

UM EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS

Equipment to Carry Out Laboratory Damage During Installation Tests on Geosynthetics

Margarida Pinho Lopes*

Maria de Lurdes Lopes**

RESUMO - Descreve-se um equipamento desenvolvido para a realização de ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos. Estes ensaios permitem induzir laboratorialmente nos geossintéticos efeitos dos procedimentos da sua instalação em obra. Para além do equipamento são descritas as metodologias de ensaio e são identificadas as características do material granular e do geossintético utilizados. Após a realização do ensaio de danificação durante a instalação procedeu-se, sobre amostras do geossintético intactas e danificadas: 1) à observação através de microscopia electrónica de varrimento; e 2) a ensaios de tracção, para se caracterizar a danificação induzida.

SYNOPSIS - The equipment developed to carry out damage during installation tests in laboratory on geosynthetics is described. These tests allow inducing in laboratory the effects of the procedures of installation on site on the geosynthetics. The test equipment and test procedures are described and the characteristics of the granular material and the geosynthetic used in this study are referred. After carrying out the damage during installation laboratory tests, intact and damaged samples of geosynthetic were: 1) observed using scanning electronic microscope; and 2) carried out tensile tests in order to characterise the damaged induced.

1 INTRODUÇÃO

Uma das questões mais pertinentes nas estruturas em que os geossintéticos estão presentes, em particular quando exercem a função de reforço, é a possibilidade de redução da sua resistência. De facto, os geossintéticos podem sofrer variações de resistência, tanto a curto como a longo prazo, motivadas por diversos factores. Entre estes referem-se as ligações efectuadas durante a aplicação, a danificação no decurso da instalação por acção dos equipamentos de construção e de deficientes técnicas de colocação, a fluência e a exposição a agentes físicos, químicos e biológicos.

A danificação que os geossintéticos podem sofrer por efeito das operações de construção e instalação em obra é um dos mais importantes agentes indutores de redução de resistência. De facto, se, por um lado, estes materiais sofrem fluência (efeito a longo prazo), por outro lado, o processo de instalação em obra pode induzir alterações, normalmente inevitáveis (Greenwood, 1998), que, por sua vez, podem condicionar a resposta dos geossintéticos.

Estes factores de degradação, em geral, são considerados no dimensionamento de estruturas com geossintéticos através de coeficientes de segurança que representam a redução de resistência devida a mecanismos distintos e não relacionados. Segundo alguns autores, os

* Assistente, Universidade de Aveiro, E-mail: mlopes@civil.ua.pt

** Professora Associada, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, E-mail: lcosta@fe.up.pt

coeficientes de segurança mais elevados dizem respeito à fluência e à danificação durante a instalação. Esta forma de dimensionar as estruturas com geossintéticos conduz à necessidade de verificar até que ponto os valores usados na prática são ou não adequados e de definir coeficientes de segurança realistas no dimensionamento dessas estruturas.

Para tal é necessário avaliar os efeitos da danificação durante a instalação (DDI) de geossintéticos das seguintes formas:

1. quantificar os efeitos da DDI nas propriedades mais relevantes dos geossintéticos, enquanto mecanismo actuando de forma isolada;
2. avaliar o efeito conjunto da danificação induzida durante a instalação em obra de geossintéticos e outro(s) agente(s) de degradação, actuando sob o material.

Para tal tem-se procurado induzir a danificação de instalação em geossintéticos (sob condições conhecidas) recorrendo a diferentes metodologias – ensaios de laboratório e ensaios de campo. Alguns resultados destes estudos podem ser encontrados em Pinho Lopes *et al.* (2000), Lopes e Pinho-Lopes (2001), Pinho-Lopes e Lopes (2002) e Pinho-Lopes *et al.* (2002).

Assim, neste trabalho apresenta-se o equipamento desenvolvido de forma a induzir em laboratório efeitos que simulem os processos de instalação em obra de geossintéticos. É ainda feita a caracterização dos efeitos da danificação induzida no geossintético estudado.

2 ENSAIO LABORATORIAL DE DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS: REFERÊNCIA NORMATIVA

Os procedimentos do ensaio laboratorial de danificação durante a instalação de geossintéticos encontram-se descritos na ENV 10722-1 (Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials) desenvolvida pelo Grupo de Trabalho 3 (Ensaio Mecânicos) da Comissão Técnica 189 (Geotêxteis e Produtos Relacionados) da Comissão Europeia de Normalização.

De seguida referem-se alguns dos aspectos mais relevantes relativos a esses procedimentos de ensaio:

- o provete de geossintético é colocado entre duas camadas de um agregado sintético e submetido a uma carga dinâmica durante um determinado intervalo de tempo;
- o provete é então retirado do equipamento de ensaio, é examinado, para que se detecte alguma danificação visual, e é submetido a um ensaio de referência, mecânico ou hidráulico, para se avaliarem as alterações nas propriedades mecânicas ou hidráulicas, respectivamente;
- o resultado é expresso pelo índice de danificação que traduz a variação (em percentagem) do valor da propriedade de referência, devendo ser também incluída no relatório do ensaio a descrição da danificação visual observada.

2.1 Preparação dos provetes

De acordo com a norma do ensaio devem ser preparados seis provetes (cortados de acordo com o especificado na EN 963), para cada direcção do geossintético a ensaiar. Cada um desses provetes deve ter 1,0m de comprimento e 0,50m de largura e, posteriormente deve ser cortado em dois sub-provetes, com 1,0m de comprimento e 0,25m de largura, um para ser usado no ensaio de danificação, o outro para servir como referência.

Os provetes preparados para este ensaio que sejam posteriormente submetidos a ensaios de tracção devem ser preparados de forma a cumprir os requisitos da norma desse ensaio (EN ISO

10319). Caso seja utilizado um outro ensaio de referência, os provetes devem ser cortados com as dimensões adequadas ao procedimento de ensaio a usar.

Os provetes a ensaiar devem ser acondicionados e os ensaios devem ser conduzidos nas atmosferas de ensaio definidas na norma ISO 554 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura e $65 \pm 5\%$ de humidade relativa).

