

# UM EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE ABRASÃO DE GEOSSINTÉTICOS

An equipment to perform laboratorial abrasion tests of geosynthetics

André Pinto\*

M. Lurdes Lopes\*\*

**RESUMO** – Neste trabalho descreve-se um equipamento de ensaio laboratorial de abrasão de geossintéticos, desenvolvido de acordo a EN ISO 13427 (1998): "Geotextiles and geotextile-related products – Abrasion damage simulation", norma que actualmente tem de ser seguida nos países pertencentes ao CEN (como é o caso de Portugal) para avaliar a abrasão de geossintéticos. De seguida refere-se o material ensaiado e os procedimentos de ensaios de tracção-elongação e de abrasão. Os resultados dos ensaios são apresentados e analisados. Finalmente, são retiradas conclusões relativas á eficácia do equipamento desenvolvido na simulação da abrasão induzida aos geossintéticos em obras ferroviárias.

**SYNOPSIS** – This work describes an abrasion apparatus to perform laboratorial tests with geosynthetics developed in accordance to EN ISO 13427 (1998): "Geotextiles and geotextile-related products – Abrasion damage simulation", standard that must be followed in all CEN countries (as Portugal) to study geosynthetics abrasion. The geosynthetic used and tensile test and abrasion test procedures are referred. The test results are presented and analysed. Finally, some conclusions related with the test liability to model geosynthetics abrasion in railways are put forward.

## 1 – INTRODUÇÃO

A abrasão é um dos fenómenos de danificação mecânica de geossintéticos da maior importância quando estes materiais são utilizados em aplicações ferroviárias. Com efeito, a EN 13250 (2000): "Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of railways.", exige que todos os geossintéticos (exceptuando as geomembranas) aplicados em obras ferroviárias, em contacto directo com a camada de balastro, sejam ensaiados à abrasão.

Assim, tendo por base as especificações da EN ISO 13427 (1998): "Geotextiles and geotextile-related products – Abrasion damage simulation", norma em vigor ao nível dos países do CEN (como Portugal) para avaliar a abrasão de geossintéticos, desenvolveu-se um equipamento de ensaio de abrasão de geossintéticos que será descrito e testado neste trabalho (Pinto, 2005).

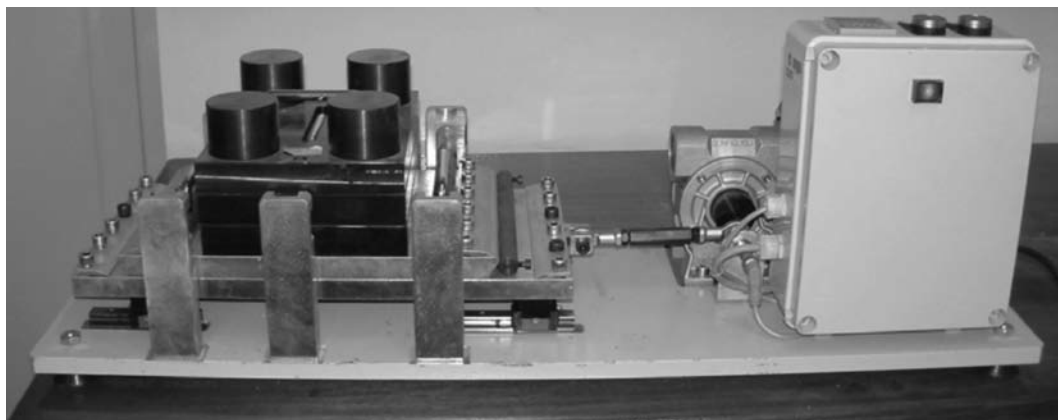
---

\* Mestre em Vias de Comunicação.

\*\* Doutora em Engenharia Civil, Professora Associada da FEUP. E-mail: lcosta@fe.up.pt

## 2 – APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO LABORATORIAL

A Figura 1 apresenta o equipamento de abrasão desenvolvido.



