

ENSAIO DE TRAÇÃO EM DISCO CIRCULAR EM MISTURAS ASFÁLTICAS REFORÇADAS COM GEOGRELHAS

Gerson Alves Bastos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: <gerson_abastos@yahoo.com.br>.

Michéle Dal Toé Casagrande

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: <michele_casagrande@puc-rio.br>.

Laura Maria Goretti da Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.
E-mail: <laura@coc.ufrj.br>.

Daiane Folle

Faculdade Meridional IMED, Passo Fundo, Brasil.
E-mail: <daiane.folle@imed.edu.br>.

RESUMO

Apresenta-se, neste trabalho, uma avaliação de misturas asfálticas ensaiadas em corpos de prova cilíndricos convencionais, tendo quinze centímetros de diâmetro, reforçadas ou não com dois diferentes tipos de geogrelhas (fibra-de-vidro e poliéster), através do ensaio de tração em disco circular com fenda. Este ensaio, normalizado pela ASTM (ASTM D7313-07), busca avaliar a resistência ao fraturamento de misturas asfálticas. De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que as amostras que apresentavam o reforço de geogrelha apresentaram maiores resistência ao fraturamento, quantificada pela energia de fratura. Assim, pela comparação nos ensaios realizados, as amostras com geogrelhas tiveram um melhor comportamento quanto ao faturamento que as amostras sem presença de geogrelha.

Palavras-chave: Misturas asfálticas. Geogrelha. Energia de fratura.

INTRODUÇÃO

Buscam-se alternativas para se evitar ou mitigar a ocorrência do trincamento dos pavimentos flexíveis, de modo a promover um incremento no seu desempenho, seja com a utilização de materiais não convencionais (asfalto-borracha, polímeros, fibras, etc.) ou mesmo com o simples aumento da espessura da capa asfáltica. Para os pavimentos asfálticos, a forma mais comum de

reforço é a superposição de uma camada asfáltica à outra já existente. Porém, seu desempenho é marcado pelas fraquezas estruturais do pavimento antigo subjacente (RODRIGUES, 1991), pois esta técnica apenas retarda o aparecimento dos defeitos na superfície do pavimento.

Neste sentido, vários materiais têm sido empregados de modo a melhorar o comportamento dos revestimentos asfálticos ao trincamento por fadiga ou reflexão. Um destes materiais é um tipo de geossintético, denominado por geogrelha, que

funciona como verdadeiro elemento de reforço, incrementando consideravelmente a vida útil dos revestimentos betuminosos, em que diversos trabalhos publicados relatam a eficácia deste sistema anti-reflexão de trincas (por exemplo, BÜHLER, 2007 e LAO e RAMOS, 2009).

Foram utilizadas amostras de misturas asfálticas convencionais extraídas de um modelo físico de pavimento, situado no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ, e amostras moldadas através de compactador giratório. Tais amostras diferenciavam-se pela presença ou não da camada intermediária de geogrelha, de dois tipos – poliéster e fibra-de-vidro - buscando-se, dessa forma, comparar os desempenhos destas misturas reforçadas ou não por meio do ensaio de Tração em disco circular com fenda.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O modelo físico de pavimento, denominado por “Tanque-Teste de Pavimentos”, foi desenvolvido por Silva (2009) com o intuito de simular um pavimento que apresentasse dimensões próximas das reais em campo, principalmente às dimensões em profundidade. O objetivo, daquele trabalho, foi avaliar o comportamento do modelo físico submetido à variação do nível d’água, o que corresponderia a um lençol freático numa situação real.

O “Tanque-Teste de Pavimentos” apresenta seção interna de 2,0 m x 2,0 m e altura interna de 1,80 m, com paredes duplas de concreto arma-

do com 20 cm de espessura e possui uma estrutura típica de um pavimento rodoviário: subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico. A Figura 1 mostra o prédio em que está localizado o “Tanque-Teste de Pavimentos”, além da sua estrutura de camadas.