2.2 Equipamento

Seguindo as indicações da ENV 10722-1, o equipamento de ensaio deve ser uma máquina de compressão que possa ser controlada de forma a produzir na placa de carregamento uma carga sinusoidal variando entre $900 \pm 10\text{kPa}$ e $5 \pm 5\text{kPa}$, com uma frequência de 1Hz.

A caixa de danificação deve ser metálica e rígida, fabricada em aço, com dimensões internas mínimas de 300mm por 300mm em planta. Deve consistir de duas partes com 75mm de altura cada. Essas duas partes que constituem a caixa de danificação devem ser aparafusadas ou fixas por encaixe durante o ensaio.

A parte inferior da caixa deve ser montada sobre uma base rígida.

A placa de carregamento deve ter as dimensões: 100mm por 200mm. Deve ser construída em aço ou alumínio e deve ter rigidez adequada para que possa transmitir ao agregado as cargas, sem se deformar.

Na Figura 1 é apresentado um esquema do equipamento descrito.

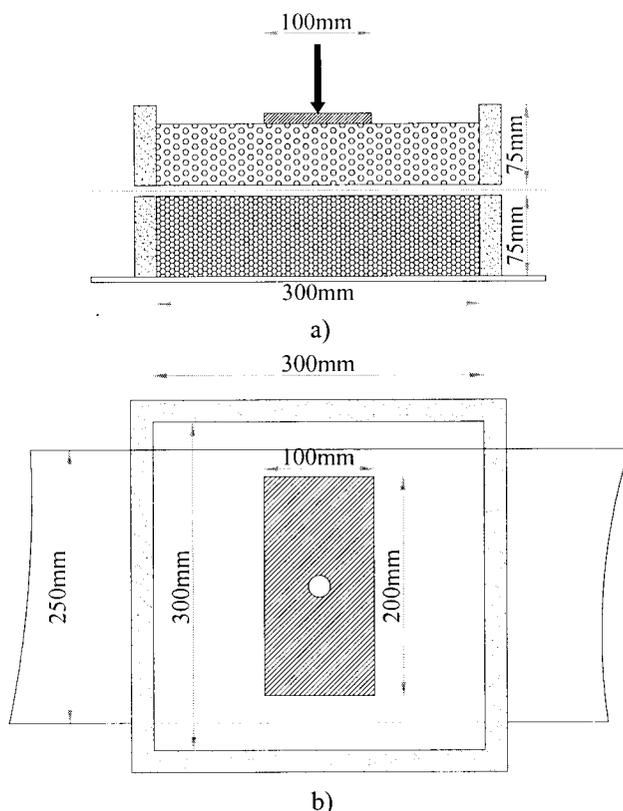


Fig. 1 – Esquema do equipamento do ensaio laboratorial de danificação de geossintéticos (ENV 10722-1): a) corte; e b) planta do equipamento.

2.3 Agregado

O agregado, isto é, o material granular utilizado para confinar a amostra de geossintético e para proceder à sua danificação deverá ser um agregado sintético. Trata-se de um óxido de alumínio que deverá cumprir os seguintes requisitos:

- granulometria – quando ensaiado de acordo com a prEN 933-1, 100% do material deverá passar no peneiro de 10mm e 0% deverá passar através do peneiro de 5mm de abertura;
- dureza – quando ensaiado de acordo com a prEN 1097-2 o agregado deverá ter uma resistência à abrasão Los Angeles não inferior a 1,9.

3 EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

O equipamento, desenvolvido na FEUP, para a realização de ensaios laboratoriais de DDI de geossintéticos teve como base as orientações contidas na ENV 10722-1. Com este equipamento pretende-se estudar os efeitos nas propriedades hidráulicas e/ou mecânicas dos geossintéticos dos procedimentos de instalação destes materiais em obra.

O equipamento destina-se a realizar uma acção de compressão cíclica em que se submete uma amostra a um conjunto de ciclos de carga, entre uma carga mínima (pré-definida) e uma carga máxima programável. O tempo de ciclo pode ser ajustável, pelo utilizador, sendo no entanto afectado pelas características de rigidez da amostra. A solução implementada compreende uma estrutura metálica de suporte, um sistema hidráulico de accionamento com dois actuadores, e um quadro eléctrico para realizar o comando de todo o sistema.

Na Figura 2 é apresentado um aspecto geral do equipamento de ensaio.

3.1 Caixa de danificação e placa de carregamento

A caixa de danificação (que contém o agregado sintético e o geossintético a danificar) é constituída por placas de aço com 5mm de espessura e está dividida em duas partes (Figura 3). As dimensões interiores de cada uma delas são 300mm x 300mm em planta e altura de 75mm, o que conduz a uma altura total de 150mm. As duas partes são fixas por encaixe e por aplicação da carga. Para realizar o ensaio a caixa deve ser colocada sobre uma base rígida.

A placa de carregamento (ver Figura 4), fabricada em aço, tem dimensões de 100mm x 200mm e uma espessura de 15mm. Este elemento foi concebido de forma a não se deformar por aplicação das cargas de ensaio.

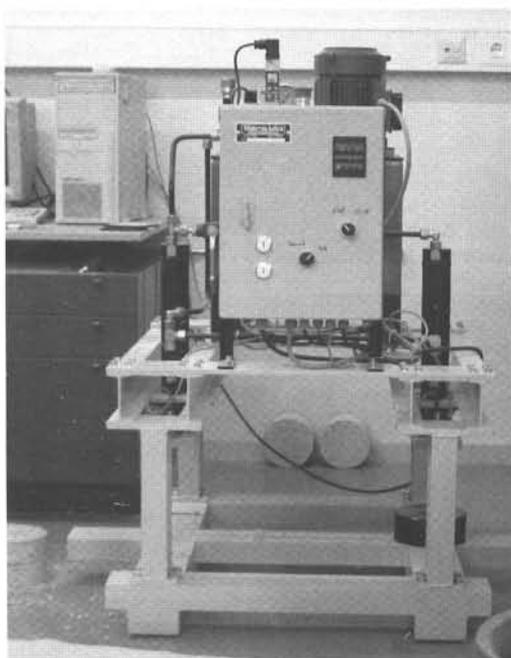
4 MATERIAL GRANULAR

A danificação ocorrida durante a instalação de geossintéticos depende do solo em contacto com o material. Assim, para tentar uniformizar o ensaio laboratorial de danificação durante a instalação de geossintéticos, na norma prevê-se a utilização de um agregado sintético, de granulometria e dureza conhecidas.

