

EFEITO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO SEU COMPORTAMENTO AO ARRANQUE E À ROTURA EM FLUÊNCIA – ENSAIOS LABORATORIAIS

EFFECT OF DAMAGE DURING INSTALATION OF GEOSYNTHETICS ON THEIR PULLOUT AND CREEP RUPTURE BEHAVIOUR – LABORATORY TESTS

Paula, António Miguel Verdelho, Departamento de Mecânica Aplicada, *Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal*, mpaula@ipb.pt

Pinho-Lopes, Margarida, Departamento de Engenharia Civil, *Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal*, mlopes@ua.pt

Lopes, Maria de Lurdes, Departamento de Engenharia Civil, *Universidade do Porto, Porto, Portugal*, lcosta@fe.up.pt

RESUMO

Submeteram-se geossintéticos a ensaios de danificação durante a instalação (DDI) através da construção de aterros experimentais. Os efeitos da danificação induzida no comportamento mecânico de curto prazo foram avaliados recorrendo a ensaios de tracção de geossintéticos. Simultaneamente uma campanha de ensaios de arranque (EN 13738 2004) e de rotura em fluência (EN ISO 13431 1999) foram realizados sobre amostras de geossintéticos intactos e sujeitos a DDI. A campanha de ensaios incluiu dois geossintéticos com estruturas diferentes. Os efeitos da DDI nos geossintéticos, no seu comportamento ao arranque e na rotura em fluência, são apresentados e discutidos. São apresentados os valores para os coeficientes de segurança parciais determinados a partir dos resultados dos ensaios.

ABSTRACT

Some geosynthetics were subjected to the effect of damage during installation (DDI) when installed in experimental works. The effects of the damage induced on the geosynthetics by these procedures were evaluated using wide-width tensile test. Simultaneously a test program was implemented to carry out pullout tests (EN 13738 2004) and creep rupture test (EN ISO 13431 1999). The geosynthetics tested include two materials with different structures. The effects of DDI on the pullout and on the creep rupture behavior of the geosynthetics are presented and discussed. The values of the partial safety factors determined from the results of test program, are presented.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos fundamentais a ter em conta na aplicação de geossintéticos em obras de Engenharia Civil é a sua durabilidade. De facto, nas obras onde estes materiais são aplicados é necessário garantir que o geossintético cumpra a sua função durante o tempo de serviço da obra. Entre os factores capazes de afectar o comportamento dos geossintéticos, a danificação durante a instalação (DDI), pode ser bastante significativa.

Assim, neste trabalho, para avaliar o efeito da DDI no comportamento das interfaces solo-geossintético, nomeadamente quando o geossintético sofre arranque, e no seu comportamento a longo prazo, foram realizados ensaios de arranque de geossintéticos e ensaios

de rotura em fluência antes e após os materiais terem sido submetidos a procedimentos de instalação. Os resultados do estudo são apresentados e analisados. São apresentados os valores para os coeficientes de segurança parciais a aplicar no dimensionamento dos geossintéticos estudados. Estes coeficientes foram determinados a partir dos resultados das campanhas de ensaios realizadas.

2. MATERIAIS E ENSAIOS REALIZADOS

2.1. Geossintéticos

Os geossintéticos considerados no estudo foram: um geotêxtil tecido em polipropileno (GTXt) e uma geogrelha tecida biaxial em poliéster (GGRt). As propriedades físicas e mecânicas dos dois geossintéticos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Propriedades dos geossintéticos estudados

Geossintético	Massa por unidade de área (g/m ²)	Resistência à tracção		Extensão (%)
		MD (kN/m)	XMD (kN/m)	
GTXt	320	65	65	15
GGRt	-	55	55	15

Nota: MD = direcção de fabrico. XMD = direcção perpendicular à de fabrico.

Para que a comparação dos resultados dos ensaios seja possível, os geossintéticos foram seleccionados com valores da resistência nominal semelhantes (55 e 65 kN/m).

2.2. Programa de Trabalhos

O programa de trabalhos estabelecido consiste em: 1) induzir os efeitos de DDI em provetes dos geossintéticos em campo sob condições reais; 2) caracterizar esses efeitos, relativamente ao comportamento mecânico isolado dos geossintéticos (ensaios de tracção de acordo com a norma EN ISO 10319), ao comportamento da interface solo-geossintético (ensaios de arranque de acordo com a norma EN 13738 2004) e ao comportamento a longo prazo dos geossintéticos através de ensaios de rotura em fluência (de acordo com a norma EN ISO 13431 1999).

