

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS DA IMPREGNAÇÃO DO GEOTÊXTIL NA RESPOSTA MECÂNICA DE MISTURAS A QUENTE COMPOSTAS

Juliana de Paula Rezende

Heraldo Nunes Pitanga

Taciano Oliveira da Silva

Natália de Faria Silva

Géssica Soares Pereira

Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil

RESUMO

O desempenho estrutural do pavimento é função não só dos materiais que constituem suas camadas, mas também da sua interação. Esse estudo avaliou o efeito da impregnação do geotêxtil no comportamento mecânico de misturas asfálticas a quente compostas reforçadas por esse geossintético. Estas misturas foram dosadas pelo método *Marshall*, empregando-se o ligante asfáltico CAP 50/70 para a mistura e a impregnação. As faixas granulométricas “B” e “C” da especificação ES 031 do DNIT foram destinadas a compor a camada de revestimento asfáltico, simultaneamente. Diante disso, desenvolveu-se uma análise dos parâmetros mecânicos derivados dos ensaios de Resistência à Tração por compressão diametral e Estabilidade *Marshall*, buscando-se definir a condição de impregnação mais favorável para a mistura composta reforçada. A configuração de impregnação em que o geotêxtil recebeu a pintura de ligação somente na face superior apresentou desempenho estrutural mais satisfatório, provavelmente devido à melhor aderência mobilizada na interface reforço-camada superior do revestimento composto.

ABSTRACT

The structural performance of pavement is a function not only of the materials that make up its layers, but also of their interaction. This study evaluated the effect of geotextile impregnation on the mechanical behavior of composite hot asphalt mixtures reinforced by this geosynthetic. These mixtures were dosed by the Marshall method, using the asphalt binder CAP 50/70 for mixture and impregnation. The particle size range "B" and "C" of ES 031 specification of the DNIT were used to compose the asphalt coating, simultaneously. In this context, was developed an analysis of the mechanical parameters derived from the tensile strength by diametral compression, and Marshall Stability, aiming to define the most favorable impregnation condition for the reinforced composite mixture. The impregnation configuration in which the geotextile received tack coat only on the upper face presented a more satisfactory structural performance, probably due to the better mobilized adhesion at the reinforcement-top interface of the composite coating.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira possui, atualmente, 1.735.621 km de extensão, dos quais apenas 212.886 km são pavimentados, o que corresponde a apenas 12,3% do total. Desta extensão pavimentada, 30,5% (64.825 km) correspondem a rodovias federais, e os 69,5% restantes (148.061 km) a rodovias estaduais e municipais (CNT, 2017).

Tendo em vista que 78,7% (1.365.426 km) das rodovias brasileiras não são pavimentadas e que mais 9% (157.309 km) estão planejadas para serem implantadas, constata-se que há um inequívoco *déficit* por tais obras civis e, conseqüentemente, um grande apelo pelo avanço tecnológico da engenharia de pavimentos para a aplicação de materiais e misturas asfálticas mais eficazes que os convencionais, visando à garantia de melhor desempenho estrutural e maior durabilidade dos pavimentos projetados e executados para o atendimento da demanda existente e a redução desse *déficit* (CNT, 2017).

Em relação às rodovias federais pavimentadas, destaca-se que sua extensão total cresce, em média, aproximadamente, 1,0% ao ano, o que resultou em uma ampliação acumulada nos últimos 10 anos em torno de apenas 11,3% (CNT, 2017).

A maioria das rodovias pavimentadas no Brasil é constituída de pavimentos com revestimentos asfálticos. Os esforços provocados pelas cargas atuantes nestes pavimentos induzem o desenvolvimento de deformações elásticas ou resilientes e de deformações irreversíveis ou permanentes. As deformações elásticas repetidas geradas pelo tráfego são responsáveis pela ruptura por fadiga dos revestimentos asfálticos, que provoca o surgimento e a evolução das trincas observadas em tais camadas estruturais. Por sua vez, as deformações permanentes acumuladas são responsáveis pelo afundamento de trilhas de rodas, que se manifesta na superfície de rolamento (Medina; Motta, 2015).

Segundo Bernucci et al. (2008), os revestimentos asfálticos são misturas betuminosas que combinam materiais minerais e ligantes betuminosos em proporções adequadas definidas em laboratório. As misturas betuminosas do tipo concreto asfáltico podem ser empregadas em revestimentos de pavimentos flexíveis, semirrígidos e invertidos, recebendo diretamente as ações do tráfego e do clima. O concreto asfáltico é um material para a construção de revestimentos de pavimentos, podendo constituir a camada de rolamento ou capa asfáltica e a camada de ligação ou *binder* imediatamente subjacente à capa asfáltica. Esse material é obtido a partir da mistura e homogeneização de agregados minerais, em geral bem graduados, de material fino de enchimento ou fíler e de cimento asfáltico de petróleo (CAP). Esta mistura é elaborada a quente, em usina misturadora, contínua ou descontínua, de grande, médio ou pequeno porte.

