

# ENVELHECIMENTO DE GEOMEMBRANAS DE PEAD EXPOSTAS ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DURANTE 12 ANOS

## AGEING OF HDPE GEOMEMBRANES EXPOSED TO CLIMATE CONDITIONS FOR 12 YEARS

Reis, Amélia; *LNEC, Lisboa, Portugal, acreis@lnec.pt*  
Barroso, Madalena; *LNEC, Lisboa, Portugal, mbarroso@lnec.pt*  
Lopes, Maria da Graça; *ISEL, Lisboa, Portugal, glopes@dec.isel.ipl.pt*

### RESUMO

As geomembranas de polietileno de alta densidade são utilizadas em várias aplicações em geotecnia, permanecendo, por vezes, expostas às condições climáticas por longos períodos. Para avaliar a evolução das propriedades das geomembranas expostas em 8 locais diferentes de Portugal está em curso, desde 1999, um estudo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Neste artigo analisam-se a influência da exposição sobre as propriedades de diferentes geomembranas, bem como se após 12 anos de exposição ainda cumprem os requisitos mínimos presentemente preconizados pelo *Geosynthetic Research Institute* (GRI). As propriedades em estudo foram a massa volúmica, o índice de fluidez, a resistência à tração e extensão na cedência e na rotura, o teor em negro de carbono e o tempo de indução à oxidação. Os resultados obtidos indicaram que a exposição solar influenciou as propriedades das geomembranas, sobretudo, o tempo de indução à oxidação e a massa volúmica. Verificou-se, também, que as geomembranas expostas ainda cumprem os requisitos mínimos indicados pelo GRI, à exceção do tempo de indução à oxidação.

### ABSTRACT

High density polyethylene geomembranes are used in many geotechnical engineering applications, remaining sometimes exposed to climatological conditions for long a time. To study the degradation in the properties of field exposed geomembranes, a research program is in progress since 1999, at *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. This paper addresses the degradation that had occurred in the properties of geomembranes in 8 different locations after 12 years of exposure. Other goal of this work is to compare the properties of exposed geomembranes with the minimum requirements currently recommended by the Geosynthetic Research Institute (GRI), in order to verify that they still meet those requirements. The properties studied were: density, melt flow index, tensile properties, carbon black content, and oxidative induction time. The results have shown that the properties of the geomembranes exposed to climatological conditions presented some degradation, especially in the oxidative induction time and density. Also, they have indicated that the exposed geomembranes for 12 years even meet the minimum requirements established by GRI, except for the oxidative induction time.

### 1 - INTRODUÇÃO

As geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) são utilizadas em várias aplicações em geotecnia, permanecendo, por vezes, expostas às condições climáticas por longos períodos.

As geomembranas expostas ficam sujeitas a condições adversas, nomeadamente os efeitos do oxigénio, dos raios ultravioleta (UV) e da temperatura, que em alguns casos podem ser bastante elevadas, o que pode comprometer o seu desempenho a longo prazo.

O comportamento das geomembranas a longo prazo tem sido objeto de estudo por vários autores, tais como Rowe & Ewais (2014), Tarnowski & Baldauf (2012), Baleki *et al.* (2010), Yako *et al.* (2010), Rowe *et al.* (2003, 2009), Lodi *et al.* (2007), Rowe & Sangam (2002) e Sangam *et al.* (2001). No entanto, os estudos realizados usaram amostras envelhecidas artificialmente em laboratório, ou amostras expostas *in situ*, mas em locais com condições climáticas substancialmente diferentes das registadas em Portugal.

Com o objetivo de avaliar a evolução das propriedades das geomembranas em PEAD expostas às condições climáticas em Portugal, está em curso, desde 1999, um estudo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Numa primeira fase, analisou-se a influência das condições climáticas sobre a resistência mecânica das soldaduras entre painéis adjacentes de geomembrana. Os resultados deste estudo foram apresentados por Lopes & Barroso (2004), Barroso *et al.* (2004, 2012) e Barroso & Lopes (2010).

Para dar continuidade ao referido estudo e, simultaneamente, alargar o seu âmbito às geomembranas propriamente ditas, foram recolhidos provetes após 12 anos de exposição das amostras, para realização de ensaios laboratoriais. Os ensaios incidiram sobre as seguintes propriedades: massa volúmica, resistência à tração e extensão na cedência, índice de fluidez, teor em negro de carbono e tempo de indução à oxidação.

Nesta comunicação, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados sobre amostras expostas às condições climáticas em 8 locais, os quais são comparados com os obtidos em amostras não expostas (referência). Para além disso, compararam-se as propriedades das geomembranas expostas com os requisitos mínimos presentemente preconizados pelo *Geosynthetic Research Institute* (GRI), a fim de verificar se, após 12 anos de exposição, estas ainda cumprem os requisitos estabelecidos por este organismo.

