

GEOCOMPÓSITOS DRENANTES: ESTUDO DA FLUÊNCIA À COMPRESSÃO

Drainage mats: study of compressive creep

Madalena C. Pereira Barroso*

Maria da Graça Dias Alfaro Lopes**

RESUMO - Os geocompósitos drenantes são materiais constituídos por um núcleo drenante e por, pelo menos, um filtro. São utilizados em engenharia para o escoamento de água no seu plano. Contudo, o seu desempenho pode ficar comprometido pela redução de espessura, que sofrem devido ao carregamento a que ficam sujeitos, em obra. Para avaliar este aspecto, a Comissão Europeia de Normalização (CEN) desenvolveu a pré-norma de ensaio prENV 1897: Determinação da fluência à compressão de geotêxteis e produtos afins. Esta pré-norma não simula, porém, muitas condições de fronteira dos geocompósitos drenantes *in situ*, pois preconiza apenas o confinamento dos provetes com superfícies rígidas. Neste artigo, apresenta-se o trabalho experimental desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil com o objectivo de estudar a viabilidade da realização de ensaios de fluência à compressão com base na referida pré-norma, mas confinando os provetes com superfícies compressíveis.

SYNOPSIS - The drainage mats are systems consisting of a drainage core and at least one filter layer. In engineering, they are used for directing water along its own plane. However, compressive creep, due to soil pressure, can seriously limit the effectiveness of the drainage materials. To measure the way in which the thickness of geosynthetic materials reduces in time under load, the European Committee for Standardization (CEN) developed the draft standard prENV 1897: Geotextiles and geotextile related products – determination of the compressive creep properties. This test method does not simulate many of the *in situ* boundary conditions of the drainage mats, in view of the fact that it establishes only the containment of test specimens with hard surfaces. This paper presents the experimental work undertaken by the Laboratório Nacional de Engenharia Civil to study the feasibility of carrying out compressive creep tests based on the aforementioned draft standard, but bounding the test specimens with compressible surfaces.

1 - INTRODUÇÃO

Os geossintéticos alcançaram enorme sucesso na substituição dos materiais tradicionais em diversas aplicações do domínio da geotecnia e do ambiente. Às crescentes solicitações do mercado, a indústria respondeu com inovação, criando novos produtos e/ou afinando propriedades dos existentes. Entre os produtos desenvolvidos incluem-se os geocompósitos drenantes, constituídos por um núcleo drenante e por filtros (geralmente dois geotêxteis). Foram concebidos especialmente para escoarem água no seu plano, podendo ser utilizados em estradas, aterros de resíduos, túneis e coberturas ajardinadas. Depois de aplicados, ficam, muitas vezes, sujeitos a elevadas pressões estáticas, que podem provocar a sua fluência e comprometer o seu desempenho.

* Assistente de Investigação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Email: mbarroso@lnec.pt

** Professora Coordenadora, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Email: gloses@dec.isel.pt

Para estudar o fenómeno da fluência à compressão dos geossintéticos, a Comissão Europeia de Normalização (CEN) desenvolveu a pré-norma de ensaio prENV 1897: Determinação da fluência à compressão de geotêxteis e produtos afins.

No âmbito dos trabalhos de normalização sobre a fluência à compressão dos geocompósitos drenantes, foi realizado um estudo paramétrico, por diferentes laboratórios europeus, entre os quais o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o qual contemplou os seguintes aspectos: forma e dimensão dos provetes, duração do ensaio e condições de saturação. Os resultados obtidos mostraram que a forma e as dimensões não afectavam os resultados, no entanto, para provetes quadrados, estes deveriam ter no mínimo três pontos de contacto com as superfícies dos materiais confinantes (tanto na direcção de fabrico como na direcção perpendicular ao fabrico). A reprodutibilidade dos resultados dos ensaios conjuntamente com uma análise mais detalhada da influência das condições de saturação foram, ainda, objecto duma segunda fase de estudo (Corbet, 1996). De acordo com as conclusões deste trabalho, expressa em relatório do CEN (Greenwood, 1997), a duração do ensaio (42 dias) foi considerada adequada para determinar as características de fluência à compressão dos geocompósitos drenantes. Relativamente às condições de saturação, verificou-se que o poliéster e poliamida eram sensíveis à água, pelo que os geossintéticos constituídos por esses polímeros deveriam ser ensaiados sempre em condições saturadas.