**Fig. 1** – Equipamento laboratorial desenvolvido para simulação da abrasão de acordo com a EN ISO 13427 (1998).

As duas placas metálicas do equipamento estão colocadas paralelamente, em posição horizontal. A placa inferior, deslizante, onde é fixa uma película abrasiva permite movimentos horizontais com curso de  $25 \pm 1$  mm. Este movimento deslizante deve ser realizado sem atrito na base, de modo a que o único atrito existente seja o da película abrasiva com o geossintético. Para eliminar o atrito na base, colocou-se entre cada um dos 4 apoios da placa deslizante uma régua com esferas de baixo atrito, conforme se pode ver na Figura 2.

A placa superior onde é fixado o provete de geossintético mantém-se estacionária, em posição horizontal, garantindo uma pressão de 6 kPa sobre o geossintético. Esta placa é guiada por um duplo conjunto de suporte, que permite o movimento livre na direcção vertical, perpendicular ao movimento da placa deslizante.

Ambas as placas são dotadas de garras nas extremidades para segurar, quer o geossintético, quer a película abrasiva. Estas garras possuem rugosidade para evitar o escorregamento do provete e da película abrasiva durante o ensaio. A Figura 3 apresenta o tipo de garras adoptadas no equipamento desenvolvido.

Constatou-se que, na placa superior a fixação do provete de geossintético com as garras não era suficiente, dado ocorrer uma folga, tanto mais notória quanto mais espesso for o geossintético, devido à adaptação do provete aos contornos laterais da placa. Assim, colocou-se um esticador na placa superior (Figura 4) que permite, após fixação do provete de geossintético, eliminar a referida folga. Note-se que a existência de folgas entre o provete de geossintético e a placa reduz, ou em alguns casos elimina, a acção abrasiva da película, visto que permite à placa superior deslocar-se relativamente ao geossintético, enquanto este adere à película abrasiva.

Após fixação do provete de geossintético e da película abrasiva às placas superiores e inferiores, respectivamente, são fixados os pesos (Figura 5) na placa superior de modo a que a pressão sobre o geossintético seja de 6 kPa. Assim, adoptou-se o peso de 39,6 kg para o conjunto da placa com os três níveis de pesos.

A simulação da abrasão dá-se pelo movimento relativo entre o geossintético e a película abrasiva, estando estes aplicados na placa superior e na placa inferior, respectivamente.



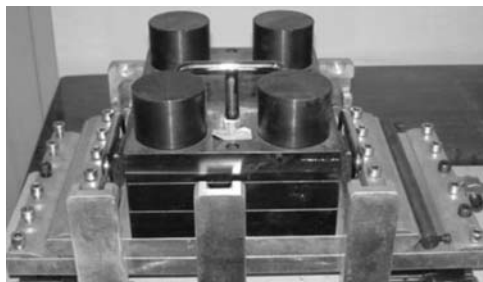
**Fig. 2** – Régua de deslizamento sem atrito da placa inferior.



**Fig. 3** – Garras de fixação da película abrasiva/provete de geossintético à placa.

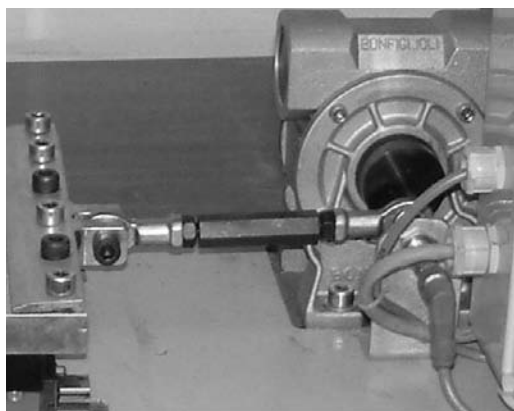


**Fig. 4** – Esticador utilizado para eliminação de folgas entre o geossintético e a placa.



**Fig. 5** – Pesos aplicados à placa superior para garantir a pressão de 6 kPa sobre o geossintético.

Um veio de transmissão (Figura 6a), ligado a um motor (Figura 6b) com 0,25 kW de potência, transmite o movimento à placa inferior, podendo esse movimento atingir 90 ciclos por minuto. Na ligação do veio de transmissão ao motor, encontra-se uma célula de leitura (Figura 7a), que faz a contagem dos ciclos ao longo do ensaio. Esta célula de leitura está associada a uma caixa de aquisição (Figura 7b), onde é possível definir o número de ciclos pretendido para cada ensaio, e acompanhar o andamento do mesmo. Uma vez completados os ciclos definidos inicialmente, o equipamento termina automaticamente o ensaio. É ainda possível interromper o andamento do ensaio manualmente, opção que terá de ser accionada caso o provete atinja a rotura antes do número de ciclos pré-definidos se completar.

