

Degradação térmica de geossintéticos empregados em pavimentação

Jaime Rafael Obando Ante

Universidade de Brasília UnB, Brasília, Brasil, jaime_obando87@hotmail.com

Ennio Marques Palmeira

Universidade de Brasília UnB, Brasília, Brasil, palmeira@unb.br

Maria José Araújo Sales

Universidade de Brasília UnB, Brasília, Brasil, mjsales@unb.br

RESUMO: A durabilidade de um geossintético pode ser entendida como a capacidade que o material tem em manter determinadas propriedades ao longo da vida útil da obra. Os geossintéticos empregados no tratamento do fenômeno de reflexão de trincas estão submetidos a efeitos que podem comprometer o desempenho do reforço e, ao mesmo tempo, do composto (mistura asfáltica reforçada), durante o processo construtivo do recapeamento. Um dos fatores de degradação dos geossintéticos empregados em pavimentação, é a temperatura da mistura asfáltica, que no caso de misturas usinadas a quente, devem manter um determinado valor para garantir uma viscosidade do cimento asfáltico que permita efetuar o processo de compactação. Essa temperatura geralmente está entre 100°C e 150°C. Na presente pesquisa, são apresentados os resultados das mudanças nas propriedades mecânicas de quatro tipo de geossintéticos empregados em reabilitação de recapeamentos asfálticos, submetidos a um processo de degradação térmica sob condições controladas de laboratório. O processo de degradação consistiu na representação, numa estufa de laboratório, das variações de temperatura que acontecem durante o processo construtivo de um recapeamento asfáltico. Para efeitos da simulação, foram obtidos dados de tempo e temperatura durante o processo de instalação, compactação e resfriamento da mistura asfáltica, para posteriormente representar as mesmas condições de campo, sob condições controladas de laboratório. Ensaios de resistência de faixa larga foram realizados em amostras em estado original (sem efeitos térmicos) e em amostras envelhecidas. Os resultados obtidos mostraram diminuição da resistência à tração e da rigidez do material.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, reflexão de trincas, degradação térmica, recapeamento asfáltico, resistência à tração.

1 INTRODUÇÃO

A durabilidade de um geossintético pode ser entendida como a capacidade que o material tem em manter determinadas propriedades ao longo da vida útil da obra. Os geossintéticos empregados no tratamento do fenômeno de reflexão de trincas estão submetidos a efeitos que podem comprometer o desempenho do reforço e, ao mesmo tempo, do composto (mistura asfáltica reforçada), durante o processo construtivo do recapeamento. Os primeiros

agentes de degradação possíveis são de origem mecânicas e estão associados ao processo de instalação, colocação, espalhamento e compactação da mistura asfáltica pelas vibro acabadoras e compactadores. O segundo agente de degradação é a temperatura da mistura asfáltica, que no caso de misturas usinadas a quente devem possuir um determinado valor de modo a garantir uma viscosidade do cimento asfáltico que permita efetuar o processo de compactação. Essa temperatura geralmente está entre 100°C e

130°C. Se for comparada à temperatura de transição vítrea dos polímeros constituintes dos geossintéticos, tem-se que, mesmo o processo construtivo sendo relativamente curto, o material de reforço poderá estar submetido a uma condição de degradação acelerada, gerando alterações irreversíveis nas suas propriedades físicas e químicas.

Conforme Shukla (2002), os geossintéticos empregados em aplicações rodoviárias, especificamente geotêxteis impregnados com asfalto, submetidos a temperaturas muito elevadas, podem sofrer alterações significativas no seu comportamento. Tem-se assim, que altas temperaturas durante o processo construtivo, podem provocar alterações na estrutura molecular do geossintético. Essas alterações irão depender da natureza dos polímeros e dos aditivos incorporados, dentre outros fatores.

O aumento da temperatura acelera as reações químicas e a degradação de um polímero. Como normalmente o oxigênio está presente, em geral ocorre a ação conjugada da temperatura e do oxigênio, desenvolvendo-se uma degradação termo-oxidativa.

