

EFEITO DA DANIFICAÇÃO DURANTE A INSTALAÇÃO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM GEOTÊXTIL TECIDO EM PP

EFFECT OF DAMAGE DURING INSTALLATION ON MECHANICAL BEHAVIOR OF A WOVEN GEOTEXTIL IN PP

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

Este trabalho apresenta o efeito da danificação durante a instalação de um geotêxtil tecido em polipropileno no seu comportamento mecânico a curto e a longo prazo. Foi realizado um programa de ensaios onde o geossintético foi sujeito a ensaios de campo de danificação durante a instalação (DDI), para dois tipos de solos compactados com duas energias de compactação. A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico do geossintético foi estudada através de ensaios de tracção (ensaios de curto prazo), e ensaios de fluência e rotura em fluência (ensaios de longo prazo). Os resultados do estudo são apresentados e analisados. Finalmente, são referidas as principais conclusões do estudo.

ABSTRACT

This paper reports the results of the effect of damage during installation (DDI) on the long-term and short-term mechanical behavior of a woven geotextil in PP. This material has been subjected to field damage tests, using two different soils and two compaction energies. To characterize the effect of the damage induced in the mechanical behavior of geosynthetic, tensile test (short-term behavior), and tensile creep tests and creep rupture tests (long-term behavior) were carried out. The results of the study are presented and analysed. Finally, the main conclusions are put forward.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos de maior actualidade na área dos geossintéticos é o estudo da sua durabilidade, em particular, às acções mecânicas a que estão sujeitos durante os processos de instalação e construção. Sob estas acções os geossintéticos podem ser danificados e a alteração das suas propriedades pode comprometer o bom funcionamento das construções em que estão inseridos.

Para contribuir para o conhecimento do efeito da danificação durante a instalação de geossintéticos no seu comportamento mecânico, foi realizado um programa de ensaios. Um geossintético (geotêxtil tecido em PP) foi sujeito a ensaios de campo de danificação durante a instalação (DDI). A caracterização do efeito da danificação induzida no comportamento mecânico do geotêxtil foi estudada através de ensaios de tracção, fluência e rotura em fluência, realizados no Laboratório de Geossintéticos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foram ensaiadas amostras intactas e danificadas do geotêxtil.

2. MATERIAIS E ENSAIOS REALIZADOS

2.1. Geossintético

O geossintético considerado no estudo foi um geotêxtil tecido em polipropileno (geotêxtil GTXt). As propriedades físicas e mecânicas do Geotêxtil GTXt são as apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Propriedades do GTXt

Geotêxtil	Massa por unidade de área (g/m^2)	Resistência à tracção		Extensão (%)
		MD (kN/m)	XMD (kN/m)	
GTXt	320	65	65	15

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

2.2. Programa de Ensaios

2.2.1. Ensaios de Campo de Danificação Durante a Instalação

Não existe nenhum procedimento normalizado relativamente aos ensaios de campo de danificação durante a instalação de geossintéticos. Contudo, considerou-se da maior importância danificar em condições reais o geossintético para avaliar a danificação induzida ao material.

Assim, foram construídos alguns aterros temporários, onde o geossintético foi colocado entre camadas de solo compactado de acordo com os procedimentos comuns em aplicação de reforço de solos. Sobre a fundação, competente e livre de raízes e de materiais contundentes foi vertido, espalhado, nivelado e compactado o solo. Sobre esta camada de solo foi colocado o geossintético, sem dobras. Em nenhum caso foi permitido o tráfego de equipamentos de construção sobre o geossintético antes de sobre ele existir uma camada de solo com pelo menos, 0,15m de espessura. Em seguida, duas camadas de 0,20m de espessura de solo foram vertidas, espalhadas, niveladas e compactadas à energia específica. Após a conclusão dos aterros procedeu-se à exumação dos geossintéticos; o solo foi cuidadosamente removido e o geossintético recuperado, Pinho-Lopes (2006).

Foram usados dois solos (Quadro 2), um “tout-venant” (Solo 1) e um solo residual do granito (Solo 2). A dimensão máxima das partículas do Solo 1 é de 50,8mm e do Solo 2 é de 5mm. 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, Lopes e Lopes (2001).