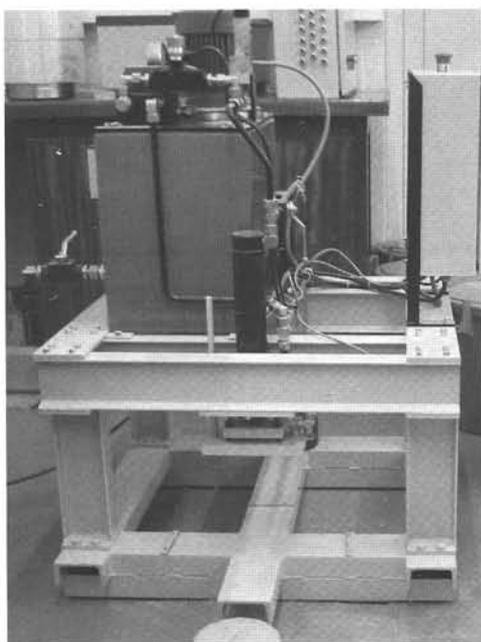
Na Figura 5 é possível observar o aspecto, tanto a olho nu como através de microscopia electrónica de varrimento (MEV), do material granular utilizado. Na Figura 5b são apresentadas imagens, com diferentes ampliações, do material em causa.

É de referir que, antes da sua utilização, o material granular deve ser passado através de um peneiro com abertura de malha de 5mm. Todo o material passado deve ser eliminado. Este procedimento deve ser repetido após cada 5 utilizações do agregado. Além disso, é preciso ter

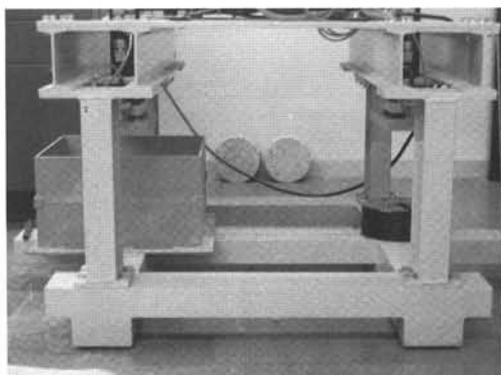
em conta que o prescrito na norma prevê que o material granular seja completamente posto de parte após 20 utilizações.



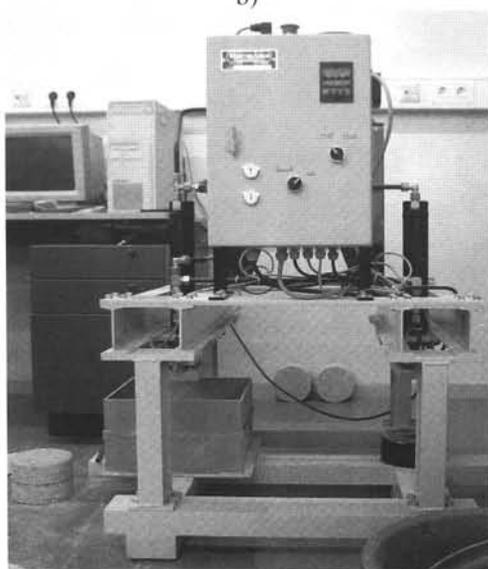
a)



b)

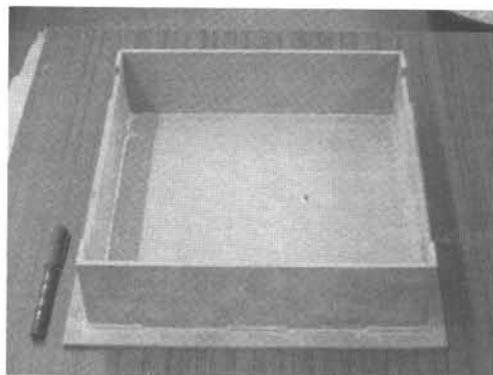


c)

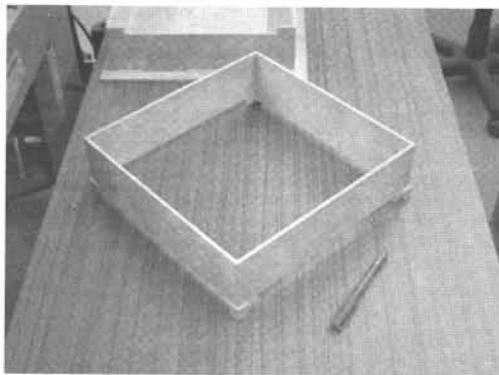


d)

Fig. 2 - Aspecto geral do equipamento utilizado no ensaio laboratorial de danificação de geossintéticos (ENV 10722-1): a) e b) vistas gerais da estrutura de suporte; c) caixa de danificação; e d) estrutura de suporte com a caixa de danificação posicionada.



A)



B)



C)

Fig. 3 - Caixa de danificação: a) parte inferior; b) parte superior; c) caixa completa.

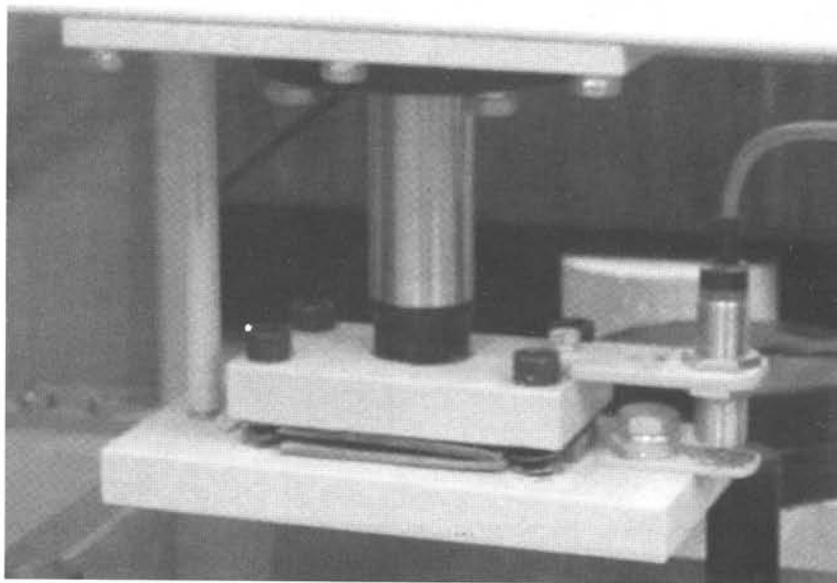
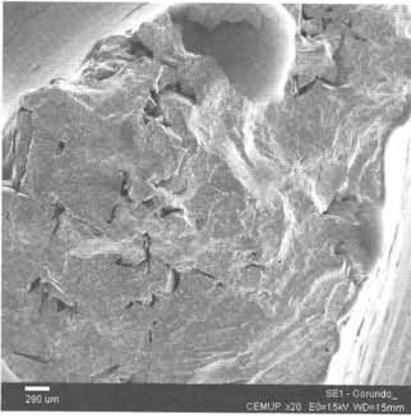