O presente trabalho visou investigar os efeitos da temperatura, em algumas propriedades mecânicas de geossintético empregados em obras de pavimentação. A seguir, são apresentados e discutidos a metodologia, materiais e resultados obtidos.

2 MATERIAIS

2.1 Geossintéticos

Para a realização da presente pesquisa foram escolhidos quatro tipos de geossintéticos empregados no tratamento da reflexão de trincas em pavimentos. Os reforços apresentam diferenças quanto a polímeros constituintes e propriedades mecânicas, físicas e térmicas. Para efeito de comparação entre resultados, os materiais foram separados em dois grupos, em função do polímero constituinte, da seguinte forma:

Grupo I:

GPET: geogrelha fabricada em poliéster (PET);
GPVA: geocomposto com recobrimento asfáltico fabricado com Polyvinyl alcohol (PVA).

Grupo II:

GF1: malha de fibra de vidro embutida em camada de poliéster;
GF2: reforço de fibra de vidro com capa de polímero modificado e adesivo à pressão.

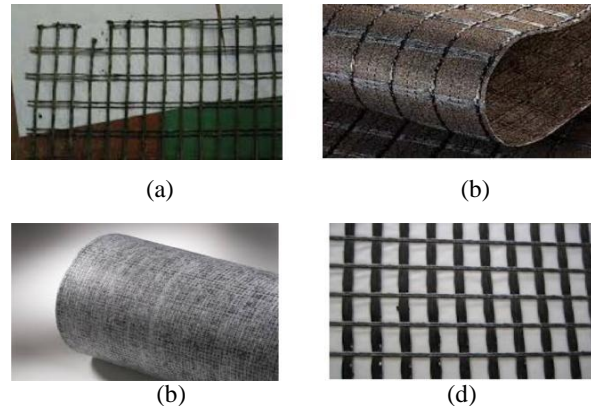


Figura 1. Geossintéticos empregados na pesquisa: (a) GPET; (b) GPVA; (c) GF1; (d) GF2.

As propriedades que foram avaliadas na caracterização, visaram obter parâmetros relacionados com a rigidez secante, deformação na ruptura, absorção de asfalto e temperaturas de transição vítrea e decomposição, entre outras. Os resultados dos ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 1.

Dos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração de faixa larga (Tabela 1), para os quatro tipos de reforço, pode-se concluir que para aqueles do grupo I (GPET - GPVA), observa-se um comportamento mais extensível, com deformações na ruptura entre 7,6% e 11,7% e rigidez secante a 5% de deformação, compreendida entre 550 kN/m e 780 kN/m. Os materiais do grupo II (GF1 - GF2) apresentam um comportamento mais rígido, com deformações na ruptura entre 2% e 3%, e uma rigidez secante a 1% de deformação compreendida entre 1200 kN/m e 2500 kN/m.

Tabela 1. Resultados ensaios de caracterização física geossintéticos empregados na pesquisa.

Propriedades Avaliadas	Nome do ensaio	Norma	Unidade	Grupo I		Grupo II	
				GPET	GPVA	GF1	GF2
Mecânicas	Rigidez secante Jsec MD/XD	NBR ISO 10319:2013	kN/m	789 / 511*	552 / 690*	1233 / 1151**	2465 / 5091**
	Resistência à Tração MD/XD	NBR ISO 10319:2013	kN/m	55 / 43	49 / 45	23 / 22	63 / 120
	Deformação na ruptura MD/XD	NBR ISO 10319:2013	%	7,6 / 9,3	11,7 / 9,1	2,1 / 2,0	3,2 / 3,5
Físicas	Abertura	-----	mm x mm	20 X 20	-----	-----	12 X 22
	Densidade	ASTM D 792:2013)	1,543	1,200	2,070	2,145
	Espessura	NBR ISO 9863 1:2013	/				
	Gramatura	NBR ISO 9864:2013	/)	249	521	249	603
	Absorção de asfalto	ASTM D 6140:2005	/)	0,22	1,14	0,41	0,33
Térmicas	Temperatura de transição vítrea T _g	ASTM E 3418:2003	°C	> 130	> 130	> 131	> 130
	Temperatura de decomposição T _d	ATM E 1131:2014	°C	> 433	> 276	> 377	> 368

*: rigidez a 5% de deformação; **: rigidez a 1% de deformação.