## 2 - TRABALHO EXPERIMENTAL

### 2.1 - Amostras

A análise da evolução das propriedades de geomembranas de PEAD realizou-se sobre amostras expostas e não-expostas aos agentes climáticos. Para o efeito, começou-se por dividir as amostras em duas partes (Figura 1), uma parte foi enviada ao LNEC para ser guardada em arquivo, não-exposta, e ser usada como referência (Arquivo). A outra parte permaneceu exposta em oito locais diferentes no país (Figura 3) nomeadamente os seguintes: Valença, Viana do Castelo, Boticas, Vila Nova de Gaia, Bigorne, Aveiro, Figueira da Foz e Loulé. As amostras foram colocadas em taludes de fácil acesso, ou em coberturas de edifícios, como se exemplifica na Figura 2.



Figura 1 - Representação esquemática das amostras expostas e enviadas para arquivo



Figura 2 - Exemplo de dois locais de exposição das amostras



Figura 3 - Locais de exposição das geomembranas no país

No Quadro 1 apresentam-se as principais características das geomembranas em estudo, de acordo com a sua localização, obtidas com base nas fichas técnicas ou em ensaios laboratoriais (realizados pelo LNEC sobre amostras não expostas, ou realizados pelo fabricante no âmbito do seu controlo de fabrico e disponibilizados aquando da preparação das amostras).

Quadro 1 – Resumo das principais características das geomembranas

Principais características das geomembranas	Locais de exposição às condições climáticas				
	Viana do Castelo	Valença, Vila Nova de Gaia, Aveiro	Figueira da Foz, Loulé	Boticas	Bigorne
Espessura (mm) ASTM D751	2	2	2	2	2
Massa surfática (g/cm <sup>2</sup> ) EN 965	1920	1920	1900	*	*
Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> ) ASTM D792/ASTM D1505	0,946/0,945 **	0,942	0,940	≥0,945	0,940
Resistência à tração na cedência (kN/m) ASTM D6693	34/36,5**	34/31,9**	30/40,5**	37	34
Extensão na cedência (%) ASTM D6693	13/14,7**	10/13,2**	10/10,4**	10	11
Resistência à tração na rotura (kN/m) ASTM D6693	55/44,7**	55/68,1**	55/58,9**	56	70
Extensão na rotura (%) ASTM D6693	700/830,2**	700/578,2**	>700/790,2**	>700	≥750
Teor em negro de carbono (%) ASTM D1603	2-3/2,1**	*	2,0	2-3	2-3
Tempo de indução à oxidação OIT (min) ASTM D3895	100/82,2**	*	*	*	100
Índice de fluidez (190°C/5kg) (g/10 min) NP EN ISO 1133	2,37**	2,4/0,96**	0,6-1,8/ 0,8**	1,0	1,0

Legenda: \*sem informação disponível, \*\* ensaios laboratoriais.

## 2.2 - Métodos de ensaio

A evolução das propriedades das geomembranas de PEAD expostas durante 12 anos aos agentes atmosféricos foi avaliada mediante a realização de ensaios laboratoriais sobre as amostras expostas nos diferentes locais do país, bem como sobre as amostras de referência. As propriedades estudadas foram a massa volúmica, o índice de fluidez, a resistência à tração e extensão na cedência e na rotura, o teor em negro de carbono e o tempo de indução à oxidação. No Quadro 2, apresentam-se as normas utilizadas nos ensaios.

Quadro 2 – Lista de ensaios realizados para caracterização das geomembranas

Norma de ensaio	Designação
ASTM D1505	Determinação da massa volúmica
ASTM D6693	Determinação da resistência à tração e extensão na cedência e na rotura
NP EN ISO 1133	Determinação do índice de fluidez
ASTM D1603	Determinação do teor em negro de carbono
ASTM D3895	Determinação do tempo de indução – OIT

## 3 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 3.1 - Influência da exposição às condições climáticas sobre as diferentes geomembranas

Para estudar a influência da exposição às condições climáticas sobre as diferentes geomembranas compararam-se os resultados obtidos para as diferentes geomembranas expostas (GM-exp), com os valores de referência.

Foram adotados como referência os valores obtidos a partir dos ensaios laboratoriais realizados pelo LNEC (GM-arq) ou pelo fabricante no âmbito do seu controlo de fabrico (GM-F(i)). Na ausência de resultados laboratoriais, foram usados os valores indicados nas fichas técnicas, sendo designados como F. Técnica.