Para a DDI de geossintéticos induzida em campo, procedeu-se à construção de aterros experimentais onde se instalaram os geossintéticos em causa, recorrendo a procedimentos construtivos adequados a este tipo de materiais. Para mais detalhes ver (Lopes e Pinho-Lopes, 2001). Posteriormente os geossintéticos foram exumados. Os geossintéticos foram instalados em contacto com dois solos, um “tout-venant” (Solo 1) e um solo residual do granito (Solo 2), ver Quadro 2. Para estudar a influência da energia de compactação na danificação induzida, consideraram-se duas energias de compactação (EC1 – 90% do Proctor normal e EC2 – 98% do Proctor normal). Assim foram executados quatro aterros temporários.

Quadro 2- Caracterização granulométrica dos materiais de aterro utilizados

Solos	% 0,074mm	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D _{max} (mm)	C _u	C _c
Solo 1	5,18	0,22	2,68	11,78	19,15	50,80	87,81	1,71
Solo 2	21,53	0,07	0,17	0,38	0,68	5,00	9,64	0,58

A avaliação do grau de danificação induzido no geossintético foi feita submetendo provetes intactos e danificados em campo ao mesmo ensaio de caracterização. A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico de geossintéticos foi estudada através de

ensaios de tracção e de rotura em fluência. Para avaliar o comportamento mecânico das interfaces solo-geossintético recorreu-se a ensaios de arranque.

Assim, referem-se os efeitos da DDI de geossintéticos, na rotura em fluência destes materiais e do comportamento mecânico das interfaces solo-geossintético, em particular, o comportamento ao arranque.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Ensaio de Tracção

3.1.1. Resultados dos Ensaio de Tracção

Os ensaios de tracção foram realizados seguindo os procedimentos referidos na NP EN ISO 10319 (2006), sobre amostras dos dois geossintéticos, tanto intactas como danificadas. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3 e incluem os valores médios da resistência à tracção (R_t) e da extensão (ε) registada para o valor máximo da força, bem como os coeficientes de variação (CV) correspondentes.

Quadro 3- Resultados de ensaios de tracção após DDI *in situ*

Geossintético	Grandezas	Intacto	Solo 1		Solo 2	
			E.C.1	E.C.2	E.C.1	E.C.2
GTXt	R_t (kN/m)	77,5	43,7	26,4	*	70,4
	CV_{R_t} (%)	1,8	8,6	5,0	*	1,0
	ε (%)	13,0	8,9	7,1	*	11,7
	CV_ε (%)	4,8	13,1	7,9	*	5,6
GGRt	R_t (kN/m)	83,4	52,0	45,9	64,5	62,2
	CV_{R_t} (%)	2,4	8,8	8,7	6,0	6,3
	ε (%)	14,9	11,8	11,9	13,8	13,2
	CV_ε (%)	5,7	5,1	2,5	4,6	3,1

* Não foi possível obter estes resultados

Como se pode verificar, os valores da resistência à tracção das amostras intactas dos dois geossintéticos considerados são superiores aos valores nominais respectivos (definidos pelos produtores). Além disso, os coeficientes de variação dessa grandeza são baixos, comparativamente com o coeficiente de variação da extensão para a força máxima.

Após DDI, a resistência à tracção e a extensão correspondente dos geossintéticos em estudo sofrem uma redução, relativamente aos valores das amostras intactas correspondentes. Entre os dois solos utilizados na DDI, o que maior grau de danificação provoca é o Solo 1 com EC2, essa redução é de 66% para o GTXt, e de 45% para o GGRt, para a resistência à tracção. A redução da extensão na rotura é de 45% para o GTXt e de 20% para o GGRt, para as mesmas condições.

3.1.2. Coeficiente Parcial de Segurança para a DDI

No dimensionamento de estruturas com geossintéticos, para representar os diferentes agentes de degradação destes materiais, recorre-se a coeficientes parciais de segurança. Assim, podem ser definidos coeficientes de segurança parciais para considerar o efeito da DDI, comparando o valor da resistência à tracção do material não danificado com o valor correspondente após DDI (Equação 1):

$$CS_{DDI} = \frac{R_{t,int}}{R_{t,da}} \quad (1)$$

Em que CS_{DDI} (Quadro 4) é o coeficiente de segurança parcial para a DDI, $R_{t,int}$ é a resistência à tracção das amostras intactas e $R_{t,da}$ é a resistência à tracção das amostras danificadas.