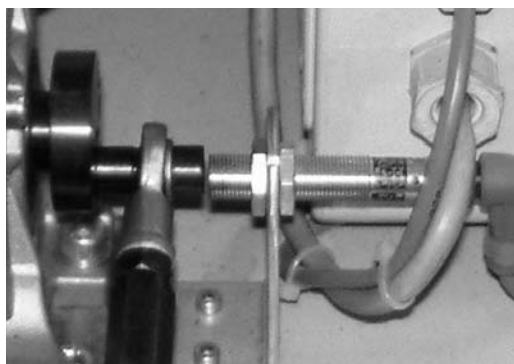


a) Veio de transmissão

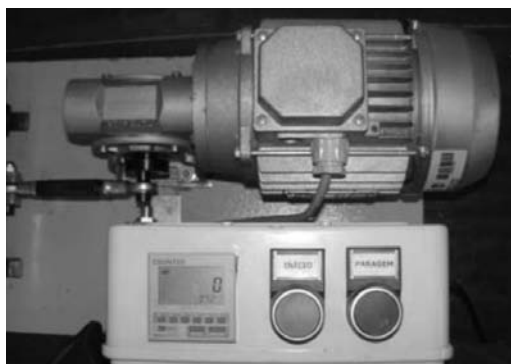


b) Motor

**Fig. 6** – Equipamento para simulação da abrasão.



a) Célula de leitura



b) Caixa de aquisição

**Fig. 7** – Leitura do número de ciclos do ensaio de abrasão.

Feita a apresentação do equipamento desenvolvido segue-se a descrição das características dos materiais utilizados no estudo e dos procedimentos dos ensaios realizados.

### 3 – MATERIAL E PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS

O geossintético utilizado é um geotêxtil não tecido, cujas características se apresentam no Quadro 1.

**Quadro 1** – Propriedades dos geotêxtil não-tecido.

Propriedade		GT1 Geotêxtil não-tecido agulhado, filamento contínuo, 100% em PP com aditivo UV
Massa por unidade de área (EN 965, 1995)	(g/m <sup>2</sup> )	700
Espessura (2kPa) (EN 964-1, 1995)	(mm)	5,3
Resistência à tracção (EN ISO 10319, 1996)	(kN/m)	42 ± 10% (D.F.*) 42 ± 10% (D.P.F.**)
Elongação na carga máxima (EN ISO 10319, 1996)	(%)	95 ± 23% (D.F.*) 80 ± 23% (D.P.F.**)
Resistência ao punçoamento (EN ISO 12236, 1996)	kN	7,2 ± 10%
Transmissividade (20 kPa) (EN ISO 12958, 1998)	m <sup>2</sup> /s	80x10 <sup>-7</sup>

\* Direcção de Fabrico

\*\* Direcção Perpendicular à de Fabrico

Realizaram-se 2 tipos de ensaios: tracção/elongação e abrasão (Quadro 2). Os ensaios de tracção/elongação foram utilizados como ensaios de controlo, isto é, a resistência à tracção do geotêxtil não danificado é definida. Após o ensaio de abrasão, a resistência à tracção do material danificado é avaliada e por comparação com o valor do parâmetro do material intacto é explicitado o grau de danificação induzido por abrasão.