Quadro 2- Identificação dos Solos

Materiais	Granulometria % 0,074mm	Limites			W _n (%)	EA (%)	Proctor	
		LL	LP	IP			$\gamma_{\text{máx}}$ (g/m^3)	W _{opt} (%)
Solo 1	5,18	NP	NP	NP	-	57,4	2,11	7,8
Solo 2	21,53	NP	NP	NP	8,7	25,5	1,92	11,3

2.2.2. Ensaios de Caracterização da Danificação

A avaliação do grau de danificação induzido no geossintético é feita submetendo provetes intactos e danificados em campo ao mesmo ensaio de caracterização. A caracterização do efeito

da danificação induzida no comportamento mecânico do geossintético foi estudada através de ensaios de tracção, fluência e rotura em fluência, realizados no Laboratório de Geossintéticos da Faculdade Engenharia da Universidade do Porto.

Os ensaios de tracção foram realizados de acordo com a norma NP EN ISO 10319 (2006). O ensaio consiste na aplicação ao provete de geossintético de forças de tracção crescentes a uma razão de $(20\pm 5)\%$ por minuto até à sua rotura. Deve ser ensaiado um mínimo de 5 provetes de cada amostra de geossintético.

Os ensaios de fluência e rotura em fluência de geossintéticos encontram-se descritos na norma europeia EN ISO 13431 (1999). Estes tipos de ensaios baseiam-se no seguinte princípio: os provetes do material a ensaiar são submetidos a uma força estática constante, em condições de temperatura e humidade constantes. Essa carga deve estar distribuída igualmente em toda a largura do provete. A Figura 1 ilustra dois pórticos utilizados na realização dos ensaios de fluência e rotura em fluência.

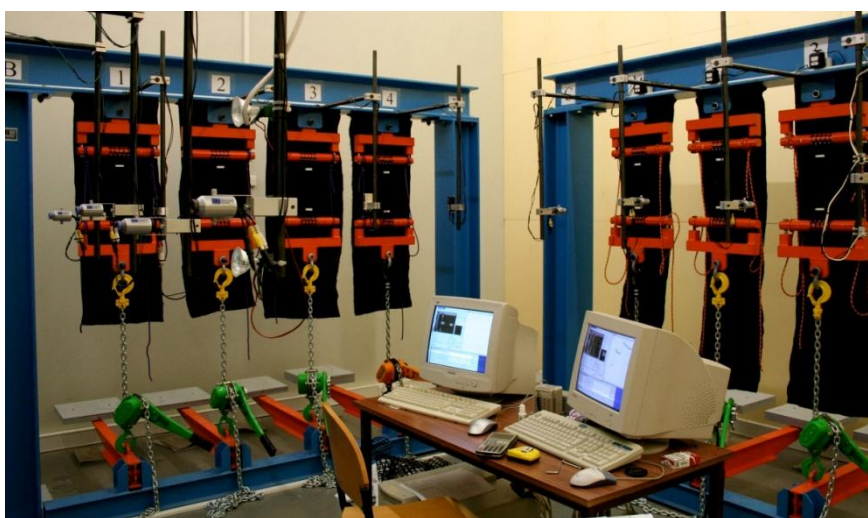


Figura 1 – Pórticos utilizados na realização dos ensaios de fluência e rotura em fluência

No ensaio de fluência a carga é mantida durante um período de 1000 horas. A extensão do provete é medida em intervalos de tempo específicos. Caso haja rotura do material antes de decorridas 1000 horas o tempo até à rotura é registado. Foram realizados ensaios de fluência para níveis de carga distintos, inferiores a 60% da resistência à tracção do geossintético em estudo.

No ensaio de rotura em fluência a carga é mantida até à rotura. O tempo decorrido desde a aplicação total da carga até à rotura é determinado recorrendo a um relógio incorporado no equipamento de ensaio que regista esse mesmo intervalo de tempo. Foram realizados ensaios de rotura em fluência para níveis de carga distintos entre 50% a 90% da resistência à tracção do geossintético, para cada um desses níveis de carga foram ensaiados três provetes, num total de doze provetes para cada tipo de amostra do geossintético em estudo.

