

# ALGUNS ASPECTOS DA DURABILIDADE DE GEOTÊXTEIS A FACTORES CLIMATÉRICOS – SIMULAÇÃO LABORATORIAL

Some aspects of the durability of geotextiles to weathering factors  
– Laboratorial simulation

José Ricardo Carneiro\*

Paulo Almeida\*\*

Maria de Lurdes Lopes\*\*\*

**RESUMO** – Os geotêxteis aplicados em estruturas de carácter ambiental podem sofrer alterações de resistência, tanto a curto como a longo prazo. Assim, a avaliação da resistência desses materiais a diversos agentes físicos e/ou químicos é de extrema importância, uma vez que a sua aplicação requer que desempenhem determinadas funções durante um elevado período de tempo. A exposição de geotêxteis a condições climáticas pode afectar a sua durabilidade e, consequentemente, o seu comportamento mecânico ao longo do tempo. A simulação à escala laboratorial dos danos que podem ocorrer nos geotêxteis durante meses ou anos de envelhecimento natural é importante na previsão do seu tempo de vida útil. O presente trabalho tem por objectivo avaliar o efeito da exposição a condições climáticas na durabilidade de três geotêxteis estabilizados quimicamente com diferentes quantidades do aditivo Chimassorb 944. A simulação do efeito das condições climáticas (raios UV, chuva, humidade e orvalho) nos geotêxteis foi efectuada num simulador climático – o QUV. O efeito desta exposição no comportamento mecânico a curto prazo dos geotêxteis foi avaliado através de ensaios de tracção. As alterações ocorridas a nível microscópico nas fibras constituintes dos materiais foram caracterizadas por microscopia electrónica de varrimento.

**SYNOPSIS** – Geotextiles applied in environmental structures can suffer changes on their short and long-term strength. Therefore, the evaluation of the resistance of these materials against some physical and/or chemical agents is extremely important because their application requires that they perform specific functions for a long period of time. The exposition of geotextiles to weathering conditions can affect their durability and consequently their mechanical behaviour along time. A laboratorial-scale simulation of the damage that may occur on the geotextiles over months or years at natural ageing is important in predicting the useful lifetime of these materials. This paper aims at evaluating the effect of the exposition to weathering conditions on the durability of three geotextiles chemically stabilized with different amounts of the additive Chimassorb 944. The simulation of the effect of the weathering conditions (UV rays, rain and dew) in the geotextiles was performed in a weathering tester – the QUV. The effect of this exposition on the short-term mechanical behaviour of the geotextiles was evaluated by tensile tests. Microscopic changes on the material fibbers were characterised by using scanning electron microscopy.

## 1 – INTRODUÇÃO

Os geotêxteis são materiais geossintéticos bastante aplicados em diversos domínios da Engenharia, dada a sua aptidão para o exercício de várias funções (separação, filtração, drenagem, pro-

---

\* Mestre em Química, aluno de doutoramento da FEUP, E-mail: rcarneir@fe.up.pt

\*\* Doutor em Química, Professor Auxiliar da FCUP, E-mail: pjalmid@fc.up.pt

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

tecção e reforço). Nestas aplicações, os geossintéticos estão sujeitos à acção de diversos agentes físicos e químicos, nomeadamente o oxigénio, o ataque directo por substâncias químicas como ácidos ou bases, o contacto com o ar e com a água, a degradação biológica, a degradação induzida pela exposição a altas temperaturas, a exposição à luz solar e a degradação mecânica durante o manuseamento e instalação. Como se pretende que estes materiais desempenhem determinadas funções durante um elevado período de tempo é importante avaliar o efeito da sua exposição aos agentes referidos, controlando propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas.

O processo de degradação da generalidade dos materiais poliméricos e, em particular, dos geossintéticos é um fenómeno extremamente complexo cujos mecanismos ainda não se encontram completamente elucidados. A luz solar é considerada como um dos principais responsáveis pela degradação de vários polímeros, incluindo os utilizados no fabrico dos geossintéticos. A exposição directa à luz solar pode provocar alterações estruturais, normalmente acompanhadas pela deterioração drástica das propriedades químicas, físicas e mecânicas. A gama de comprimentos de onda ( $\lambda$ ) existentes na radiação solar estende-se desde a zona infravermelha do espectro ( $\lambda > 700$  nm), passando pela zona visível ( $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ ) até à zona ultravioleta ( $\lambda < 400$  nm), sendo o menor comprimento de onda encontrado na luz solar de aproximadamente 295 nm. A danificação dos geossintéticos ocorre quando os fotões existentes na luz solar interagem com as cadeias moleculares que formam a sua estrutura polimérica. No entanto, nem todos os fotões possuem energia suficiente para promover a degradação polimérica dos geossintéticos. A energia de um fotão para um determinado comprimento de onda é dada pela relação de Planck:

$$E = h\nu = hc / \lambda \quad (1)$$

em que,

E – Energia (J)

h – Constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)

$\nu$  – Frequência da radiação electromagnética ( $\text{s}^{-1}$ )

c – Velocidade da luz no vácuo ( $2,998 \times 10^8$  m.s $^{-1}$ )

$\lambda$  – Comprimento de onda da radiação electromagnética (m)

Uma vez que a energia associada a cada fotão é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, apenas os fotões com comprimentos de onda situados na zona ultravioleta (UV) da radiação solar são suficientemente energéticos para iniciar o processo de degradação polimérica dos geossintéticos. Quando a radiação UV atinge a superfície dos geossintéticos, os fotões com energia igual ou superior à energia das ligações químicas existentes na estrutura polimérica promovem uma série de reacções que podem originar a cisão de cadeias poliméricas e a consequente degradação dos geossintéticos. A radiação UV incidente pode promover a formação de radicais livres e, se o oxigénio atmosférico estiver disponível, é possível a ocorrência de foto-oxidação das cadeias poliméricas.