Quadro 4- Coeficientes parciais de segurança após DDI

Geossintético	CS_{DDI}			
	Solo 1		Solo 2	
	EC1	EC2	EC1	EC2
GTXt	1,77	2,94	*	1,1
GTRt	1,60	1,82	1,29	1,34

Como se pode verificar, para os geossintéticos estudados, os valores obtidos são relativamente elevados quando os geossintéticos são danificados em campo com o Solo 1 – EC2. Quando danificados com o Solo 2 – EC2 os valores obtidos são relativamente baixos traduzindo os efeitos reduzidos da DDI induzida quando utilizado este solo.

3.2. Comportamento ao Arranque

3.2.1. Resultados dos Ensaio de Arranque

Os ensaios de arranque foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na EN 13738 (2004), tendo-se ensaiado, no mínimo, três provetes para cada tipo de amostra.

Recorreu-se ao equipamento do Laboratório de Geossintéticos da FEUP. Os procedimentos de ensaio encontram-se em Pinho-Lopes (2006). Foram realizados ensaios de arranque em amostras intactas e danificadas em campo com o Solo 2, com energias de compactação EC1 e EC2. Os ensaios de arranque foram realizados recorrendo a um índice de compactidade do solo de 50% e a uma tensão normal ao nível de geossintético de 50kPa.

O solo utilizado nos ensaios de arranque é um solo residual de granito, designado por Solo 3, ver Quadro 5. Trata-se de um material distinto do utilizado na construção dos aterros provisórios (Solo 2). No entanto procurou-se utilizar um material o mais parecido possível com o Solo 2 (Pinho-Lopes, 2006).

Quadro 5- Características do Solo 3

Solos	% 0,074mm	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	D_{max} (mm)	γ_{min} (kN/m ³)	γ_{max} (kN/m ³)	$\gamma_{[ID=50\%]}$ (kN/m ³)
Solo 3	19,87	0,19	0,39	0,55	38,10	17,20	13,59	1,71

No Quadro 6 são apresentados os resultados dos ensaios de arranque em termos da força de arranque máxima e do deslocamento frontal do provete para o qual esta ocorre, acompanhados dos coeficientes de variação respectivos. No quadro é ainda incluída informação sobre o tipo de rotura observado para os provetes ensaiados. Como se pode verificar, para os dois geossintéticos a rotura ocorre por arranque e não por tracção.

Após DDI em campo com o Solo 2 e EC2 há algumas alterações no comportamento ao arranque do geossintético GTXt. De facto, a resistência ao arranque sofre uma redução de cerca de 9% e o deslocamento frontal para a resistência ao arranque aumenta cerca de 5%.

O GGRt após DDI em campo com o Solo 2, com energia de compactação EC1 e EC2, não apresenta alterações muito significativas no comportamento ao arranque. Para o material instalado no Solo 2 com EC1, a resistência ao arranque aumenta cerca de 5% e o deslocamento frontal para a resistência ao arranque aumenta cerca de 3%, relativamente aos valores obtidos para as amostras intactas.

Quadro 6- Resultados dos ensaios de arranque das amostras intactas e danificadas

Geossintéticos		Força de arranque máxima	Coeficiente de variação	Deslocamento frontal	Coeficiente de variação	Modo de rotura dos provetes
		(kN/m)				
GTXt	Intacto	47,127	6,968	125,282	6,968	Arranque
	Solo 2-EC2	43,016	5,020	131,338	5,939	Arranque
GTRt	Inatcto	31,800	5,416	111,070	7,922	Arranque
	Solo 2-EC1	33,320	5,868	114,588	4,355	Arranque
	Solo 2-EC2	31,341	4,537	116,868	5,255	Arranque

No que se refere às amostras do GGRt instaladas no Solo 2 com EC2, há uma diminuição de cerca de 1% da resistência ao arranque e o deslocamento frontal para a resistência ao arranque aumenta cerca de 5%. Estes valores podem significar que não há alterações de realce após DDI nos valores limite obtidos do ensaio de arranque deste geossintético.

