

ESTUDO DO COMPORTAMENTO AO PUNÇOAMENTO ESTÁTICO DE GEOTÊXTEIS E GEOMEMBRANAS SOB A ACÇÃO DE AGENTES DE DEGRADAÇÃO

Static puncture behaviour of geotextiles and geomembranes under degradation agents

M. LURDES LOPES *

A.VIEIRA MONTEIRO **

RESUMO - Neste trabalho estudar-se-á o papel de quatro agentes de degradação no comportamento ao punçoamento estático de dois tipos de geossintéticos. Para tal, seleccionaram-se três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno da mesma marca mas com massas por unidade de área diferentes (150g/m^2 , 235g/m^2 e 400g/m^2) e três geomembranas lisas em polietileno de alta densidade da mesma marca mas com espessuras diferentes (1mm, 1,5mm e 2mm). Os seis materiais foram submetidos por períodos de 5, 15 e 30 semanas à acção de quatro soluções: lixiviado de um aterro de RSU e soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio. Para cada agente de degradação e para cada um dos materiais foi definida a resistência ao punçoamento estático no fim de cada período de exposição, tendo-se comparado os valores obtidos com os valores do mesmo parâmetro da amostra do material virgem. Neste trabalho descrever-se-ão os materiais utilizados e as metodologias de análise seguidas, analisar-se-ão os resultados obtidos e formular-se-ão as conclusões julgadas mais importantes face aos resultados obtidos.

SYNOPSIS - In this paper the influence of four degradation agents on the static puncture behaviour of two types of geosynthetics will be analysed. Three polypropylene spunbonded nonwoven geotextiles, of the same brand, with different unit weight (150g/m^2 , 235g/m^2 and 400g/m^2) and three high density polyethylene smooth geomembranes, of the same brand, with different thickness (1mm, 1,5mm and 2mm) were selected. The materials were submitted for periods of 5, 15 and 30 weeks to the action of four different solutions: urban solid waste leachate; acid, alkaline and sodium chloride solutions. The static puncture strength was defined, for each degradation agent and each material, at the end of each period of exposure and the results compared with that of the virgin sample of the material. In this work materials and methodologies of analysis will be described, the obtained results will be analysed and the main conclusions will be put forward.

1 - INTRODUÇÃO

O punçoamento estático é uma das propriedades dos geossintéticos que deve ser controlada, não só com o objectivo de manter a danificação dos materiais durante as operações

* Doutora em Engenharia Civil, Professora Auxiliar da FEUP.

** Mestre em Engenharia do Ambiente, Assistente da Universidade Fernando Pessoa.

de instalação dentro de limites aceitáveis, como também de assegurar o conveniente exercício das funções que lhes são exigidas durante a vida da obra em que estão inseridos.

Esta propriedade assume especial destaque quando a função principal que é exigida ao geossintético é a de protecção, pois neste caso, o punçoamento estático é, para além de uma exigência operacional, uma exigência funcional (Lopes, 1992).

Nos sistemas de impermeabilização de aterros de RSU que englobam na sua constituição geossintéticos, em regra, a geomembrana é protegida superiormente através de um geotêxtil, que deve exibir características de punçoamento estático que inibam a transmissão deste tipo de acção à geomembrana.

Como é sabido, por razões relacionadas com a constituição e fabrico dos geossintéticos os valores desta e das outras propriedades destes materiais podem sofrer alteração por acção de agentes físicos, químicos e biológicos.

Estando este tipo de agentes sempre presentes em aterros de RSU entendeu-se de interesse estudar o modo como podem afectar o comportamento ao punçoamento estático dos geossintéticos, tendo-se para tal seleccionado para este trabalho alguns agentes químicos.

Os agentes químicos seleccionados foram um lixiviado de um aterro de RSU português e três soluções, uma ácida, outra alcalina e outra de cloreto de sódio. Estes agentes actuaram por períodos de 5, 15 e 30 semanas sobre dois tipos de geossintéticos (geotêxtil não tecido e geomembrana), tendo-se escolhido de cada tipo de geossintético três materiais: três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno da mesma marca, mas com massas por unidade de área diferentes e três geomembranas lisas em polietileno de alta densidade da mesma marca mas com espessuras distintas.