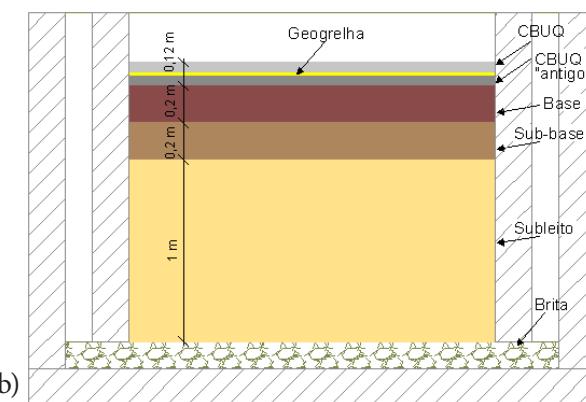
Para o presente trabalho, sua área foi subdividida em três seções de iguais dimensões (2,0 m x 0,66 m), cada uma apresentando diferentes soluções: sobreposição de camada asfáltica àquele revestimento já existente; sobreposição através de inserção de camada intermediária de geogrelha de fibra-de-vidro e nova camada asfáltica e a outra seção apresentando camada intermediária de geogrelha de poliéster com a superposição de nova capa asfáltica. Esta mistura asfáltica sobreposta ao revestimento existente foi fornecida pela empresa CRAFT Engenharia LTDA.

A partir deste pavimento experimental, extraiu-se corpos de prova da sua camada de revestimento nas três seções (seção sem presença da camada intermediária de geogrelha; seção com a camada intermediária de geogrelha de fibra-de-vidro e a seção com a camada intermediária de geogrelha de poliéster), por meio de um equipamento extrator rotativo. Cada corpo de prova apresentava as duas camadas asfálticas, o revestimento antigo (já existente) e a camada de mistura asfáltica sobrejacente executada como reforço, e aqueles extraídos das seções que apresentavam geogrelha, possuíam este material como camada intermediária entre aquelas camadas asfálticas.



Figura 1: a) Prédio onde está situado o “Tanque-Teste de Pavimentos” e b) Esquema das camadas existentes no pavimento

Para a moldagem de corpos de prova por compactador giratório utilizou-se de mistura dosada com o ligante asfáltico CAP 50/70, proveniente da Refinaria do Planalto Paulista (REPLAN) e agregados de origem granítica provenientes da Pedreira Sepetiba, no Rio de Janeiro.



O ligante utilizado é tipo convencional, PG 64-22, com características dadas na Tabela 1, fornecidas pelo Centro de Pesquisas Leopoldo Migues de Mello – CENPES/PETROBRAS, localizado na ilha do Fundão, no Rio de Janeiro.

Tabela 1: Característica do ligante – CAP 50/70

Características	Método	Unidade	REPLAN
Penetração, PEN, 100g, 5s, 25°C	NBR 6576/1998 ASTM D 5/97	0,1mm	59
Ponto de amolecimento, PA, Anel e bola	NBR 6560/2000 ASTM D 36/95	°C	52,4
Densidade 20°C/4°C	ABNT 6296/2004	g/cm ³	1,010
Viscosidade Brookfield a 135°C		cP	379
Viscosidade Brookfield a 150°C	NBR 15184/2004 ASTM D 4402/2002	cP	189
Viscosidade Brookfield a 177°C		cP	65
PG (<i>Performance Grade</i>)	ASTM D 6373/2002	PG	64-22

Fonte: CENPES

Os agregados utilizados (Brita 1, Brita 0 e pó de pedra), nesta mistura, possuem as granulometrias apresentada na Tabela 2. Tais agregados são comumente utilizados nas pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Pavimentos da COPPE/UFRJ. A Tabela 3 apresenta as propriedades dos agregados.

A mistura foi executada na faixa B do DNIT. Para melhorar a adesividade do ligante asfáltico aos agregados, foi adicionado DOPE AD-HERE 6500, na proporção de 0,5% (em relação ao ligante). A mistura do ligante com o DOPE foi realizada em laboratório antes da mistura com os agregados.

Tabela 2: Granulometria dos agregados usados na moldagem dos corpos de prova desta pesquisa

PENEIRAS		% Passante		
#	mm	Brita 1 (32%)	Brita 0 (20%)	Pó-de-Pedra (48%)
1 1/2"	38,1	100,0	100,0	100,0
1"	25,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	86,2	100,0	100,0
1/2"	12,7	22,7	100,0	100,0
3/8"	9,5	1,6	99,9	100,0
Nº 4	4,8	0,5	20,5	99,6
Nº 10	2,0	0,4	0,6	71,6
Nº 40	0,42	0,3	0,5	32,9
Nº 80	0,18	0,3	0,4	17,4
Nº 200	0,075	0,2	0,3	7,6

