

RESISTÊNCIA DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS IMPREGNADOS COM EMULSÃO ASFÁLTICA APÓS DANO CAUSADO POR MATERIAL GRANULAR

Mateus Aguiar Lima

Jefferson Lins da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

Universidade de São Paulo - USP

Maria de Lurdes da Costa Lopes

Faculdade de Engenharia

Universidade do Porto - FEUP

RESUMO

Os geotêxteis não tecidos são um dos geossintéticos mais utilizados na pavimentação, principalmente como sistema antirreflexão de trincas na manutenção de pavimentos flexíveis. Nessa aplicação, a impregnação do produto com emulsão asfáltica é importante a fim de promover ligação entre as camadas nova e deteriorada. Este artigo apresenta como é feita a impregnação, qual o ganho mecânico do geotêxtil com esse procedimento e como o dano causado por material granular pode afetar o desempenho dos geossintéticos. Foram utilizados geotêxteis não tecidos de polietileno tereftalato e polipropileno e dois tipos de emulsão asfáltica catiônica empregados como pintura de ligação. A partir dos resultados foram calculados fatores de redução, devido aos danos causados por material granular, que auxiliam na aplicação de geotêxteis não tecidos como sistema antirreflexão de trincas.

ABSTRACT

Nonwoven geotextiles are a class of geosynthetics most used on paving, mainly as anti-reflective cracking system on maintenance of deteriorated flexible pavements. On this role, the impregnation with asphalt emulsion is very relevant to promote interaction between new asphalt overlay and deteriorated overlay. This article presents how the impregnation process occurs, how it improves mechanical properties of geotextiles and how damage caused by granular material may influence on geosynthetics performance. Two types of nonwoven geotextiles are analyzed, made by polyethylene terephthalate and polypropylene, and two types of cationic asphalt emulsion used as tack coats. From the results, reduction factors due damage by granular material are calculated correctly, contributing on pavement rehabilitation projects using nonwoven geotextiles as anti-reflective cracking system.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de geossintéticos na reabilitação de pavimentos flexíveis é estudada desde o final dos anos 80 (Lytton, 1989) e aplicada já no início dos anos 90. Usualmente empregados como Sistema Antirreflexão de Trincas (SART), os geossintéticos funcionam como uma barreira que retarda a propagação de trincas ascendentes para a superfície do pavimento, tanto pela diminuição de suas severidades como pelo desvio delas (Button e Lytton, 2007; Cleveland *et al.*, 2002; Dhakal *et al.*, 2016; Fallah e Khodaii, 2015; Khodaii *et al.*, 2008; Lytton, 1989; Norambuena-Contreras e Gonzalez-Torre, 2015; Vilchez, 1996; Zamora-Barraza *et al.*, 2011). O SART pode conter geossintéticos impregnados com ligantes asfálticos, uma vez que a impregnação visa garantir maior aderência e impermeabilização entre as camadas. Além disso, a presença do geossintético promove aumento da resistência da estrutura, significando um acréscimo em seu desempenho (Cleveland *et al.*, 2002; Correia e Bueno, 2011; Correia e Zornberg, 2014; Wang *et al.*, 2017).

O sucesso desta técnica é dependente da correta aplicação e dimensionamento de seus componentes quanto a durabilidade, principalmente dos geossintéticos neste caso. Koerner (2005) diferencia a avaliação da durabilidade quanto à resistência durante a vida útil como à sua degradação. Esta última acontece decorrente de radiações ultravioletas, ação da temperatura, oxidação, hidrólise, agentes químicos e biológicos, enquanto a resistência durante a vida útil seria afetada por danos durante a instalação, fluência, abrasão, relaxação de tensões e fluência durante compressão (Pinho-Lopes e Lopes, 2010).

O dano durante a instalação em obra considera a alteração das propriedades devido aos esforços de manuseio e instalação, além da temperatura e do lançamento e compactação do material confinante (Pinho-Lopes e Lopes, 2010; Vertematti, 2004). As solicitações que ocorrem ainda durante a instalação, segundo Koerner (2005), podem ser mais graves que as consideradas em dimensionamento ou apresentadas quando os geossintéticos estão em operação. Como a aplicação desta técnica é feita com a utilização de máquinas já empregadas na pavimentação, demanda-se maior cuidado uma vez que os geossintéticos podem sofrer danificação acentuada durante sua instalação, porque é o momento em que o material se encontra mais exposto.

Durante a instalação de geossintéticos em camadas asfálticas como SART podem ocorrer falhas na construção que comprometam a função do material, como: (a) separação entre ligante, geossintético e camadas adjacentes provocada pela movimentação dos rolos compactadores, (b) uma redução da espessura do geossintético provocada pela compactação, assim como (c) uma danificação do geossintético devido ao atrito entre os materiais granulares das camadas adjacentes.

Uma das formas de avaliação do dano sofrido pelo geossintético durante a instalação é realizada por meio da simulação de dano por material granular, conforme a ISO 10722:2007. Uma amostra do geossintético é submetida a ciclos de aplicação de carga entre duas camadas de agregados sintéticos (óxido de alumínio) e posteriormente comparada às suas propriedades quando submetidas a pressão constante no mesmo cenário. Muitos estudos foram desenvolvidos utilizando agregados naturais para verificar a viabilidade e melhor simulação do que é aplicado em campo (Dias *et al.*, 2017; Gonzalez-Torre *et al.*, 2014; Hufenus *et al.*, 2005; Norambuena-Contreras *et al.*, 2016; Paula *et al.*, 2004).