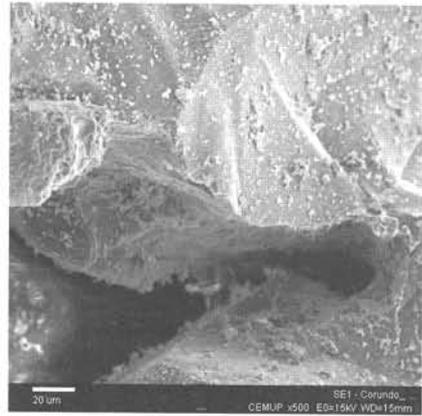
Fig. 4 - Placa de carregamento.



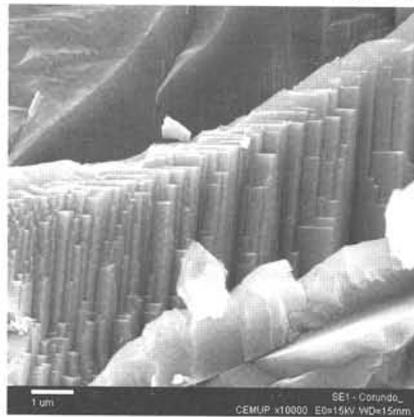
a)



b1) x20



b2) x500



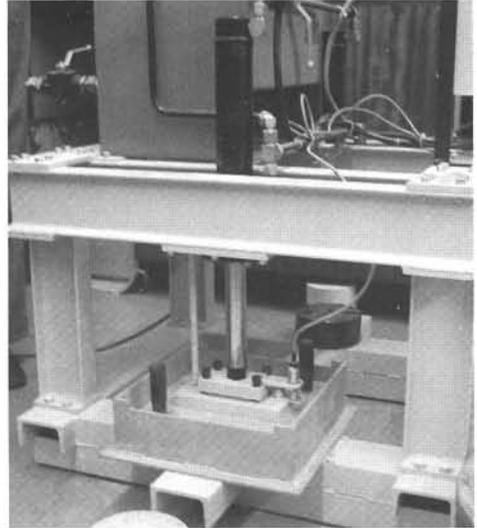
b3) x10000

b)

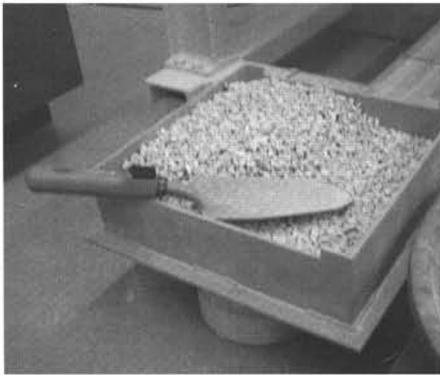
Fig. 5 – Material granular: a) fotografia normal; b) imagens obtidas através de microscopia eletrônica de varrimento.



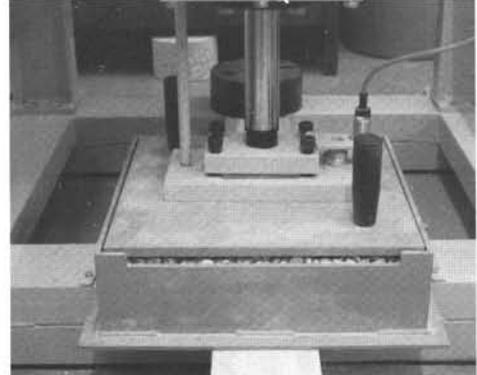
a)



b)

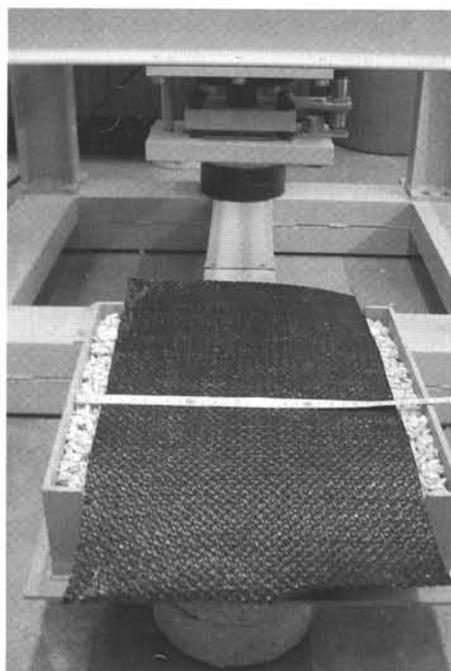


c)

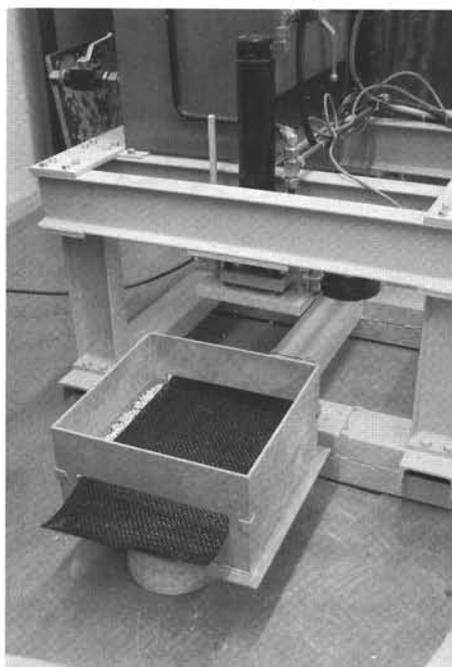


d)