Para que confira à camada de revestimento asfáltico um desempenho estrutural aceitável, as misturas asfálticas devem ser submetidas a rigorosos controles nas operações de dosagem, usinagem e execução na pista, devendo satisfazer a critérios relacionados à resistência mecânica, à flexibilidade e à durabilidade para resistirem às solicitações sob condições de serviço, durante o período de vida útil para o qual a estrutura será projetada (Pinto; Preussler, 2002).

Conforme Carmo e Montestruque (2015) e Carmo et al. (2015), o desenvolvimento dos geossintéticos tem fomentado a utilização desses materiais para fins de reforço de pavimentos asfálticos novos e restaurados, dada a sua capacidade de proporcionar uma elevada resistência à tração dentro da capa asfáltica, complementando as propriedades mecânicas da mistura asfáltica e permitindo um maior controle do trincamento no pavimento, o que é fundamental para os bons desempenhos funcional e estrutural do mesmo, assim como para a eficiência econômica da sua restauração.

Salienta-se, porém, que a maior parte das aplicações envolve o uso de geogrelhas como elemento de reforço em detrimento de outros geossintéticos, como o geotêxtil, cujo uso tem sido consideravelmente menor para essa finalidade, notabilizando-se como material de reforço predominantemente de solos (Carmo; Montestruque, 2015; Carmo et al., 2015).

Estudos nacionais e internacionais evidenciam o quanto a inserção de geossintéticos em misturas asfálticas, seja em pavimentos novos ou restaurados, complementa suas propriedades mecânicas, conferindo um melhor desempenho estrutural ao revestimento asfáltico. Alguns

exemplos disso são os trabalhos de Correia (2010) e Norambuena-Contreras (2015), os quais envolveram a análise da inserção de geotêxtil em sistemas anti-reflexão de trincas, Litton (1989), o qual enfatizou a capacidade de reforço e o alívio de tensões em concretos asfálticos combinados com o geotêxtil, e Correia (2018), que destacou o uso de camadas reforçadas com geogrelhas propiciando a extensão da vida útil de revestimentos asfálticos.

Sabendo-se que a escassez de recursos financeiros é um dos fatores preponderantes no planejamento dos investimentos públicos no Brasil, os grandes volumes de recursos exigidos na área de infraestrutura de transportes necessitam de técnicas inovadoras de construção que sejam incorporadas à prática de engenharia rodoviária de maneira a reduzir custos e aumentar a durabilidade de nossas rodovias, garantindo o retorno social do capital investido. Nesse contexto, desenvolveu-se, nessa pesquisa, uma análise dos parâmetros mecânicos derivados dos ensaios de Resistência à Tração por compressão diametral (RT) e Estabilidade *Marshall*, buscando eleger o cenário de impregnação do geotêxtil mais favorável para a mistura composta reforçada por esse geossintético. O propósito principal desse estudo foi avaliar o eventual benefício desse elemento de reforço às propriedades mecânicas das misturas asfálticas investigadas, considerando-se as condições impregnada e não impregnada da superfície do geossintético. Acredita-se que o desenvolvimento desta pesquisa poderá contribuir para incrementar o banco de dados nacionais referentes ao reforço geossintético de revestimentos asfálticos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os agregados minerais graúdos (brita 0 e brita 1) e miúdo (pó de pedra) que foram utilizados nesta pesquisa são de formação gnáissica e oriundos da pedreira Ervália Ltda., localizada no município de Ervália-MG. As faixas granulométricas adotadas neste trabalho foram, simultaneamente, a “B” e a “C” da especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006a), constituindo uma camada composta de revestimento asfáltico. O ligante asfáltico empregado foi o CAP 50/70, oriundo da REGAP – Refinaria Gabriel Passos, localizada no município de Betim-MG. Este ligante foi certificado pelo laboratório da Petrobrás sob o nº 2505-14 G. O material geossintético de reforço das misturas asfálticas investigadas foi fornecido por uma empresa nacional, correspondendo a um geotêxtil não-tecido. As características tecnológicas desse geossintético foram fornecidas pelo fabricante.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização tecnológica dos materiais e da mistura asfáltica

Na Tabela 1, apresentam-se a identificação dos ensaios realizados sobre os materiais e misturas asfálticas e as correspondentes normas adotadas. Os agregados foram coletados segundo os procedimentos prescritos pela norma DNER PRO 120/97 (DNER, 1997a).