Os estudos de Gonzalez-Torre *et al.* (2014), Hufenus *et al.* (2005), Paula *et al.* (2004) e Pinho-Lopes e Lopes (2014) destacam a variação das propriedades dos geossintéticos quando submetidos a esse método de simulação de dano durante a instalação, porém não há estudos que avaliem o dano de geotêxteis não tecidos impregnados.

Considerando os diferentes tipos de danos, um fator de redução para projeto pode ser relacionado visando atender aos critérios solicitantes da capacidade funcional dos geossintéticos em cada aplicação. Adaptada de Vertematti (2004) pode-se estabelecer a Equação 1 para que a resistência à tração disponível do geossintético (T_a) possa ser calculada considerando o fator de redução do dano durante a instalação (FR_{DI}) e a resistência à tração máxima do geossintético (T_{max}).

$$T_a = \frac{T_{max}}{FR_{DI}} \quad (1)$$

Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar como o dano de instalação causado por material granular em geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica pode afetar em seu desempenho mecânico em obras de pavimentação. Para se chegar ao resultado esperado, deve-se identificar como a impregnação com emulsão asfáltica de geotêxteis não tecidos pode melhorar o desempenho deste material, assim como verificar a perda de resistência dos geotêxteis utilizando o método de dano por material granular estabelecido pela norma ISO 10722:2007. Sendo assim, o material será considerado em projeto de forma mais correta quanto a sua durabilidade, garantindo que esta técnica retardará o aparecimento de trincas e diminuirá manutenções no pavimento.

2. MATERIAIS E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Desde 1998, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) possui a norma de procedimento de utilização de geossintético em obras rodoviárias, DNER-PRO 380/98. O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) definiu a técnica de restauração de pavimentos na norma ET-DE-P00/043, “Tratamento anti-reflexão de trincas com geossintéticos” de 2006. Essa especificação sugere a utilização de geotêxteis não tecidos ou geogrelhas impregnadas com emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida modificada, ou não, por polímero. Há diferença entre a aplicação de geogrelhas e geotêxteis, porque a geogrelha reduz as tensões cisalhantes enquanto o geotêxtil não tecido visa redirecionar e retardar o aparecimento de trincas, assim como tornar o pavimento impermeável aumentando sua vida-útil (Cleveland *et al.*, 2002; Dhakal *et al.*, 2016; Fallah e Khodaii, 2015; Khodaii *et al.*, 2008).

Os geotêxteis não tecidos virgens (não danificados) foram caracterizados fisicamente. Posteriormente, foram impregnados com dois tipos de emulsão asfáltica e, em seguida, sujeitos a danificação em material granular. Os geotêxteis virgens e impregnados, assim como os danificados, tanto virgens quanto impregnados, foram comparados em desempenho por meio da propriedade mecânica de resistência à tração. Cada material utilizado em cada etapa é descrito nas seções a seguir.

2.1. Geotêxteis

Dentre as alternativas expostas na especificação paulista de reabilitação de pavimentos, optou-se por utilizar dois tipos de geotêxteis não tecidos, um de polietileno tereftalato (PET) e outro de polipropileno (PP), ambos com 150 g/m² de massa por unidade de área nominal. Correia (2010) e Wickert (2003) apontam desvantagens na utilização de geotêxteis com gramaturas maiores que 200 g/m², uma vez que a impregnação é ineficiente e pode haver concentração de ligante em parte do geossintético.

As amostras de geotêxteis foram cortadas de acordo com a norma NBR ISO 9862 (2013) de extração de corpos de prova. De cada tipo de geotêxtil retirou-se corpos de prova para os ensaios de caracterização física (gramatura, espessura nominal e retenção asfáltica) e mecânica (resistência à tração) do material virgem, ou seja, sem impregnação asfáltica. O ensaio de resistência à tração para materiais têxteis é definido pelas normas ASTM D5035-11(2015) e ABNT NBR 11912 (2016). Todos os ensaios utilizados e suas respectivas normas estão apresentados na Tabela 1, enquanto na Tabela 2 estão os resultados da caracterização física dos geotêxteis.

Tabela 1: Propriedades dos geotêxteis e normas.

Propriedades	ASTM	ABNT
Física		
Massa por unidade de área	D5261-10(2018)	NBR ISO 9864 (2013)
Espessura nominal	D5199-12	NBR ISO 9863-1 (2013)
Retenção de asfalto	D6140-00(2014)	-
Mecânica		
Tração – método de tira	D5035-11(2015)	NBR 11912 (2016)

Tabela 2: Propriedades físicas dos geotêxteis analisados.

Propriedades	PET	PP
Espessura Nominal (mm)	1,562	1,894
Coef. de variação (%)	11,63	10,02
Massa por unidade de área (g/m ²)	141,67	165,19
Coef. de variação (%)	18,00	8,38

2.2. Emulsão asfáltica

Segundo a norma paulista para tratamento antirreflexão de trincas, a impregnação de geossintéticos deve utilizar emulsão asfáltica do tipo catiônica, de ruptura rápida e modificada, ou não, por polímeros elastômeros do tipo SBS ou SBR (DER/SP, 2006). Para esta pesquisa, optou-se por dois tipos de emulsões asfálticas, sendo uma modificada com polímero SBS, RR1C-S, e outra sem aditivos, RR-1C. Ambas as emulsões foram caracterizadas e estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades das emulsões asfálticas e normas.