No seguimento destes trabalhos, o LNEC desenvolveu um estudo com o objectivo principal de avaliar a viabilidade da realização de ensaios de fluência à compressão com base na pré-norma prENV 1897 (Determinação da fluência à compressão de geotêxteis e produtos afins), mas confinando os provetes com superfícies compressíveis, uma vez que a referida norma prevê, apenas, o confinamento com superfícies rígidas, apesar de, em muitas aplicações com geocompósitos drenantes, serem os materiais compressíveis que constituem as condições fronteira, tal como pode observar-se na Fig. 1.

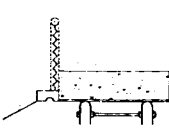
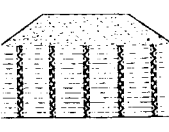
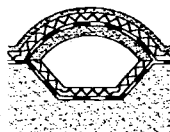


Aplicações	Estradas	Consolidação de solos	Aterros de resíduos	Túneis	Caves
Esquema					
Condições de fronteira	compressível ↕ compressível	compressível ↕ compressível	compressível ↕ compressível ↕ compressível ↕ rígido/comp.	rígido/comp. ↕ rígido	rígido ↕ compressível

Fig. 1 - Aplicações de geocompósitos drenantes e respectivas condições fronteira (modificado de Berkhout, 1993).


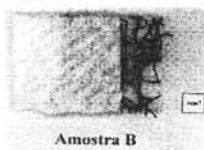

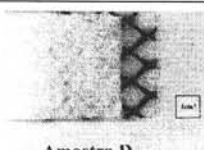
2 - TRABALHO EXPERIMENTAL

2.1 - Materiais ensaiados

Foi feita uma pesquisa junto dos representantes de geossintéticos, em Portugal, a fim de se inventariar quais os geocompósitos drenantes disponíveis no mercado e foi-lhes solicitado o envio de amostras. Dos materiais recebidos no LNEC, foram seleccionados quatro geocompósitos drenantes, de acordo com os seguintes critérios: primeiro, as amostras deveriam ter núcleos drenantes constituídos por diferentes matérias primas; segundo, duas das amostras deveriam ser da mesma matéria prima e apresentar espessuras semelhantes (amostras A e D) e, por último, os geotêxteis dos filtros deveriam ter a mesma matéria prima e apresentar o mesmo processo de fabrico, a fim de diminuir o número de parâmetros a analisar. Este último requisito não foi possível satisfazer, pelo que, os filtros das amostras A, B e D são constituídos por geotêxteis agulhados e os da amostra C por geotêxteis termoligados.

No Quadro 1, apresentam-se os geocompósitos drenantes estudados, genericamente designados por A, B, C e D, e as respectivas características.


Quadro 1 - Características dos geocompósitos drenantes ensaiados.

Geocompósitos drenantes	Polímero do núcleo	Características dos geotêxteis dos filtros	Espessura nominal média (mm)		Massa surfática média (g/m ²)
			N/ saturada	Saturada	
 Amostra A	Polietileno de alta densidade	Polipropileno, agulhado, 200 g/m ²	5,282	5,361	838,41
 Amostra B	Polipropileno	Polipropileno, agulhado, 200 g/m ²	10,258	10,204	745,49
 Amostra C	Poliéster	Polipropileno, termoligado, 110 g/m ²	3,933	3,989	606,62
 Amostra D	Polietileno de alta densidade	Polipropileno, agulhado, 120-140 g/m ²	5,665	5,695	879,79

Para a simulação das superfícies compressíveis, confinaram-se os geocompósitos drenantes com esponjas de *Polyvinyl chloride nitrite* (PVCN), pois estas esponjas são usadas com o mesmo propósito no ensaio de transmissividade, segundo a norma EN ISO 12958 (Determinação da transmissividade de geotêxteis e produtos afins).