MD: direção de fabricação; XD: direção transversal à fabricação.

Na avaliação das propriedades térmicas dos geossintéticos, foram determinados parâmetros que permitem identificar a degradação térmica sob elevadas temperaturas. A temperatura de transição vítrea foi determinada por avaliação por calorimetria diferencial de varredura (*Differential Scanning Calorimetry* DSC). De forma geral, a temperatura de transição vítrea (T_g), é aquela em que ocorre uma mudança de comportamento do polímero de um estado mais rígido para um mais deformável. Acima dessa temperatura as zonas amorfas acham-se excitadas e em movimento constante (Bueno, 2004). Para temperaturas inferiores à T_g, a resposta do material é rígida e frágil, enquanto que para temperaturas superiores a resposta é mais dúctil (Lopes *et al.*, 2010). Se a temperatura de transição vítrea é menor que a temperatura do processo de compactação de mistura asfáltica, da ordem de 140°C, podem acontecer algumas mudanças estruturais nas cadeias poliméricas do reforço, que conseqüentemente poderão afetar sua resistência final e desempenho em condições de serviço.

As temperaturas de decomposição do material foram determinadas por análises termogravimétricas (TGA). A técnica TGA registra as mudanças da massa da amostra em função da temperatura. Segundo os resultados do ensaio de caracterização mediante a técnica TGA, o primeiro estágio de decomposição da amostra aconteceu a uma temperatura superior

aos 276°C. Assim, a temperatura de compactação das misturas asfálticas provoca algumas mudanças no desempenho do geossintético, ao submetê-lo a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea do polímero constituinte, mas sem chegar à sua decomposição.

3 METODOLOGIA

Pesquisas realizadas em geossintéticos empregados nos recapeamentos asfálticos, evidenciam a significativa influência que possuem as propriedades mecânicas e térmicas, assim como também o efeito da emulsão asfáltica e da temperatura (Norambuena-Contreras *et al.*, 2009, Norambuena – Contreras *et al.*, 2016). As alterações nas propriedades mecânicas, geralmente têm sido avaliadas com ensaios de resistência à tração, deixando-se de lado os efeitos na micro-estrutura do material. A seguir é apresentada a metodologia empregada na presente pesquisa, para a avaliação do efeito térmico da emulsão asfáltica nos geossintéticos.

3.1 Efeito da emulsão asfáltica nas propriedades mecânicas dos geossintéticos

Para determinar o efeito que a aplicação de uma emulsão asfáltica tem nas propriedades mecânicas dos geossintéticos, foi realizada uma

aplicação de material betuminoso à temperatura ambiente sobre amostras de geossintéticos. A impregnação dos geossintéticos, foi realizado aproveitando os trabalhos de reabilitação da malha viária do campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB). O procedimento consistiu na simulação das condições reais a que estaria submetido um geossintético no processo construtivo de um recapeamento asfáltico.

A aplicação do ligante foi realizada com ajuda de um caminhão irrigador, sobre amostras representativas dispostas na superfície a ser asfaltada (Figura 2). Depois de aplicada a taxa de emulsão estabelecida ($0,4 \text{ kg/m}^2$ de asfalto residual), as amostras foram retiradas e dispostas num local ao lado da obra, onde tivessem a menor perturbação possível e pudessem eliminar a água presente na emulsão, ficando somente o asfalto residual (Figura 3). Ao final do processo de secagem, as amostras foram transportadas para o laboratório para posteriormente serem realizados os ensaios de resistência à tração.