Tabela 1: Ensaios realizados no programa experimental de pesquisa

Agregado graúdo	Material		Mistura asfáltica
	Agregado miúdo	Ligante asfáltico	
Análise granulométrica - ME 083 (DNER, 1998a)	Análise granulométrica - ME 083 (DNER, 1998a)	Penetração - ME 155 (DNIT, 2010a)	Resistência à Tração por compressão diametral - ME 138 (DNIT, 1994e)
Abrasão <i>Los Angeles</i> - ME 035 (DNER, 1998b)	Massa específica e massa específica aparente - NBR NM 52 (ABNT, 2002b)	Ponto de fulgor e combustão- ME 148 (DNER, 1994d)	Estabilidade <i>Marshall</i> - ME 043 (DNER, 1995)
Absorção e massa específica - ME 195 (DNER, 1997b)		Ponto de amolecimento - ME 131 (DNIT, 2010b)	Dosagem <i>Marshall</i> - ME 043 (DNER, 1995)
Adesividade ao ligante betuminoso - ME 078 (DNER, 1994a)		Massa específica real- ME 009 (DNER, 1998c)	
Índice de forma - ME 086 (DNER, 1994b)		Solubilidade em tricloroetileno - NBR 14855 (ABNT, 2002a)	
Sanidade - ME 089 (DNER, 1994c)			

2.2.2 Escolha da distribuição granulométrica de projeto para as faixas B e C do DNIT

Foram selecionadas as faixas granulométricas B e C para as misturas asfálticas contempladas nessa pesquisa, conforme a especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006a) destinada aos concretos betuminosos usinados a quente (CBUQs). Para as referidas faixas, as curvas granulométricas de projeto foram escolhidas atendendo as especificações e limites impostos pela especificação de serviço supramencionada, de acordo com o método de dosagem *Marshall*.

2.2.3 Dosagem experimental das misturas asfálticas

Os respectivos teores de ligante asfáltico de projeto correspondentes às faixas granulométricas B e C foram determinados com base no critério Volume de vazios (Vv) - Relação Betume-Vazios (RBV), conforme os limites máximo e mínimo para tais parâmetros definidos pela especificação ES 031 (DNIT, 2006a).

2.2.4 Preparação das misturas asfálticas

Os corpos de prova das misturas asfálticas foram confeccionados utilizando o ligante asfáltico à 165°C e os agregados à 175°C, ambos aquecidos em estufa. Após a homogeneização dos materiais, as misturas foram colocadas nos moldes de compactação, sendo depositada, primeiramente, a mistura asfáltica correspondente à faixa “B”, seguida da inserção do geotêxtil com/sem impregnação e, por fim, a mistura asfáltica da faixa “C”. Dando sequência ao procedimento, a mistura composta era submetida ao esforço de compactação. A compactação foi feita à 140°C para garantir que o CAP apresentasse a viscosidade proposta pela especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006a). Finalizada a compactação, o conjunto foi resfriado à temperatura ambiente, em uma superfície plana, por 24 horas, para posterior extração do corpo de prova compactado da mistura asfáltica composta reforçada.

2.2.5 Impregnação do geotêxtil

Foram confeccionados corpos de prova de revestimentos asfálticos compostos, constituídos, simultaneamente, pelas faixas B e C, reforçados com geotêxtil com/sem impregnação. Visando à determinação da viabilidade de impregnação do geotêxtil, foram adotados 4 cenários distintos: 1- sem impregnação, 2- impregnado nos dois lados, 3- impregnado

superiormente e 4- impregnado inferiormente. Para a impregnação, foi utilizado o CAP 50/70, sendo adotado o teor de impregnação de $0,36 \text{ l/m}^2$ para cada pintura de ligação (impregnação). Conforme a ES 145 (DNIT, 2012), a taxa recomendada para a pintura de ligação é de 0,3 a $0,4 \text{ l/m}^2$. Portanto, o valor adotado está dentro dos limites estabelecidos.

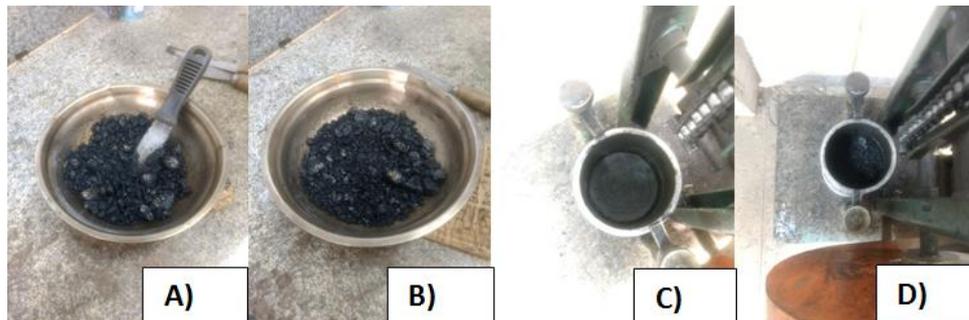


Figura 1: A) Mistura Faixa B; B) Mistura Faixa C; C) Mistura Faixa B + Geotêxtil com impregnação, D) Mistura Faixa B + Geotêxtil + Mistura Faixa C

2.2.6 Ensaios mecânicos

Considerando-se os respectivos teores de ligante asfáltico de projeto definidos pelo método de dosagem adotado nessa pesquisa para as faixas granulométricas B e C, foram confeccionados corpos de prova de revestimentos asfálticos compostos (Figura 2), constituídos, simultaneamente, pelas respectivas faixas, com reforço geossintético impregnado segundo os cenários previstos na pesquisa. Visando à determinação das propriedades mecânicas de interesse, conforme as respectivas prescrições normativas, foram realizados os ensaios de Resistência à Tração por compressão diametral e Estabilidade *Marshall* para o estudo da viabilidade da impregnação no reforço geossintético.