Nas Figuras 3 a 8 apresentam-se os resultados obtidos, respetivamente, para massa volúmica, o índice de fluidez, a resistência à tração e extensão na cedência e na rotura, o teor em negro de carbono e o tempo de indução à oxidação.

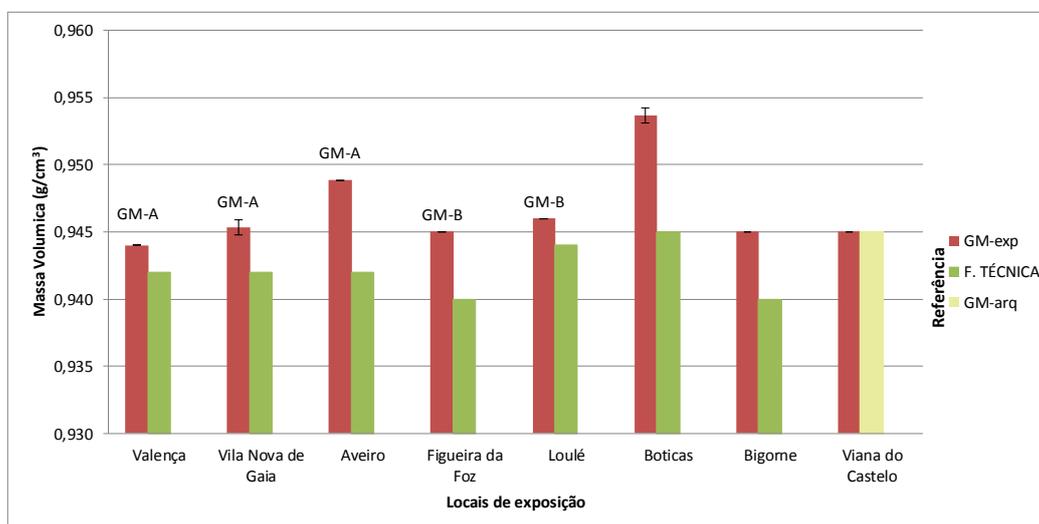


Figura 3 - Comparação da massa volúmica da GM-exp com os valores de referência

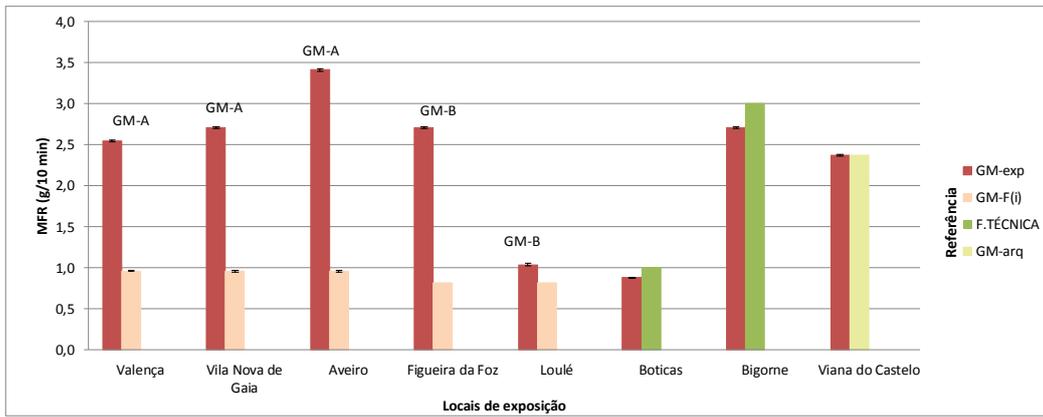


Figura 4 - Comparação do índice de fluidez da GM-exp com os valores de referência

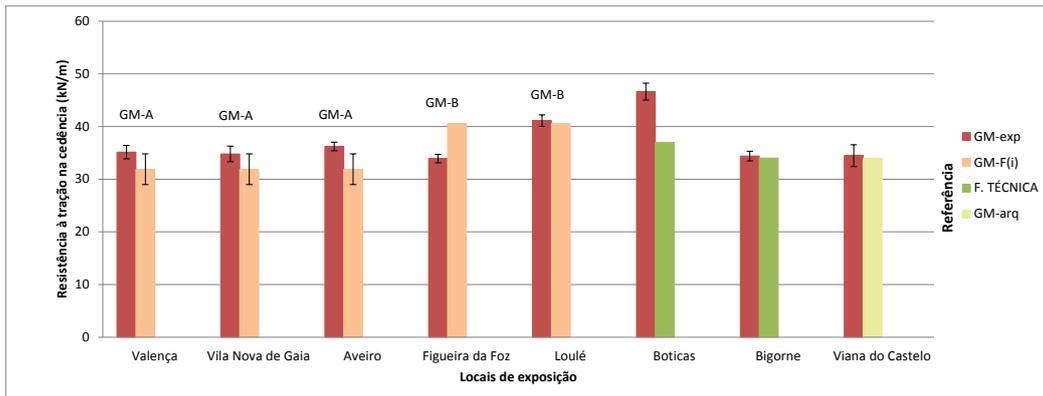


Figura 5 - Comparação da resistência à tração na cedência da GM-exp com os valores de referência