No fim de cada período de exposição a cada agente de degradação efectuou-se a definição da resistência ao punçoamento estático dos geossintéticos seleccionados, comparando-se os resultados obtidos com os das amostras virgens dos materiais.

A escolha dos agentes de degradação teve por base o estudo da influência no comportamento estático dos geossintéticos da acção de um lixiviado real de um aterro de RSU, já que estes materiais, inseridos neste tipo de estrutura ambiental, estão durante muito tempo em permanente contacto com lixiviados. Por outro lado, com as soluções ácida e alcalina procurou-se estudar o mesmo tipo de influência de lixiviados de resíduos com pH do lado ácido (como pode acontecer com alguns resíduos industriais) e do lado alcalino (como pode acontecer com alguns resíduos industriais e urbanos). Finalmente, com solução de cloreto de sódio pretendeu-se obter informação acerca do modo como lixiviados com elevado teor em sal (constituente comum da alimentação portuguesa) podem afectar o comportamento ao punçoamento estático dos geossintéticos. De notar, que as soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio foram realizadas em laboratório faltando-lhe, por isso outros constituintes correntes de lixiviados de aterros de RSU. Nesta base, devem ser assumidas como simulações teóricas de lixiviados, em que apenas se realça o papel do pH (soluções ácida e alcalina) e da presença de NaCl (solução de cloreto de sódio).

A selecção dos geossintéticos teve por base a consideração de materiais correntemente aplicados em aterros de RSU portugueses.

O estudo da influência de agentes químicos de degradação no comportamento estático de geossintéticos visa conhecer, em primeiro lugar, o modo como esses agentes actuam sobre os geotêxteis, já que são estes os geossintéticos que correntemente protegem as geomembranas, e, em segundo lugar, o modo como actuam sobre estas para assim obter informação acerca do comportamento ao punçoamento estático das geomembranas no caso de ineficácia do material de protecção. Dentro de cada tipo de geossintético estudar-se-á o papel no referido comportamento do valor da massa por unidade de área (geotêxteis) e da espessura

(geomembranas).

É de realçar, que o mesmo agente de degradação pode influenciar de um modo distinto o comportamento de um dado tipo de geossintético (estrutura idêntica) com diferentes constituições e diferentes tipos de geossintéticos (estruturas distintas) com a mesma constituição. Esta circunstância leva a que a generalização dos comportamentos observados deva ser feita com prudência, atendendo, por um lado, à estrutura do geossintético, e por outro, à sua constituição (polímeros e aditivos).

2 - MATERIAIS E ENSAIOS DE CONTROLO

Os geotêxteis ensaiados eram não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno com massas por unidade de área de 150g/m², 235g/m² e 400g/m². Ao longo deste trabalho estes geotêxteis serão designados, respectivamente por GT150g/m², GT235g/m² e GT400g/m². Por sua vez, as geomembranas ensaiadas eram lisas em polietileno de alta densidade com espessuras de 1mm, 1,5mm e 2mm. Ao longo deste trabalho estas geomembranas serão designadas, respectivamente por GM1, GM1,5 e GM2.

Os ensaios de controlo do comportamento ao punçoamento estático foram efectuados de acordo com a norma EN ISO 12236 com ambos os tipos de geossintéticos considerados.

O estudo foi desenvolvido avaliando os valores da resistência ao punçoamento estático das amostras virgens, os quais foram considerados como correspondentes a 100%. Os valores obtidos para o mesmo parâmetro após a exposição aos agentes de degradação foram comparados com os anteriores e indicados, também, em percentagem (superior a 100%, no caso de aumento do parâmetro, e inferior a 100%, no caso de redução).