Propriedades	ASTM	ABNT	RR1C-S	RR-1C
Viscosidade Saybolt-Furol	D7496-17	NBR 14491 (2007)	10 s	19 s
Resíduo por evaporação	D6934-08 (2016)	NBR 14376 (2007)	47,9 %	60,9 %
Peso específico			1013,16 g/l	752,04 g/l

2.3. Impregnação asfáltica

Realizou-se o ensaio de retenção asfáltica para determinar a capacidade que cada geotêxtil possui em reter cada uma das emulsões asfálticas. Conforme a ASTM D6140-00 (2014), cinco corpos de prova de 100 por 200 mm, em ambas as direções de fabricação de ambos os geotêxteis, foram pesados inicialmente, submersos em uma bandeja com o ligante asfáltico por 30 minutos. Após a saturação, os corpos de prova foram levados para secagem até a ruptura da emulsão asfáltica, pendurados por grampos na respectiva direção de fabricação. Em seguida, os corpos de prova foram pesados para a verificação da retenção asfáltica em ambas as direções de fabricação. O cálculo da retenção asfáltica foi feito com base na norma ASTM D6140-00 (2014), como exposto na Equação 2 e seus respectivos resultados para cada direção de fabricação, de ambos os geotêxteis não tecidos e ambas as emulsões asfálticas, estão apresentados na Tabela 4.

$$R_a = \frac{w_{sat} - w}{A_{CP} \times \rho} \quad (2)$$

Onde: R_a : retenção asfáltica do material, em g/m²;
 w_{sat} : massa do material saturado e seco, em g;
 w : massa do material virgem, em g;
 A_{CP} : área do corpo de prova, em m²;
 ρ : peso específico do ligante asfáltico, em g/l.

Tabela 4: Retenção asfáltica dos geotêxteis em g/m².

Sentido de Fabricação	PET		PP	
	RR1C-S	RR-1C	RR1C-S	RR-1C
Longitudinal	1,48	1,69	1,52	1,57
Transversal	1,39	1,73	1,48	1,45
Média	1,44	1,71	1,50	1,51

As amostras impregnadas que foram avaliadas para caracterização mecânica, assim como as que foram submetidas a danificação seguiram procedimentos de impregnação similar ao realizado no ensaio de retenção asfáltica. Os corpos de prova foram submersos na emulsão asfáltica até sua saturação, secos ao ar, presos por grampos na direção transversal à de fabricação, e após a secagem foram retirados. Com a diferença de massa entre as amostras antes da impregnação e após o período de secagem e ruptura da emulsão, pôde-se aferir a taxa de retenção asfáltica de cada material.

3. ENSAIO DE DANO CAUSADO POR MATERIAL GRANULAR (ISO 10722:2007)

Conforme a norma ISO 10722:2007, um corpo de prova de geossintético é colocado entre duas camadas de um agregado sintético e sujeito a um período de carga dinâmica. O corpo de prova de geossintético é então removido do equipamento de ensaio, verificado qualquer dano visual e então submetido a um ensaio mecânico ou hidráulico, para medir a mudança nas propriedades mecânicas ou hidráulicas, respectivamente. O resultado é expresso com a variação em percentagem da propriedade de referência.

3.1. Material granular

O agregado utilizado no procedimento de danificação, segundo a ISO 10722:2007, é um óxido de alumínio sintetizado, sendo 100% passante pela peneira de 10 mm de abertura e 0 % passante pela peneira de 5 mm. Neste estudo optou-se por utilizar agregado natural de granulometria similar ao estabelecido em norma, as distribuições granulométricas de ambos os materiais são apresentadas na Figura 1.

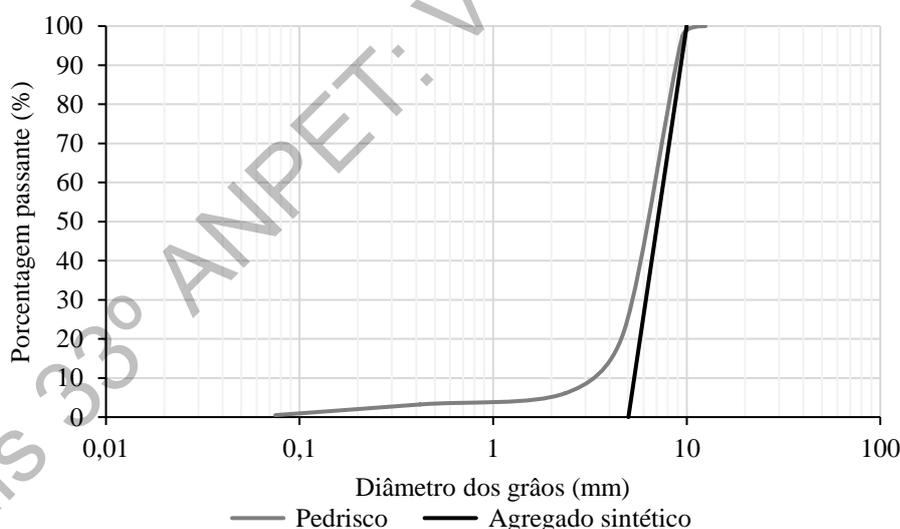


Figura 1: Comparação das distribuições granulométricas dos agregados de norma e adotado.