A maneira mais simples de prevenir a degradação de um geossintético por acção da radiação UV é evitar a exposição à luz solar. Embora estejam completamente enterrados na maioria das suas aplicações, os geossintéticos podem ser expostos a alguma quantidade de luz solar durante o seu manuseamento e instalação. A eliminação de toda a exposição à radiação solar é na maioria dos casos impossível e, nalgumas situações, os geossintéticos podem mesmo estar expostos à luz solar durante extensos períodos de tempo. A degradação dos geossintéticos por acção da radiação UV é



## 2 – GEOSSINTÉTICOS

Neste trabalho estudam-se três geotêxteis não tecidos agulhados constituídos por fibras de polipropileno especialmente produzidas com diferentes quantidades do aditivo Chimassorb 944. A quantidade de C944 existente nas fibras dos geotêxteis, bem como as massas por unidade de área dos geotêxteis e as suas propriedades mecânicas (resistência à tracção e extensão na força máxima) encontram-se resumidas no Quadro 1. As fibras produzidas para o fabrico dos geotêxteis possuíam uma massa linear de 8 denier (1 denier = 1 g / 10000 m) e foram cortadas com cerca de 7,5 cm de comprimento. Os geotêxteis produzidos possuíam dimensões compreendidas entre os 48,0 m x 2,3 m (GTX 1.0) e os 58,0 m x 2,3 m (GTX 1.1), dos quais se retiraram as amostras ensaiadas no decorrer deste trabalho. A Figura 2 inclui duas imagens obtidas por microscopia electrónica de varrimento da estrutura do geotêxtil GTX 1.0. A estrutura dos geotêxteis GTX 1.1 e GTX 1.2 não apresentava diferenças relativamente à do GTX 1.0.

**Quadro 1** – Principais características dos geotêxteis estudados.

Geotêxtil	GTX 1.0	GTX 1.1	GTX 1.2
Concentração de C944 (% em massa)	0,0	0,2	0,4
Massa por unidade de área <sup>1</sup> (g.m <sup>-2</sup> )	283 (11 %)	272 (7,8 %)	263 (7,6 %)
Resistência à tracção <sup>2</sup> (kN.m <sup>-1</sup> )	DF: 13,8 (8,3 %) DPF: 5,19 (5,6 %)	DF: 14,3 (5,5 %) DPF: 5,18 (9,0 %)	DF: 14,6 (7,9 %) DPF: 5,52 (12 %)
Extensão na força máxima <sup>2</sup> (%)	DF: 73,7 (11 %) DPF: 113 (6,3 %)	DF: 87,3 (5,2 %) DPF: 131 (8,9 %)	DF: 87,4 (6,5 %) DPF: 122 (5,5 %)

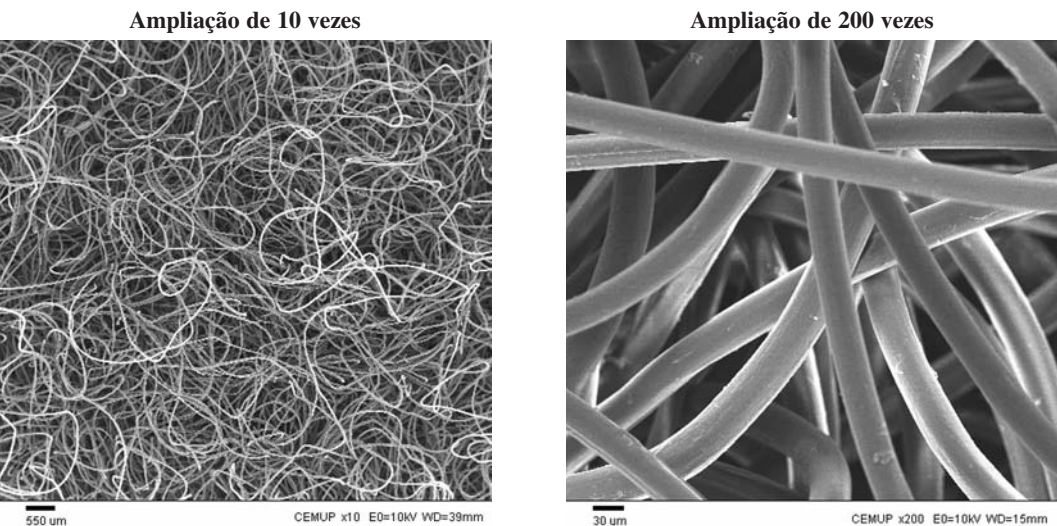
<sup>1</sup>determinado de acordo com a EN 965 (1994)

<sup>2</sup>determinado de acordo com a EN 29073-3 (1992)

DF: Direcção de fabrico

DPF: Direcção perpendicular à do fabrico

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos)



**Fig. 2** – Imagens da estrutura do geotêxtil GTX 1.0 obtidas por microscopia electrónica de varrimento.

### 3 – DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

A simulação do efeito das condições climáticas (raios ultravioleta, chuva, humidade e orvalho) nos geotêxteis foi efectuada num equipamento laboratorial – o QUV (Figura 3). O QUV permite expor artificialmente os materiais a ciclos climáticos que envolvem passos de chuva, de condensação (simulam o efeito do orvalho e da humidade) e de exposição aos raios ultravioleta (simulam o efeito degradante da luz solar). Os passos de exposição aos raios UV e de condensação são normalmente realizados a temperaturas elevadas, o que promove a aceleração do processo da degradação polimérica. O passo de chuva origina uma diminuição brusca da temperatura dos materiais (choque térmico) e promove a erosão da sua superfície (remoção de fibras despolimerizadas à superfície dos materiais). Em apenas alguns dias ou semanas, o QUV pode reproduzir os danos que ocorrem durante meses ou anos de envelhecimento ao ar livre, fornecendo excelentes previsões de como os materiais se vão comportar em condições reais.