3.2.2. Coeficiente Parcial de Segurança para o Arranque

De forma análoga à seguida para avaliar a resistência de curto prazo dos geossintéticos estudados, foi também determinado o coeficiente parcial de segurança para avaliar a resistência ao arranque após DDI (Equação 2).

$$CS_{ar,DDI} = \frac{R_{ar,int}}{R_{ar,da}} \quad (2)$$

Em que $CS_{ar,DDI}$ é o coeficiente de segurança parcial para a força de arranque após DDI, $R_{ar,int}$ é a força de arranque máxima das amostras intactas e $R_{ar,da}$ é a força de arranque máxima das amostras danificadas. Note-se que estes coeficientes de segurança devem ser sempre não inferiores a 1,0.

Os valores determinados são apresentados no Quadro 7. Como se pode verificar, os valores obtidos são relativamente baixos e próximos de 1,0, traduzindo os efeitos reduzidos da DDI induzida nas condições em análise. Note-se que o coeficiente de segurança parcial obtido para a geogrelha GGRt com o Solo 2 e EC1 seria inferior a 1,0.

Quadro 7- Coeficientes parciais de segurança após DDI

Geossintético	CS _{DDI}	
	Solo 2	
	EC1	EC2
GTXt	*	1,10
GGRt	1,00	1,01

3.3. Comportamento a Longo Prazo

3.3.1. Resultados dos Ensaios de Rotura em Fluência

Os ensaios de rotura em fluência foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma europeia EN ISO 13431 (1999). Na Figura 1 estão representados os resultados obtidos desses ensaios, assim como a curva de rotura em fluência e o limite inferior de confiança de 95% (LIC (95%)) para os dois geossintéticos estudados e para os diferentes tipos de amostras estudadas. Os resultados de ensaios de rotura em fluência permitem inferir o tempo de vida do material sob acção de carga constante, recorrendo a extrapolações. No entanto, estas devem ser realizadas com cautela e com informação relevante.

Para os dois geossintéticos o efeito de rotura em fluência é maior nos materiais intactos do que nos materiais danificados. Entre os materiais danificados esse efeito é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo (após DDI com Solo 1 e EC2). No entanto, da análise do coeficiente de determinação da aproximação linear, bem como das linhas correspondentes ao limite inferior de confiança, verifica-se uma maior dispersão de resultados nas amostras danificadas.

Entre os dois geossintéticos estudados o efeito de rotura em fluência é maior no GTXt do que no GGRt. Os resultados apresentados indicam que, após 30 anos de serviço sob carga constante, o material intacto GTXt, sofreria rotura e a carga correspondente seria de 49,7% da resistência à tracção do geossintético, para o GGRt, a rotura ocorreria para 56,7% da resistência à tracção.

3.3.2. Coeficiente Parcial de Segurança para Rotura em Fluência

O coeficiente de segurança a aplicar para considerar os efeitos da rotura em fluência dos geossintéticos (CS_{FLU}) foi determinado comparando a carga de rotura do material intacto associada a um tempo de vida de 1 minuto ($F_{1min,ref}$) com a carga de rotura de longo prazo (tempo de serviço de 30 anos) dos vários tipos de amostras de geossintético estudadas, ($F_{30anos,da}$), Equação 3. Trate-se assim de um coeficiente de segurança que tem em conta o efeito combinado da danificação durante a instalação e rotura em fluência (Pinho-Lopes, 2006).

$$CS_{FLU,DDI} = \frac{F_{1min,ref}}{F_{30anos,da}} \quad (3)$$

Os valores obtidos são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8- Coeficientes parciais de segurança após DDI, rotura em fluência

Geossintético	CS_{FLU}				
	Intacto	Solo 1		Solo 2	
		EC1	EC2	EC1	EC2
GTXt	1,74	4,37	9,78	-	1,92
GTRt	1,47	2,14	-	1,72	-

Os valores dos coeficientes de segurança variam de 1,47 a 9,78. Este último para o geossintético que maior danificação sofre após instalação (GTXt) e quando danificado com Solo 1 e EC2. De facto, as amostras cujo comportamento mecânico é mais afectado são as instaladas nos aterros provisórios com Solo 1 e energia de compactação EC2.