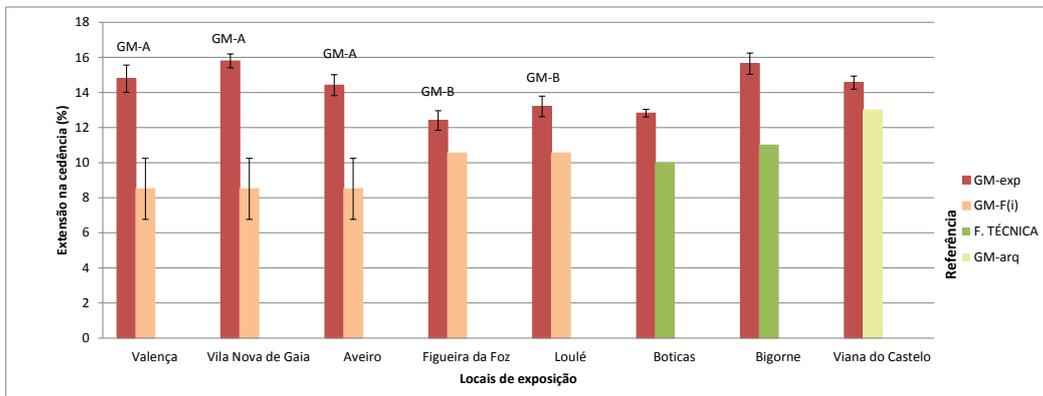


Figura 6 - Comparação da extensão na cedência da GM-exp com os valores de referência

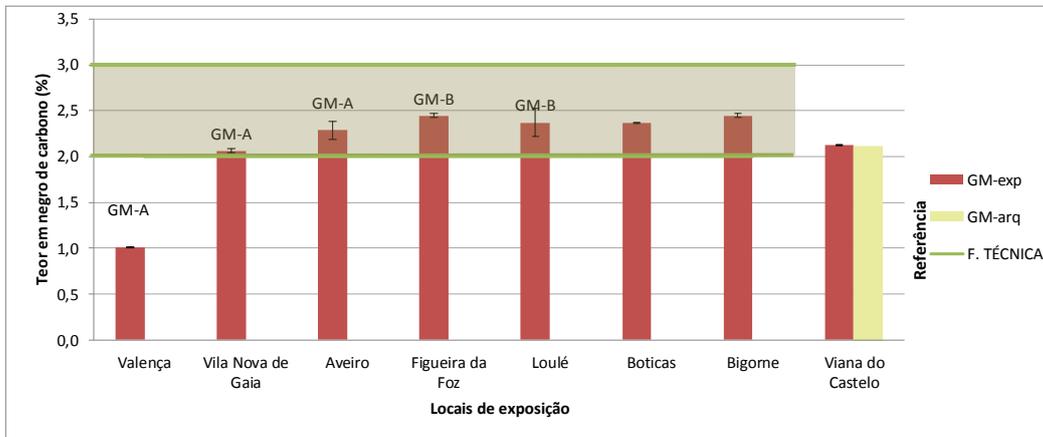


Figura 7 - Comparação do teor em negro de carbono da GM-exp com os valores de referência

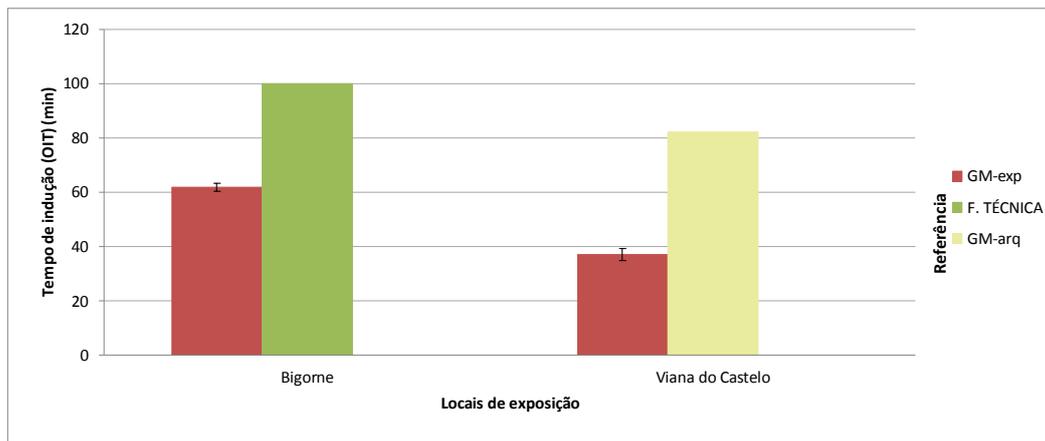


Figura 8 – Comparação do tempo de indução à oxidação da GM-exp com os valores de referência