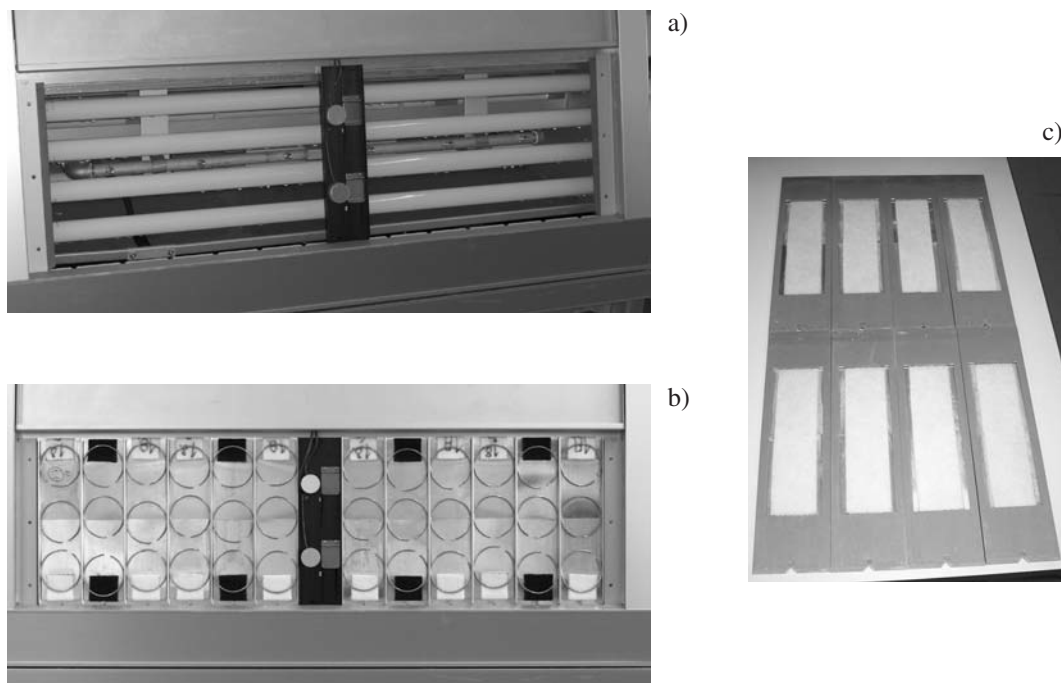


**Fig. 3** – Equipamento QUV.

A luz solar (principalmente devido aos raios UV) é amplamente reconhecida como sendo o factor dominante de degradação em muitos polímeros incluindo os utilizados no fabrico de geotêxteis. A exposição à radiação UV foi realizada utilizando lâmpadas do tipo UV-A-340. As lâmpadas UV-A-340 fornecem uma excelente simulação da luz solar entre os 365 nm e os 295 nm (menor comprimento de onda encontrado na luz solar). Estas lâmpadas possuem um pico de emissão ao comprimento de onda de 340 nm, onde também pode ser encontrado o máximo de emissão da luz solar. Além das lâmpadas do tipo UV-A, o QUV pode também utilizar lâmpadas do tipo UV-B, as quais emitem energia a comprimentos de onda mais baixos que os encontrados na luz solar, o que pode acelerar o processo de degradação dos materiais. No entanto, o facto de emitirem energias mais elevadas que as existentes na radiação solar pode por vezes causar comportamentos anómalos. As lâmpadas UV-A permitem então uma melhor simulação da exposição UV que os materiais sofrem em condições naturais, uma vez que os comprimentos de onda emitidos são os encontrados na radiação solar.

A chuva foi simulada através da projecção de jactos de água (tipo chuveiro) contra a superfície dos geotêxteis. A água utilizada para simular o efeito da chuva foi purificada através de um sistema de osmose inversa com tratamento microbiológico seguido de desionização em resinas de permuta iónica de leito misto. O caudal de água utilizado durante a simulação da chuva foi de  $5 \text{ l.min}^{-1}$ . No passo de condensação, um reservatório de água (proveniente da rede de abastecimento pública) localizado no fundo do QUV é aquecido e ocorre a formação de vapor, que vai condensar (água destilada) à superfície dos geotêxteis expostos.

Os geotêxteis são colocados no QUV em suportes próprios que formam as paredes laterais do equipamento (Figura 4).

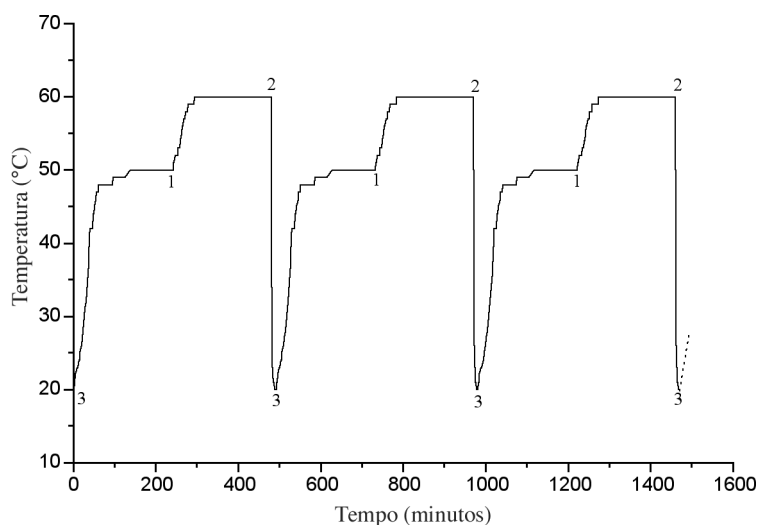


**Fig. 4** – Exposição dos geotêxteis no QUV: (a) QUV antes da colocação dos suportes com geotêxteis; (b) QUV após a colocação dos suportes com geotêxteis; (c) suportes usados para a colocação dos geotêxteis.