Com este programa de ensaios pretende-se aumentar o suporte técnico-científico dos valores dos coeficientes de segurança a considerar no dimensionamento das estruturas que integrem geossintéticos, em especial naqueles em que o comportamento mecânico, de curto e de longo prazo, dos geossintéticos é relevante.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Ensaio de Tracção

Os resultados dos ensaios de tracção efectuados para caracterizar o efeito da danificação durante a instalação no comportamento a curto prazo dos geossintéticos são expressos em termos de resistência à tracção residual e extensão na rotura residual. A resistência à tracção residual ($S_{residual}$) e extensão na rotura residual ($\epsilon_{Fmáx\ res}$) são definidos pela seguinte expressão:

$$X_{residual} = \frac{X_{danificada}}{X_{intacta}} \times 100(\%) \quad (1)$$

Onde $X_{danificada}$ é a resistência à tracção ou extensão na rotura do material danificado e $X_{intacta}$ dizem respeito ao material intacto ou de referência.

Como indicador da dispersão dos resultados, refere-se o coeficiente de variação da resistência à tracção, C.V.

Os resultados dos ensaios de tracção do geossintético danificado *in situ* são apresentados no Quadro 3, em termos de resistência residual e coeficiente de variação respectivo.

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

Geossintético	Grandezas (%)	Solo 1		Solo 2	
		E.C.1	E.C.2	E.C.1	E.C.2
GTXt	$S_{residual}$	56,4	34,0	*	90,6
	$C.V.S_{residual}$	8,6	5,0	*	1,0
	$\epsilon_{Fmáx\ res}$	68,3	54,8	*	90,7
	$C.V.\epsilon_{res}$	13,1	7,9	*	5,6

* Não foi possível obter estes resultados

Analisando a influência do tipo de solo, para a mesma energia de compactação, verifica-se que quando é utilizado o Solo 2 há uma redução de resistência de 66%, enquanto com o Solo 1 essa redução é de 43,6%. Assim, verifica-se que o Solo 1 é o que mais afecta a resistência à tracção do geotêxtil estudado. No que se refere à influência da energia de compactação utilizada, para o Solo 1, verifica-se uma redução da resistência residual para o E.C.2 em relação à E.C.1 de 40%.

Assim, pode-se concluir que, a influência do tipo de solo envolvente na resistência residual após danificação durante a instalação é significativa. A influência do tipo de solo pode ser justificada pelas dimensões das partículas. De facto, a dimensão máxima das partículas do Solo 2 é de 5mm, enquanto o Solo 1 tem 60% de partículas de dimensão superior a 5 mm, tornando-se, por isso, mais agressivo para o geossintético.

3.2. Ensaio de Rotura em Fluência

De acordo com a norma EN ISO 13431 (1999), para a determinação da rotura em fluência, como resultado do ensaio correspondente devem ser apresentados os valores do tempo decorrido até à rotura de cada provete, com indicação da carga aplicada correspondente.

Com estes valores é possível traçar a curva de tempos de rotura do geossintético em estudo e fazer extrapolações para determinar o valor da carga correspondente a um determinado instante. Na Figura 2 estão representadas as curvas de rotura em fluência do geossintético intacto e danificado obtido no estudo. Estão também indicados as curvas referentes ao limite inferior de confiança de 95% (LIC (95%)) de cada material.