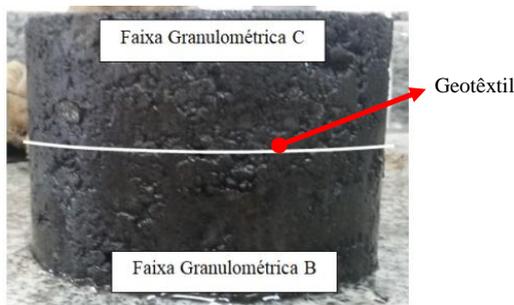


Figura 2 - Esquema de corpos de prova de misturas asfálticas moldados com as duas faixas granulométricas (B e C) e com a inserção do reforço geossintético (geotêxtil).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos materiais

As granulometrias dos agregados minerais empregados na pesquisa estão apresentadas na Figura 3. Os demais resultados referentes à caracterização tecnológica dos agregados minerais estão apresentados na Tabela 2. O ligante asfáltico utilizado nessa pesquisa foi o CAP 50/70, ressaltando-se que os resultados obtidos referentes à sua caracterização tecnológica estão em conformidade com a especificação EM 095 (DNIT, 2006b). A Tabela 3 apresenta esses resultados. As características tecnológicas do geotêxtil constam na Tabela 4.

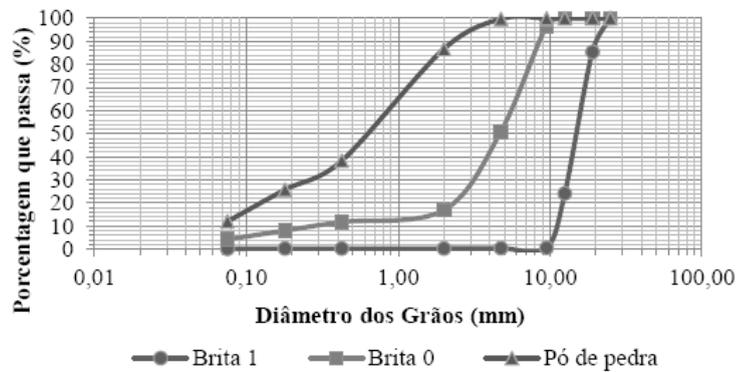


Figura 3: Curvas granulométricas dos agregados minerais empregados na pesquisa.

Tabela 2: Índices físicos dos agregados minerais empregados na pesquisa

Índice físico	Magnitude do índice físico		
	Brita 0	Brita 1	Pó de pedra
Abrasão <i>Los Angeles</i> (%)	45	45	-
Absorção (%)	1,14	1,14	-
Adesividade ao ligante betuminoso	Satisfatória c/ aditivo	Satisfatória c/ aditivo	-
Índice de forma	0,68	0,68	-
Massa específica real (g/cm ³)	2,794	2,794	2,794
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,705	2,705	-

Tabela 3: Resultados dos ensaios de caracterização do ligante asfáltico empregado na pesquisa

Índice físico	Magnitude do índice físico
Penetração (dmm)	57
Massa específica real (g/cm ³)	1,010
Ponto de amolecimento (°C)	51
Densidade Relativa (g/cm ³)	1,006
Ponto de Fulgor (°C)	343
Ponto de combustão (°C)	365
Solubilidade no Tricloroetileno (%)	100

Tabela 4: Principais características técnicas do geossintético empregado na pesquisa

Propriedades	Unidade	
Matéria-prima principal	-	Poliéster
Gramatura	g/m ²	150
Resistência à tração		
Longitudinal	kN/m	7
Transversal		8
Deformação na resistência à tração		
Longitudinal	%	>70
Transversal		>70
Resistência ao rasgo trapezoidal		
Longitudinal	kN/m	220
Transversal		200

3.2 Granulometrias de projeto

Nesta pesquisa, foram utilizadas duas faixas granulométricas (B e C), simultaneamente, especificadas pela ES 031 (DNIT, 2006a). Para a dosagem *Marshall*, as granulometrias

selecionadas para ambas as faixas apresentaram 20% de Brita 1, 46% de Brita 0 e 34% de Pó de Pedra.

3.3 Método de dosagem *Marshall*

3.3.1 Dosagem da mistura asfáltica de projeto da faixa C

Após a verificação da curva granulométrica, definiu-se o teor de projeto de CAP através do método de dosagem *Marshall*. Inicialmente, foram testadas misturas com os teores de CAP 50/70 de 4,0% a 6,0%. A Figura 4 mostra os valores dos parâmetros volumétricos (Volume de vazios e Relação Betume-Vazios) e mecânicos (Estabilidade) determinados a partir da dosagem *Marshall*, para a mistura dos agregados minerais que atendem à faixa C da especificação ES 031 (DNIT, 2006a).