3.2. Procedimento de Dano Cíclico

A norma define o procedimento para uma caixa de metal rígido de 300 por 300 mm, contendo duas partes de 75 mm de altura cada, totalizando 150 mm. Preenche-se a parte inferior com o agregado e compacta-se com uma pressão de 200 kPa sobre toda a área da caixa, em duas camadas de igual altura. Coloca-se o geossintético centralizado na caixa. Preenche-se devagar a parte superior da caixa nivelando sua superfície. Centraliza-se a placa de carga à caixa, aplica-se uma pré-carga de 5 kPa e submete-se a 200 ciclos com pressão de 10 a 500 kPa a 1 Hz. A pressão de ensaio de danificação é calculada com base nas dimensões da placa.

3.3. Procedimento de Dano Estático

Para avaliação do efeito cíclico no ensaio, uma amostra do material não impregnado é ensaiada na mesma configuração do ensaio de dano cíclico e submetido a pressão estática de 500 kPa por 60 s, retirado e submetido ao ensaio de referência. Neste estudo tomou-se como ensaio de referência o ensaio mecânico de resistência à tração.

Neste estudo, tomou-se uma caixa com dimensões de 500 por 500 mm, mantendo as proporções das dimensões de norma da caixa, portanto adotou-se configuração de caixa mostrada na Figura 2.

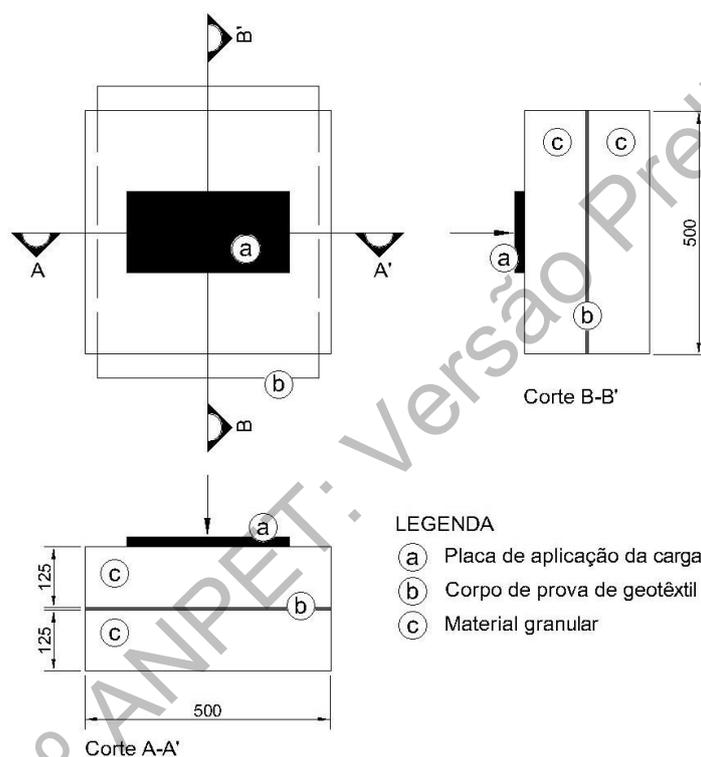


Figura 2: Esquema do equipamento de ensaio de dano.

Após cada cenário de dano, o material contido na camada superior foi retirado manualmente e cuidadosamente a fim de não danificar o geotêxtil. Os corpos de prova submetidos aos cenários de dano foram retirados da caixa, identificados e levados ao ensaio de resistência à tração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Impregnação e retenção asfáltica

Com base no ensaio de retenção asfáltica, realizou-se um procedimento similar para a impregnação das amostras que foram analisadas, tanto as não danificadas como as danificadas. No caso das amostras que foram danificadas, os corpos de prova possuíam 450 mm de largura por 600 mm de comprimento, sendo o comprimento na direção de fabricação do geotêxtil, o que demandou um maior tempo de secagem. Já as amostras não-danificadas foram impregnadas em tamanhos menores de variadas dimensões para diminuir o tempo de secagem, o que gerou uma variação da taxa de ligante asfáltico das amostras não danificadas, conforme apresentado

na Tabela 5. As amostras danificadas, portanto, não apresentaram coeficiente de variação por terem somente um valor avaliado.

Tabela 5: Retenção asfáltica das amostras de geotêxteis analisados.

Amostras	Não danificadas				Danificadas			
	PET		PP		PET		PP	
Material geotêxtil	RR-1C	RR1C-S	RR-1C	RR1C-S	RR-1C	RR1C-S	RR-1C	RR1C-S
Taxa de ligante asfáltico (g/m ²)	1,10	0,72	1,31	0,76	0,93	0,58	0,90	0,53
Coef. de Variação (%)	2,81	9,30	1,27	2,54	-	-	-	-

Todas as amostras foram comparadas mecanicamente utilizando a norma de resistência à tração em materiais têxteis ASTM D5035 (2015). De cada amostra danificada, retirou-se cinco corpos de prova de 50 por 200 mm na direção de fabricação do material. Cada corpo de prova foi submetido ao ensaio de resistência à tração, com os resultados das cinco réplicas de cada cenário, como exemplificado na Figura 4.