Figura 2. Aplicação da emulsão asfáltica no campo



Figura 3. Secagem das amostras

3.2 Determinação da taxa de resfriamento do CBUQ durante o processo construtivo

Visando determinar o efeito térmico sobre as propriedades mecânicas, térmicas e microestruturais dos geossintéticos, foi efetuado um acompanhamento de processos construtivos de recapeamentos asfálticos no campus universitário Darcy Ribeiro da UnB. O acompanhamento consistiu na medição da taxa de resfriamento da mistura asfáltica, efetuando-se registro do tempo e a correspondente temperatura, durante os processos de instalação, compactação e resfriamento.

Na Figura 4, são apresentados os resultados da curva de resfriamento do processo construtivo de um recapeamento asfáltico executado. Da curva de campo, é possível estabelecer três etapas diferentes. Na primeira etapa, que aconteceu entre os primeiros 15 minutos, a temperatura se manteve constante (140°C), correspondendo ao processo de instalação da mistura asfáltica. Na segunda etapa, compreendida entre 15 e 55 minutos, aconteceu o processo de compactação da mistura asfáltica. Nessa etapa, a taxa de resfriamento foi de $15^\circ\text{C}/10 \text{ min}$. Uma vez atingidas as condições de grau de compactação e volume de vazios, foi deixada que a camada resfriasse naturalmente até atingir uma temperatura em torno de 25°C , temperatura na qual foi reaberto o tráfego aos veículos. Para a presente pesquisa esta terceira etapa foi compreendida entre 55 e 320 minutos, a uma taxa de resfriamento de $2^\circ\text{C}/10 \text{ min}$.

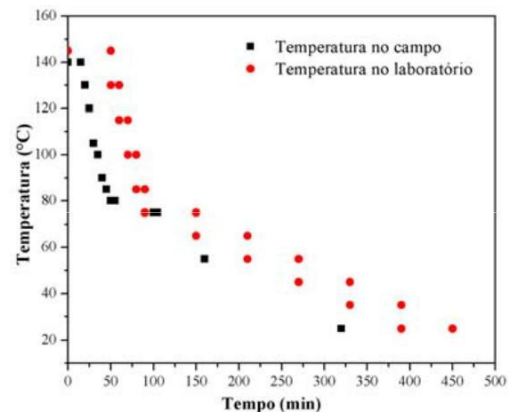


Figura 4. Curva de resfriamento processo construtivo recapeamento asfáltico.

O acompanhamento do processo construtivo foi realizado entre os dias 23 e 29 de setembro de 2013. Nesta época do ano as condições

climáticas prevaletentes foram de temperatura média de 25°C e umidade relativa variando entre 70% e 90%.

3.3 Simulação no laboratório das condições de campo

Uma vez estabelecida a curva temperatura *versus* tempo durante processo construtivo do recapeamento, procurou-se reproduzir as mesmas taxas de resfriamento no laboratório numa estufa com controle digital de temperatura e circulação de ar. As temperaturas nas três etapas identificadas no campo (instalação, compactação, resfriamento), foram simuladas em amostras com dois tipos de tratamento: estado original e com recobrimento asfáltico.

Na primeira etapa do tratamento térmico das amostras de geossintéticos foram necessários 15 minutos até a temperatura se estabelecer em 145°C, antes de se começar o ensaio. Durante todo o processo de aquecimento foram verificados tanto as temperaturas internas da estufa como as temperaturas dos corpos de prova (Figura 5). Ao final do tratamento térmico foram percebidas visualmente as primeiras alterações (Figura 6). As amostras que apresentaram mudanças mais significativas por causa do efeito térmico foram as GPVA (geocomposto). Estas amostras mostraram um encolhimento nas suas dimensões originais.



Figura 5. Efeito térmico amostras geossintéticos



Figura 6. Amostras ao final do tratamento térmico

4 RESULTADOS

Os efeitos da temperatura e da emulsão foram avaliados nos quatro tipos de reforço, em quatro condições diferentes. Para o caso do reforço GPVA, foi avaliado no estado original, designando-se esse tipo de amostra como GPVA. Para avaliar o efeito térmico no reforço, uma quantidade de espécimes no estado original foi submetida ao tratamento térmico, designando-se a estes espécimes como GPVA TE. A avaliação do efeito da emulsão asfáltica foi realizada nos espécimes preparados previamente, designando-se estes espécimes como GPVA AB. Para efeito de comparação, outro grupo de espécimes com recobrimento asfáltico foi submetido ao mesmo tratamento térmico, designando-se estes como GPVA AB TE. As mesmas terminologias foram empregadas para os outros três tipos de reforço. Na Tabela 2 é apresentado um exemplo das referências empregadas nas amostras submetidas ao tratamento térmico.