Como já foi dito atrás, os agentes de degradação considerados no estudo foram: um lixiviado de um aterro de RSU português; uma solução ácida; uma solução alcalina e uma solução de cloreto de sódio.

A exposição ao lixiviado de um aterro de resíduos sólidos urbanos e às soluções ácida e alcalina e de cloreto de sódio foi levada a cabo no Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Matosinhos. Os ensaios de controlo do comportamento ao punçoamento estático dos geossintéticos foram realizados na secção de ensaios de geossintéticos do laboratório de Geotecnia da FEUP.

Os geossintéticos foram expostos durante 5, 15 e 30 semanas a cada agente de degradação. O número de provetes ensaiados ao punçoamento estático de cada geossintético foi de 78, tendo sido ensaiados um total de 468 provetes (ver Quadro 1). Os provetes foram imersos nas soluções suspensos em fios de nylon com 0,5mm de diâmetro espaçados, pelo menos 5mm. Todos os provetes sujeitos aos diferentes agentes de degradação foram, no final do período de exposição, cuidadosamente limpos, secos no interior de uma sala, por forma a evitar a incidência da luz solar e colocados em repouso durante 48 horas.

3 - ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO

As metodologias utilizadas nos ensaios de degradação dos geossintéticos encontram-se amplamente descritas em Monteiro (1998) e Lopes e Monteiro (1999). Por este motivo, neste trabalho far-se-á apenas uma referência sucinta a essas mesmas metodologias.

Quadro 1 - Número de provetes ensaiados ao punçoamento estático.

Agentes de degradação	Tempo (semanas)	Geomembranas			Geotêxteis		
		GM1 mm	GM1,5 mm	GM2 mm	GT10 ₂ g/m ²	GT25 ₂ g/m ²	GT40 ₂ g/m ²
Inexistente (provetes virgens)	-	6	6	6	6	6	6
Lixiviado	5	6	6	6	6	6	6
	15	6	6	6	6	6	6
	30	6	6	6	6	6	6
Solução ácida	5	6	6	6	6	6	6
	15	6	6	6	6	6	6
	30	6	6	6	6	6	6
Solução alcalina	5	6	6	6	6	6	6
	15	6	6	6	6	6	6
	30	6	6	6	6	6	6
Solução de cloreto de sódio	5	6	6	6	6	6	6
	15	6	6	6	6	6	6
	30	6	6	6	6	6	6

3.1 - Lixiviado

O lixiviado de um aterro de RSU é o único agente de degradação real considerado neste trabalho, sendo por isso os resultados inequívocos para a sua acção isolada e para os tempos de exposição considerados. Chama-se a atenção para o facto de que conjuntamente com o lixiviado poderem co-existir outras acções potenciadoras ou inibidoras de degradação, como são, no primeiro caso, as temperaturas elevadas e que não são consideradas neste trabalho.

Os provetes de geossintéticos sujeitos à acção do lixiviado foram introduzidos num cesto em estrutura de madeira revestida a rede plástica o qual foi totalmente mergulhado na lagoa de lixiviados do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos de Matosinhos. As características médias desse lixiviado durante os periodos de imersão estão representadas no Quadro 2.

3.2 - Solução Ácida

Com a submissão dos provetes dos geossintéticos à acção de uma solução ácida pretendeu-se estudar o efeito sobre estes da acção de uma solução com pH muito baixo (1,5), para assim poder conhecer o comportamento destes materiais sob condições de agressividade elevada, como pode acontecer no caso de lixiviados de aterros de resíduos industriais.

A solução ácida foi preparada com ácido sulfúrico e ácido nítrico por serem ácidos de baixo custo e de fácil obtenção no mercado, por serem ácidos fortes e, no caso do segundo, por ser fortemente oxidante. A razão de se utilizar ácidos fortes e oxidantes teve a ver com o facto de os polipropilenos serem atacados por estes tipos de ácidos.