Fig. 6 – Procedimento de ensaio: a) colocação da 1ª camada de agregado na parte inferior da caixa; b) compactação da 1ª camada de agregado; c) colocação da 2ª camada de agregado na parte inferior da caixa; d) compactação da 2ª camada de agregado.



e)



f)



g)



h)

Fig. 6 (cont.) – Procedimento de ensaio: e) colocação do provete de geossintético na caixa de danificação; f) montagem da parte superior da caixa; g) enchimento da parte superior da caixa; h) aspecto geral do equipamento antes do início do ensaio.

Nesta fase a placa de carga é posicionada no centro da caixa sendo-lhe aplicada uma carga de $5 \pm 5\text{kPa}$. O carregamento é definido de forma a que seja aplicada uma carga cíclica variando entre $5 \pm 5\text{kPa}$ e $900 \pm 10\text{kPa}$ com frequência de 1Hz durante 200 ciclos. É de notar, tal como é frisado na norma europeia, que a tensão a aplicar é determinada usando a área da placa de carga e não a área total da caixa.

Na Figura 6 estão ilustradas as diferentes fases do procedimento de ensaio.

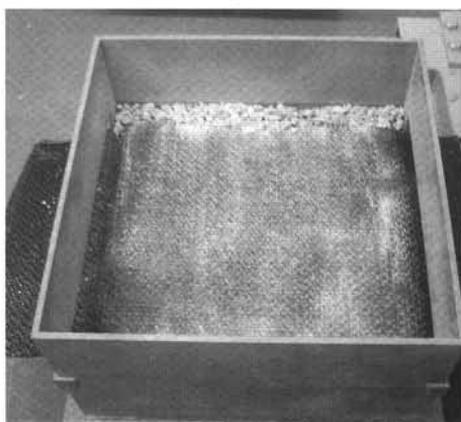
No fim do ensaio o provete é cuidadosamente retirado da caixa, assegurando que não ocorra danificação adicional durante esta operação (ver Figura 7).



a)



b)



c)



d)

Fig. 7 – Operações de remoção do geossintético: a) aspecto da caixa no fim do ensaio; b) remoção da camada superior de agregado; c) remoção do geossintético; d) remoção do agregado da parte inferior da caixa de danificação.

6 RESULTADOS DE UM ENSAIO TIPO DE DDI

De acordo com as indicações da norma ENV 10722-1, para proceder à caracterização da danificação de instalação induzida nas amostras de geossintético devem ser realizados ensaios hidráulicos ou mecânicos.

De acordo com a norma, no relatório do ensaio devem ser incluídas as seguintes informações:

- a) número e data da norma do ensaio;
- b) identificação das amostras de material ensaiado, data de recepção do material e data do ensaio;

- c) atmosfera de armazenamento;
- d) temperatura a que foi realizado o ensaio;
- e) orientação da amostra e dos provetes cortados do rolo de geossintético;
- f) avaliação visual da danificação;
- g) a metodologia de ensaio utilizada para avaliar o valor de referência;
- h) o valor médio da alteração registada para o valor de referência;
- i) o desvio padrão e o coeficiente de variação da alteração registada para o valor de referência;
- j) o agregado usado no ensaio;
- k) qualquer alteração relativamente às indicações referidas na norma.

Seguindo estas indicações foram realizados ensaios de danificação durante a instalação de geossintéticos com o equipamento desenvolvido. Como metodologia para avaliar visualmente a danificação induzida recorreu-se à microscopia electrónica de varrimento. No que diz respeito à propriedade de referência foi considerado comportamento mecânico a curto prazo do material através da realização de ensaios de tracção (EN ISO 10319).

7 GEOSSINTÉTICO ENSAIADO

Neste trabalho ensaiou-se um geossintético aqui designado por GS. Trata-se de um geotêxtil, em polipropileno, tecido (ver Figura 8), cujas principais características se apresentam no Quadro 1.

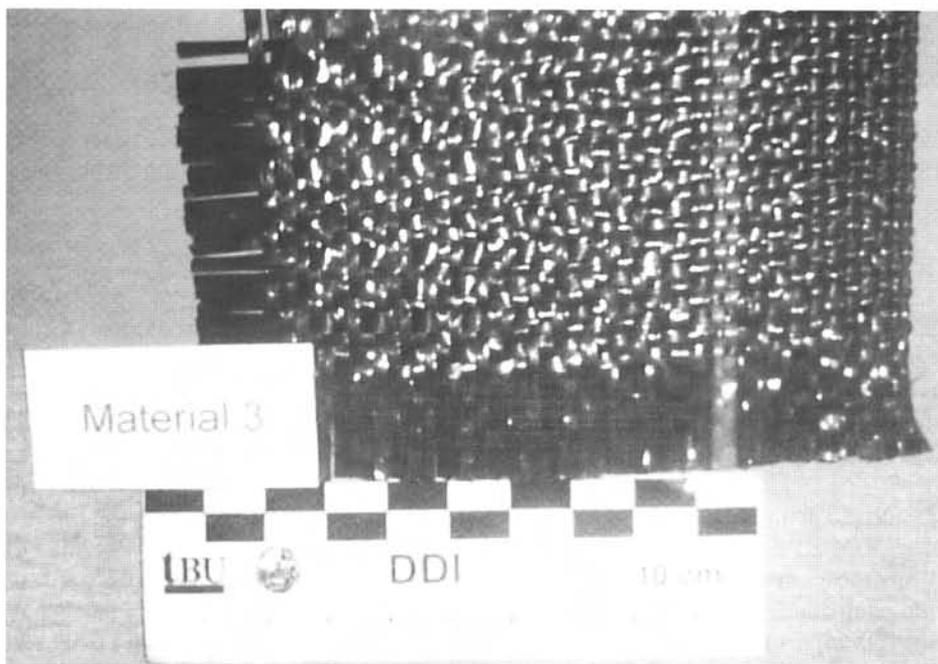


Fig. 8 – Geotêxtil estudado.