**Quadro 2** – Programa de ensaios realizados.

Ensaio		Nº de ensaios realizados	
		Identificação	Após abrasão
Tracção/Elongação (EN ISO 10319, 1996)	D.F.	6	6
	D.P.F.	6	6
Abrasão (EN ISO 13427, 1998)		12	–

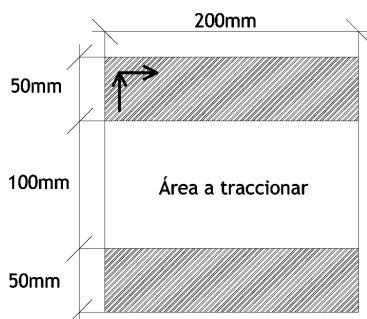
\* Direcção de Fabrico

\*\* Direcção Perpendicular à de Fabrico

#### 3.1 – Procedimentos do ensaio de tracção

Os procedimentos do ensaio de tracção encontram-se descritos com pormenor na EN ISO 10319. Neste ensaio mede-se a elongação sofrida pelo geotêxtil em função da carga aplicada, determinando-se a sua resistência máxima à tracção quando a rotura é atingida.

Os provetes de geossintético devem ser cortados, de acordo com as especificações da EN 963, (1995), com as dimensões de 200x200 mm, segundo a direcção de fabrico e na direcção perpendicular à de fabrico. Em cada provete, apenas a área de 100x200 mm é efectivamente submetida à tracção, sendo a restante área colocada entre as garras que lhe aplicam a força de tracção, de acordo com a representação esquemática da Figura 8.



**Fig. 8** – Dimensões dos provetes a utilizar no ensaio de tracção de acordo com a EN ISO 10319.

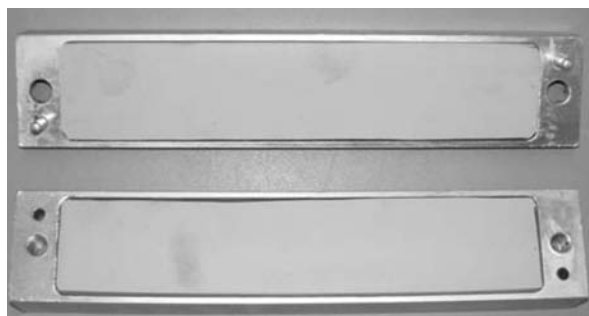
A escolha das garras para aplicação da tracção envolveu a realização de vários ensaios. Com efeito, a elevada resistência à tracção do GT1 provocava o escorregamento dos provetes nas garras, sendo esse escorregamento mais significativo nos provetes previamente submetidos ao ensaio de abrasão. As garras escolhidas, apresentadas na Figura 9b, foram as de cunha, com base aderente em borracha de modo a minimizar o escorregamento do geossintético.

Uma vez cortados os provetes e apertadas as cunhas, com o provete no seu interior, estas são colocadas paralelamente uma à outra no suporte (Figura 9a) que se encontra ligado a uma célula de carga.

A célula de carga faz parte do braço da máquina de tracção que realiza o movimento solicitante no provete. Este movimento, de acordo com a EN ISO 10319, é de  $(20 \pm 5)$  %/minuto sendo continuamente registados, através da célula de carga, os valores da força e da elongação. O registo é feito num computador que se encontra ligado à máquina. O ensaio termina quando a rotura do provete é atingida, ou quando os valores da sua extensão excedem um limite previamente definido, normalmente de 100%. Com os dados recolhidos é então possível traçar um gráfico com a relação força / elongação, através do qual é possível definir os módulos de rigidez do geossintético.



a) Suporte das garras em cunha



b) Base aderente das garras em borracha

**Fig. 9** – Garras utilizadas no ensaio de tracção/elongação.

Este procedimento deve ser repetido em 5 provetes para a direcção de fabrico e em mais 5 para a direcção perpendicular à de fabrico, sendo registados os valores médios, os coeficientes de variação e os desvios padrão.