Tabela 3: Propriedades dos agregados

PROPRIEDADES	Agregados Graúdos	Agregados Miúdos
Abrasão Los Angeles, %	43,3	-
Partículas Chatas e Alongadas (1/5), %	1	-
Equivalente de Areia, %	-	84
Angularidade, %	-	40,04
Índice de Forma (C/E)	2,9	-
Massa Específica Real	2,792	2,781
Massa Específica Aparente	2,669	2,693
Absorção, %	0,8	3,01
Sanidade, %	10,3	-

Fonte: CENPES

Os corpos de prova extraídos do “Tanque-Teste de Pavimentos” possuíam dois tipos de misturas asfálticas: uma correspondente ao revestimento existente, executado por Silva (2009) e outro executado durante o presente trabalho, como camada de reforço.

As geogrelhas empregadas como camadas intermediárias nos dois conjuntos de amostras (extraídas ou moldadas por compactador giratório) foram de dois tipos: uma de fibra-de-vidro, em que sua especificação indicavam resistências mecânicas de 35 kN/m no sentido longitudinal e 70 kN/m no seu sentido transversal, e módulo de elasticidade de 70.000 MPa; a outra geogrelha de poliéster, em que de acordo com a sua especificação possui resistência à tração nominal de 50 kN/m (em ambos os sentidos) e apresenta deformação na resistência nominal de 12%.

Nas Tabelas 4 e 5, apresentam-se as características das misturas asfálticas, das quais se obtiveram os corpos de prova extraídos do “Tanque-Teste de Pavimentos”.

Os ensaios executados nos corpos de prova foram de tração em disco circular com fenda (Disk-Shaped Compact Tension Geometry), sen-

do este realizado no Laboratório de Estruturas da COPPE/UFRJ.

Tabela 4: Características da mistura asfáltica previamente existente no “Tanque-Teste de Pavimentos” (SILVA, 2009)

Granulometria	Densa TMN 19,1 mm Superpave
Faixa (DNIT)	B
Dosagem Superpave Ndes	100 giros teor de projeto: 4,7%
Resistência à Tração (RT)	0,87 MPa
Módulo Resiliente (MR)	4575 MPa (cp extraído)
Densidade Aparente	2,378 (cp extraído)

Tabela 5: Características da mistura asfáltica executada como camada de reforço no “Tanque-Teste de Pavimentos”

Teor de ligante ($\pm 0,3\%$)	5,3
Densidade teórica	2,475
Densidade aparente	2,380
V.A.M.	15,9
R.B.V.	75,9
Estabilidade	1210
Fluência	13

O ensaio de tração em disco circular com fenda constitui-se como uma forma de avaliar a resistência à fratura de misturas asfálticas, e sua metodologia foi especificada internacionalmente em 2007. Sua principal especificação é a norma ASTM D7313-07 (*Standard Test Method for Determining Fracture Energy of Asphalt-Aggregate Mixtures Using the Disk-Shaped Compact Tension Geometry*). No Brasil, este método de ensaio foi introduzido por Hirsch (2009), em que foi desenvolvido procedimentos para a preparação dos

corpos de prova para este ensaio, pois a norma ASTM, de acordo com aquele autor, é bastante sucinta neste aspecto. Na Figura 2, está um esquema da configuração do corpo de prova para a realização do ensaio de tração em disco circular com fenda prescrito pela norma ASTM D7313-07, que foi obtida através de várias pesquisas utilizando-se diferentes geometrias de corpos de prova, até se alcançar a configuração em forma de disco (*Disk-Shaped*).

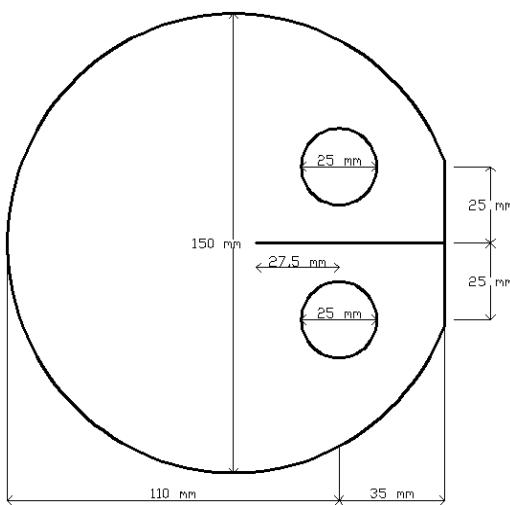


Figura 2: Configuração do corpo de prova para realização do ensaio de Tração em disco circular com fenda (ASTM 7313-07)