Quadro 1 - Principais características do geossintético estudado.

Designação	Material	Resistência nominal em kN/m
		DF/DTF
GS	Geotêxtil tecido em PP	65/65

PP - polipropileno

DF - direcção de fabrico

DTF - direcção transversal à direcção de fabrico

8 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA DDI INDUZIDA

8.1 Observação visual

Após a realização dos ensaios de indução de danificação em geossintéticos procedeu-se à observação visual dos seus efeitos. Para tal começou-se por analisar o aspecto global dos materiais, a olho nu. Dadas as dificuldades de realizar de forma exaustiva e sistemática esta observação, optou-se por analisar pequenos provetes retirados das amostras dos diferentes tipos e fazer observações mais detalhadas dos efeitos da danificação, nomeadamente através de MEV.

Foram feitas imagens de pequenos provetes retirados de amostras intactas e de amostras danificadas em laboratório. Os provetes ensaiados tinham, no máximo, cerca de 2cm², o que trouxe alguns problemas na sua preparação.

8.2 Ensaio de tracção

Os procedimentos do ensaio de tracção de geossintéticos encontram-se descritos na EN ISO 10319 (Geotextiles – Wide-width tensile test). De seguida referem-se alguns dos aspectos mais relevantes relativos a esses procedimentos de ensaio.

8.2.1 Referência normativa

De acordo com a norma referida, para cada geossintético devem ser ensaiados, no mínimo, 5 provetes com 200mm de largura.

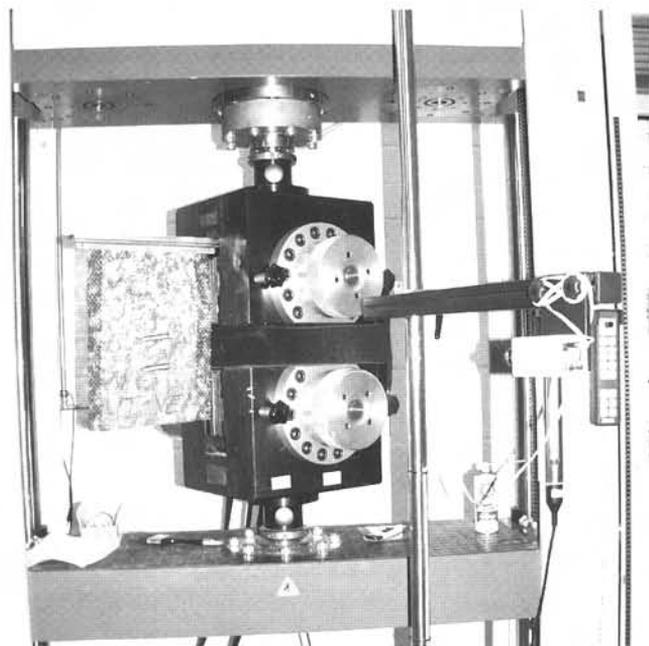
Os provetes a ensaiar devem ser acondicionados e os ensaios devem ser conduzidos nas atmosferas de ensaio definidas na norma ISO 554 (20 ± 2°C de temperatura e 65 ± 5% de humidade relativa).

8.2.2 Descrição do ensaio

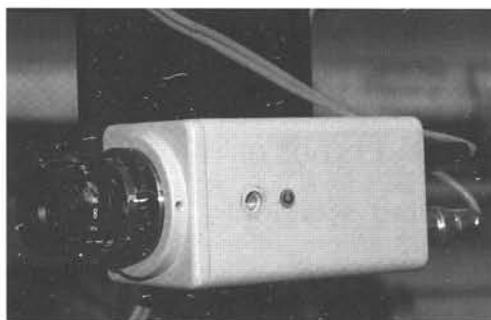
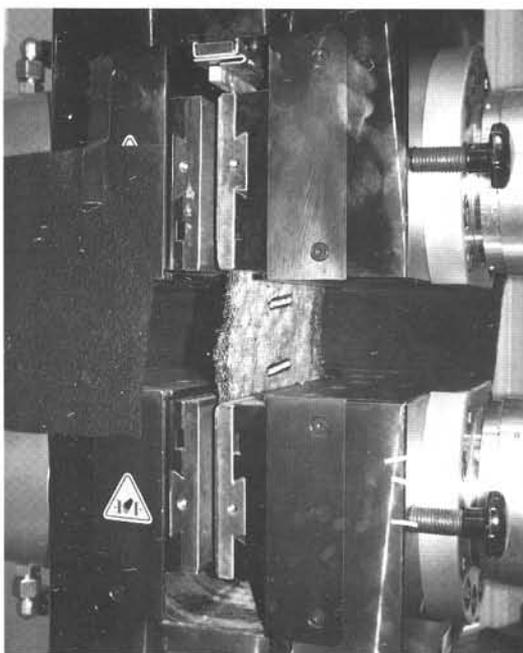
De acordo com a norma do ensaio de tracção, EN ISO 10319, cada provete é fixo nas pegas do equipamento, ao longo de toda a sua largura. A distância inicial entre pegas é de, no mínimo, 100mm e a medição da deformação do geossintético ao longo do ensaio deve ser feita através do registo do movimento de dois pontos do provete, inicialmente afastados de 60mm.

Ao longo do ensaio, sob taxa de deformação constante de (20 ± 5)% por minuto, são aplicadas forças de tracção crescentes ao material. O ensaio termina quando há rotura do provete de geossintético.