No que se refere à massa volúmica (Figura 3), verifica-se que todas as geomembranas expostas apresentam valores superiores aos valores de referência, à exceção de Viana do Castelo, cujos valores foram idênticos. O aumento da massa volúmica pode estar relacionado com alterações na estrutura do polímero.

Em termos de estrutura, os polímeros são amorfos ou cristalinos conforme a sua estrutura molecular e as interações intermoleculares que se podem estabelecer. Se as macromoléculas se distribuírem aleatoriamente, sem qualquer tipo de organização, diz-se que a estrutura desse polímero é amorfa. Se as moléculas se organizarem tridimensionalmente, segundo uma malha bem definida que se repete, então o material apresenta uma estrutura cristalina. O polietileno inclui uma zona cristalina e uma zona amorfa, sendo designado como semi-cristalino. Com a exposição às condições climáticas podem ocorrer reações de oxidação no polímero, as quais podem levar ao aumento das zonas amorfas, com impacto no valor da massa volúmica.

De referir que os valores usados como referência são provenientes das fichas técnicas. Assim, o aumento registado na massa volúmica deve ser encarado com reservas, já que as geomembranas em análise podem ter valores iniciais superiores aos indicados nas fichas técnicas.

Para o índice de fluidez (Figura 4), verifica-se que, de um modo geral, todos os valores obtidos para as GM-exp nos diferentes locais são superiores aos valores de referência, sugerindo que esta propriedade foi influenciada pela exposição às condições climáticas. Estes resultados são consistentes com os obtidos por Lodi *et al.* (2007) e por Rowe *et al.* (2003). Segundo estes autores, o aumento do índice de fluidez pode ser explicado pela degradação das geomembranas devido ao efeito dos raios UV.

No que se refere à resistência à tração e extensão na cedência (Figura 5 e Figura 6), os valores obtidos experimentalmente para as GM-exp foram superiores aos valores de referência, com exceção da Figueira da Foz, onde os valores iniciais da resistência à tração são superiores aos valores obtidos após 12 anos de exposição. Estes resultados são consistentes com os relatados por Rowe *et al.* (2003), que referem um aumento da resistência à tração em consequência do aumento da cristalinidade que ocorre numa fase inicial de degradação.

O aumento da cristalinidade na fase inicial da degradação das geomembranas pode ser relacionado com despoletar do processo de oxidação da geomembrana. À medida que a oxidação prossegue, a degradação acentua-se e os valores destas propriedades tendem a diminuir, tal como indicado por Rowe *et al.* (2003), Tarnowski & Baldauf (2012) e Rowe & Ewais (2014).

Para o teor em negro de carbono (Figura 7), verifica-se que os valores de referência correspondem a um intervalo compreendido entre 2 e 3 %, o que inviabiliza a comparação, pois não se dispõe apenas de um valor. Assim, os resultados obtidos são inconclusivos.

Para o tempo de indução à oxidação (Figura 8), só se dispõe de valores de referência para dois locais de exposição. Os resultados obtidos para a GM-exp foram bastante inferiores aos valores de referência, sugerindo que ocorreu consumo de antioxidantes devido à exposição das amostras às condições climáticas. No entanto, é de salientar que apesar do consumo ainda restam antioxidantes nas geomembranas.

Estes resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Rowe *et al.* (2003), Lodi *et al.* (2007), Tarnowski & Baldauf (2012) e Rowe & Ewais (2014), que relataram grandes decréscimos nos valores de OIT em consequência da exposição às condições climáticas.

Em suma, verificou-se que a massa volúmica, o índice de fluidez, a resistência à tração e extensão na cedência e o tempo de indução à oxidação foram influenciados pela exposição às condições climáticas nas diferentes geomembranas, sobretudo a massa volúmica e o tempo de indução à oxidação. Os resultados do teor em negro de carbono foram inconclusivos.