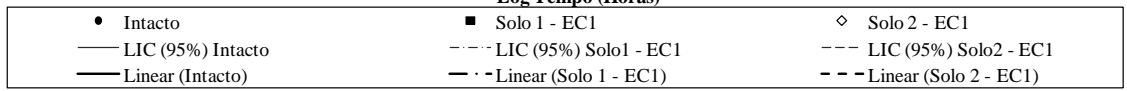
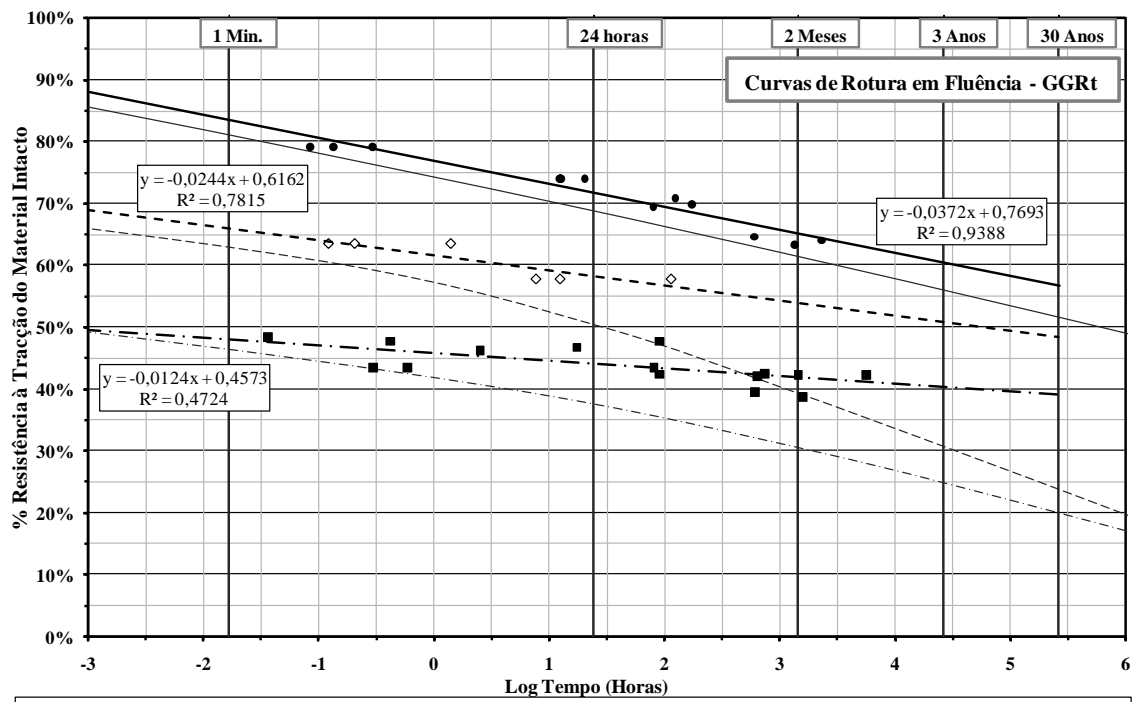
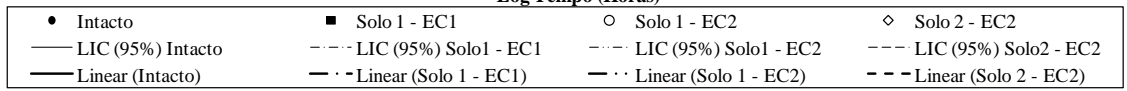
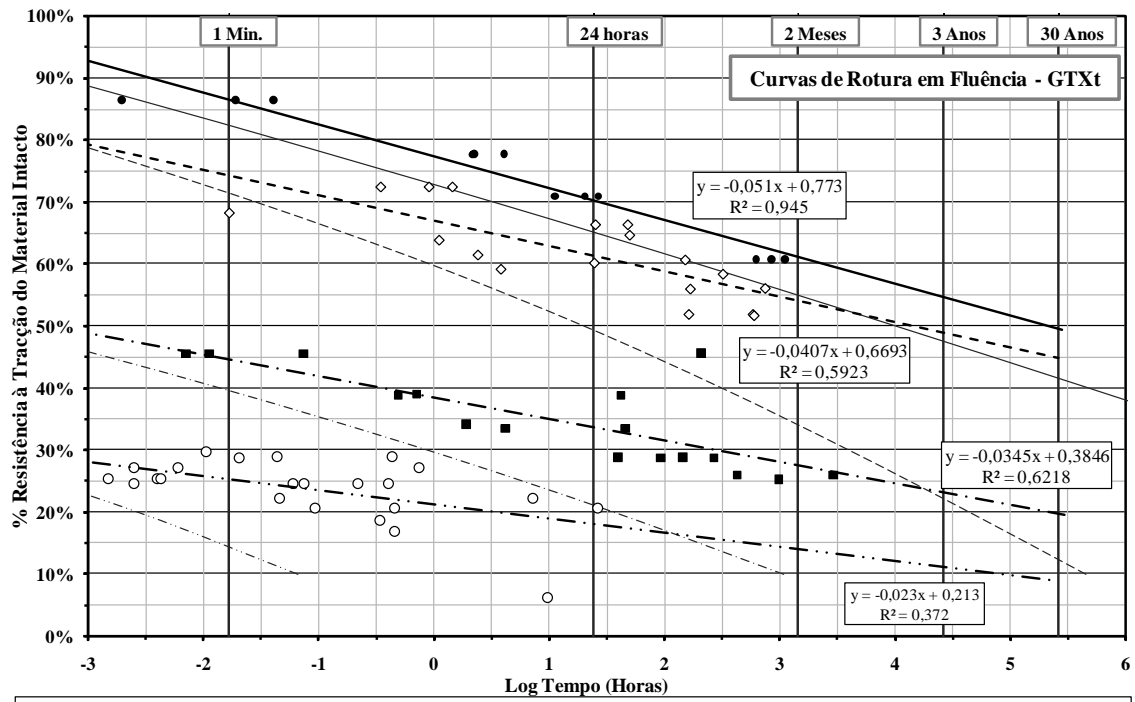