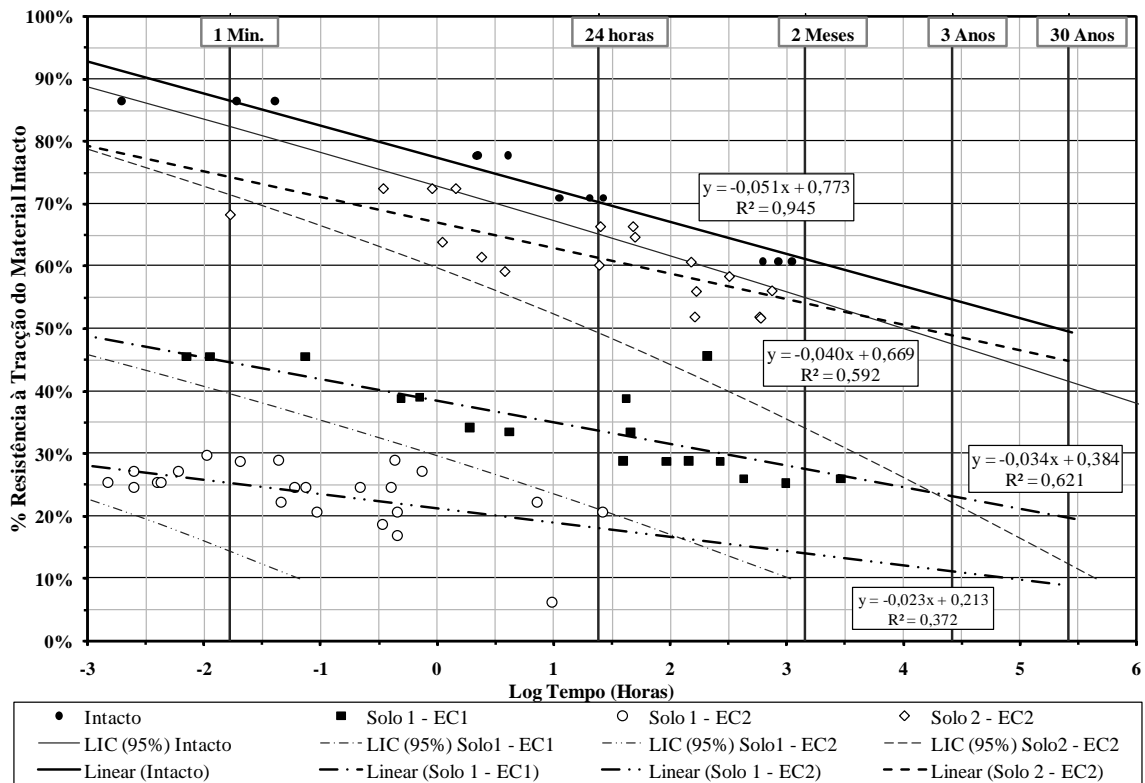


Figura 2- Curvas de rotura em fluência para o Geotêxtil GTXt (EN ISO 13431 1999)

O efeito de rotura em fluência nos vários tipos de amostra é claro, já que para todas elas se verifica uma tendência para obter tempos de vida inferior para cargas mais elevadas. O valor da resistência à tração após 1 minuto corresponde de forma aproximada ao valor máximo da resistência à tração. Este valor é ligeiramente inferior ao da resistência máxima à tração determinada de acordo com a NP EN ISO 10319 (2006), devido à maior velocidade de aplicação da carga no ensaio de rotura em fluência.

Como se pode verificar, os resultados obtidos para o geotêxtil intacto são muito mais homogêneos. Isto deve-se ao facto de, por um lado, o coeficiente de determinação da aproximação linear dos resultados ser bastante elevado (0,945); por outro lado, deve-se à curva correspondente ao limite inferior de confiança de 95% se encontrar bastante próxima dos pontos obtidos.

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, pelo que se deve evitar extrapolações superiores a duas ordens de grandeza.

Os resultados apresentados indicam que, após 30 anos de serviço sob carga constante, o material intacto, sofreria rotura e a carga correspondente seria, aproximadamente, 50% da resistência à tração do geossintético.

As curvas correspondentes às amostras intactas e às amostras danificadas tendem a aproximar-se, isto pode indicar que o efeito da rotura em fluência é maior no material intacto do que nos materiais danificados. Entre os materiais danificados esse efeito é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo (GTXt após DDI com Solo 1 e EC2). No entanto, é neste material que se observa uma maior dispersão de resultados.

Esse facto, deve-se à danificação induzida em campo ser heterogénea, havendo zonas da amostra mais afectadas pelas acções mecânicas aplicadas ao geossintético.

3.3. Ensaio de Fluência

De acordo com a norma EN ISO 13431 (1999), para cada geossintético, devem ser realizados ensaios de fluência sobre quatro provetes, cada um correspondendo a um nível de carga distinto e com duração de 1000 horas cada.

Na Figura 3 apresentam-se os resultados obtidos para o material intacto, danificado com Solo 1 – EC1 e Solo 2 – EC2. Não são apresentados os resultados do geossintético danificado com o Solo 1 – EC2, porque até à data da preparação deste trabalho, os ensaios ainda não finalizaram. A carga aplicada a cada provete está também indicada na Figura 3, como uma percentagem da resistência à tracção do geossintético intacto. Em alguns casos, para cada percentagem de carga, foram ensaiados 3 provetes.