### 3.2 - GM exposta versus critérios do GRI

Nas Figura 9 a 13 comparam-se os resultados obtidos para as amostras expostas às condições climáticas (GM-exp) com os requisitos mínimos preconizados pelo GRI (GM13) com a finalidade de verificar se, após 12 anos de exposição, as geomembranas expostas nos vários locais ainda cumprem esses requisitos, em termos de massa volúmica, resistência à tração na cedência, extensão na cedência, teor em negro de carbono e tempo de indução à oxidação.

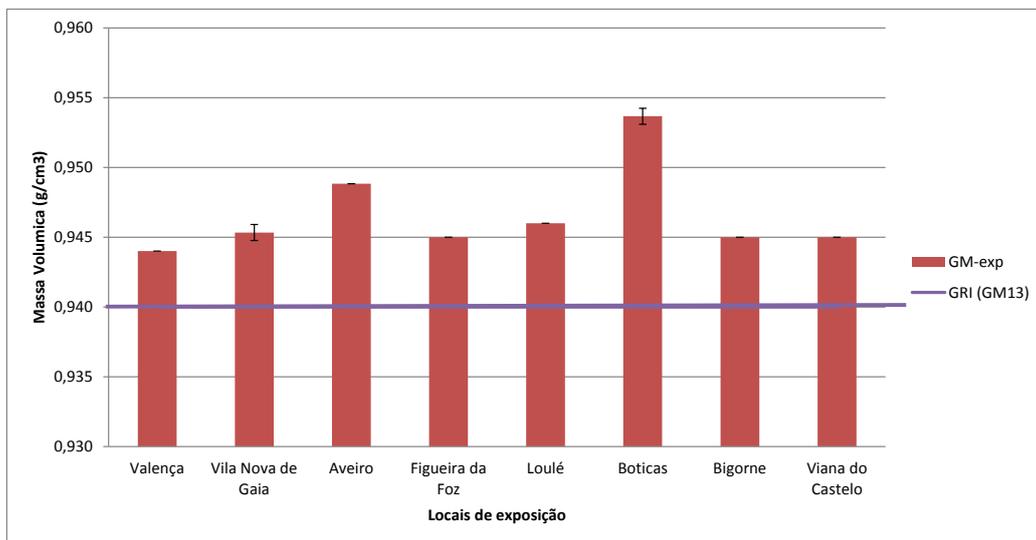


Figura 9 – Comparação da massa volúmica entre GM-exp/GRI (GM13) nos vários locais

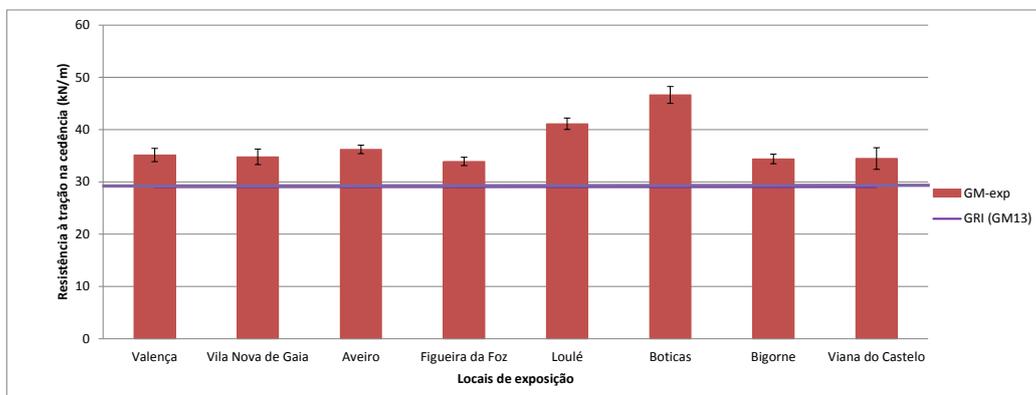


Figura 10 – Comparação da propriedade resistência à tração na cedência entre GM-exp/GRI (GM13) nos vários locais

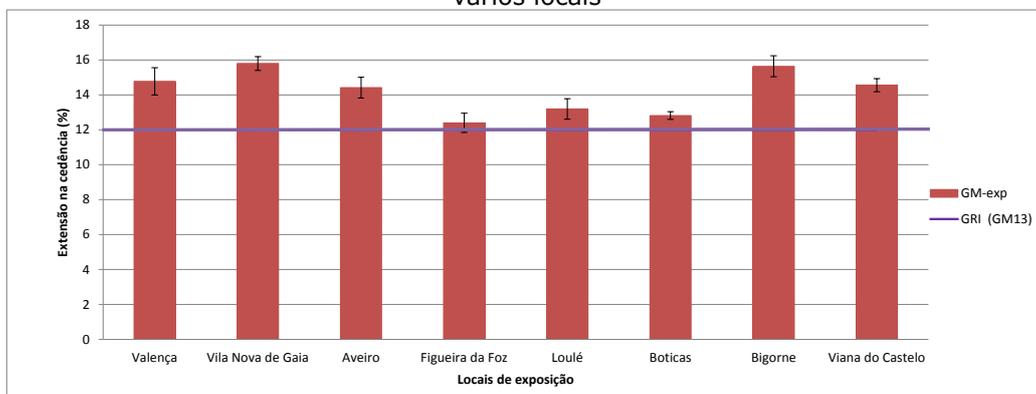


Figura 11 – Comparação da propriedade extensão na cedência entre GM-exp/GRI (GM13) nos vários locais