Pesquisas, como as de Wagoner *et al.* (2004) e Wagoner *et al.* (2005), apontaram que a geometria em formato de disco circular seria a mais conveniente na determinação da energia de fratura em misturas asfálticas, por apresentar facilidade de obtenção de corpos de prova e por possuir área

superficial de ruptura relativamente adequada às análises. Assim, a geometria em formato de disco dos corpos de prova realizados naqueles ensaios foi incorporada à norma ASTM E399-90, resultando no método de ensaio normalizado pela ASTM.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a execução do ensaio de tração em disco circular com fenda, seguiu-se as especificações prescritas pela norma ASTM D7313-07, além das realizadas por Hirsch (2009), que apresenta esclarecimentos sobre os procedimentos a serem seguidos neste ensaio. Este ensaio foi realizado à temperatura de 10°C, no Laboratório de Estruturas da COPPE/UFRJ, sendo que especial cuidado é necessário tanto na preparação dos corpos de prova, quanto no condicionamento de temperatura das amostras, além da própria execução do ensaio. Maiores detalhes sobre preparação e condicionamento das amostras, bem como a realização dos ensaios, são encontrados nos trabalhos de Hirsch (2009) e o de Bastos (2010).

Os dados fornecidos por este ensaio são força aplicada por uma prensa para promover a abertura da trinca produzida artificialmente no corpo de prova, para induzir o fraturamento e o deslocamento de abertura desta mesma trinca, que é medido por um equipamento denominado de *clip-on-gage*. Tais dados são plotados numa

curva Força *versus* Abertura da trinca, o que permite calcular a energia de fratura de cada corpo de prova, de acordo com as recomendações da norma ASTM D7313-07.

Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se a configuração da execução do ensaio de tração em disco circular com fenda e um dos gráficos Força *versus* Abertura da trinca obtidos para um dos conjuntos de corpos de prova ensaiados.

Nas Tabelas 6, 7 e 8, mostram-se os resultados do ensaio de tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova extraídos.

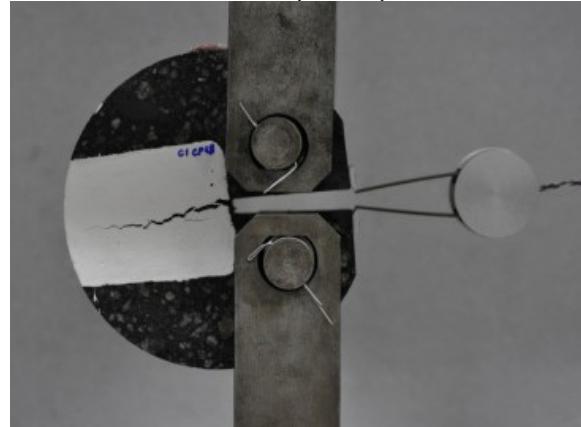


Figura 3: Execução do ensaio de tração em disco circular com fenda

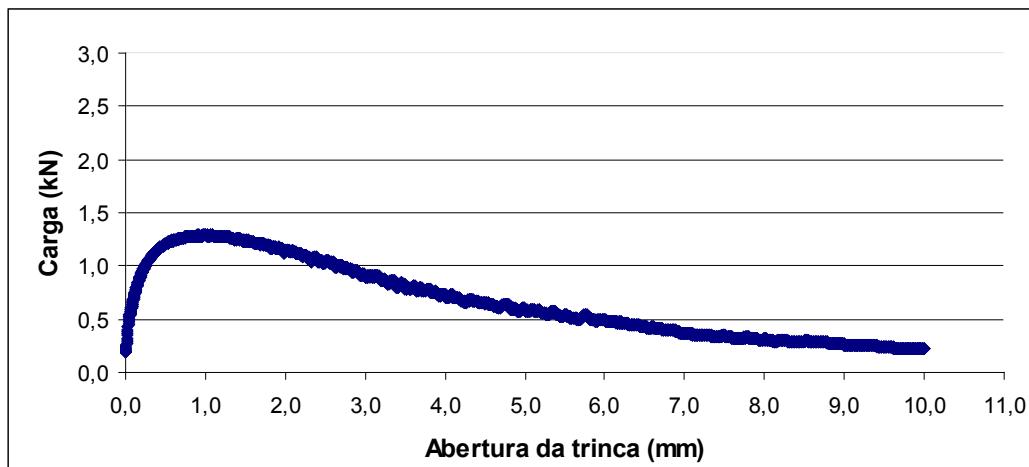


Figura 4: Curva Força *versus* Abertura da trinca para o ensaio de tração em disco circular com fenda