Os geotêxteis (GTX 1.0, GTX 1.1 e GTX 1.2) foram sujeitos a três ciclos de exposição diferentes (designados por C1, C2 e C3), em que se manteve constante a duração total (500 horas) e se variou a duração dos passos de exposição aos raios UV ( $60^\circ \text{ C}$ ) e de condensação ( $50^\circ \text{ C}$ ) (Quadro 2). À medida que se avançou do ciclo C1 para o ciclo C3, a exposição à radiação UV foi ganhando preponderância relativamente à ocorrência do fenómeno de condensação à superfície dos materiais. A radiação incidente durante o passo de exposição UV foi de  $0,68 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  aos 340 nm, valor que corresponde à irradiância do pico de emissão máximo da luz solar. A introdução de um passo de chuva imediatamente a seguir ao passo de exposição UV faz diminuir rapidamente a temperatura dos  $60^\circ \text{ C}$  para cerca de  $20^\circ \text{ C}$ , provocando um choque térmico nos geotêxteis. A Figura 5 ilustra a variação da temperatura durante os diversos passos do ciclo C1, a título exemplificativo.

**Quadro 2** – Condições experimentais da exposição dos geotêxteis no QUV.

Ciclo	Passo	Duração do Passo	Duração Total	Radiação Incidente	Radiação Total Incidente (500 hrs)
C1	1 UV (60° C)	4 hrs	500 hrs	0,68 J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (340 nm)	0,60 MJ.m <sup>-2</sup> (340 nm)
	2 Chuva	10 min			
	3 Condensação (50° C)	4 hrs			
C2	1 UV (60° C)	6 hrs	500 hrs	0,68 J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (340 nm)	0,90 MJ.m <sup>-2</sup> (340 nm)
	2 Chuva	10 min			
	3 Condensação (50° C)	2 hrs			
C3	1 UV (60° C)	8 hrs	500 hrs	0,68 J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (340 nm)	1,20 MJ.m <sup>-2</sup> (340 nm)
	2 Chuva	10 min			
	3 Condensação (50 °C)	0 hrs			



**Fig. 5** – Variação da temperatura ao longo dos diversos passos do ciclo C1.

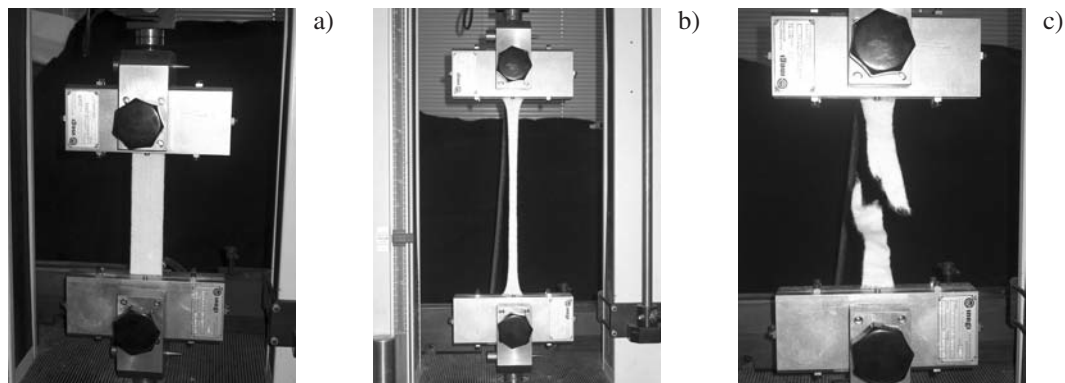
(1 – início do passo de exposição UV; 2 – início do passo de chuva; 3 – início do passo de condensação).

Após exposição aos ciclos de UV-chuva-condensação, os geotêxteis foram acondicionados pelo menos durante 24 horas em local seco e ao abrigo da luz. De seguida, realizaram-se ensaios de tracção (DF), de acordo com a EN 29073-3 (1992) (Quadro 3 e Figura 6), para avaliar a existência de deterioração das propriedades mecânicas dos materiais (resistência à tracção e extensão na força máxima). As eventuais alterações ocorridas a nível microscópico na estrutura dos geotêxteis foram caracterizadas por microscopia electrónica de varrimento.



**Quadro 3** – Condições experimentais dos ensaios de tracção (EN 29073-3).

Largura <sub>Geotêxtil</sub>	Comprimento <sub>Geotêxtil</sub> (entre garras)	n <sub>Provetes</sub>	Velocidade	Temperatura	Humidade relativa
50 mm	200 mm	5	100 mm.min <sup>-1</sup>	20 ± 2° C	65 ± 5 %