### 3.2 – Procedimentos do ensaio de abrasão

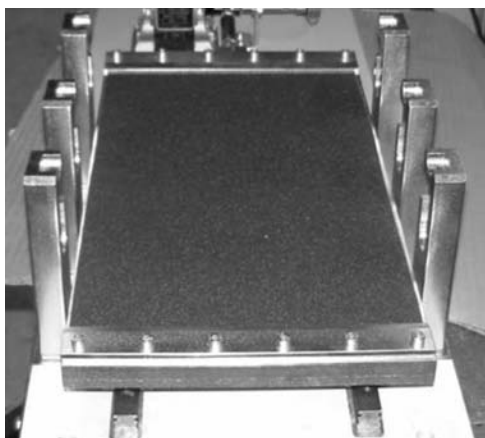
Os procedimentos do ensaio de abrasão encontram-se descritos em pormenor na EN ISO 13427 (1998). Este ensaio pretende simular a abrasão que o geossintético sofre quando o balastro, com que contacta directamente, sofre deslocamentos provocados pela aplicação de cargas provenientes do tráfego ferroviário.

Corta-se uma película de abrasivo com características de superfície P100, de acordo com ISO/DIS 6344-2, com as dimensões de 220 x 385 mm. Coloca-se a película na placa deslizante entre as garras de fixação, sem rugas e orientada no sentido do desenvolvimento do equipamento, conforme mostra a Figura 10, e apertam-se os 6 parafusos de cada uma das garras até que a película fique firme.

Os provetes de geossintético são cortados com as dimensões de 430 x 200 mm, de acordo com as especificações da EN 963. São cortados 10 provetes, 5 em cada direcção (de fabrico e perpendicular a esta).

Retira-se a placa superior do equipamento. Coloca-se uma das extremidades do geossintético alinhada sob a garra da placa, do lado que não possui esticador, e aparafusam-se os 6 parafusos dessa mesma garra, conforme se mostra na Figura 11. Seguidamente, alinha-se o provete com o desenvolvimento da placa, segurando-o na outra extremidade sob a garra, apertando os 6 parafusos dessa extremidade da placa. Até esta fase, o esticador não deve ser utilizado, devendo somente iniciar-se a sua utilização após colocação e fixação do provete às duas garras da placa superior. O esticador deve ajustar o provete às formas da placa superior, eliminando as folgas existentes não devendo, contudo, colocar o provete sob tensão.

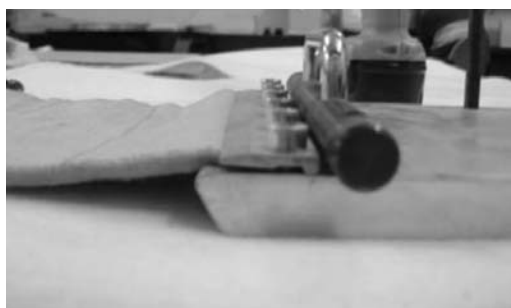
De seguida, coloca-se a placa superior nos apoios verticais do equipamento, baixando-a até que esta fique alinhada com a placa inferior onde foi colocado o abrasivo. Carrega-se a placa superior com os três níveis de pesos, define-se na caixa de aquisição 750 ciclos e dá-se início ao ensaio.



**Fig. 10** – Fixação da película de abrasivo à placa inferior deslizante do equipamento de abrasão.



a) Alinhamento do provete com a garra



b) Colocação do provete na garra

**Fig. 11** – Colocação do provete de geossintético na placa superior do equipamento de simulação da abrasão.

Uma vez terminado o ensaio, retira-se cuidadosamente o provete do equipamento, sem que se provoque qualquer tipo de danificação adicional. Na face do geossintético, oposta à que foi submetida à abrasão, marca-se a forma do provete a ensaiar no ensaio de controlo de tracção e corta-se pela marcação. Seguem-se então os procedimentos definidos para ensaio de tracção.

Este procedimento repete-se para o número de provetes definido inicialmente, utilizando-se para cada ensaio uma película de abrasivo nova.

## 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Aqui far-se-á a apresentação e análise dos resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados. Dar-se-á, naturalmente, maior relevância aos fenómenos observados no ensaio de abrasão por este se tratar de um ensaio sobre o qual não são ainda conhecidos resultados.

### 4.1 – Provetes intactos

O ensaio dos provetes intactos consiste no ensaio de identificação do geotêxtil utilizado. Os valores obtidos servem como termo de comparação na análise que posteriormente será feita quando os provetes forem submetidos ao ensaio de abrasão.

