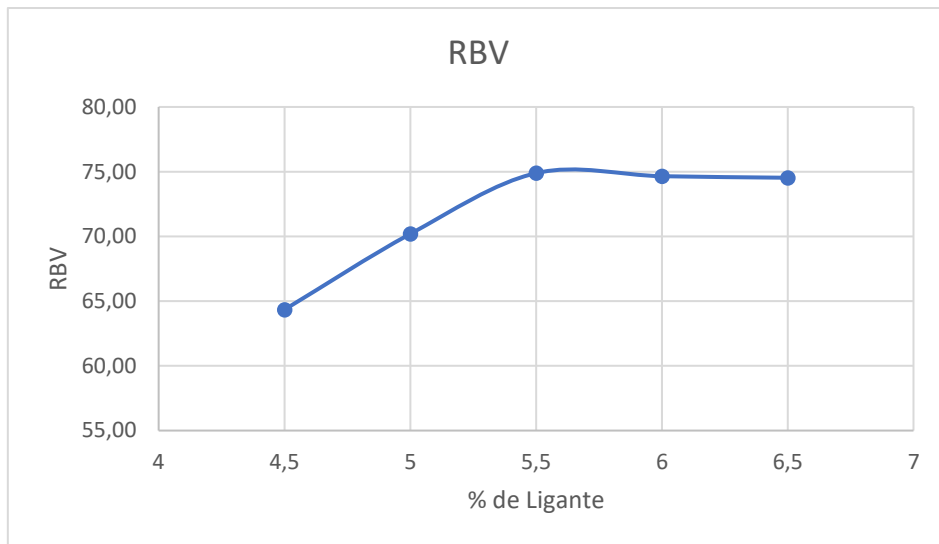


Figura 13 Gráfico da Relação Betume/Vazios pelo Teor do Ligante Convencional

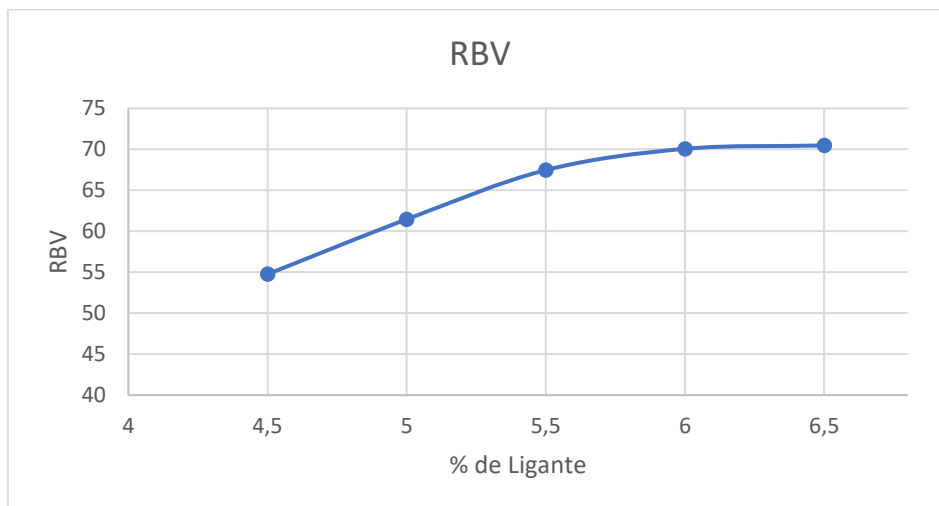


Figura 14 Gráfico da Relação Betume/Vazios pelo Teor do Ligante Modificado

Nas FIGURAS 13 e 14 estão apresentadas as curvas de variação da relação betume/vazios em função dos teores de ligante, para as duas misturas. Nota-se que, para os respectivos teores ótimos, o valor da relação betume/vazios encontrado para os corpos-de-prova moldados com asfalto convencional é de 75% e para os corpos-de-prova moldados com asfalto modificado, de 70%.

5.2 Ensaio Marshall – Estabilidade e Fluência: As FIGURAS 15 e 16 contêm os resultados médios obtidos nos ensaios Marshall para a estabilidade (E) e a fluência (F), das misturas com asfalto convencional (CAP 50/70) e com asfalto modificado (POLIFLEX 55/75), respectivamente.