Foi preparada uma solução de ácido sulfúrico na proporção de 2 partes de água para uma de ácido, num total de 15 ml. Misturou-se a solução obtida com 400 ml de água, do abastecimento público, em pequenas porções, controlando continuamente o pH. Na mistura de

400 ml estavam presentes cerca de 4 ml de ácido sulfúrico. Para conferir à solução condições oxidantes adicionou-se à mistura anterior cerca de 100 ml de ácido nítrico. Durante o tempo de exposição dos provetes à solução ácida o pH foi sistematicamente controlado e mantido constante e igual a 1,5.

Quadro 2 – Características médias do lixiviado de Aterro de RSU de Matosinhos.

ELEMENTOS	QUANTIDADE
Amoníaco	1098,00 mg/l
Azoto Kjeldahl	1285,67 mg/l
PH	9,55
Temperatura	17,50 °C
Oxidabilidade	1245,00 mg/l
Fósforo	202,00 mg/l
CBO ₅	444,50 mg/l
CQO	4344,67 mg/l
Resíduo seco total	17689,50 mg/l
Resíduo seco volátil	7118,50 mg/l
Sólidos suspensos totais	743,00 mg/l
Sólidos suspensos voláteis	607,00 mg/l
Oxigénio dissolvido	0,00 mg/l
Magnésio	155,00 mg/l
Arsénio	<0,0012 mg/l
Cádmio	0,16 mg/l
Crómio total	0,21 mg/l
Cobre	0,85 mg/l
Mercúrio	<0,0001 mg/l
Níquel	1,04 mg/l
Chumbo	<0,0001 mg/l
Selénio	<0,0001 mg/l
Zinco	0,49 mg/l

3.3 - Solução Alcalina

Embora, o pH do lixiviado de RSU considerado no estudo esteja do lado alcalino (9,55), optou-se por estudar a acção sobre os geossintéticos de uma solução com um valor de pH superior (12,5), procurando-se deste modo conhecer, não só a influência no comportamento destes materiais de soluções alcalinas com pH mais elevado, mas também a influência nesse

mesmo comportamento da presença dos outros elementos constituintes do lixiviado.

A solução alcalina utilizada nos ensaios de degradação dos geossintéticos foi preparada recorrendo à utilização de hidróxido de sódio. O método de preparação da solução foi semelhante ao utilizado na preparação da solução ácida. Assim, foi feita uma solução inicial de 2,47 g de hidróxido de sódio em 40 ml de água do abastecimento público. Esta solução foi adicionada a 400 ml de água da mesma origem, controlando sempre o pH. Foi conseguido um pH de 12,50 com 30 ml de solução alcalina inicial, contendo cerca de 1,86 g de hidróxido de sódio.

À semelhança do que aconteceu com a solução ácida, ao longo da exposição dos geossintéticos à solução alcalina houve a necessidade de compensar as perdas por evaporação, quer juntando água, quer juntando hidróxido de sódio com vista à manutenção do pH constante e igual a 12,5.

3.4 - Solução de Cloreto de Sódio

O estudo do efeito degradativo de uma solução de cloreto de sódio nos geossintéticos pretendeu simular o efeito da exposição destes materiais à acção da água salinizada. Para realizar a solução colheu-se água do mar numa praia do concelho de Matosinhos. Após um período de repouso de 12 horas retirou-se uma amostra com 100 ml para um balão previamente pesado. Seguidamente, levou-se a amostra à ebulição durante o tempo necessário para que toda a água presente se evaporasse. O balão foi levado até à temperatura ambiente num excicador de modo que o peso da matéria presente não sofresse alteração devido à absorção de humidade existente no ar. O conjunto balão e matéria foi pesado. O peso da matéria existente na amostra água de mar colhida foi calculado a partir da diferença entre o peso do conjunto balão e matéria e o peso do balão vazio, assumindo-se como sendo este o peso de cloreto de sódio (NaCl) existente na amostra.

O procedimento de medição da concentração da solução foi repetido 4 vezes, sendo o valor considerado no estudo a média dos 4 valores obtidos, ou seja, cerca de, 3,29 g por cada 100 ml de água do mar, sendo a concentração de NaCl na solução utilizada de 33,7 g por cada litro de água.