O Quadro 3 resume os resultados obtidos nos ensaios de tracção para os provetes intactos. O geotêxtil apresenta comportamentos distintos quando solicitado segundo a direcção de fabrico e

**Quadro 3** – Resultados do ensaio de tracção/elongação para provetes intactos.

Provetes Intactos						
Geotêxtil	Ensaio Tracção (EN ISO 10319)			Ensaio Elongação (EN ISO 10319)		
	Força máxima (N/m)	Coef. variação (%)	Desvio padrão	Elongação para a força máxima (%)	Coef. variação (%)	Desvio padrão
GT1	DF*	43983,82	6,25	2750,19	104,20	6,49
	DPF**	45146,11	4,20	1896,40	84,39	5,56

\* Direcção de Fabrico

\*\* Direcção Perpendicular à de Fabrico

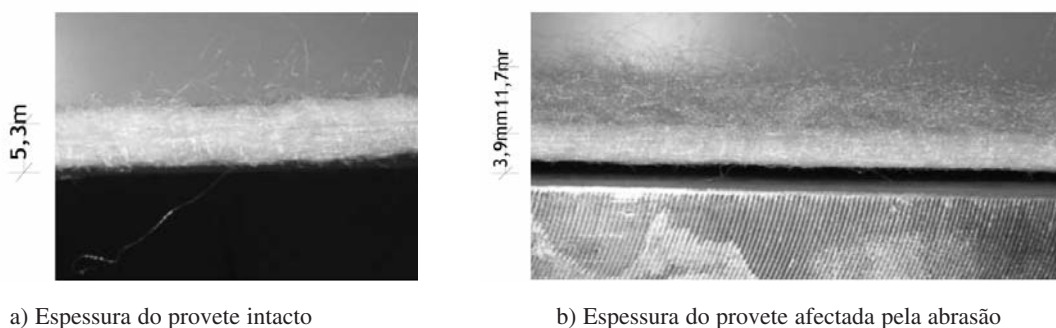


segundo a direcção perpendicular à de fabrico, característica tipicamente exibida por geotêxteis não tecidos agulhados.

#### 4.2 – Provetes submetidos à abrasão

Os provetes intactos foram submetidos ao ensaio de abrasão segundo os procedimentos descritos em 3.2. Seguidamente foram cortados, a partir dos provetes danificados, provetes com as dimensões adequadas ao ensaio de tracção.

Verifica-se que a abrasão apenas tem efeito numa parte da espessura do geotêxtil (Figura 12), tendo sido a espessura afectada cerca de 1,4mm. Os efeitos que a abrasão tem são verificados só na camada superficial e constam de uma reorientação dos filamentos numa direcção preferencial, a do sentido da abrasão, pontualmente a criação de nódulos, e uma desagregação superficial parcial. Dado que os filamentos são do tipo contínuo, a desagregação superficial apenas se dá parcialmente, não sendo os filamentos destacados da estrutura do geotêxtil.



**Fig. 12** – Simulação da abrasão no provete de geotêxtil.

Este efeito da abrasão na camada superficial faz com que o provete, quando colocado na garra de tracção para ser solicitado, tenda a sofrer deslizamento pela interface da camada desagregada com a restante estrutura. Esta tendência para o deslizamento associada à elevada resistência à tracção levou a que tivesse de ser adoptado, na zona das garras, uma colagem da zona de desagregação dos filamentos, o que possibilitou a realização dos ensaios de tracção.

Os resultados dos ensaios de tracção são apresentados no Quadro 4. Por sua vez, a Figura 13 mostra a resistência retida à tracção no geotêxtil após abrasão. Verifica-se que o geotêxtil apresenta um aumento da resistência à tracção (cerca de 20%). De referir, que observação idêntica é relatada por Nancey et al. (2002) com base em resultados de ensaios de abrasão de geossintéticos com elevada massa por unidade de área, como é o caso do utilizado no presente estudo (700g/m<sup>2</sup>). Sendo estes geossintéticos também muito espessos (a espessura do geotêxtil ensaiado no presente trabalho é de 5,3mm) os filamentos externos actuam como uma protecção dos internos, por um lado, e, por outro, a tensão de confinamento actuante provoca uma maior proximidade e interacção entre filamentos.