Após serem obtidos os parâmetros de dosagem *Marshall*, construiu-se um gráfico (Figura 5), com os valores médios de Volume de vazios (V_v) e da Relação Betume-Vazios (RBV). O teor de ligante foi determinado através da média aritmética de X2 e X3. A partir dessa média, foi obtido um teor de ligante de 5,00%, porém, ao se observar a Figura 4, verifica-se que, para este teor de ligante, o parâmetro V_v não se enquadra dentro dos limites da ES 031 (DNIT, 2006a), que estabelece um mínimo de $V_v=3\%$ para a faixa granulométrica C. Para a média da faixa especificada ($V_v=4\%$), o teor de ligante corresponde a 4,7%, o qual foi adotado preliminarmente como teor de projeto. Com o intuito de comprovar que o teor de projeto de 4,7% atendia aos limites da especificação de serviço para a dosagem *Marshall* da faixa C, foram moldados três corpos de prova com esse teor de ligante, cujos resultados das médias dos parâmetros de dosagem *Marshall*, acrescido do valor de RT, são apresentados na Tabela 5. Pode-se concluir que o teor de ligante asfáltico de 4,7% atendeu a todas as especificações estabelecidas pela norma supramencionada, sendo adotado como teor de projeto da mistura asfáltica correspondente à faixa C segundo a dosagem *Marshall*.

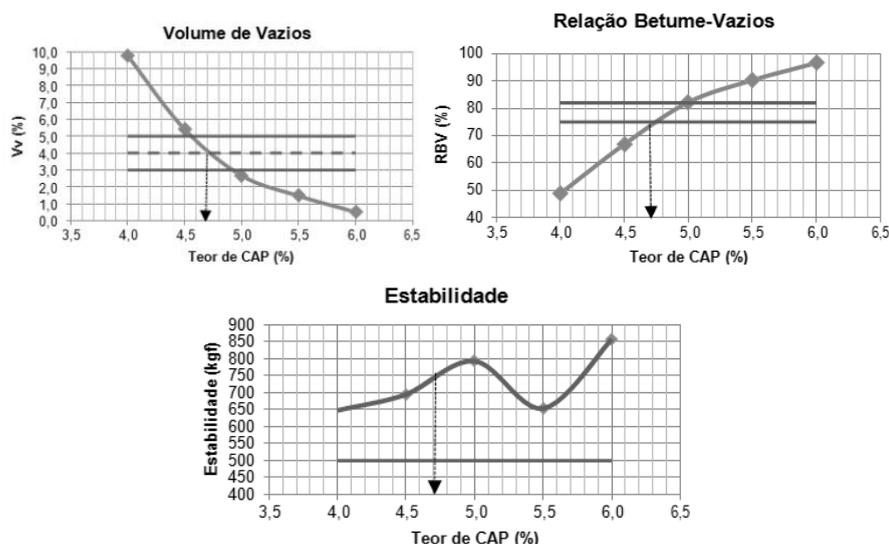


Figura 4: Resultados dos parâmetros de dosagem *Marshall* para a mistura asfáltica de projeto da faixa C.

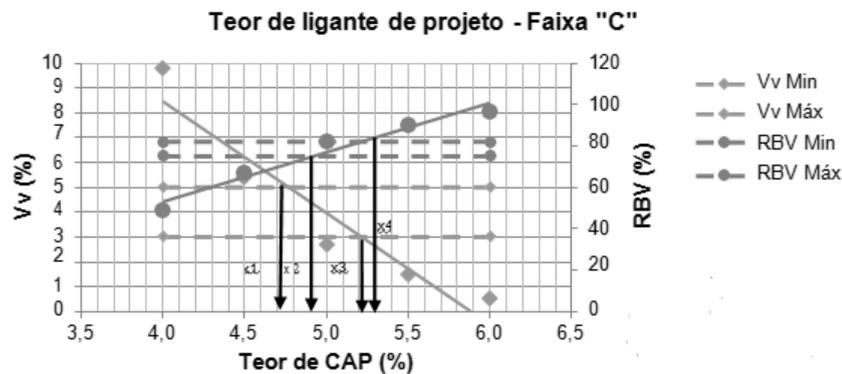


Figura 5: Gráfico Teor de CAP versus Vv e RBV, para determinação do teor de ligante de projeto para a mistura asfáltica da faixa C.