Teor (%)	Dens. Apar. -	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
4,0	2,399	1866,64	2,81
4,5	2,420	1408,51	2,49
5,0	2,436	1489,36	3,41
5,5	2,425	1596014	3,40
6,0	2,414	1215084	3,71

Figura 15 Resultados médios dos ensaios Marshall para as misturas com asfalto convencional

Teor (%)	Dens. Apar. -	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
4,0	2,331	2298,37	4,08
4,5	2,363	2049,37	3,25
5,0	2,391	2229,82	4,04
5,5	2,395	1936,44	4,06
6,0	2,386	2085,47	5,39

Figura 16 Resultados médios dos ensaios Marshall para as misturas com asfalto modificado

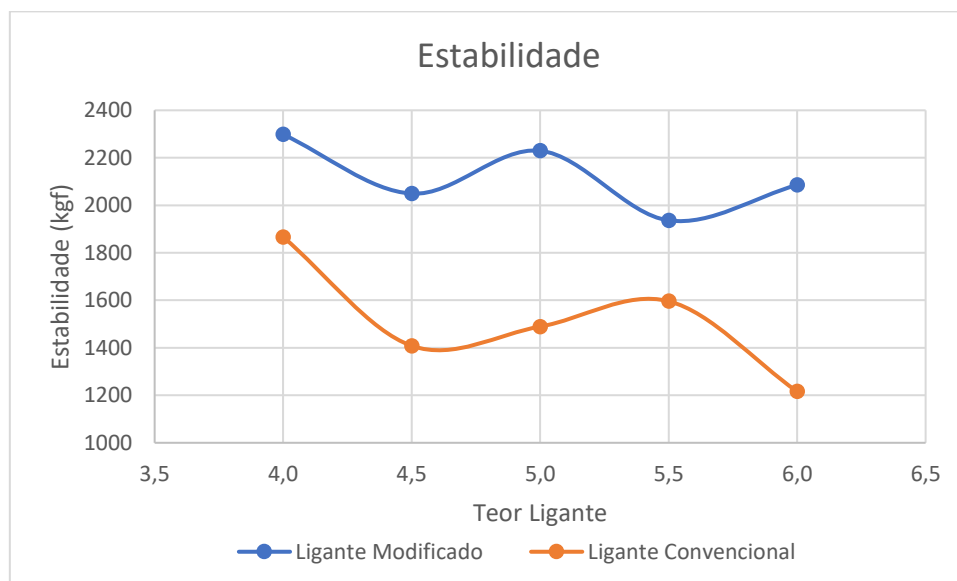


Figura 17 Valores médios das estabilidades Marshall para as misturas moldadas com asfalto convencional e com asfalto modificado

Na FIGURA 17 é apresentado o gráfico com as variações das estabilidades Marshall para os dois tipos de misturas, onde nota-se que as com asfalto modificado apresentaram valores maiores para todos os teores de asfalto. Pode-se concluir, provisoriamente, que a utilização do asfalto com polímero causa aumento do valor da estabilidade Marshall.

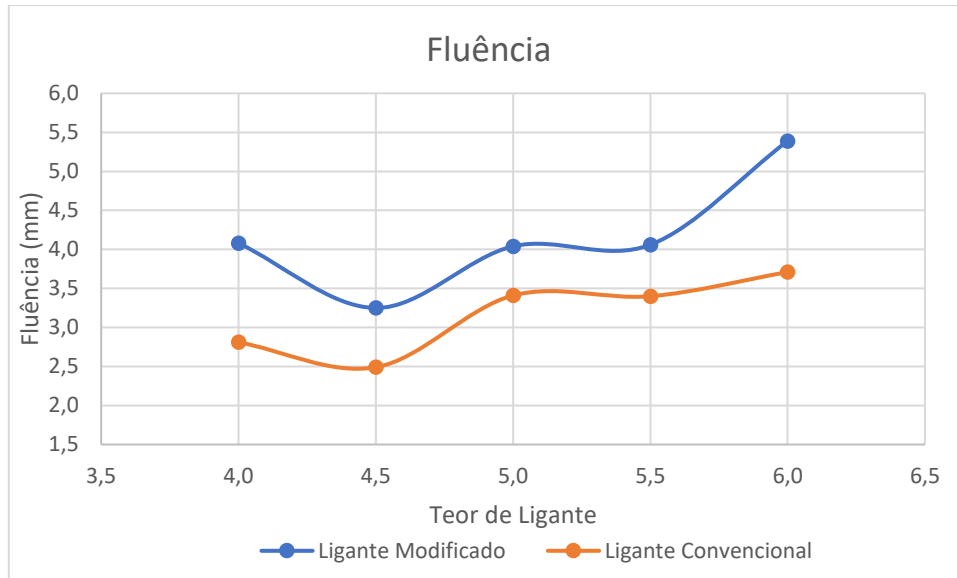


Figura 18 Valores médios das fluências Marshall para as misturas moldadas com asfalto convencional e com asfalto modificado

Na FIGURA 18 são apresentadas as curvas das fluências Marshall para os dois tipos de ligantes. Observando-se essas curvas verifica-se que, para todos os teores a fluência apresentou-se maior para o asfalto modificado.