Tabela 6: Resultados do ensaio de tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova extraídos sem geogrelha

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m ²)	Média (J/m ²)	Desvio padrão (J/m ²)	Coef. de variação	Carga máxima (kN)
13971	586,0				1,30
13972	1396,2				1,70
13973	868,6	919,6	341,3	37,1	2,46
13975	827,6				1,55

Tabela 7: Resultados do ensaio de tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova extraídos com camada intermediária de geogrelha de fibra-de-vidro

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m ²)	Média (J/m ²)	Desvio padrão (J/m ²)	Coef. de variação	Carga máxima (kN)
13982	1372,1				1,96
13985	919,2				1,43
13986	1259,1	1178,0	430,2	36,5	1,80
13987	1730,5				2,05
13990	609,1				1,20

Tabela 8: Resultados do ensaio de tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova extraídos com camada intermediária de geogrelha de poliéster

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m ²)	Média (J/m ²)	Desvio padrão (J/m ²)	Coef. de variação	Carga máxima (kN)
13998	1474,9				1,70
14001	1046,6				1,47
14002	1160,3	1089,1	246,2	22,6	1,29
14004	902,2				1,11
14008	861,5				0,77

Para cada conjunto de amostras extraídos (sem ou com presença de geogrelha) foram destinados ao ensaio de tração em disco circular com fenda cinco (05) corpos de prova, totalizando-se quinze (15) corpos de prova. Entretanto, para um dos corpos de prova do conjunto de amostras sem camada de geogrelha não foi possível de se utilizar os dados de seu ensaio, pois apresentou ruptura através de um dos furos de carregamento, sendo que a propagação do trincamento no ensaio deve seguir a mesma direção da pré-trinca, executada artificialmente durante a confecção das amostras. A Figura 5 mostra este corpo de prova em que houve a ruptura através de um dos furos de carregamento.

Nas Figuras 6 e 7, apresentam-se estes valores médios de energia de fratura, além dos valores médios da carga máxima registrados nos ensaios de tração em disco circular com fenda.

Analisando-se a Figura 6, observa-se que o maior valor médio para a energia de fratura (G_f) foi obtido para os corpos de prova que apresentavam a camada de geogrelha de fibra de vidro; já o menor valor médio de energia de fratura correspondeu às amostras sem a presença de camada intermediária de geogrelha. Entretanto, pela Figura 7 observa-se que as amostras sem geogrelha apresentaram maior valor médio de carga máxima (1,75 kN) apesar de terem apresentado o menor valor médio de energia de fratura (919,6 J/m²).

Isto é indicativo da influência positiva da presença da geogrelha como camada destinada a atrasar a propagação de trincas, pois apesar das amostras com geogrelha apresentarem menores valores médios de carga máxima em relação àqueles sem camada de geogrelha, tiveram maiores valores médios de energia de fratura. Observa-se também que apesar das amostras com camada de geogrelha de poliéster apresentarem os menores valores médios de carga máxima, as mesmas apresentaram valores médios de energia de fratura próximos aos das amostras com geogrelha de fibra-de-vidro, o que mostra o bom comportamento destes corpos de prova quanto à resistência ao fraturamento, neste ensaio.