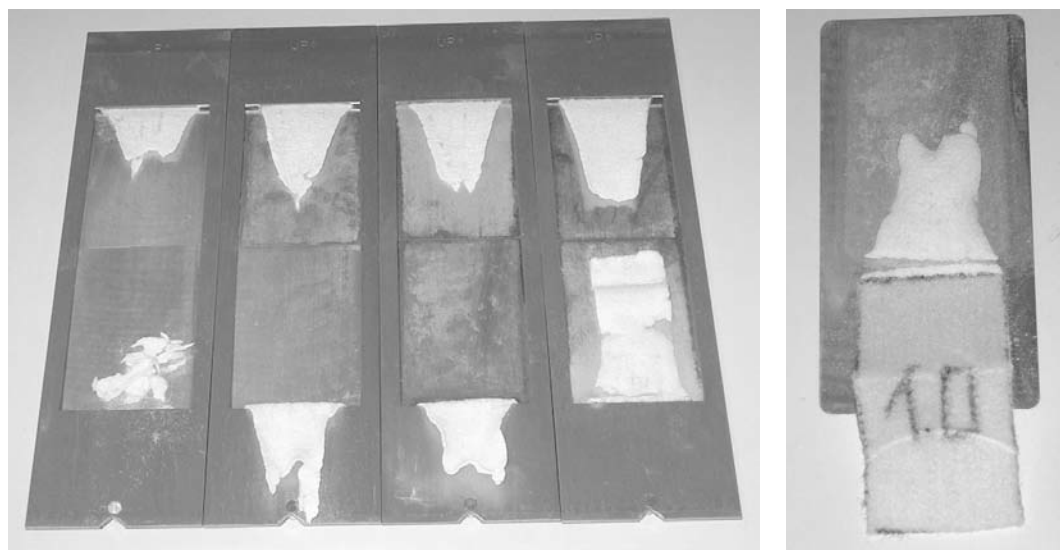


**Fig. 6** – Ensaios de tracção-extensão de acordo com a norma EN 29073-3: (a) antes; (b) durante; (c) depois.

## 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Geotêxtil GTX 1.0

O geotêxtil GTX 1.0 (sem qualquer estabilização química) não resistiu a nenhum dos ciclos a que foi exposto (Figura 7). As fibras do GTX 1.0 despolimerizaram por completo, fazendo com que os materiais fossem reduzidos a pequenos pedaços ou mesmo a pó durante o decorrer dos ciclos de exposição. A cor não se alterou no decorrer da exposição, nem foram perceptíveis odores devidos à libertação de compostos voláteis durante o processo de despolimerização dos materiais.