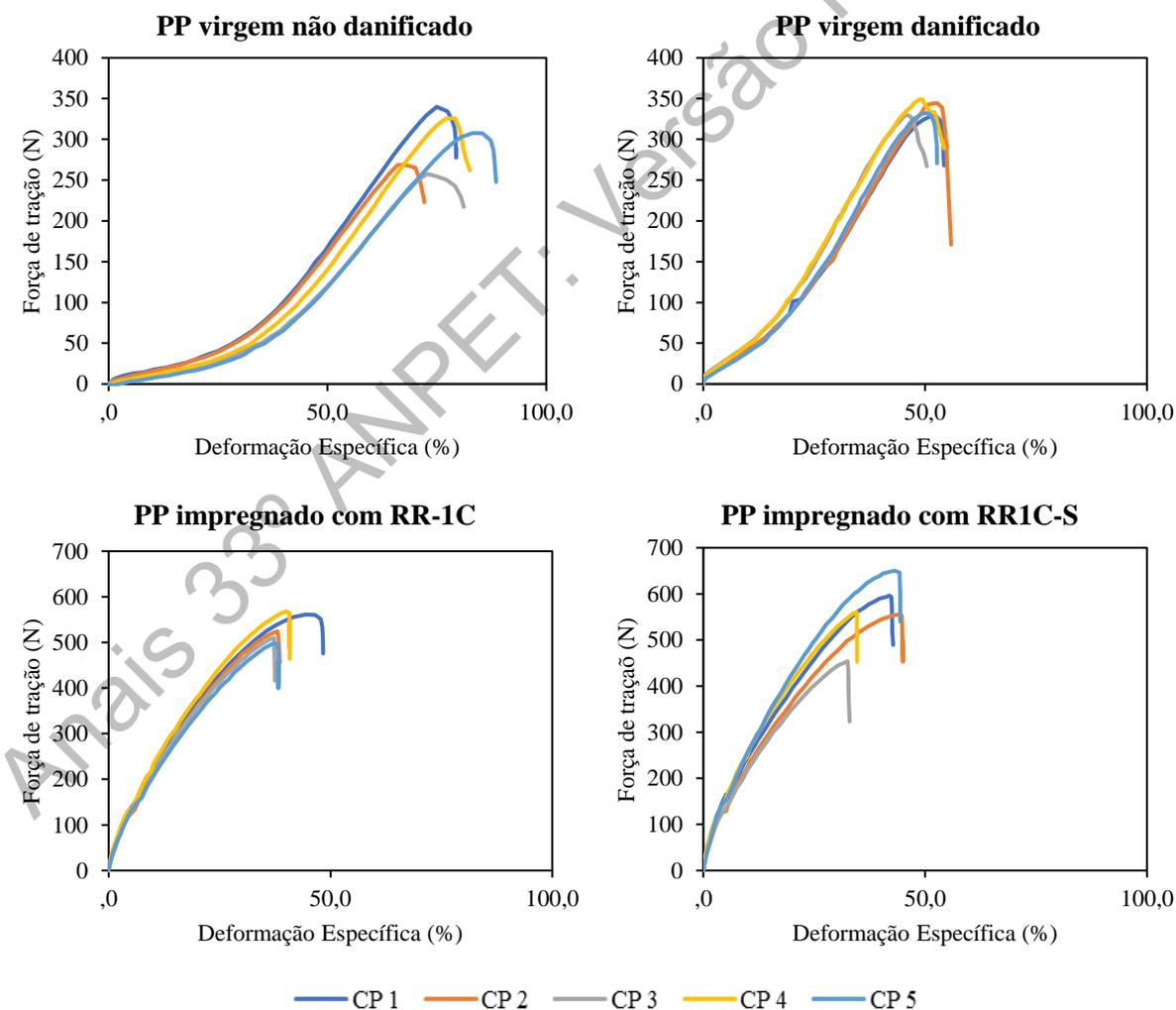


Figura 4: Gráficos de força de tração *versus* deformação.

A partir das curvas de força de tração *versus* deformação foram calculados, para comparação, a média dos valores de deformação na ruptura, resistência à tração máxima e rigidez a deformação de 5,0%. Este nível de deformação foi adotado por representar um valor normalmente utilizado em situações práticas da aplicação deste material em revestimentos asfálticos.

4.1. Amostras não danificadas

Os resultados dos ensaios de resistência à tração das amostras não danificadas estão apresentados na Tabela 6. A partir do valor de coeficiente de variação (COV), pode-se constatar a alta variabilidade das amostras de PP em relação às amostras de PET.

Tabela 6: Dados a partir do ensaio ASTM D5035:2015 das amostras não danificadas.