As características das esponjas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro II. Características das esponjas

Esponja + Esponja	Polímero	Espessura nominal média (mm)		Massa surfácea média (g/m ²)
		N/ saturada	Saturada	
	<i>Polyvinyl chloride nitrite</i> (PVCN)	20,163	20,304	2932,15

2.2 - Equipamento

O equipamento utilizado é constituído por uma estrutura metálica, em que a carga é aplicada através de um sistema de pesos mortos, tirando partido do princípio da alavanca, tal como está ilustrado na Fig. 2. O confinamento dos provetes é feito através de duas placas metálicas (12,5 x 12,5 cm), sendo a carga aplicada através da placa superior. A deformação vertical decorrente do carregamento dos provetes é registada através de *LVDTs*, os quais se encontram ligados a um sistema de aquisição de dados que, por sua vez, está ligado a um computador. O processamento dos dados é feito através de um *software* desenvolvido no LNEC para o efeito. O equipamento permite ensaiar três provetes em simultâneo.

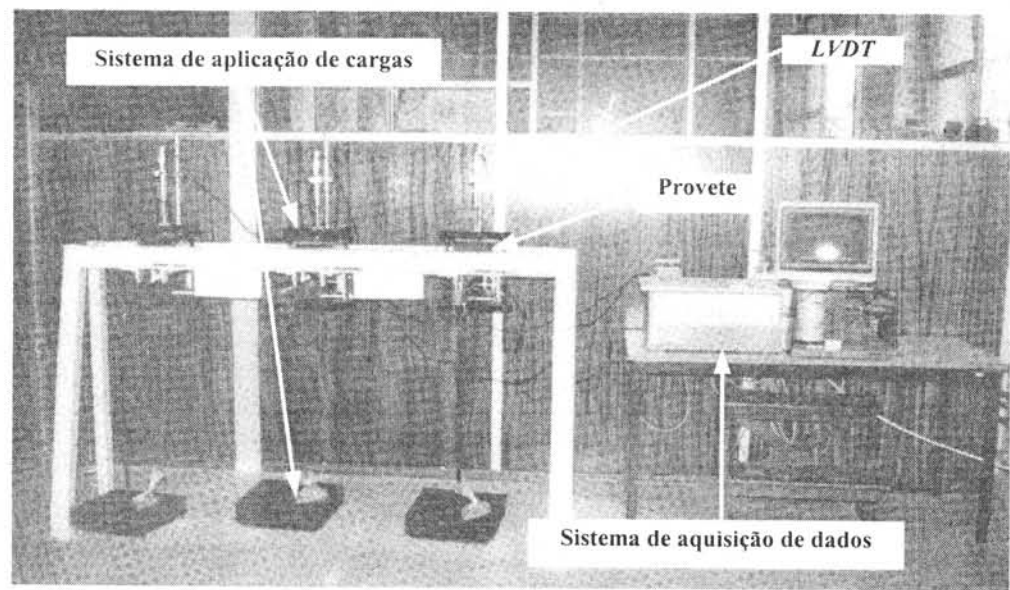


Fig. 2 - Equipamento utilizado nos ensaios de fluência (Barroso e Lopes, 1999).

2.3 - Metodologia de estudo

O trabalho experimental foi realizado com base na pré-norma prENV 1897: Determinação da fluência à compressão dos geotêxteis e produtos afins. O princípio de ensaio é bastante simples: genericamente, os provetes são confinados entre duas placas metálicas rígidas e são carregados paralelamente ao eixo vertical com uma carga constante, assim permanecendo durante o decorrer do ensaio, num total de 42 dias (1 008 horas). A redução de espessura, que sofrem em resultado do carregamento, é registada através dos *LVDTs*. As alterações ao procedimento preconizado na referida pré-norma consistiram na colocação de materiais compressíveis (esponjas) entre os provetes e as placas rígidas metálicas.