Tabela 2. Identificação de amostras submetidas ao tratamento térmico.

Reforço	Condição	Descrição
GPVA	GPVA	Reforço GPVA em estado original
	GPVA TE	Reforço GPVA com tratamento térmico
	GPVA AB	Reforço GPVA com recobrimento asfáltico
	GPVA AB TE	Reforço GPVA com recobrimento asfáltico e tratamento térmico

Os resultados obtidos na avaliação das propriedades mecânicas, correspondem à média de vários ensaios em espécimes do mesmo geossintético, das amostras com recobrimento asfáltico e submetidas ao tratamento térmico, apresentaram mudanças significativas na resistência à tração, rigidez secante e deformabilidade na ruptura, especialmente nos

geossintéticos do grupo I (fabricados com polímeros tipo PVA e PET). Os resultados obtidos para as amostras GPET do grupo I são apresentados na Figura 7 e na Tabela 3. Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir, que o efeito térmico tem uma significativa influência na rigidez secante, e na deformação na ruptura nas amostras em estado original, e com recobrimento asfáltico. Em média apresentaram uma redução da rigidez de 36%, com respeito às amostras sem o tratamento. A deformação na ruptura para o caso das amostras sem recobrimento asfáltico, apresentaram um aumento na deformação na ruptura de 140% e das amostras com recobrimento asfáltico de 95%.

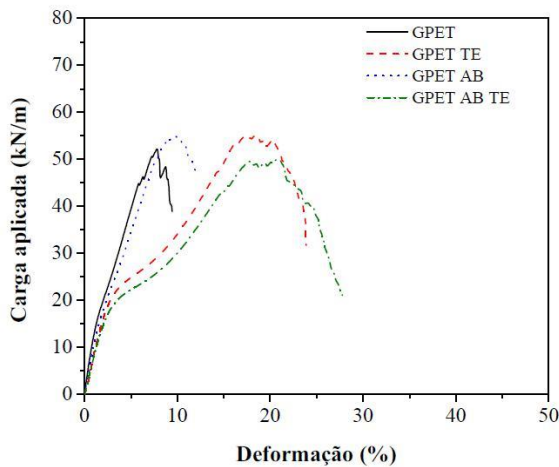


Figura 7. Curvas carga-deformação para amostras GPET.

Tabela 3. Resultados ensaios resistência à tração amostras GPET

Amostra	GPET			
	GPET	GPET TE	GPET AB	GPET AB TE
(Jsec %) (kN/m)	789	497	687	445
T _{máx} (kN/m)	55	59	57	53
ε _{máx} (%)	7,6	18,4	9,7	19

As amostras identificadas como GPVA, sem recobrimento asfáltico, apresentaram uma queda na rigidez secante de 64%, uma queda na resistência à tração de 25% e um aumento na deformação de ruptura de 185% em relação às amostras virgens (Figura 8 e Tabela 4). Para as amostras com o recobrimento asfáltico, os tratamentos térmicos geraram as seguintes mudanças no comportamento mecânico:

redução na rigidez secante de 48%, diminuição na resistência à tração de 8% e aumento na deformação de ruptura de 100%. Dos resultados anteriores, pode-se concluir que o recobrimento asfáltico diminuiu os efeitos do tratamento térmico. Assim, a emulsão asfáltica, além de melhorar a aderência com as camadas asfálticas, promove uma certa proteção contra a degradação térmica do reforço.