Material	Resistência à tração máx. (kN/m)	COV (%)	Deformação na ruptura (%)	COV (%)	Rigidez a 5% de def. (kN/m)	COV (%)
PET VIRGEM	5,47	13,86	59,71	2,49	4,75	20,18
PET RR-1C	9,11	8,62	47,64	4,56	58,13	6,65
PET RR1C-S	7,69	8,19	49,18	3,67	39,80	8,83
PP VIRGEM	6,14	11,62	75,84	8,30	3,67	21,11
PP RR-1C	13,37	14,99	48,85	17,68	56,90	15,88
PP RR1C-S	11,20	11,41	46,47	16,11	51,88	13,20

Nota-se uma melhoria na resistência à tração com a impregnação dos geotêxteis para ambos os materiais de fabricação, porém as amostras de PP apresentaram uma melhoria relativa maior. O aumento de resistência à tração para geotêxtil de polipropileno foi de 117,8 % quando impregnado com emulsão asfáltica RR-1C, enquanto as amostras impregnadas com RR1C-S apresentaram aumento de 82,4 %. No caso do geotêxtil de poliéster o aumento foi menor, sendo 66,5 % e 40,6 % para impregnações utilizando emulsão RR-1C e RR1C-S, respectivamente. A emulsão asfáltica RR1C-S, mesmo contendo o polímero SBS, não se mostrou tão melhor quanto a emulsão sem aditivos (RR-1C) quando utilizada na impregnação de geotêxteis.

As amostras de geotêxtil impregnadas mostraram diminuição da deformação, as amostras de PET em torno de 20 %, enquanto as de PP reduziram mais de 35 %. A deformação das amostras impregnadas diminuiu devido ao aumento da rigidez do material com a presença do ligante asfáltico. Isso pode ser observado analisando o valor da rigidez a 5% de deformação, onde a rigidez aumentou mais de 8 vezes com a impregnação frente às amostras virgens, conforme a Tabela 6.

4.2. Amostras danificadas

Após a danificação pelo ensaio de dano por material granular, ISO 10722:2007, os mesmos procedimentos e análises foram feitos nas amostras danificadas. Os dados obtidos pelo ensaio de tração dos geotêxteis após o dano, tanto cíclico quanto estático, são expostos na Tabela 7.

Verifica-se que o dano afetou as amostras geotêxteis, elas apresentaram diminuição das resistências à tração. Comparando as amostras virgens danificadas repetidamente com as amostras que foram ensaiadas com dano estático, nota-se uma diminuição da resistência devido à aplicação de carga cíclica. Quanto à impregnação, as amostras impregnadas mostraram-se melhores que as virgens por apresentarem uma diminuição das suas resistências à tração menor que as virgens após danificação.

As deformações na ruptura dos geotêxteis de PP se mostraram similares ao encontrado nas amostras não danificadas. Porém, as amostras de PET mostraram deformação na ruptura similar após a danificação, independente do cenário de impregnação. Esse fenômeno pode ser explicado pela maior fragilidade das fibras de PET em comparação às de PP.

Tabela 7: Dados a partir do ensaio ASTM D5035:2015 das amostras danificadas.

Dano	Material	Resistência à tração máx. (kN/m)	COV (%)	Deformação na ruptura (%)	COV (%)	Rigidez a 5% de def. (kN/m)	COV (%)
Dinâmico	PET VIRGEM	4,48	9,89	42,29	5,48	14,65	10,47
	PET RR-1C	8,67	5,03	37,05	16,69	60,54	3,81
	PET RR1C-S	7,84	3,30	40,65	4,08	50,80	3,88
	PP VIRGEM	6,84	2,77	50,12	4,88	11,11	10,61
	PP RR-1C	10,72	5,76	40,04	7,22	52,98	4,51
	PP RR1C-S	11,34	12,73	39,07	13,20	59,30	8,95
Estático	PET VIRGEM	5,10	3,47	38,98	8,81	16,52	10,21
	PP VIRGEM	8,84	18,87	49,03	17,42	16,82	19,96

Conforme a norma, a variação de resistência pode ser calculada pela diferença percentual das resistências das amostras danificadas ciclicamente e estaticamente. O geotêxtil de PET apresentou 87,8 % da resistência à tração da amostra que sofreu dano estático, enquanto o geotêxtil de PP obteve 77,4 % após o dano cíclico. Conclui-se, portanto, que as amostras de PP são mais suscetíveis ao processo cíclico de danificação quando comparado às amostras de PET, mesmo que estas apresentem menor resistência.

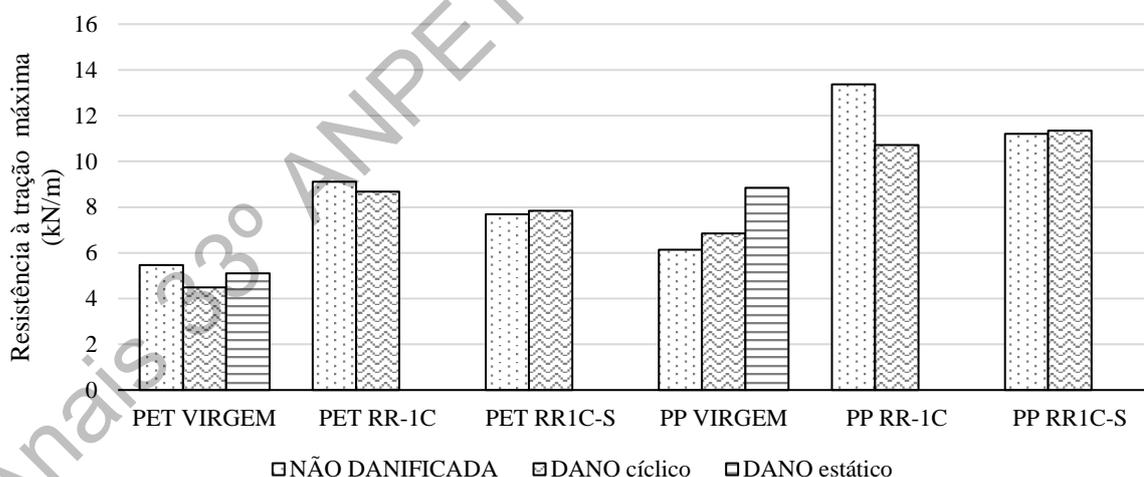


Figura 5: Comparação de resistência à tração das diferentes amostras.