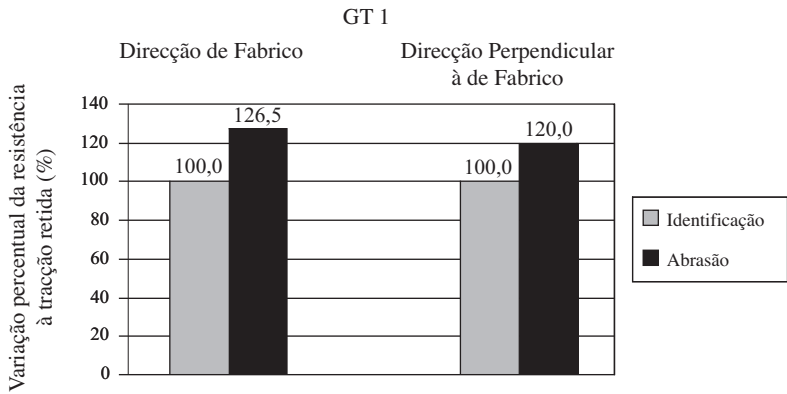
Por sua vez, a elongação na rotura do geotêxtil ensaiado também aumenta (cerca de 40%), devido provavelmente à reorientação de alguns filamentos e/ou ao facto de a camada superficial ser parcialmente destacada, o que provoca que alguns dos filamentos entrem em tracção somente quando já se deu alguma deformação prévia do geotêxtil, conforme se pode ver na Figura 14.

**Quadro 4** – Resultados do ensaio de tracção/elongação para provetes submetidos à abrasão.

Provetes Danificados							
Geotêxtil		Ensaio Tracção (EN ISO 10319)			Ensaio Elongação (EN ISO 10319)		
		Força máxima (N/m)	Coef. variação (%)	Desvio padrão	Elongação para a força máxima (%)	Coef. variação (%)	Desvio padrão
GT1	DF*	55651,20	4,29	2386,327	142,58	4,47	6,38
	DPF**	54187,78	2,50	1353,384	129,10	11,02	14,23

\* Direcção de Fabrico

\*\* Direcção Perpendicular à de Fabrico



**Fig. 13** – Resistência à tracção retida no geotêxtil após abrasão.



a) Colocação do provete nas garras



b) rotura do provete após abrasão

**Fig. 14** – Ensaio de tracção do geotêxtil GT1 após abrasão.

## 5 – CONCLUSÕES

Observou-se que os processos de abrasão que ocorrem no geotêxtil são semelhantes aos descritos por outros autores. A resistência residual do geossintético após abrasão aumentou devido, provavelmente, ao tipo de geotêxtil utilizado nos ensaios, isto é, de elevada massa por unidade de área, espesso e de filamento contínuo.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem também o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), POCTI e FEDER (Projecto de investigação: POCTI/ECM/42822/2001).

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nancey, A; Imbert, B. e Robinet, A. "Thick and abrasion resistant geotextile for use under the ballast in railways structure", Proceedings of the 7<sup>th</sup> ICG, Vol.3, Nice, France, 2002, pp.1191-1194.
- Pinto, A. E. S. *Aplicação de geossintéticos em linha-férreas. Estudo dos fenómenos de abrasão e danificação durante a instalação nos materiais*. Dissertação de Mestrado em Vias de Comunicação, FEUP, 2005, 168p.
- EN 963, "Geotextiles and geotextile-related products – sampling and preparation of test specimens", 1995.
- EN 964-1, "Geotextiles and geotextile-related products – determination of thickness at specified pressures – Part 1: single layers", 1995.
- EN 965, "Geotextiles and geotextile-related products – Determination of mass per unit area", 1995.
- EN 13250, "Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of railways.", 2000.
- EN ISO 10319, "Geotextiles. Wide-width tensile test", 1996.
- EN ISO 12236, "Geotextiles and geotextile-related products – static puncture test (CBR-test)", 1996.
- EN ISO 12958, "Geotextiles and geotextile-related products – determination of water flow capacity in their plane", 1998.
- EN ISO 13427, "Geotextiles and geotextile-related products – Abrasion damage simulation", 1998.