Dada a morosidade dos ensaios, embora a norma preconize a aplicação das pressões 20, 50, 100 e 200 kPa, optou-se por ensaiar todas as amostras apenas com 100 kPa. Este valor foi seleccionado porque, em muitas aplicações, os geocompósitos drenantes ficam sujeitos a pressões desta ordem de grandeza, como por exemplo, coberturas de aterros de resíduos, túneis e coberturas ajardinadas (Berkhout, 1993).

O trabalho experimental desenvolveu-se basicamente em duas fases. Na primeira, procedeu-se ao estudo do comportamento da fluência à compressão das esponjas, tendo sido também determinada a recuperação da sua espessura após o alívio da carga. Para o efeito, ensaiaram-se conjuntos de duas esponjas, segundo a pré-norma prENV 1897, com uma pressão de 100 kPa, durante 42 dias, em condições não saturadas e saturadas. Terminado o ciclo de carregamento, procedeu-se à remoção da carga, registando-se a respectiva recuperação de espessura durante um período de tempo equivalente àquele em que estiveram carregadas (cerca de 1 000 h).

Na segunda fase do trabalho, procedeu-se ao estudo do comportamento da fluência à compressão dos geocompósitos drenantes, em condições não saturadas e saturadas, utilizando dois tipos de superfícies de confinamento: rígidas e compressíveis.

3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS

3.1 - Estudo da fluência à compressão das esponjas

Na Fig. 3, apresentam-se os resultados do estudo da fluência à compressão das esponjas, em condições não saturadas e saturadas.

Tal como pode observar-se, a contracção das esponjas (saturadas e não saturadas) mantém-se sensivelmente constante até aproximadamente às 20 horas, instante a partir do qual começam a fluir.

A redução de espessura das esponjas e a respectiva recuperação após a remoção da carga está ilustrada na Fig. 4, para as condições saturadas e não saturadas. O primeiro ponto de cada uma das curvas apresentadas corresponde à espessura nominal das esponjas, a qual foi determinada de acordo com a norma EN 964 (Determinação da espessura de geotêxteis e produtos afins, a pressões especificadas).

Conforme pode observar-se, as esponjas apresentaram o mesmo comportamento em ambas as condições de saturação, tendo-se verificado que, durante o período de ensaio, não recuperaram a sua espessura inicial.

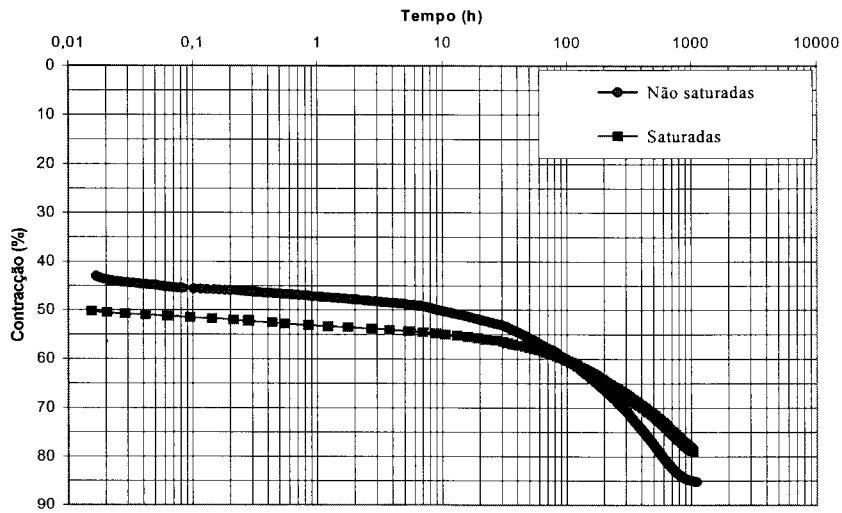


Fig. 3 - Fluência à compressão das esponjas carregadas a 100 kPa.