Figura 1 – Curvas de rotura em fluência para os geossintéticos estudados (EN ISO 13431 1999)

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o efeito no comportamento ao arranque e na rotura em fluência em amostras de geossintéticos intactos e danificadas durante a instalação através da construção de aterros experimentais. Foram estudados dois geossintéticos com estruturas diferentes, um geotêxtil tecido em polipropileno e uma geogrelha tecida biaxial em poliéster. Foram apresentados os valores para os coeficientes de segurança parciais determinados a partir dos resultados dos ensaios.

Com base nos resultados obtidos é possível formular as seguintes conclusões:

- É clara a influência do tipo de geossintético no comportamento mecânico de curto prazo e longo prazo. Os coeficientes parciais de segurança para a danificação durante a instalação, e rotura em fluência são menores na geogrelha tecida biaxial, GGRt do que no geotêxtil tecido GTXt. O geotêxtil tecido, GTXt, apresenta maior susceptibilidade à danificação durante a instalação do que a geogrelha tecida biaxial, GGRt.
- Os coeficientes parciais de segurança para o efeito combinado do comportamento ao arranque e danificação durante a instalação são relativamente baixos, o que traduz o efeito reduzido da danificação durante a instalação no comportamento ao arranque dos geossintéticos estudados. No entanto esses coeficientes de segurança são ligeiramente maiores no geotêxtil do que na geogrelha quando danificados com Solo 2 e EC2.
- O efeito de rotura em fluência é maior nos materiais intacto do que nos materiais danificados. Entre os materiais danificados esse efeito é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo (após DDI com Solo 1 e EC2).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Projecto PTDC/ECM/67547/2006

REFERÊNCIAS

- EN ISO 13431 (1999). “Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep and tensile creep rupture behaviour”.
- NP EN ISO 10319 (2006). “Geotêxteis – Ensaio de tracção em tiras largas”.
- EN 13738 (2004), Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of anchorage properties by means of a pull out test.
- Lopes, Maria de Lurdes e Pinho Lopes, Margarida (2001). “Danificação Durante e Construção de Geossintéticos – Estudo dos Coeficientes de Segurança a Adoptar” *Relatório de Acção de Investigação no âmbito do protocolo*, ICERR/FEUP, Portugal.
- Pinho-Lopes, M.J.F. (2006). “Estudo dos coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão de solos e de estabilização de maciços com geossintéticos”, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, F.E.U.P., Porto.