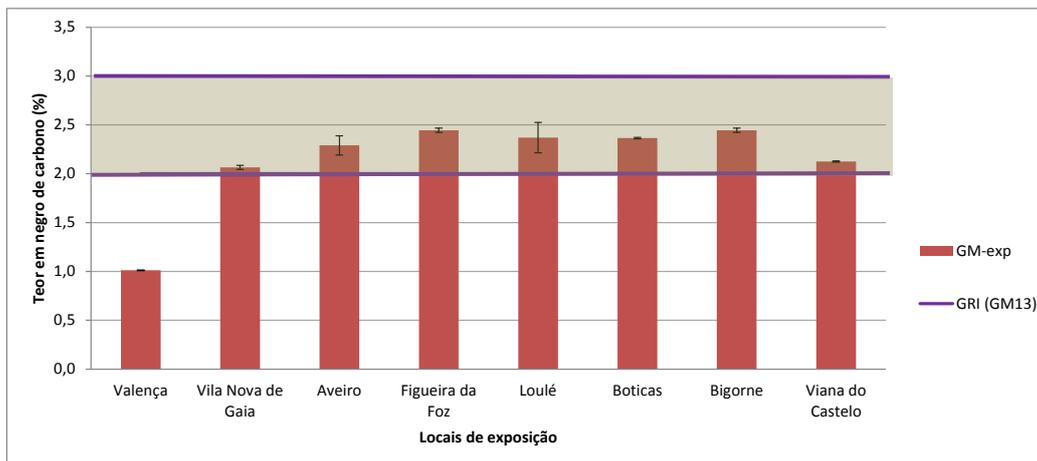


Figura 12 – Comparação da propriedade teor em negro de carbono GM-exp/GRI (GM13) nos vários locais

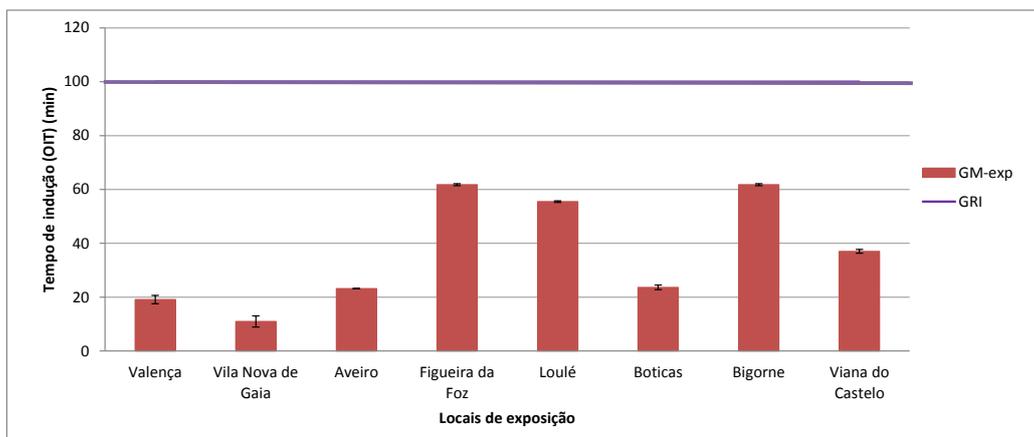


Figura 13 – Comparação da propriedade tempo de indução à oxidação (OIT) GM-exp/GRI (GM13) nos vários locais

Da comparação dos valores obtidos experimentalmente, verifica-se que, para a massa volúmica (Figura 9), resistência à tração na cedência (Figura 10) e extensão na cedência (Figura 11), as geomembranas expostas às condições climáticas durante 12 anos ainda cumprem os requisitos mínimos recomendados.

No caso do teor em negro de carbono (Figura 12), com exceção de Valença todas as geomembranas cumprem os requisitos mínimos recomendados pelo GRI (GM13).

Para o tempo de indução à oxidação (Figura 13), nenhuma das geomembranas cumpre os requisitos mínimos indicados pelo GRI (GM13). Os resultados obtidos sugerem que ocorreu consumo de antioxidantes em todas as geomembranas.