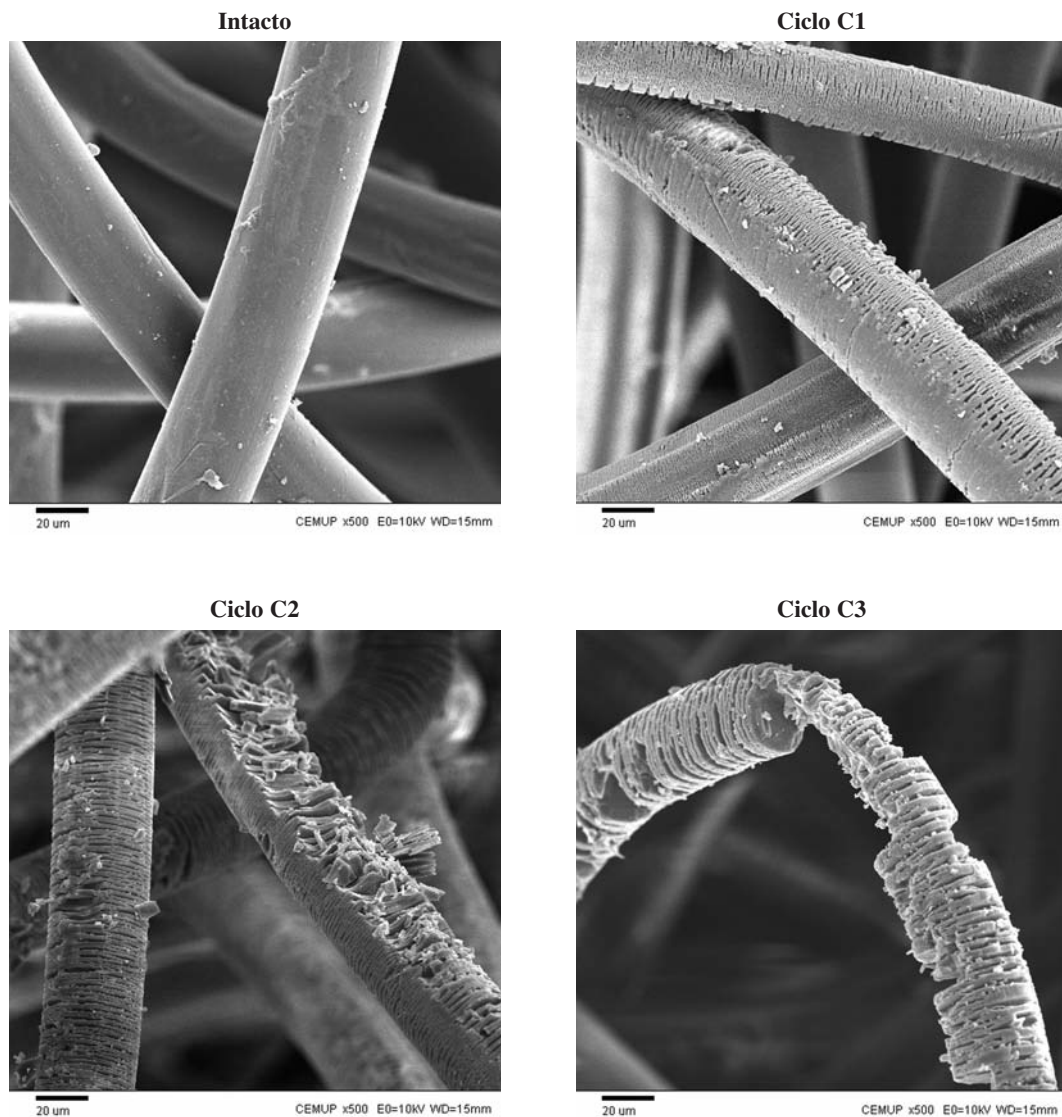


**Fig. 7** – Degradação da matriz polimérica das amostras do GTX 1.0 durante exposição ao ciclo C1.



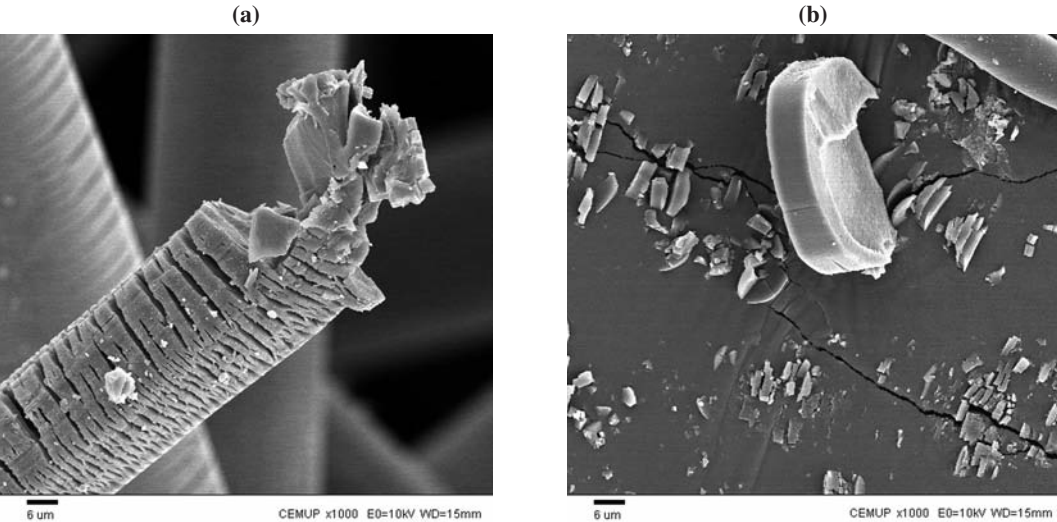
#### 4.2 – Geotêxtil GTX 1.1

A exposição do geotêxtil GTX 1.1 (estabilizado quimicamente com 0,2 % de C944) aos ciclos climáticos no QUV não originou a sua degradação completa, o que demonstra a importância da incorporação do aditivo C944 na sua formulação. A ocorrência de alguma despolimerização foi perceptível a olho nu após a exposição aos ciclos C2 e C3, uma vez que foi possível observar pequenas fibras despolimerizadas (quase pó) à superfície do material. A exposição aos diferentes ciclos climáticos não afectou a cor dos materiais. A análise das amostras dos geotêxteis por microscopia electrónica de varrimento mostrou a existência de degradação nas fibras constituintes após a exposição aos diferentes ciclos climáticos no QUV (Figura 8).



**Fig. 8** – Imagens das fibras constituintes do GTX 1.1 obtidas por microscopia electrónica de varrimento (ampliação de 500 vezes).

A danificação ocorrida nas fibras do GTX 1.1 foi mais acentuada para os materiais expostos aos ciclos C2 e C3, onde a ocorrência de despolimerização havia já sido detectada a olho nu. Após a exposição aos ciclos C2 e C3, a grande maioria das fibras constituintes do GTX 1.1 encontravam-se muito degradadas e, em algumas situações, mesmo muito perto da ruptura completa, com a consequente libertação de pequenos pedaços da fibra. Após exposição ao ciclo C1, os geotêxteis também já apresentavam sinais evidentes de degradação – fissuras ao longo das fibras (degradação não perceptível a olho nu). A Figura 9 mostra o pormenor de uma fibra que quebrou durante a exposição do GTX 1.1 ao ciclo C3 (a) e alguns resíduos de fibras libertados pelo geotêxtil após a exposição (b).



**Fig. 9** – Degradação das fibras do GTX 1.1 após exposição ao ciclo C3 (ampliação de 1000 vezes):  
(a) fibra quebrada; (b) resíduos de fibras libertado pelo geotêxtil.

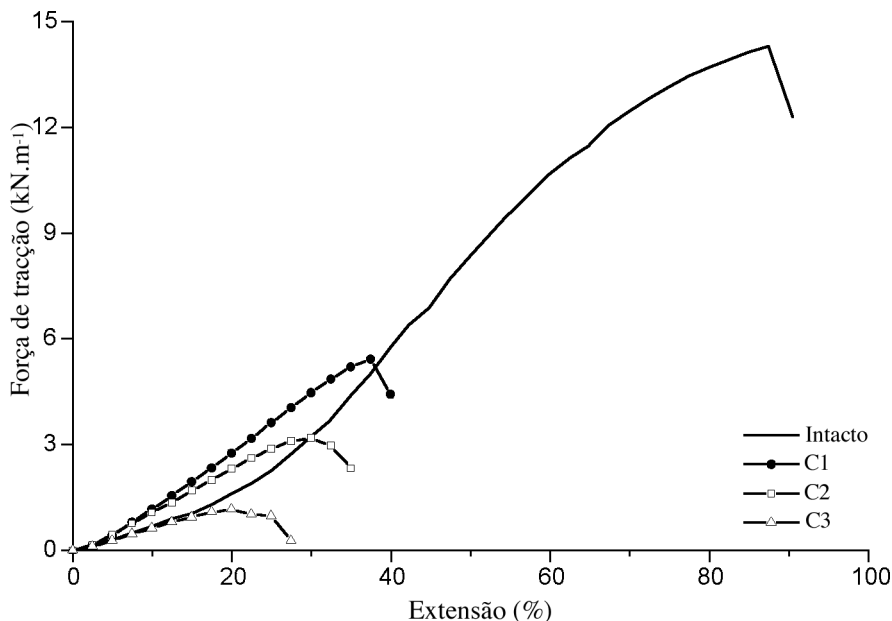
As propriedades mecânicas dos geotêxteis (resistência à tracção e extensão na força máxima) alteraram-se durante a exposição aos ciclos climáticos (C1, C2 e C3) devido à ocorrência de degradação das suas fibras constituintes. Os resultados obtidos para a força de tracção máxima e para a extensão na força máxima do GTX 1.1, antes e após a exposição aos diferentes ciclos, encontram-se no Quadro 4.