Na Figura 9 está ilustrado o equipamento utilizado no ensaio de tracção.



a)

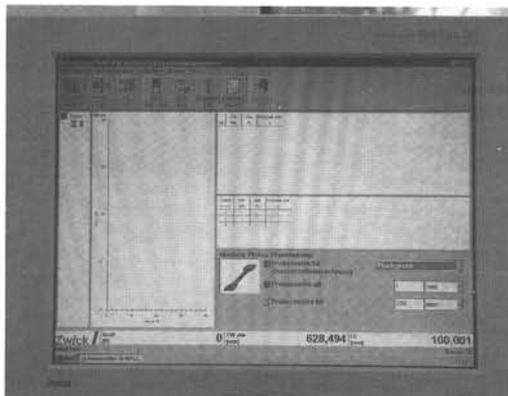


c)

Fig. 9 – Equipamento para ensaio de tracção de geossintéticos: a) vista geral do pórtico com provete ainda não colocado entre as pegas; b) provete colocado nas pegas e marcação dos pontos de referência para medição da deformação; c) vídeo extensómetro utilizado para medição das deformações do geossintético.



d)



e)

Fig. 9 (cont.) – Equipamento para ensaio de tracção de geossintéticos: d) monitor onde é controlado o registo da deformação do material; e) monitor onde é controlado o evoluir do ensaio através da curva carga-deformação do material.

8.2.3 Resultados de um ensaio tipo

Como resultado deste ensaio obtém-se o valor médio da máxima força medida e o valor médio da deformação respectiva. Estes valores são acompanhados do desvio padrão e do coeficiente de variação correspondentes.

9 ENSAIOS REALIZADOS

De acordo com o que foi referido anteriormente, foi ensaiado um geossintético, aqui designado por GS. Foram realizados ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação (ENV 10722-1) em 6 provetes. Posteriormente, os provetes danificados e os provetes intactos (de referência) foram ensaiados à tracção (EN ISO 10319), num total de 10 provetes ensaiados.

Refira-se que os resultados dos ensaios de tracção aqui apresentados correspondem a ensaios realizados apenas na direcção de fabrico do geossintético.

10 RESULTADOS OBTIDOS

10.1 Observação visual

Neste trabalho são apresentadas algumas das imagens obtidas por MEV do geossintético em estudo: Figura 10 – amostras do geossintético no amostrador; Figura 11 – imagens obtidas através de MEV.

Em primeiro lugar é de referir que, por observação a olho nu, se verifica que as amostras do material intacto e do material danificado em laboratório apresentam aspectos distintos. Da análise da Figura 11, fica mais claro quais são as diferenças entre estas amostras e de que tipo são. Assim, nas duas escalas incluídas na figura (x20 e x500), verifica-se que a superfície do geossintético apresenta bastantes alterações: por um lado, nota-se a existência de cortes e incisões nas fibras que constituem a malha tecida; por outro lado, é também claro que esses cortes são acompanhados de levantamento ou até destacamento das camadas mais superficiais

dessas fibras. A superfície lisa das amostras intactas dá lugar a uma superfície muito mais rugosa e com perda de alguma continuidade.

Estas alterações visíveis na estrutura do geossintético poderão, pelo menos em parte, justificar as alterações no comportamento mecânico do geossintético.

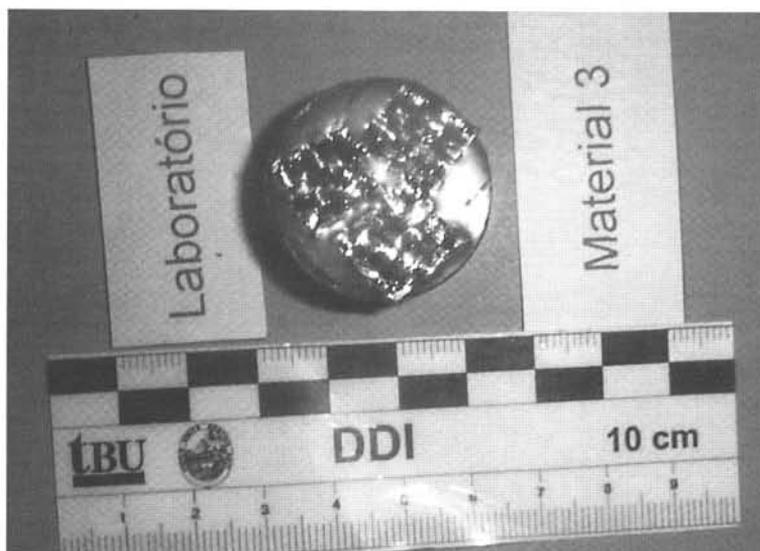


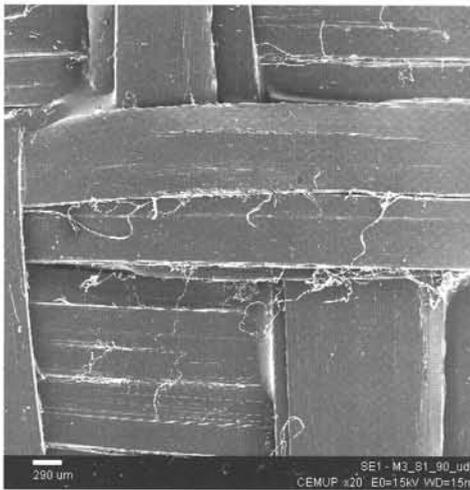
Fig. 10 – Imagens do amostrador usado na MEV com amostras o geossintético obtidas após DDI laboratorial

10.2 Ensaios de tracção

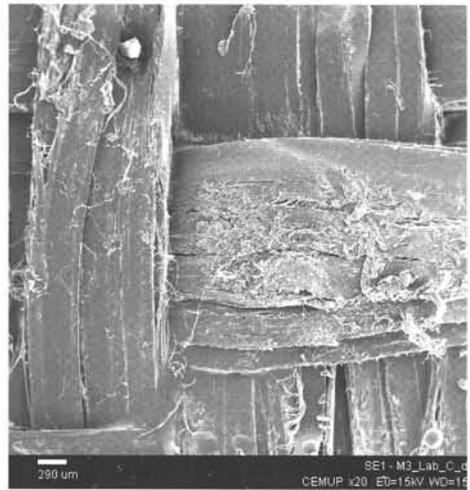
Os resultados obtidos nos ensaios de tracção das amostras intactas e das amostras danificadas em laboratório são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados obtidos nos ensaios de tracção das amostras intactas e das amostras danificadas em laboratório do geossintético estudado.