Figura 5: Corpo de prova cuja fratura ocorreu através de um dos furos de carregamento

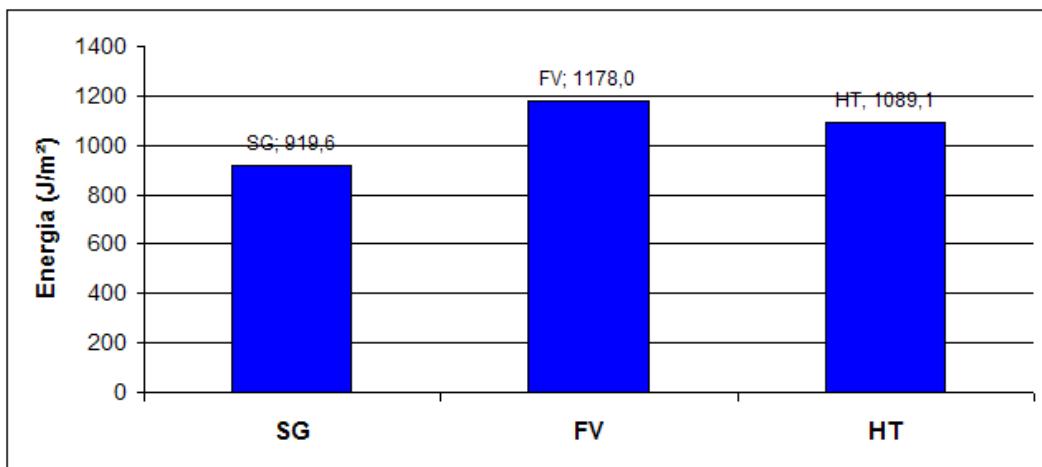


Figura 6: Valores médios de energia de fratura para os corpos de prova extraídos (SG: sem camada de geogrelha; FV: camada de geogrelha de fibra de vidro e HT: camada de geogrelha de poliéster)

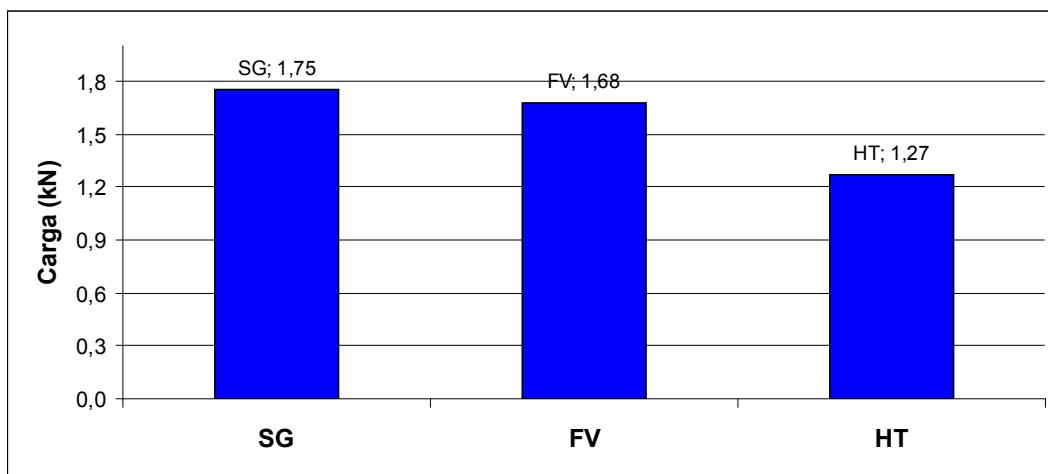


Figura 7: Valores médios da carga máxima dos corpos de prova extraídos (SG: sem camada de geogrelha; FV: camada de geogrelha de fibra de vidro e HT: camada de geogrelha de poliéster)

Nas Tabelas 9, 10 e 11, mostram-se os resultados do ensaio de tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova moldados em laboratório.

Tabela 9: Resultados do ensaio de Tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova moldados sem geogrelha

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m²)	Carga máxima (kN)
13921	1548,2	2,30

Tabela 10: Resultados do ensaio de Tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova moldados com camada intermediária de geogrelha de fibra-de-vidro

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m²)	Carga máxima (kN)
13891	1638,7	1,29

Tabela 11: Resultados do ensaio de Tração em disco circular com fenda realizados nos corpos de prova moldados com camada intermediária de geogrelha de poliéster

Nº do CP	Energia de fratura Gf (J/m²)	Carga máxima (kN)
13865	1647,3	2,03

Para cada conjunto de amostras moldadas (sem ou com presença de geogrelha) foram destinados ao ensaio de tração em disco circular com fenda três (03) corpos de prova, totalizando-se nove (09) corpos de prova. Entretanto, apenas em um dos corpos de prova de conjunto de amostras (sem camada de geogrelha ou com camada de geogrelha) foi possível utilizar os dados do ensaio, pois os demais corpos de prova apresentaram ruptura através de um dos furos de carregamento, limitando a utilização de parâmetros estatísticos.