A partir dos dados de resistência máxima dos diferentes cenários expostos na Figura 5 é possível identificar os materiais mais afetados pela danificação, assim como a influência da impregnação dos materiais analisados. Por fim, pode-se obter o fator de redução para os geotêxteis não tecidos avaliados para se considerar no dimensionamento conforme a Equação 1. O fator de redução foi calculado pela relação entre as resistências à tração após o dano cíclico e sem nenhum tipo de danificação. Assim, o FR_{DI} para os geotêxteis de PET e PP, nas situações sem impregnação, impregnado com RR-1C, e impregnado com RR1C-S são expostos na Tabela 8.

Tabela 8: Fatores de redução para dano durante instalação.

Impregnação	PET	PP
Virgem	1,22	0,90*
RR-1C	1,05	1,25
RR1C-S	0,98*	0,99*

*Considerar 1,00 (valor mínimo de FR_{DI} (Vertematti, 2004))

6. CONCLUSÕES

Os geotêxteis não tecidos com 150 g/m² de ambos materiais se mostraram com diferença de gramatura de fábrica, sendo os de polipropileno com maior variabilidade e os de polietileno tereftalato menos resistentes. Quanto à impregnação, os geotêxteis não tecidos se mostraram satisfatórios, interagindo bem com as emulsões asfálticas utilizadas. O emprego de uma emulsão asfáltica de ruptura rápida pura, sem adição de polímeros, garantiu melhor desempenho da impregnação. A emulsão RR-1C possui maior concentração de ligante, o que garante maior retenção asfáltica e provável maior aproveitamento de suas propriedades viscoelásticas.

Considerando a utilização de geotêxteis não tecidos na reabilitação de pavimentos, a impregnação deste geossintético aumenta o seu desempenho mecânico nas obras. Por mais que ocorra uma diminuição da deformação do material, a técnica de impregnação aumenta a resistência à tração. Vale salientar que o grau de esforço que o material é submetido em situações práticas não irá levar o material à ruptura, por isso é importante a avaliação da rigidez do material em baixos níveis de deformação. Sugere-se, a partir dos resultados aqui apresentados, a utilização de geotêxtil não tecido de PET e emulsão asfáltica de ruptura rápida, RR-1C, para o processo de impregnação.

Com base nessa avaliação, verifica-se que os materiais apresentam certa perda de resistência com o dano cíclico, mesmo que não significativas. Portanto, durante o dimensionamento da técnica antirreflexão de trincas deve ser considerado uma perda de resistência decorrente da compactação do material granular da camada adjacente. Durante o dimensionamento busca-se a utilização do fator de redução no cálculo da resistência máxima do geossintético. O correto dimensionamento garante melhor desempenho da técnica e melhores benefícios à estrutura do pavimento onde é empregado, retardando o aparecimento de trincas e a necessidade de manutenção.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, das empresas OBER S/A, Betunel Indústria e Comércio Ltda. e Grupo Bandeirantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2007a) *NBR 14491 - Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2007b) *NBR 14376 - Emulsões asfálticas - Determinação do resíduo asfáltico por evaporação - Método expedito*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013a) *NBR ISO 9862 - Geossintéticos - Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013b) *NBR ISO 9864 - Geossintéticos - Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013c) *NBR ISO 9863-1 - Geossintéticos - Determinação da espessura a pressões especificadas. Parte 1: Camada única*. Rio de Janeiro.
- ABNT. (2013d) *NBR ISO 10319 - Geossintéticos - Ensaio de tração faixa larga*. Associação Brasileira de Normas

- Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT. (2016) *NBR 11912 - Materiais Têxteis - Determinação da resistência à tração e alongamento de tecidos planos (tira) em dinamômetro tipo CRT*. Rio de Janeiro.
- ASTM. (2012) *D5199 - Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics*. doi:10.1520/D5199-01R06.2
- ASTM. (2014) *D6140 - Standard Test Method to Determine Asphalt Retention of Paving Fabrics Used in Asphalt Paving for Full-Width Applications*. doi:10.1520/D6140-00R09.2
- ASTM. (2015) *D5035 - Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)*. doi:10.1520/D5034-09R13.2
- ASTM. (2016) *D6934 - Standard Test Method for Residue by Evaporation of Emulsified Asphalt*. doi:10.1520/D6934-08R16.2
- ASTM. (2017a) *D4595 - Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*. doi:10.1520/D4595-17. Copyright
- ASTM. (2017b) *D7491 - Standard Test Method for Viscosity of Asphalt by Saybolt Furol Viscometer*. doi:10.1520/E0102
- ASTM. (2018) *D5261 - Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles*. doi:10.1520/D4833-07.2
- Button, J., e Lytton, R. (2007) Guidelines for Using Geosynthetics with Hot-Mix Asphalt Overlays to Reduce Reflective Cracking. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2004, 111–119. doi:10.3141/2004-12
- Cleveland, G. S., Button, J. W., e Lytton, R. L. (2002) *Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay System to Reduce Reflection Cracking*. Austin, TX. Obtido de <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/1777-1.pdf>
- Correia, N. de S. (2010) *Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas*. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- Correia, N. de S., e Bueno, B. de S. (2011) Effect of bituminous impregnation on nonwoven geotextiles tensile and permeability properties. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(2), 92–101. doi:10.1016/J.GEOTEXMEM.2010.10.004
- Correia, N. S., e Zornberg, J. G. (2014) Influence of tack coat rate on the properties of paving geosynthetics. *Transportation Geotechnics*, 1(1), 45–54. doi:10.1016/J.TRGEO.2014.01.002
- DER/SP. (2006) *ET-DE-P00/043 - Tratamento anti-reflexão de trincas com geossintético*. São Paulo.
- Dhakal, N., Elseifi, M. A., e Zhang, Z. (2016) Mitigation strategies for reflection cracking in rehabilitated pavements – A synthesis. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(3), 228–239. doi:10.1016/J.IJPRT.2016.05.001
- Dias, M., Carneiro, J. R., e Lopes, M. de L. (2017) Resistance of a nonwoven geotextile against mechanical damage and abrasion. *Ciencia e Tecnologia dos Materiais*, 29(1), e177–e181. doi:10.1016/j.ctmat.2016.07.007
- DNER. (1998) *DNER-PRO 380/98 - Utilização de geossintéticos em obras rodoviárias*. Rio de Janeiro.
- Fallah, S., e Khodaii, A. (2015) Reinforcing overlay to reduce reflection cracking; an experimental investigation. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(3), 216–227. doi:10.1016/J.GEOTEXMEM.2015.03.002
- Gonzalez-Torre, I., Calzada-Perez, M. A., Vega-Zamanillo, A., e Castro-Fresno, D. (2014) Damage evaluation during installation of geosynthetics used in asphalt pavements. *Geosynthetics International*, 21(6), 377–386. doi:10.1680/gein.14.00025
- Hufenus, R., Rüegger, R., Flum, D., e Sterba, I. J. (2005) Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, 23(5), 401–424. doi:10.1016/J.GEOTEXMEM.2005.02.003
- ISO. (2007) *ISO 10722 - Geosynthetics - Index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading - Damage caused by granular material*.
- Khodaii, A., Fallah, S., e Nejad, F. M. (2008) Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays. *Geotextiles and Geomembranes*, 27, 1–8. doi:10.1016/j.geotexmem.2008.05.007
- Koerner, R. M. (2005) Designing with geotextiles. *Designing with geosynthetics* (5º ed, p. 79–327). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Lytton, R. L. (1989) Use of geotextiles for reinforcement and strain relief in asphalt concrete. *Geotextiles and Geomembranes*, 8(3), 217–237. doi:10.1016/0266-1144(89)90004-6
- Norambuena-Contreras, J., e Gonzalez-Torre, I. (2015) Influence of geosynthetic type on retarding cracking in asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 78, 421–429. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.12.034
- Norambuena-Contreras, J., Gonzalez-Torre, I., Fernandez-Arnau, D., e Lopez-Riveros, C. (2016) Mechanical damage evaluation of geosynthetics fibres used as anti-reflective cracking systems in asphalt pavements.

- Construction and Building Materials*, 109, 47–54. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.01.057
- Paula, A. M., Silvano, R. P., Pinho-Lopes, M., e Lopes, M. de L. (2004) Danificação durante a instalação de geotêxteis não tecidos: análise laboratorial da influência do tipo de material granular e da energia de compactação. *II Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia* (p. 239–248). Aveiro. Obtido de <http://hdl.handle.net/10198/1773>
- Pinho-Lopes, M., e Lopes, M. de L. (2010) *Durabilidade dos Geossintéticos*. (1º ed). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pinho-Lopes, M., e Lopes, M. de L. (2014) Tensile properties of geosynthetics after installation damage. *Environmental Geotechnics*, 1, 161–178. doi:10.1680/envgeo.13.00032
- Vertematti, J. C. (2004) *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Edgard Blücher, São Paulo - SP.
- Vilchez, G. E. M. (1996) *Estudo de sistemas anti-reflexão de trincas na restauração de pavimentos asfálticos*. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- Wang, J., Xiao, F., Chen, Z., Li, X., e Amirkhanian, S. (2017) Application of tack coat in pavement engineering. *Construction and Building Materials*, 152, 856–871. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.056
- Wickert, F. (2003) *Fatores de influência no comportamento de camadas anti-reflexão de trincas com geossintéticos*. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- Zamora-Barraza, D., Calzada-Pérez, M. A., Castro-Fresno, D., e Vega-Zamanillo, A. (2011) Evaluation of anti-reflective cracking systems using geosynthetics in the interlayer zone. *Geotextiles and Geomembranes*, 29(2), 130–136. doi:10.1016/J.GEOTEXMEM.2010.10.005

Mateus Aguiar Lima (mateuslima@usp.br); Jefferson Lins da Silva (jefferson@sc.usp.br)
Maria de Lurdes da Costa Lopes (lcosta@fe.up.pt)
Laboratório de Geossintéticos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
Av. Trabalhador São-Carlense, 400 – Parque Arnold Schmidt, São Carlos, SP, Brasil, 13566-590.