**Quadro 4** – Resistência à tracção e extensão na força máxima do GTX 1.1.

Tipo de exposição	Resistência à tracção (kN.m <sup>-1</sup> )	Extensão (%)	Resistência Residual (%)
Intactos	14,3 (5,5 %)	87,3 (5,2 %)	—
Ciclo C1	5,46 (9,8 %)	37,3 (5,1 %)	38,2
Ciclo C2	3,22 (21 %)	29,9 (15 %)	22,5
Ciclo C3	1,20 (47 %)	20,1 (16 %)	8,4

(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

A resistência à tracção dos geotêxteis GTX 1.1 diminuiu drasticamente após a exposição aos ciclos climáticos, sendo essa diminuição mais pronunciada após a exposição ao ciclo C3 (os geotêxteis apresentavam uma resistência residual de apenas 8,4 %). A diminuição gradual da resistência à medida que se aumenta a radiação incidente total demonstra o efeito nocivo dos raios UV nos geotêxteis. A extensão na força máxima também diminuiu após a exposição aos ciclos climáticos, passando do valor de 87,3 % nos materiais intactos para 20,1 % após a exposição ao ciclo C3. As curvas médias força-extensão obtidas para o geotêxtil GTX 1.1, antes e após a exposição, encontram-se ilustradas na Figura 10.



**Fig. 10** – Influência da exposição aos ciclos climáticos C1, C2 e C3 na forma das curvas força-extensão para o GTX 1.1.

#### 4.3 – Geotêxtil GTX 1.2

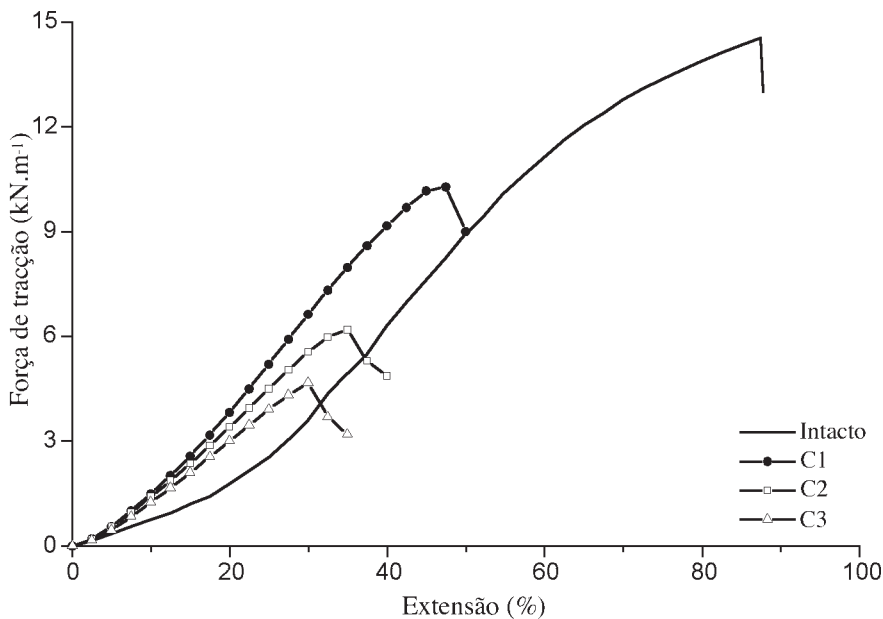
A exposição do geotêxtil GTX 1.2 (0,4 % de C944) aos ciclos climáticos no QUV não originou alterações visualmente detectáveis nos materiais. No entanto, a análise por microscopia electrónica de varrimento mostrou a existência da ocorrência de degradação das fibras constituintes, embora essa degradação fosse sempre menor que a degradação observada para o GTX 1.1 no ciclo de exposição correspondente. Os resultados obtidos para as propriedades mecânicas (resistência à tracção e extensão na força máxima) do geotêxtil GTX 1.2, antes e após a exposição aos diferentes ciclos, encontram-se no Quadro 5.

**Quadro 5** – Resistência à tracção e extensão na força máxima do GTX 1.2.

Tipo de exposição	Resistência à tracção (kN.m <sup>-1</sup> )	Extensão (%)	Resistência Residual (%)
Intactos	14,6 (7,9 %)	87,4 (6,5 %)	–
Ciclo C1	10,3 (8,5 %)	47,4 (6,6 %)	<b>70,5</b>
Ciclo C2	6,18 (21 %)	34,9 (13 %)	<b>42,3</b>
Ciclo C3	4,67 (11 %)	30,0 (5,3 %)	<b>31,2</b>

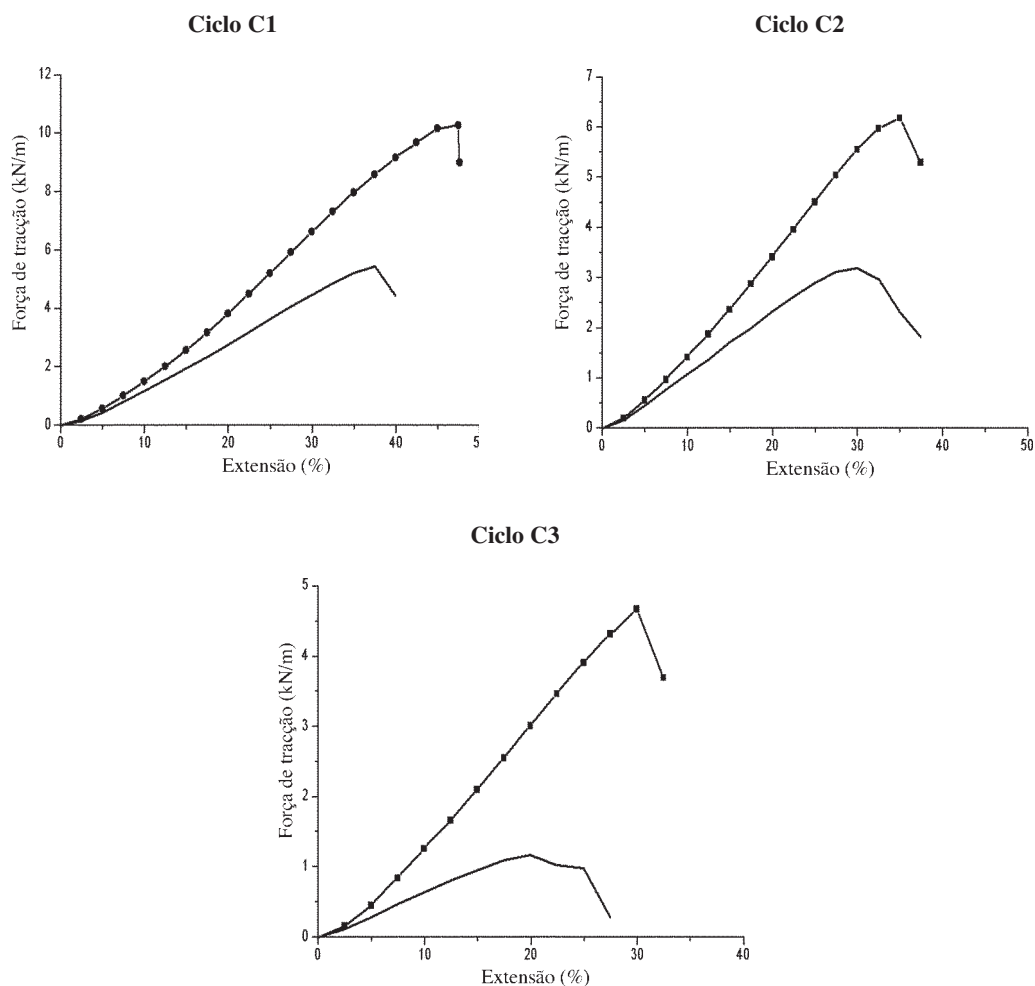
(entre parêntesis encontram-se os valores dos coeficientes de variação obtidos; 5 amostras)