Tabela 5: Parâmetros de dosagem *Marshall* para o teor de 4,7% de ligante asfáltico: faixa C

Parâmetro	Valor para o teor de ligante de 4,70%	Limites prescritos pela ES 031 (DNIT, 2006a)
RT (MPa)	0,91	0,65
Estabilidade (kgf)	525	>500
Vv (%)	3,7	3 a 5
RBV (%)	76	75 a 82

3.3.2 Dosagem da mistura asfáltica de projeto da faixa B

Feita a verificação da curva granulométrica, definiu-se o teor de projeto de CAP através do método de dosagem *Marshall*. Inicialmente, foram testadas misturas com os teores de CAP 50/70 de 3,5% a 5,5%. A Figura 6 mostra os valores dos parâmetros volumétricos (Volume de vazios e Relação Betume-Vazios) e mecânicos (Estabilidade) determinados a partir da dosagem *Marshall*, para a mistura dos agregados minerais que atendem à faixa B da especificação ES 031 (DNIT, 2006a).

Após serem obtidos os parâmetros de dosagem *Marshall*, construiu-se um gráfico, apresentado na Figura 7, com as respectivas relações entre o teor de ligante asfáltico e os valores médios de Volume de vazios (Vv) e da Relação Betume-Vazios (RBV). O teor de ligante foi determinado através da média aritmética de X2 e X3. A partir dessa média, foi obtido um teor de ligante de projeto de 4,40%. Segundo a especificação de serviço ES 031 (DNIT, 2006a), a escolha do teor de ligante asfáltico de projeto baseia-se no Volume de vazios (Vv), que pode variar entre 4% e 6%, adotando-se, nessa pesquisa, Vv= 5% para a mistura de projeto. A partir dessas informações, verifica-se, pela Figura 6, que o teor de ligante para tal condição foi de 4,2%. Com o intuito de comprovar que o teor de projeto de 4,2% atendia aos limites da especificação de serviço para a dosagem *Marshall* da faixa B, foram moldados três corpos de prova com esse teor de ligante, cujos resultados das médias dos parâmetros de dosagem *Marshall*, acrescido do valor de RT, são apresentados na Tabela 6. Pode-se concluir que o teor de ligante asfáltico de 4,2% atendeu a todas as especificações estabelecidas pela norma supramencionada, sendo adotado como teor de projeto da mistura asfáltica correspondente à faixa B segundo a dosagem *Marshall*.

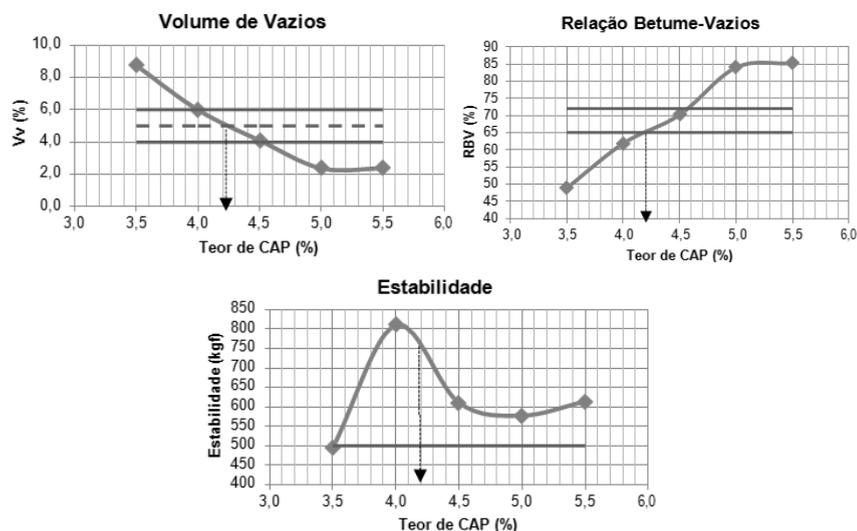


Figura 6: Resultados dos parâmetros de dosagem *Marshall* para a mistura asfáltica de projeto da faixa B.

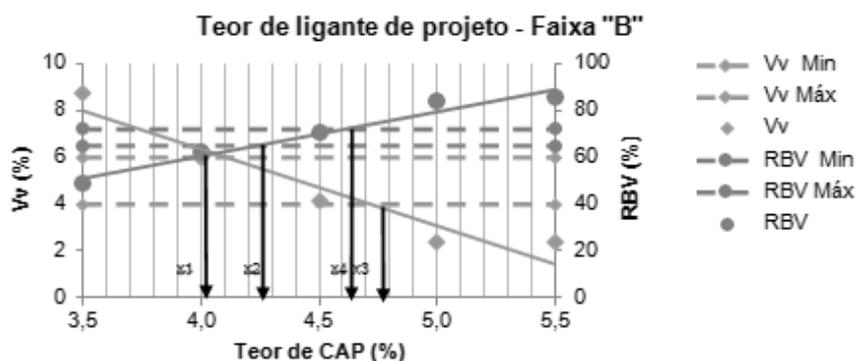


Figura 7: Gráfico Teor de CAP versus Vv e RBV, para determinação do teor de ligante de projeto para a mistura asfáltica da faixa B.