Como seria de esperar, para as diferentes condições, as deformações associadas a níveis de carga mais elevados são mais significativas.

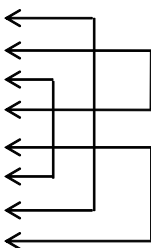
No material intacto, os provetes com carga de 60,7% da resistência à tracção, sofreram rotura. Os ensaios dos restantes provetes, com níveis de carga inferior, foram interrompidos após 1440 horas (2 meses). Para tempos de ensaio mais longos poderá ocorrer a rotura do provete. Assim, os resultados deste tipo de ensaios devem ser utilizados com prudência, em particular quando se pretende extrapolar os resultados no tempo.

Para as diferentes condições (provetes intactos e danificados), a razão de deformação aumenta antes de o material sofrer rotura, antevendo a rotura do provete. Nos provetes com níveis de carga baixo a razão de deformação é constante ao longo da escala logarítmica do tempo. Nos materiais danificados, a dispersão dos resultados é maior, principalmente no material danificado com Solo 1 – EC1, aquele que maior grau de danificação provoca nas amostras do geossintético.

Comparando a extensão após 1 minuto de ensaio, ver Quadro 4, verificamos que é semelhante nos provetes intactos e danificados, para níveis de carga aplicada idênticos. No entanto, a razão de deformação em função da escala logarítmica do tempo é maior nos materiais danificados e, entre os materiais danificados, é maior para o caso do Solo 1 – EC1. A razão de deformação apresentada no Quadro 4 só foi determinada nos provetes que não sofreram rotura e em que a razão de deformação é constante ao longo do logaritmo do tempo.

Quadro 4- % de extensão após 1 minuto e razão de deformação

	% resistência à tracção do material intacto	% de extensão após 1 minuto	Razão de deformação na escala logarítmica do tempo
Intacto	51.1	6.2	1.689
	33.4	4.3	1.246
	19.4	2.5	0.657
Solo 1 - EC1	33.5	4.9	1.578
	25.2	3.4	1.328
	18.9	2.8	0.710
Solo 2 - EC2	51.8	6.8	1.961
	25.9	3.6	0.997