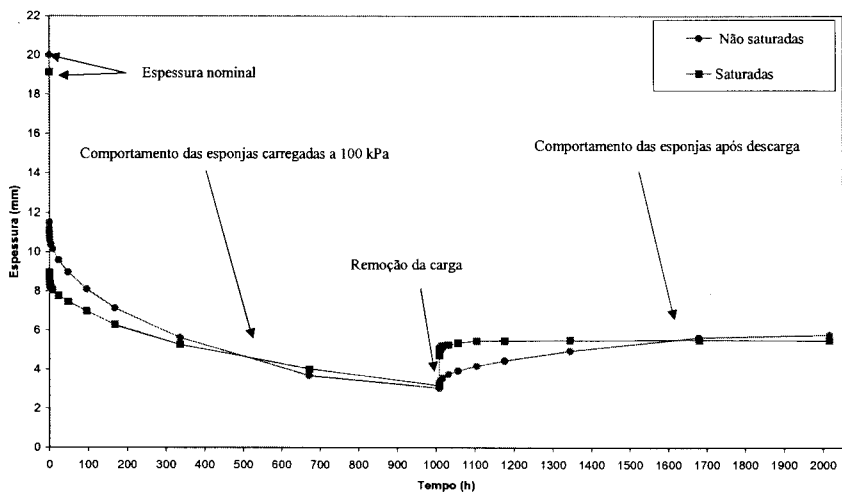


Fig. 4 - Redução/recuperação de espessura das esponjas.

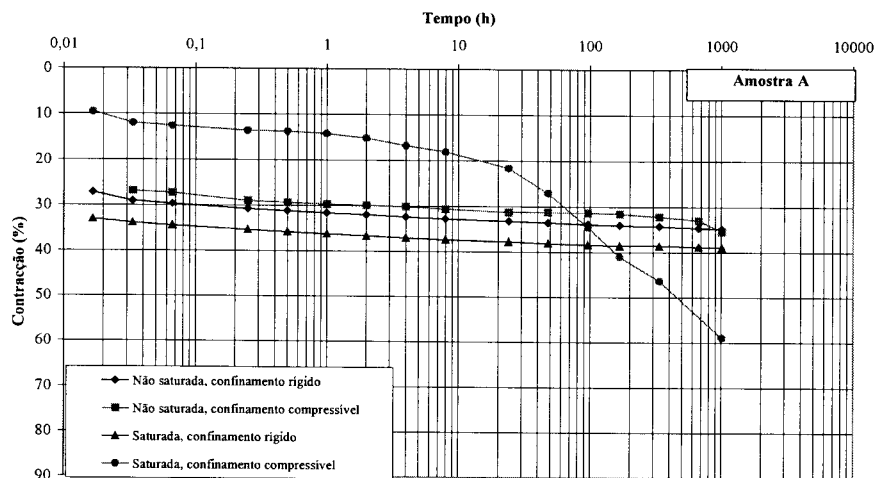


Fig. 5 - Fluência à compressão da amostra A ($\sigma = 100$ kPa).