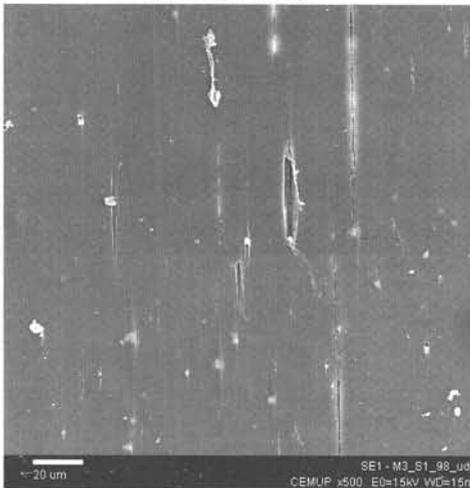
Amostras intactas			Amostras danificadas em laboratório		
Força máxima			Força máxima		
Média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coefficiente de variação (%)	Média (kN)	Desvio padrão (kN)	Coefficiente de variação (%)
15,5	0,28	1,8	6,7	0,79	11,8
Deformação para a força máxima (%)			Deformação para a força máxima (%)		
Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
12,9	0,62	4,8	9,7	2,7	27,8



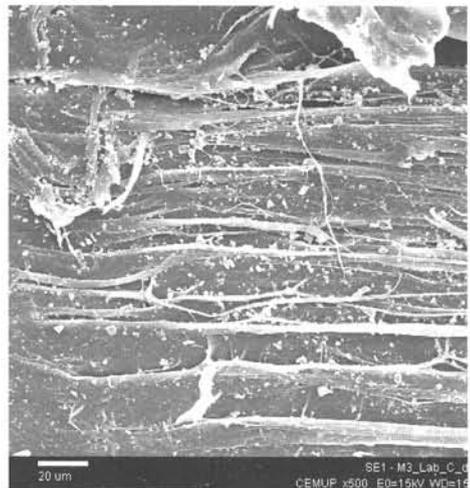
a) intacto (x20)



b) danificado em laboratório (x20)



c) intacto (x500)



d) danificado em laboratório (x500)

Fig. 11 – Imagens de amostras intactas e após DDI laboratorial obtidas através de MEV.

Para se avaliar o efeito da danificação durante a instalação do geossintético, apresentam-se os resultados em termos da resistência residual (em %) das amostras danificadas relativamente às amostras intactas correspondentes. Os valores apresentados para a resistência residual foram determinados através da Equação (1):

$$R_{residual} = \frac{F_{danificada}}{F_{intacta}} \times 100 \text{ (em \%)} \quad (1)$$

Em que $R_{residual}$ (%) é a resistência residual das amostras danificadas relativamente às amostras intactas; $F_{danificada}$ (kN) é força máxima média registada no ensaio de tracção das amostras danificadas e $F_{intacta}$ (kN) é a força máxima média registada no ensaio de tracção das amostras intactas.

De forma análoga define-se também a deformação residual correspondente às deformações medidas para os valores da força máxima de cada um dos tipos de amostra de geossintético.

No Quadro 3 são apresentados os valores obtidos para a resistência residual e para a deformação residual correspondente à força máxima registada.

Quadro 3 – Resistência residual e deformação residual (definida para o valor da força máxima) das amostras danificadas relativamente às amostras intactas do geossintético estudado.

Resistência residual (%)	Deformação residual para a força máxima (%)
43,2	75,2

Como se verifica, há uma diminuição da força máxima registada no ensaio de tracção, que corresponde a uma resistência residual de cerca de 43% da amostra danificada relativamente à amostra intacta. No caso da deformação residual medida para a força máxima registada no ensaio de tracção essa diminuição é menos significativa: cerca de 25%.

Há ainda a salientar que para este material e tipo amostra (após DDI) pode haver uma dispersão de resultados mais ou menos importante. De facto, analisando os valores dos coeficientes de variação da força máxima registada verifica-se que, enquanto que as amostras intactas apresentam um valor muito reduzido para esse coeficiente (1,8%), o mesmo não se passa para as amostras danificadas (11,8%). É curioso verificar que, para as amostras danificadas em laboratório, teoricamente danificadas sob as mesmas condições, os valores dos coeficientes de variação são muito superiores ao registados para as amostras intactas do geossintético.

11 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o equipamento desenvolvido na FEUP para realizar ensaios laboratoriais de danificação durante a instalação de geossintéticos de acordo com a norma ENV 10722-1.

Foi ensaiado um geossintético e, posteriormente, foi caracterizada a danificação induzida através de microscopia electrónica de varrimento e através de ensaios de tracção.

A observação visual dos efeitos da DDI ilustra a existência e o tipo de alterações locais que se obteve no geossintético estudado.

A análise do comportamento mecânico a curto prazo do geossintético ilustra a redução de resistência induzida pela DDI (bastante significativa), bem como a redução da deformação na rotura.

Verifica-se ainda alguma heterogeneidade na danificação induzida, traduzida pelos diferentes valores do coeficiente de variação da força máxima registada para cada um dos tipos de amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENV 10722-1 (1997), “Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials”.
- EN ISO 10319 (1996), “Geotextiles – Wide-width tensile test”.
- Greenwood, J.H. (1998), “The nature of mechanical damage”. Seminar volume on installation damage on geosynthetics, 1.1.1-1.1.15, Leatherhead, Surrey, UK.
- Pinho-Lopes, M., Recker, C., Müller-Rochholz, J., Lopes, M.L. (2000), “Installation damage and creep of geosynthetics and their combined effect – experimental analysis” Proceedings of Eurogeo 2000, Vol. 2, pp. 895-897, Bologna, Italy.
- Pinho-Lopes, M., Recker, C., Müller-Rochholz, J., Lopes, M.L. (2002), “Experimental analysis of the combined effect of installation damage and creep of geosynthetics – new results” Proceedings of 7th International Conference on Geosynthetics, Vol. 4, pp. 1539-1544, Nice, France.
- Lopes, M. L., Pinho-Lopes, M. (2001), “Danificação durante a construção de geossintéticos. Estudo dos coeficientes de segurança adoptar”, Relatório de acção no âmbito do protocolo IEP-ICERR/FEUP.
- Pinho-Lopes, M., Lopes, M. L. (2002), “Danificação durante a instalação de geogrelhas – ensaios laboratoriais e de campo. Caracterização.”, 8º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, Abril 2002 Vol. 4, pp. 1489-1501.