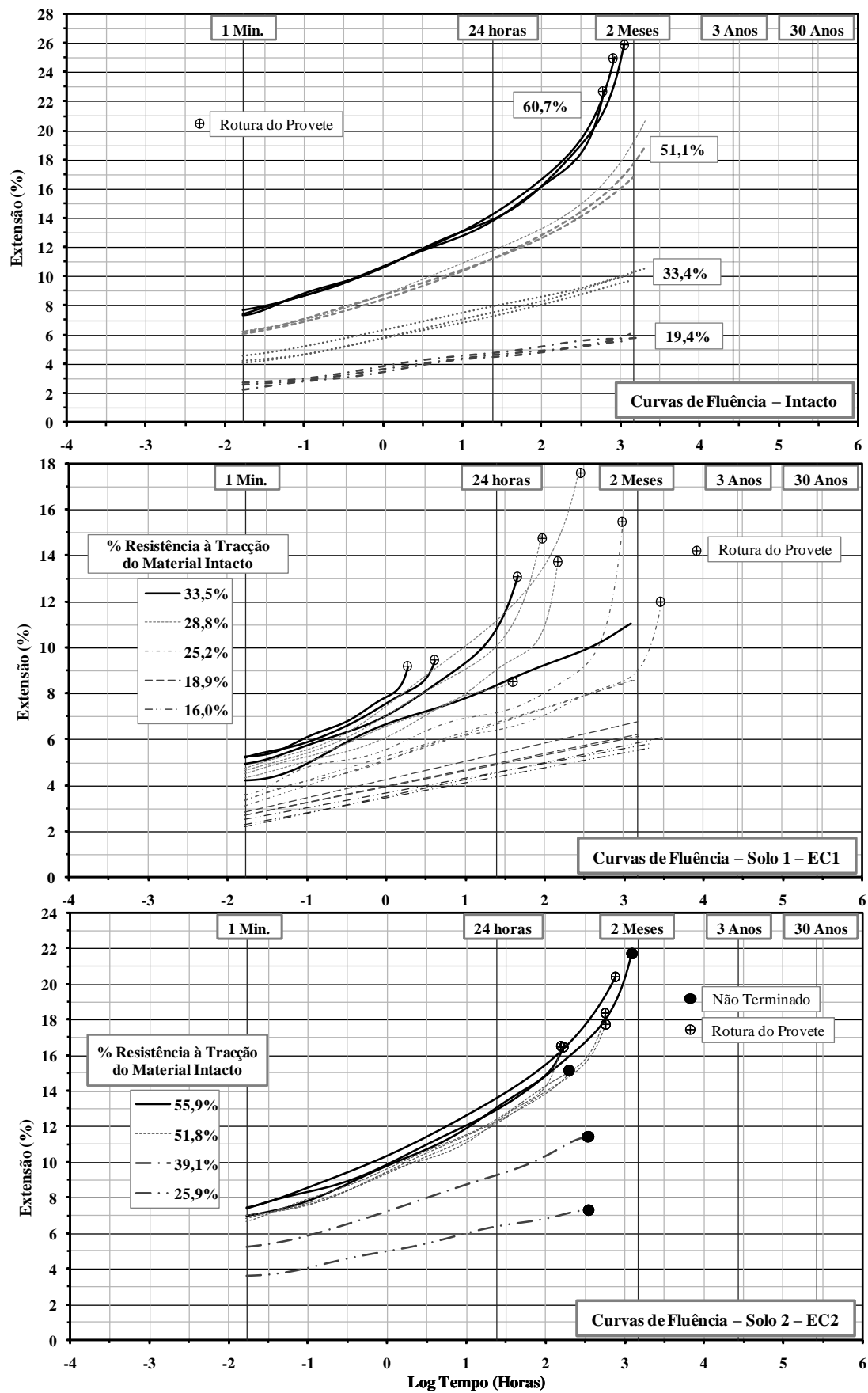


Figura 3- Curva de fluência do GTXt (EN ISO 13431 1999)

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o efeito da danificação durante a instalação no comportamento mecânico a curto e longo prazo de um geotêxtil tecido em polipropileno. Foram realizados ensaios de campo de danificação durante a instalação, para dois tipos de solos e duas energias de compactação. A caracterização da danificação no comportamento mecânico foi estudada através de ensaios de tracção, ensaios de rotura em fluência e fluência.

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que a influência do tipo de solo e da energia de compactação na resistência à tracção a curto prazo do geossintético é significativa e que o efeito da rotura em fluência nos vários tipos de amostra é claro, já que em todas elas se verifica uma tendência para obter tempos de vida inferior para cargas mais elevadas. Após 30 anos de serviço sob carga constante, o material intacto sofrerá rotura para 50% da resistência à tracção. Entre os materiais danificados o efeito da rotura em fluência é menor no material com maior grau de danificação a curto prazo, (GTXt danificado com “*tout venant*” (Solo1) e energia de compactação de 98%). Da análise do coeficiente de determinação da aproximação linear, bem como das linhas correspondentes ao limite inferior de confiança a 95%, verifica-se uma maior dispersão de resultados nas amostras danificadas. Para além disso conclui-se que nos ensaios de fluência, as deformações associadas a níveis de carga mais elevados são mais significativas. A razão de deformação aumenta antes de o material sofrer rotura, antecipando a rotura do provete. Nos provetes com níveis de carga baixos a razão de deformação é constante ao longo do logaritmo do tempo. A razão de deformação dos provetes danificados é maior do que nos provetes intactos ensaiados nas mesmas condições. Entre os provetes danificados essa razão de deformação é maior quando os provetes são danificados com o material granular “*tout venant*”. A dispersão dos resultados é grande, principalmente nos provetes danificados com o material granular que maior danificação provoca no geotêxtil em estudo, o “*tout-venant*”.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do 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”.
- 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.
- Margarida P. Lopes e M. Lurdes Lopes (2001) “Efeito no comportamento mecânico dos geossintéticos da danificação durante a instalação – resultados iniciais”, Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, n°93, pp.81-99, Lisboa.