Nas Figuras 8 e 9, apresentam-se os valores de energia de fratura e os valores da carga máxima registrados nos ensaios de tração em disco circular com fenda.

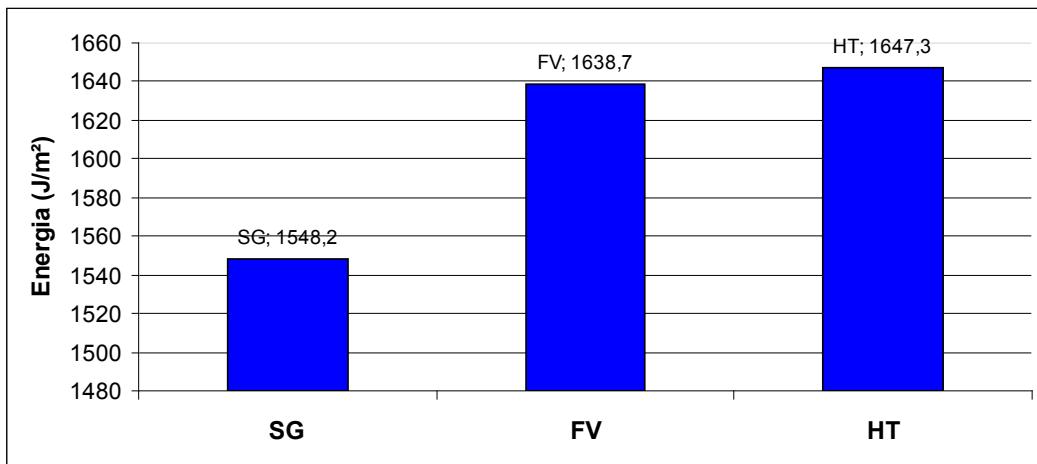


Figura 8: Valores médios de energia de fratura para os corpos de prova moldados (SG: sem camada de geogrelha; FV: camada de geogrelha de fibra de vidro e HT: camada de geogrelha de poliéster)

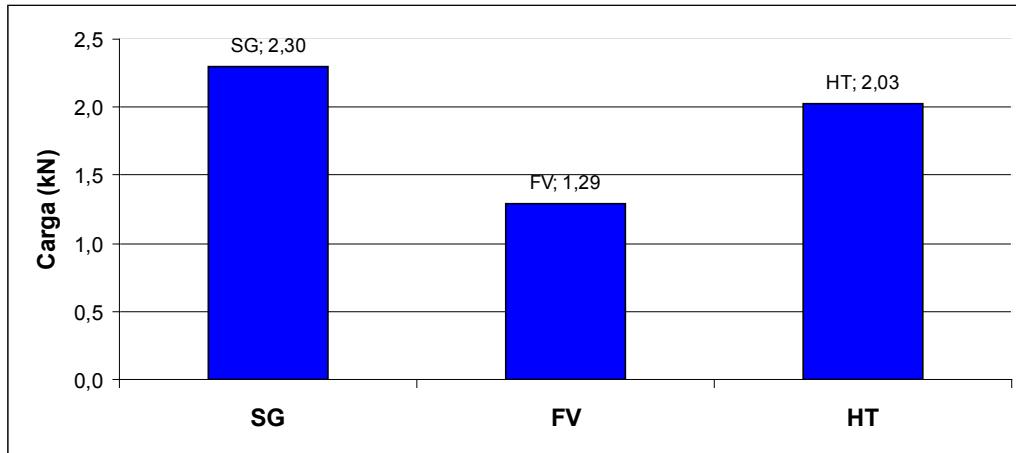


Figura 9: Valores médios da carga máxima dos corpos de prova moldados (SG: sem camada de geogrelha; FV: camada de geogrelha de fibra de vidro e HT: camada de geogrelha de poliéster)

CONCLUSÕES

Para os corpos de prova extraídos, o maior valor médio da carga máxima atingida no ensaio foi obtido pelas amostras sem a presença da camada de geogrelha, sendo o menor valor médio correspondente às amostras com a camada de geogrelha de poliéster. Apesar disto, os valores médios de energia de fratura para as amostras com presença de camada de geogrelha foram superiores aos valores médios correspondentes às amostras sem esta camada.