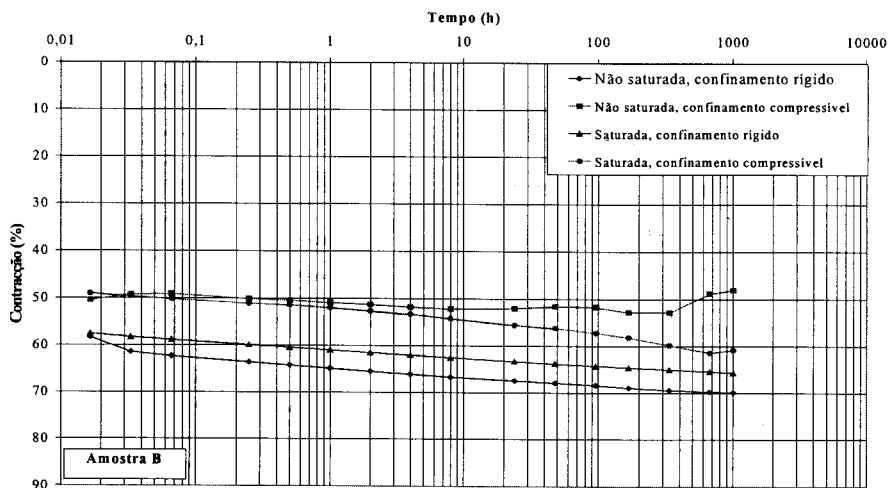


Fig. 6 - Fluência à compressão da amostra B ($\sigma = 100$ kPa).

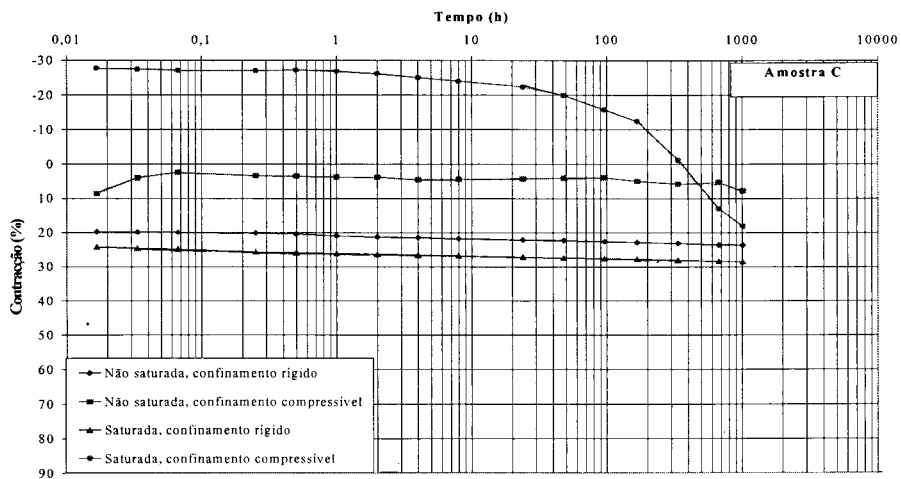


Fig. 7 - Fluência à compressão da amostra C ($\sigma = 100$ kPa).

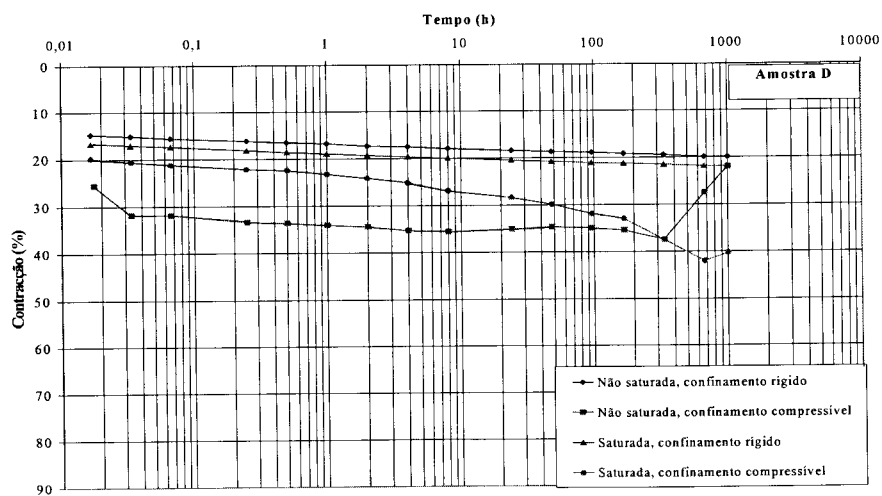


Fig. 8 - Fluência à compressão da amostra D ($\sigma = 100$ kPa).