#### 4 - CONCLUSÕES

O presente trabalho pretendeu avaliar a evolução das propriedades das geomembranas de polietileno de alta densidade expostas às condições climáticas durante 12 anos, em vários locais de Portugal (Viana do Castelo, Aveiro, Boticas, Loulé, Vila Nova de Gaia, Bigorne Valença e Figueira da Foz), mediante a comparação com valores de referência, obtidos em ensaios realizados sobre amostras não expostas. O trabalho teve, também, por objetivo comparar as propriedades das geomembranas expostas com os requisitos mínimos presentemente preconizados pelo *Geosynthetic Research Institute* (GM13), com vista a verificar se estes materiais ainda cumprem os valores mínimos preconizados.

Os resultados obtidos mostram que, de um modo geral, as propriedades das geomembranas são influenciadas pela exposição às condições climáticas, sobretudo, o tempo de indução à oxidação e massa volúmica. Verificou-se, igualmente, que as geomembranas após 12 anos de exposição cumpriam os requisitos mínimos recomendados pelo *Geosynthetic Research Institute*, à exceção do tempo de indução à oxidação.

## REFERÊNCIAS

- Baleki, R. Sanders, B. Steele, T., Eng, J. & Vitarelli, G. (2010). Characterising Long-Term UV Stabilization of Geomembranes under Different Environmental Conditions. *Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics*, Brazil, pp. 895-898 (CD-ROM).
- Barroso, M. & Lopes, M.G. (2010). Integridade das geomembranas: influência da exposição aos agentes atmosféricos. *12º Congresso Nacional de Geotecnia*, Guimarães, 26-29 Abril (CD-ROM).
- Barroso, M., Brazão, C. & Lopes, M. G. D. A. (2004). Estudo da Resistência Mecânica das Soldaduras por Fusão de Geomembranas de Polietileno de Alta Densidade Expostas aos Raios Solares. *II Congresso Luso-Brasileiro de Geotécnica*, Aveiro, Portugal, pp. 305-316.
- Barroso, M.; Lopes, M.G.; Dores, R. & Coimbra, L. (2012). Integrity of HDPE Geomembranes: Effect of Weather Exposure on the Mechanical Properties of Seams. *Proceedings of GeoAmericas 2012 - Second Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition*, Lima, Peru, May 2012, 9 p.
- Geosynthetic Research Institute (GRI) GM13 (2016). Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes. [www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gm13.pdf](http://www.geosynthetic-institute.org/grispeccs/gm13.pdf)
- Lodi, P.C., Bueno, B.S. & Zornberg, J.G. (2007). Degradação de geomembranas poliméricas após exposição à intempérie. VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO´2007 e o V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos – GEOSSINTÉTICOS´2007, 18 e 21 de Junho Recife – PE, Brasil.
- Lopes, M.G.D.A & Barroso, M. (2004). Mechanical performance of HDPE geomembrane seams after sunlight exposure. *Proceedings of EuroGeo 3*, Munich, Germany, 1-3 March 2004, Vol. 1, pp. 425-428.
- Rowe, R.K. & Ewais, A.M.R. (2014). Ageing of exposed geomembranes at locations with different climatological conditions. *Canadian Geotechnical Journal*, pp. 326-343.
- Rowe, R.K. & Sangam H.P. (2002). Durability of HDPE Geomembranes. *Geotextile and Geomembranes*, No. 20, pp. 77-95
- Rowe, R.K., Sangam, H.P. & Lake, C.B. (2003). Evaluation of an HDPE geomembrane after 14 years as a leachate lagoon liner. *Canadian Geotechnical Journal*, Volume 40(3), pp. 536-550.
- Rowe, R.K.; Rimal, S. & Sangam, H.P. (2009). Ageing of HDPE Geomembrane Exposed to Air, Water and Leachate at Different Temperatures. *Geotextiles and Geomembranes*, 27, pp. 137-151.
- Sangam, H.P.; Rowe, R.K.; Mlynarek, J. & Sarazim, P. (2001). Natural Weathering of a 14 Year Pre-Aged Geomembrane. *Proceedings of Geosynthetics Conference*, Portland, Oregon, USA, pp. 149-162.
- Tarnowski, C. & Baldauf, S. (2012). Ageing resistance of HDPE-geomembranes - Evaluation of long-term behaviour under consideration of project experiences.
- Yako, M.A.; Koerner, G.R.; Koerner, R.M. & Hsuan, Y.G. (2010). Case History of a 20-year old exposed HDPE surface impoundment liner. *Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics*, Brazil, pp. 805-808 (CD-ROM).