Para os corpos de prova moldados em laboratório, o maior valor de carga máxima também foi obtido pela amostra sem camada de geogrelha. O menor valor de carga máxima correspondeu à amostra com geogrelha de fibra de vidro.

Novamente, verifica-se que o maior valor de carga máxima obtida pela amostra sem geogrelha não correspondeu ao maior valor de energia de fratura. O maior valor de energia de fratura foi obtido pelo corpo de prova com camada de geogrelha de poliéster.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados indicaram que as amostras que apresentaram a camada intermediária de geogrelha, possuíram maior resistência à fratura, mostrando uma melhoria do comportamento ao faturamento das amostras avaliadas. Os valores de carga máxima mostraram independente dos reforços utilizados, sendo influenciados por outros fatores, como teores de vazios. Os valores de carga máxima foram obtidos para níveis de deformação relativamente baixos, onde é relevante a rigidez da mistura compactada.

A geogrelha influencia na resistência ao faturamento das amostras, sendo que tal material necessita deformar-se para atuar como elemento de reforço e que o valor de carga máxima ocorre logo no início do ensaio.

Por fim, as misturas contendo as camadas de geogrelhas apresentaram melhores resultados quanto à resistência ao faturamento. As amostras contendo camada de geogrelha de poliéster, mesmo para as amostras extraídas, que foram as que apresentaram o menor valor médio de carga máxima, o valor médio de energia de fratura foi próximo do valor médio apresentado pelos corpos de prova com geogrelha de fibra de vidro, que foram as amostras extraídas de maior valor médio. E, para as amostras moldadas, as que continham camada intermediária de geogrelha de poliéster foram as que apresentaram maior valor médio de energia de fratura. Dante dos resultados dos ensaios, a presença da camada intermediária de geogrelha aumentou a resistência à fratura das amostras analisadas, mostrando que comparativamente estes materiais geossintéticos melhoraram a resistência ao faturamento das amostras avaliadas.

WAGONER, M.P. et al. Investigation of the fracture resistance of hot-mix asphalt concrete using a disk-shaped compact tension test. *Transportation Research Board*. Washington: 2005.

WAGONER, M.P., BUTTLAR, W.G. e PAULINO, G.H. "Disk-Shaped Compact Tension Fracture Test: A Practical Specimen Geometry for Obtaining Asphalt Concrete Fracture Properties," Accepted to Experimental Mechanics, 2004.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM 7313-07. *Standard test method for determining fracture energy of asphalt-aggregate mixtures using the disk-shaped compact tension test geometry*. ASTM International: 2007.

BASTOS, G.A. *Comportamento mecânico de misturas asfálticas reforçadas com geogrelhas para pavimentos flexíveis*. Dissertação. PUC-Rio: 2010.

BÜHLER, A. *Estudo do efeito de grelhas de reforço na restauração de pavimentos*. Tese. ITA: 2007.

HIRSCH, F. *Avaliação das propriedades de fratura de misturas asfálticas através de ensaios de tração em disco circular com fenda*. Dissertação. COPPE/UFRJ: 2009.

LAO, V.L.E.S.T.; RAMOS, C.R. *Estudo e emprego de grelha polimérica anti-reflexão de trincas em pavimentos flexíveis*. XV Congresso Íbero-Latinoamericano do Asfalto (CILA). Lisboa: 2009.

RODRIGUES, R.M. *Estudo do trincamento dos pavimentos*. Tese. COPPE/UFRJ: 1991.

SILVA, B.H. de A. *Análise mecânica de um pavimento rodoviário submetido à oscilação do lençol freático simulada em modelo físico de verdadeira grandeza*. Tese. COPPE/UFRJ: 2009.

ABSTRACT

It is presented in this work, an evaluation of asphalt mixtures tested in conventional cylindrical specimens (15 cm in diameter) without reinforcement and with the reinforcement of two geogrids types (fiber-glass and polyester), through the Disk-Shaped Compact Tension Geometry Test. Prescribed in ASTM D7313-07, this test evaluates the resistance to fracture of asphalt mixtures. The results showed that the samples with geogrid reinforcement had higher resistance to fracture that were quantified by the fracture energy. By comparison in the tests, the samples with geogrids had a better performance on the fracturing than the samples without the presence of geogrid.

Keywords: Asphalt mixtures. Geogrid. Fracture energy.