Tabela 6: Parâmetros de dosagem *Marshall* para o teor de 4,2% de ligante asfáltico: faixa B

Parâmetro	Valor para o teor de ligante de 4,20%	Limites prescritos pela ES 031 (DNIT, 2006a)
RT (MPa)	0,95	0,65
Estabilidade (kgf)	535	>500
Vv (%)	4,4	4 a 6
RBV (%)	70	65 a 72

3.4 Ensaios mecânicos

As Tabelas 7 e 8 apresentam os valores de RT e Estabilidade *Marshall* correspondentes a cada um dos cenários de impregnação (pintura de ligação) do geotêxtil, para cada uma das misturas asfálticas compostas reforçadas definidas nesse programa experimental.

Tabela 7: Resultados dos ensaios de Resistência à Tração por compressão diametral (RT) para corpos de prova representativos dos 4 cenários de pintura de ligação analisados

Cenário	Corpo de Prova	Carga de ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	RT (MPa)	RT média (MPa)	Desvio padrão médio (MPa)
1	1	1139	10,17	6,51	1,07	1,11	0,03
	2	1161	10,14	6,53	1,10		
	3	1196	10,16	6,53	1,13		
2	1	1000	10,16	6,51	0,94	1,03	0,08
	2	1062	10,17	6,46	1,03		
	3	1151	10,17	6,48	1,09		
3	1	1181	10,17	6,51	1,11	1,11	0,03
	2	1163	10,15	6,48	1,10		
	3	1211	10,14	6,48	1,15		
4	1	1132	10,18	6,48	1,07	1,11	0,05
	2	1162	10,15	6,45	1,11		
	3	1220	10,18	6,42	1,17		

Tabela 8: Resultados dos ensaios de Estabilidade *Marshall* para corpos de prova representativos dos 4 cenários de pintura de ligação analisados

Cenário	Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Estabilidade (kgf)	Estabilidade média (kgf)	Desvio padrão médio (kgf)
1	1	10,18	6,50	690	653	31
	2	10,18	6,57	653		
	3	10,15	6,52	629		
2	1	10,16	6,49	794	779	70
	2	10,17	6,48	779		
	3	10,16	6,52	666		
3	1	10,17	6,43	869	828	64
	2	10,17	6,49	828		
	3	10,17	6,48	744		
4	1	10,18	6,53	675	728	36
	2	10,17	6,48	728		
	3	10,14	6,50	744		

Analisando os resultados dos ensaios de Resistência à Tração por compressão diametral, verificou-se que não houve diferença significativa entre eles, não representando, portanto, um fator decisivo na escolha do cenário mais favorável de impregnação. Já para o ensaio de Estabilidade *Marshall*, o valor médio encontrado para o cenário 3, em que apenas a face superior do geotêxtil recebeu a impregnação/pintura de ligação, é maior comparativamente aos demais. Para as particularidades da configuração do ensaio de Estabilidade *Marshall*, supõe-se que a camada superior do corpo de prova composto, correspondente à faixa C, contribua com uma maior parcela de responsabilidade estrutural comparativamente à faixa B, demandando uma maior aderência de sua interface com a superfície superior do geotêxtil, propiciada pela pintura de ligação dessa face geossintética. Vale destacar que todos os cenários estão de acordo com a norma ES 031 (DNIT, 2006a), que determina 0,65 MPa como valor mínimo de Resistência à Tração por compressão diametral e 500 kgf como valor mínimo de Estabilidade *Marshall*. A Figura 8 ilustra, de maneira comparativa, as médias dos resultados dos 4 cenários adotados no estudo para ambos ensaios realizados, bem como o desvio padrão dos valores obtidos para cada cenário. É importante destacar que, em todos os cenários que envolveram a impregnação, para as duas propriedades mecânicas investigadas, a resposta mecânica da mistura reforçada mostrou-se equivalente (caso da RT) ou superior

(caso da Estabilidade) àquela apresentada pela condição não impregnada do reforço, realçando a importância técnica da impregnação.