4 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nas Figs 9 e 10, agrupam-se respectivamente os resultados dos ensaios da fluência à compressão das amostras realizadas com superfícies de confinamento rígidas (sem esponjas) e compressíveis (com esponjas).

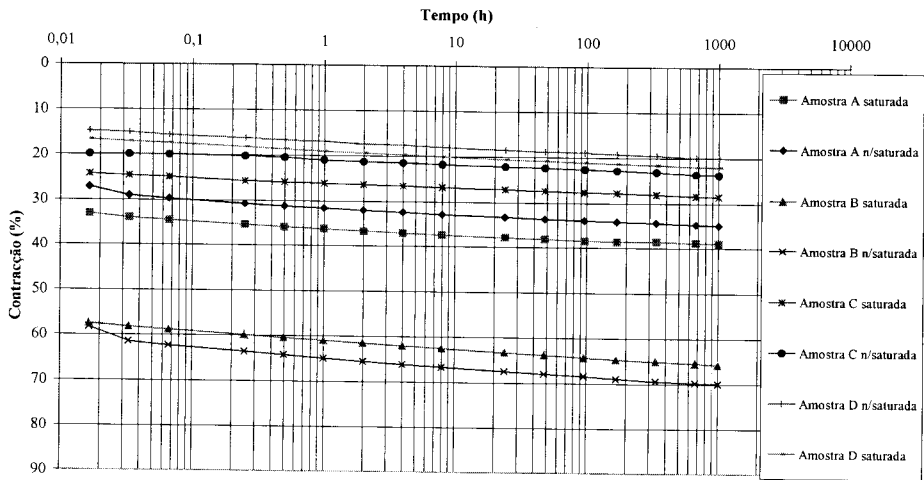


Fig. 9 - Fluência à compressão dos geocompósitos drenantes ensaiados com superfícies de confinamento rígidas ($\sigma = 100 \text{ kPa}$).

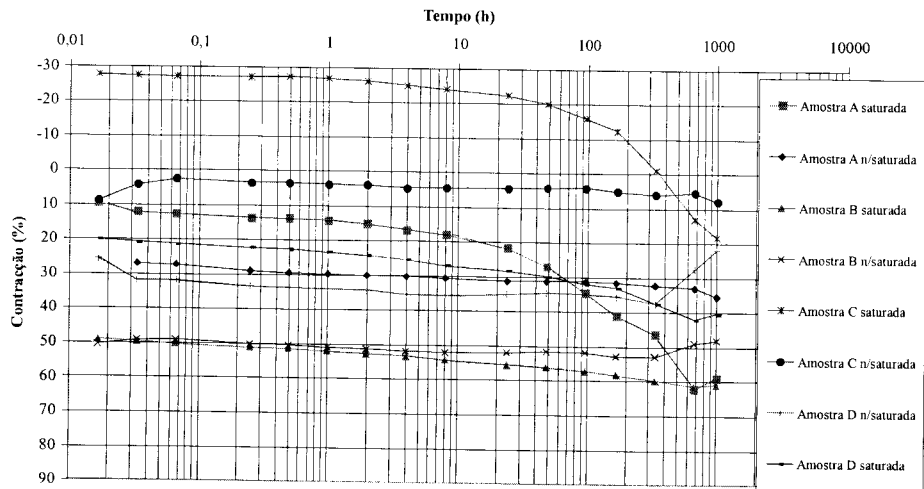


Fig. 10 - Fluência à compressão dos geocompósitos drenantes ensaiados com superfícies de confinamento compressíveis ($\sigma = 100 \text{ kPa}$).