A exposição dos geotêxteis GTX 1.2 aos ciclos climáticos provocou uma diminuição da sua resistência à tracção. O aumento do tempo de exposição aos raios UV e a diminuição do tempo de condensação à superfície dos materiais (de C1 para C3) provocou uma diminuição gradual da resistência dos geotêxteis, indicando a preponderância da exposição UV relativamente à condensação na degradação polimérica dos materiais. A diminuição na resistência à tracção foi acompanhada por uma diminuição da extensão na força máxima, que passou de 87,4 % nos materiais intactos para 30.0 % após a exposição ao ciclo C3. As curvas médias força-extensão obtidas para o geotêxtil GTX 1.2, antes e após os 3 ciclos de exposição, encontram-se na Figura 11.



**Fig. 11** – Influência da exposição aos ciclos climáticos C1, C2 e C3 na forma das curvas força-extensão para o GTX 1.2.

A degradação completa do GTX 1.0 (sem C944) e a degradação apenas parcial dos geotêxteis GTX 1.1 (0,2 % de C944) e GTX 1.2 (0,4 % de C944), após a exposição aos três ciclos climáticos, são resultados que mostram que a incorporação do aditivo C944 é extremamente importante na retardação da degradação polimérica. Além disso, a incorporação de uma maior quantidade de C944 no GTX 1.2 resulta numa maior protecção, uma vez que se verificou uma menor degradação do GTX 1.2 relativamente ao GTX 1.1. A resistência residual do GTX 1.2 foi aproximadamente o dobro da resistência residual do GTX 1.1 após a exposição aos ciclos C1 e C2 (C1: 70,5 % contra 38,2 %; C2: 42,3 % contra 22,5 %). É interessante notar este facto, uma vez que a quantidade de C944 existente no GTX 1.2 é precisamente o dobro da existente no GTX 1.1. Após a exposição ao ciclo C3, a diferença entre a resistência residual do GTX 1.2 e do GTX 1.1 foi mais pronunciada (31,2 % no GTX 1.2 contra 8,4 % no GTX 1.1). Na Figura 12 encontram-se ilustradas as curvas médias força-extensão obtidas para os geotêxteis GTX 1.1 e GTX 1.2 após exposição aos ciclos C1, C2 e C3.



**Fig. 12** – Comparação da forma das curvas força-extensão obtidas para os geotêxteis GTX 1.1 e GTX 1.2 após exposição aos ciclos C1, C2 e C3.

(-) GTX 1.1 (+) GTX 1.2

## **5 – CONCLUSÕES**

A durabilidade dos geotêxteis (polipropileno) foi drasticamente afectada pela exposição aos factores climáticos simulados no QUV (raios UV, chuva, humidade e orvalho). A exposição dos geotêxteis estabilizados quimicamente com o aditivo C944 (GTX 1.1 e GTX 1.2) não originou a sua degradação completa, ao contrário do que aconteceu para o geotêxtil sem qualquer estabilização química (GTX 1.0), o que demonstra a importância da incorporação do aditivo C944 na formulação destes materiais. Apesar de não se terem degradado por completo, os geotêxteis GTX 1.1 e GTX 1.2 sofreram uma redução significativa na sua resistência à tracção e extensão na força máxima após a exposição aos ciclos climáticos simulados no QUV. A menor degradação do GTX 1.2 (0,4 % de C944) relativamente ao GTX 1.1 (0,2 % de C944) mostrou que a incorporação de uma maior quantidade de C944 resulta numa maior protecção contra a degradação dos geotêxteis sofrida por acção de factores climáticos. A microscopia electrónica de varrimento permitiu observar a degradação sofrida pelas fibras constituintes dos geotêxteis, após a exposição aos diferentes ciclos climáticos no QUV.

A exposição dos geotêxteis durante um maior ou menor período de tempo aos raios UV, à chuva, à humidade e ao orvalho é praticamente inevitável na maioria das aplicações, pelo que, a incorporação de aditivos químicos na sua formulação é extremamente importante de modo a prevenir e/ou retardar a degradação promovida por factores climáticos.

## **6 – AGRADECIMENTOS**

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos ao Dr. Luís Carvalho e à empresa CARVALHOS pelo fabrico das fibras e geotêxteis estudados ao longo deste trabalho. 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**

EN 965 (1994): Geotextiles and geotextiles-related products – Determination of mass per unit area.  
EN 29073-3 (1992): Textiles – Test methods for nonwovens. Part 3: Determination of tensile strength and elongation.