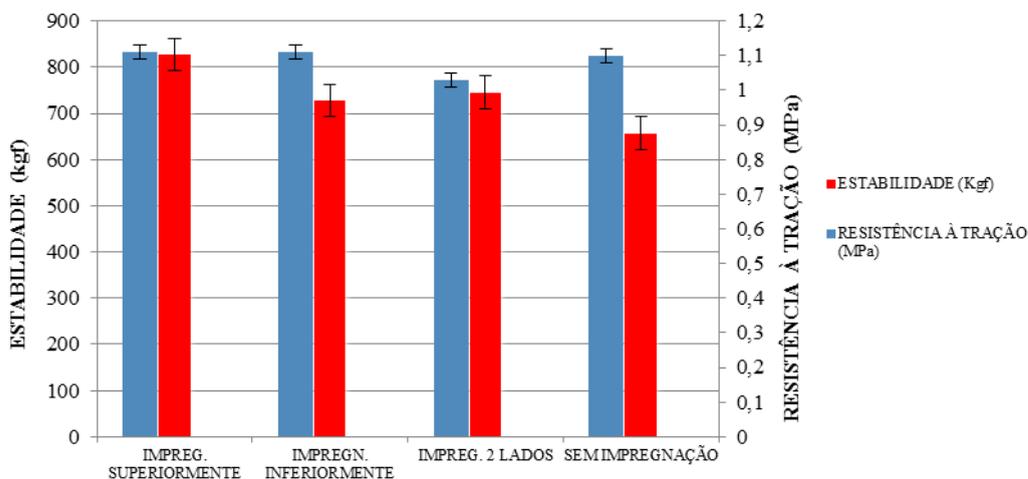


Figura 8: Gráfico comparativo dos resultados dos ensaios mecânicos de Resistência à Tração por compressão diametral e Estabilidade *Marshall* para os 4 cenários adotados nesse estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito desse estudo foi avaliar o eventual benefício da impregnação do geotêxtil às propriedades mecânicas de misturas asfálticas reforçadas. Sua motivação decorreu da necessidade de incorporação de técnicas inovadoras de construção à prática de engenharia rodoviária, visando reduzir custos e aumentar a durabilidade de nossas rodovias, garantindo o retorno social do capital investido. Para as particularidades dessa pesquisa, a configuração correspondente à impregnação superior do geotêxtil mostrou-se a mais eficiente, sendo constatado, porém, que todos os cenários de impregnação resultaram em respostas mecânicas superiores àquelas das misturas reforçadas não impregnadas. O desenvolvimento desta pesquisa pode contribuir para incrementar o banco de dados nacionais referentes ao reforço geotêxtil de misturas asfálticas, estimulando a adoção de geossintéticos pelos profissionais diretamente envolvidos com a pavimentação rodoviária regional e nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABNT (2002a) NBR 14855. *Materiais betuminosos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 5p.
- ABNT (2002b) NBR NM 52. *Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 6p.
- Bernucci, L. B.; Motta, L. M.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. (2008) *Pavimentação asfáltica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA.
- Carmo, C. A. T.; Montestruque, G. (2015) *Restauração do Pavimento da Rodovia MG-424 com Geogrelha de Poliéster*. 44ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), Foz do Iguaçu/PR. Anais CD-ROM.
- Carmo, C. A. T., Ruiz, E. F., Pandolpho, J. R.; Monstestruque, G. (2015) *Utilização de Geogrelha de Poliéster na Restauração da Pista Auxiliar de Pouso e Decolagem do Aeroporto de Congonhas*. 44ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), Foz do Iguaçu/PR. Anais CD-ROM.
- CNT (2017) *Plano CNT de Transporte e Logística*. Confederação Nacional de Transporte– Brasília. 406p.
- Correia, N. S., Zornberg, J. G. (2018) Strain distribution along geogrid-reinforced asphalt overlays under traffic loading. *Journal of Geotextile and Geomembranes* 46, 111–120.

- Correia, N. S. (2010) *Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas*. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 131 p.
- DNER – ME 078 (1994a) *Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso: método de ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 3p.
- DNER – ME 086 (1994b) *Agregado: determinação do índice de forma*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 5p.
- DNER – ME 089 (1994c) *Agregados: avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 6p.
- DNER – ME 148 (1994d). *Material betuminoso – determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto de Cleveland)* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 2p.
- DNER – ME 138 (1994e) *Determinação da resistência à tração*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 4p.
- DNER – ME 043 (1995) *Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 11p.
- DNER-PRO 120 (1997a) *Procedimento: coleta de amostra de agregado*. [S.l.]. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 7p.
- DNER – ME 195 (1997b) *Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 6p.
- DNER – ME 083 (1998a) *Agregados – análise granulométrica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 5p.
- DNER – ME 035 (1998b) *Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 6p.
- DNER – ME 009 (1998c) *Petróleo e derivados – determinação da densidade – método do densímetro*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro. 7p.
- DNIT – ES 031 (2006a) *Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 14p.
- DNIT – EM 095 (2006b) *Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 6p.
- DNIT – ME 155 (2010a) *Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 7p.
- DNIT – ME 131 (2010b) *Materiais asfálticos - determinação do ponto de amolecimento-método do anel e bola*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 6p.
- DNIT – ES 145 (2012) *Pavimentação – Pintura de ligação com ligante asfáltico – Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 7p.
- DNIT – (2017) *Pavimentação asfáltica - Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 19p.
- J. Norambuena-Contreras, I. Gonzalez-Torre (2015) Influence of geosynthetic type on retarding cracking in asphalt pavements, *Constr. Build. Mater.* 78. 421–429.
- Lytton, R. L., (1989) Use of geotextile for reinforcement and strain relief in asphalt concrete. *Journal of Geotextile and Geomembranes* 8, 217–237.
- Medina, J.; Motta, L. M. G.(2015) *Mecânica dos pavimentos*. 3ªed. Rio de Janeiro: Interciência. 638p.
- Pinto, S.; Preussler, E. (2002) *Pavimentação rodoviária – conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. Rio de Janeiro, Copiarte. 269p.