A observação destas Figuras conduz-nos às seguintes considerações:

- quando as amostras são confinadas por superfícies rígidas (Fig. 9), verifica-se que a contracção dos diferentes geocompósitos drenantes não é influenciada pelas condições de saturação; no entanto, quando as amostras são confinadas por superfícies compressíveis (Fig. 10) a diferença de contracção em condições saturadas e não saturadas é, na generalidade, mais significativa;
- quando as amostras são confinadas por superfícies compressíveis (Fig. 10) é nítida a diferença de comportamento a partir das 20 horas, altura em que se iniciou a fluência das esponjas (Fig. 4), pelo que a partir desse momento os resultados perdem significado; até às 20 horas, as amostras confinadas com superfícies compressíveis apresentam, de uma forma geral, menores contracções do que as amostras confinadas com superfícies rígidas;
- o comportamento da amostra C, que em condições saturadas exibiu aparentemente contracções negativas, deveu-se não a uma extensão da amostra, mas sim à conjugação de dois factos: a reduzida contracção deste geocompósito drenante e às esponjas neste ensaio apresentarem uma espessura nominal inferior à espessura nominal média das esponjas utilizadas no estudo do comportamento da fluência à compressão (Fig. 3).

5 - CONCLUSÕES

O trabalho experimental desenvolvido visou fundamentalmente estudar a viabilidade da realização de ensaios de fluência à compressão com base na pré-norma prENV 1897 (Determinação da fluência à compressão de geotêxteis e produtos afins), mas utilizando materiais compressíveis adjacentes aos provetes, pois a referida pré-norma preconiza apenas o confinamento com superfícies rígidas, o que não simula as condições fronteira de muitas aplicações dos geocompósitos drenantes. Este estudo compreendeu a realização de ensaios em condições saturadas e não saturadas.

Face aos resultados obtidos, as principais conclusões que se podem retirar são as seguintes:

- a utilização de superfícies compressíveis (esponjas) adjacentes aos provetes influenciou os resultados; nos ensaios realizados, a contracção dos geocompósitos drenantes foi superior quando confinados com superfícies rígidas; no entanto, a alteração das condições de confinamento, de rígido para compressível, não produziu variações da mesma ordem de grandeza em todas as amostras;
- as esponjas de PVCN utilizadas começaram a fluir aproximadamente a partir das 20 horas, o que impediu a interpretação dos resultados a partir desse momento (conforme se pode observar na Fig. 3), pelo que devem ser estudados materiais alternativos que não sofram fluência antes do término do ensaio;
- embora o relatório do CEN (Greenwood, 1997) refira que, para os geocompósitos drenantes constituídos por poliéster, os ensaios devem ser realizados em condições saturadas, no trabalho experimental aqui relatado, com provetes confinados por superfícies rígidas, a amostra C (poliéster) apresentou valores de contracção semelhantes em condições saturadas e não saturadas, pelo que se julga haver interesse em proceder a estudos mais aprofundados neste domínio.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar os seus agradecimentos ao Programa PRAXIS XXI do Ministério da Ciência e Tecnologia e ao FEDER, pelo financiamento concebido no âmbito do Projecto 3/3.1/CEG/2598/95. Desejam, ainda, agradecer à ARCO SYSTEMS PORTUGUESA, à BIDIM GEOSYNTHETICS S.A., à GEODRENO GEOTÊXTEIS, L^{da}, à NAUE FASERTECHNIK GmbH & Co. KG e à SERIAL, a disponibilização de materiais para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, Madalena C. P. e Lopes, M. Graça D. A. *Estudo dos geossintéticos como materiais de controlo ambiental*. Segundo relatório de progresso, Relatório 183/99-NP, LNEC, 1999.
- Berkhout, H. C. *In-plane permeability measurement of geosynthetics drains used in civil engineering and construction industry*. Akzo, 1993.
- Corbet, S. P. *Intercomparision tests using the compressive creep test*. Technical report on task 2.2. Document no. 169/2/26, 1996.
- Greenwood, J. H. *Research and intercomparision tests necessary for the harmonization of standards in goetextiles*. Final Report Part 3. Document no. 0169/0/23, 1997.
- Norma EN ISO 12958. *Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of water flow capacity in their plane*, 1999.
- Norma EN 964-1. *Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of thickness at specified pressures*, 1995.
- Norma prENV 1897 *Geotextiles and geotextiles related products – Determination of the compressive creep properties*, 1966.