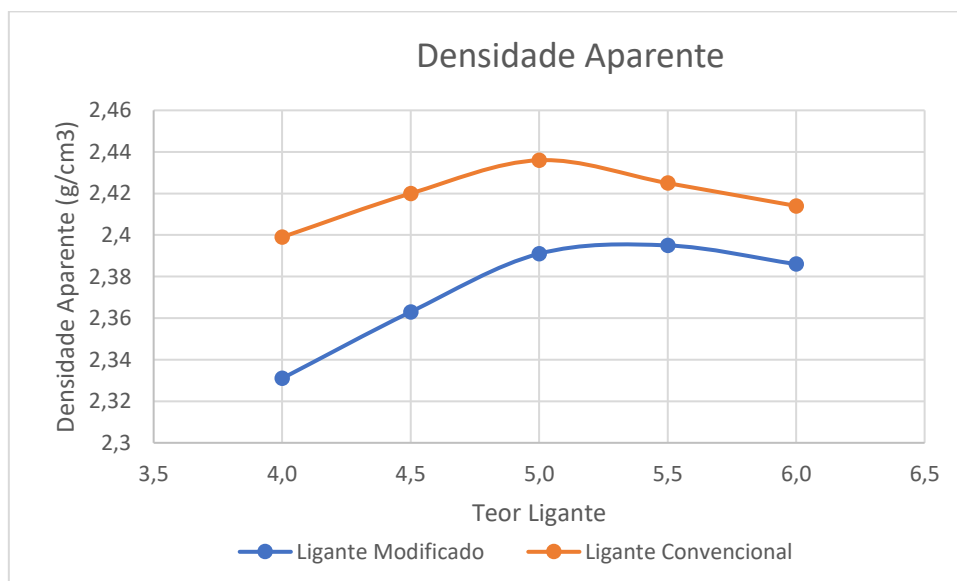


Figura 19 Valores médios das densidades aparentes para as misturas com asfalto convencional e modificado.

Vê-se na FIGURA 19 que há uma diferença de apenas 0,1% entre os teores de asfalto que indicam os pontos máximos de densidade nas duas curvas em análise e que as misturas com ligante convencional apresentaram densidades maiores do que as com ligante com polímero, provavelmente por terem sido compactadas a temperaturas maiores.

5.3 Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral: Neste ensaio moldamos 3 corpos de prova para cada tipo de ligante com a porcentagem de ligante ideal encontrada pelo Ensaio Marshall realizado anteriormente.

corpo de prova	Altura	Diametro	volume	Tracao	Tracao	rt
-	mm	mm	cm3	kgf	N	Mpa
1	62,57	101,44	505,68	1396,00	13694,76	1,373
2	62,82	101,60	509,30	1400,00	13734,00	1,366
3	62,22	101,90	507,42	1391,00	13645,71	1,375
rt med						1,37

Figura 20 Resultados médios das resistências à tração por compressão diametral para as misturas moldadas com asfalto convencional

corpo de prova	Altura	Diametro	volume	Tracao	Tracao	rt
-	mm	mm	cm3	kgf	N	Mpa
1	62,60	100,90	500,55	1377,00	13508,37	1,282
2	65,00	100,65	517,17	1240,00	12164,40	1,238
3	62,70	101,50	507,33	1273,00	12488,13	1,272
rt med1						1,26

Figura 21 Resultados médios das resistências à tração por compressão diametral para as misturas moldadas com asfalto modificado

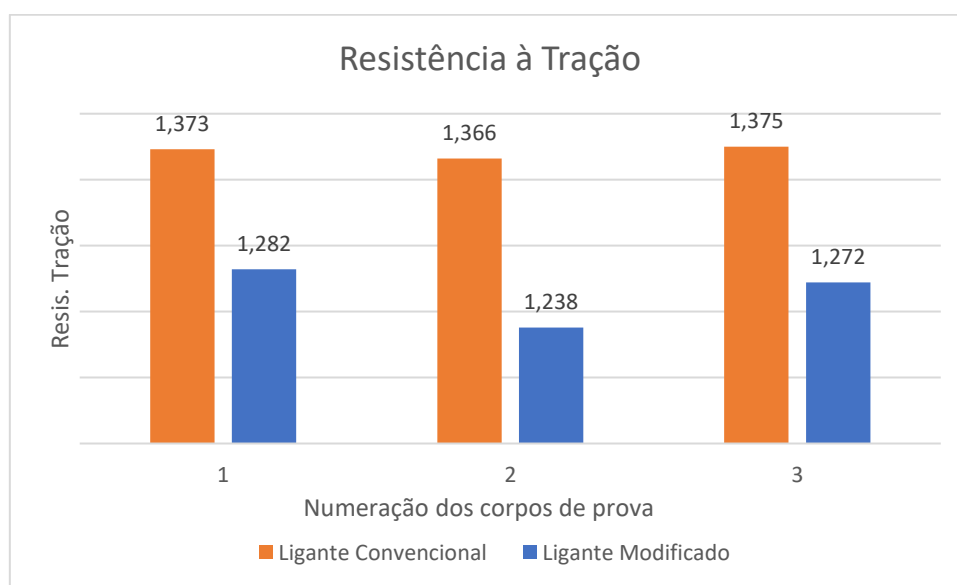


Figura 22 Valores médios da resistência à tração para misturas com asfaltos convencional e modificado