Tabela 4. Resultados ensaios resistência à tração amostras GPVA

Amostra	GPVA			
	GPVA	GPVA TE	GPVA AB	GPVA AB TE
(Jsec %) (kN/m)	552	196	692	361
T _{máx} (kN/m)	61	46	78	72
ε _{máx} (%)	11,7	33,3	12,5	24,9

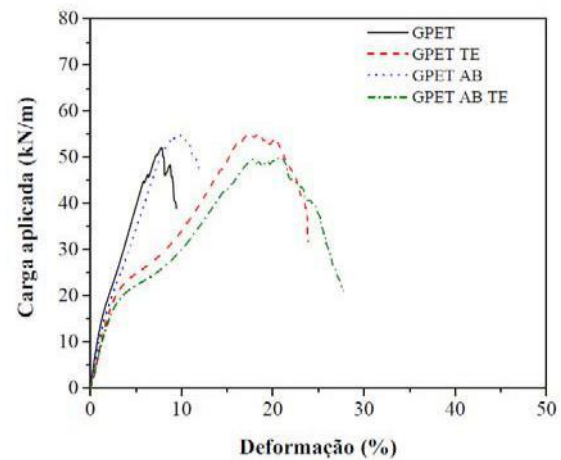


Figura 8. Curvas carga-deformação para amostras GPVA.

Nas amostras identificadas como GF1, a presença do recobrimento asfáltico e o tratamento térmico não geraram nenhum efeito significativo nas propriedades mecânicas para baixas deformações (Figura 9 e Tabela 5), à exceção da rigidez secante, que apresentou uma queda de 12% em relação à amostra no estado original.

Tabela 5. Resultados ensaios resistência à tração amostras GF1

Amostra	GPVA			
	GF1	GF1 TE	GF1 AB	GF1 AB TE
(Jsec %) (kN/m)	1233	1276	1089	1325
T _{máx} (kN/m)	23	24	24	23
ε _{máx} (%)	2,1	2,6	3,4	2,3

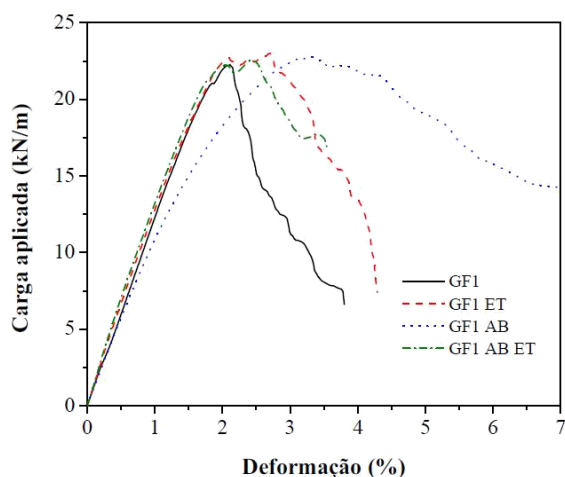


Figura 9. Curvas carga-deformação para amostras GF1.

As amostras identificadas como GF2, sem recobrimento asfáltico, após o tratamento térmico apresentaram uma queda de 41% na rigidez secante, 50% de queda na resistência à tração e um aumento do 43% na deformação na ruptura (Figura 10 e Tabela 6). As amostras GF2 com recobrimento asfáltico submetidas ao tratamento térmico apresentaram um aumento de 6% na rigidez secante, uma redução de 12,5% na resistência à tração e diminuição de 13,5% na deformação de ruptura

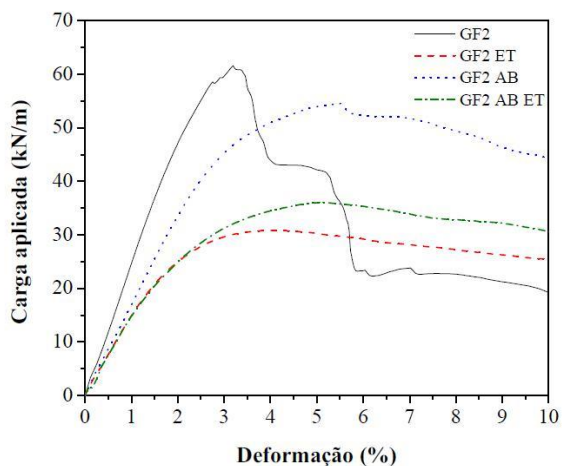


Figura 10. Curvas carga-deformação para amostras GF2.

Os resultados anteriores confirmam estudos realizados por diferentes pesquisadores, onde se observaram os benefícios da impregnação do geossintético por emulsão asfáltica (Correia & Bueno, 2011; Correia et al., 2011; Correia & Zornberg, 2014). O material betuminoso, gera

mudanças significativas na resistência à tração, rigidez secante e proteção contra as altas temperaturas empregadas em recapeamentos asfálticos.

Tabela 6. Resultados ensaios resistência à tração amostras GF2

Amostra	GF2			
	GF2	GF2 TE	GF2 AB	GF2 AB TE
(Jsec %) (kN/m)	2465	1446	1715	1826
Tmáx (kN/m)	63	31	56	49
εmáx (%)	3,2	4,6	5,9	5,1

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou resultados de ensaios visando avaliar o efeito da temperatura sobre propriedades mecânicas de alguns geossintéticos empregados em pavimentação. As principais conclusões obtidas são sumariadas abaixo.

Todos os geossintéticos avaliados apresentaram mudanças no seu comportamento mecânico devido ao tratamento térmico.

As variações mais significativas foram observadas nas amostras fabricadas com poliéster (PET) e com Polyvinyl alcohol (PVA). No caso das amostras do Grupo I, após o tratamento térmico observaram-se aumentos significativos na deformação na ruptura, devido provavelmente às alterações nas cadeias moleculares dos polímeros constituintes dos geossintéticos. Com relação à resistência à tração, as quedas mais significativas aconteceram nas amostras identificadas como GPVA e GF2. As maiores variações ocorreram nas amostras que não tiveram impregnação com emulsão asfáltica. A impregnação com emulsão asfáltica de geossintéticos empregados em pavimentação promovem uma proteção contra os efeitos térmicos.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR ISO 9863: Geossintéticos – método de ensaio para a determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. Rio de Janeiro, 2013.
- NBR ISO 10319: Geossintéticos – ensaio de tração de

faixa larga. Rio de Janeiro, 2013.

ASTM – American Society for Testing Materials.

- _ ASTM D 792 – 13. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- ___ ASTM D 6140 – 05. Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications.
- _ ASTM E 1131- 2014. Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry.
- _ ASTM E 3418 – 2003. Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry.

Bueno, B.S. (2004). Matérias primas. Manual brasileiro de geossintéticos, primeira edição. Editora Edgard Blucher Ltda, são Paulo – SP, Brasil, pp. 27-63.

Correia, N.D.S. & Bueno, B.D.S. (2011). Effect of bituminous impregnation on nonwoven geotextiles tensile and permeability properties. Geotext. Geomembranes, 29(2): 92–101.

Correia, N.S., Asce, S.M., Zornberg, J.G., Asce, M. & Bueno, B.S. (2011). Behavior of impregnated paving geotextiles: study of optimum tack coat rate: 1–8.

Correia, N.S. & Zornberg, J.G. (2014). Influence of tack coat rate on the properties of paving geosynthetics. Transp. Geotech., 1(1): 45–54.

Norambuena-Contreras, J., Barraza, D., Castro - Fresno, A., Vega - Zamanillo, A. (2009) . Thermal analysis of geosynthetics used in the rehabilitation of pavements (Análisis térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos). Ingeniare 17 (1): 95 - 100.

Norambuena-Contreras, J., Gonzalez-Torre, I., Fernandez-Arnau, D. & Lopez-Riveros, C. (2016). Mechanical damage evaluation of geosynthetics fibres used as anti-reflective cracking systems in asphalt pavements. Constr. Build. Mater., 109: 47–54.

Shukla, S.K. (2002). Geosynthetics and their applications. Thomas Telford Ltd, London, UK, 414 p.