As FIGURAS 21, 22 e 23 mostram os valores médios da resistência à tração (rt) para cada corpo de prova ensaiado (1, 2 e 3) para as duas misturas estudadas nesta pesquisa. Nota-se que a de resistência à tração para a mistura com asfalto modificado tem seus pontos inferiores aos pontos de resistência à tração para a mistura com asfalto convencional

5.4 Determinação do dano por umidade induzida: Neste ensaio moldamos outros 3 corpos de prova para cada tipo de ligante, porém diferentemente do ensaio anterior, antes de realizarmos o rompimento para encontramos a resistência a tração, os corpos de prova foram submetidos a um condicionamento em temperaturas altas e baixas extremas.

corpo de prova	Altura	Diametro	volume	saturacao	Tracao	Tracao	rt
-	cm	cm	cm ³	%	kgf	N	Mpa
7	6,38	10,16	517,49	57,58	1231,00	12076,11	1,21
8	6,27	10,13	504,93	54,68	1298,00	12733,38	1,24
9	6,28	10,17	510,47	60,98	1244,30	12206,58	1,23
rt med							1,23

Figura 23 Resultados médios das resistências à tração dos corpos de prova de asfalto convencional após o condicionamento

Comparando com os resultados com os corpos de prova não condicionados, o asfalto convencional obteve um RRT de $\frac{1,23}{1,37} * 100 = 89,41\%$

corpo de prova	Altura	Diametro	volume	saturacao	Tracao	Tracao	rt
-	mm	mm	cm ³	%	kgf	N	Mpa
4	62,10	101,05	498,03	55,85	1088,00	10673,28	1,05
5	64,10	101,50	518,66	65,92	961,00	9427,41	1,01
6	62,80	101,60	509,14	58,95	1112,00	10908,72	1,03
rt med							1,03

Figura 24 Resultados médios das resistências à tração dos corpos de prova de asfalto polimérico após o condicionamento

Comparando com os resultados com os corpos de prova não condicionados, o asfalto modificado por polímero obteve um RRT de $\frac{1,03}{1,26} * 100 = 81,51\%$

Observamos que o asfalto produzido com ligante não modificado teve em média uma melhor performance quando comparado ao asfalto produzido com o ligante modificado por polímero, quando submetido a ambientes de temperatura e humidades altas.

5.5 Ensaio de determinação do módulo de resiliência por compressão diametral:

Para os valores médios dos módulos de resiliência por compressão diametral obtivemos:

MR (Mpa) = 2610,94; para asfalto modificado

MR (Mpa) = 1478,10; para asfalto convencional

Nota-se que os valores do módulo de resiliência para as misturas com asfalto convencional foram maiores quando comparados aos das misturas com asfalto modificado

5. Conclusões:

À luz dos ensaios Marshall detectou-se, de um modo geral, um desempenho superior das misturas com asfalto modificado, principalmente nos resultados da estabilidade e fluência;

À luz dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, as misturas com asfalto convencional foram melhores;

À luz dos ensaios de módulo de resiliência por compressão diametral à 25°C, as misturas com asfalto convencional apresentaram valores maiores, entretanto, as relações MR/σ encontradas para ambas as misturas sugerem, a princípio, um (provável) melhor comportamento para as misturas com asfalto modificado;

Todos os ensaios detectaram de uma forma ou de outra a diferença entre os asfaltos (ou presença do polímero).

6. Referências Bibliográficas:

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Universidade ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2020. Confederação Nacional de Transportes, 2020.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE DE RODAGEM, IPR-712 – Manual de Pavimentação Asfáltica, 2006.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall. Brasil

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM, ET-DE-P00/027: Concreto Asfáltico. Brasil, 2005

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICA, NBR NM 7181: Solo - Análise granulométrica. Brasil, 2016

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE,
DNIT NM 135/2018-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Brasil, 2018

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE,
DNIT NM 136/2018-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral –Método de ensaio. Brasil, 2018

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE,
DNIT NM 180/2018-ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida - Método de ensaio. Brasil, 2018