4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - Lixiviado

4.1.1 - Geotêxteis

A Fig. 1 mostra a variação de resistência ao punçoamento estático dos três geotêxteis ensaiados após exposição ao lixiviado. Constata-se uma redução do parâmetro em causa em todos os materiais nos três períodos de exposição considerados. A redução máxima ocorre nos três geotêxteis ao fim de 5 semanas de exposição, sendo semelhante (cerca de 12,5%) para os dois de massa por unidade de área inferior (150 g/m^2 e 235 g/m^2) e ligeiramente inferior (cerca de 9,90%) para o geotêxtil de massa por unidade de área superior (400 g/m^2). Ao fim de 30 semanas de exposição a redução da resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis é cerca de 11,87%, 4,47% e 1,42%, respectivamente para o $\text{GT}150\text{g/m}^2$, o $\text{GT}235\text{g/m}^2$ e o $\text{GT}400\text{g/m}^2$.

Os resultados indicam uma redução clara da sensibilidade dos geotêxteis à acção do lixiviado (em termos de resistência ao punçoamento estático) com o aumento da massa por unidade de área o que sugere a máxima prudência na utilização de geotêxteis com valores

baixos desta propriedade como elementos de protecção de geomembranas e de outros materiais.

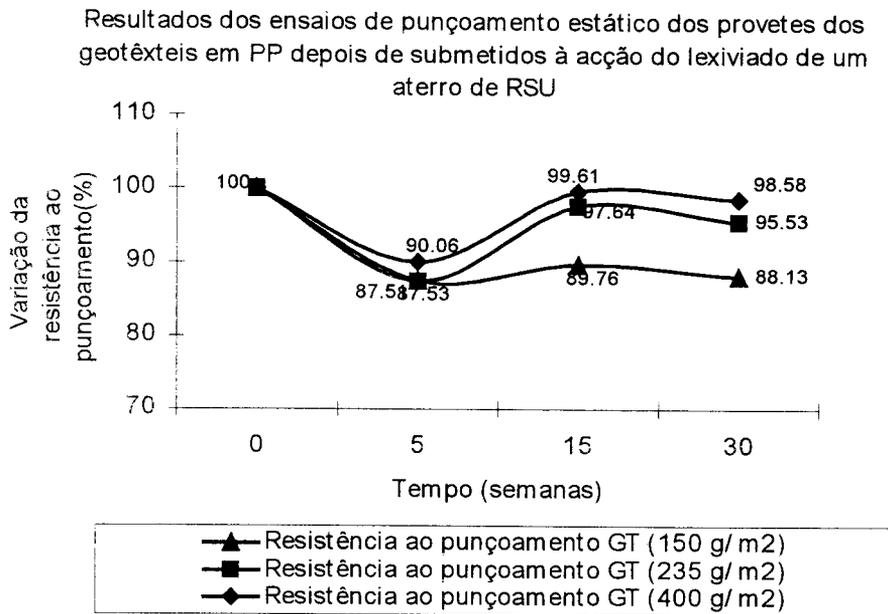


Fig. 1 - Variação da resistência ao punção estático dos geotêxteis após exposição ao lixiviado de um aterro de RSU.

4.1.2 - Geomembranas

A Fig. 2 mostra a variação de resistência ao punção estático das três geomembranas consideradas no presente estudo após exposição à acção do lixiviado. Verifica-se uma sensibilidade menor, em termos de resistência ao punção estático, da geomembrana mais espessa considerada (GM2). Com efeito para os dois períodos menores de exposição considerados não se constata variações significativas na resistência do material, aumentando esta cerca de 9,27% ao fim de 30 semanas de exposição.

Comportamento distinto é evidenciado pelas restantes geomembranas estudadas, já que se verifica redução da resistência ao punção estático para todos os períodos de exposição ao lixiviado considerados, sendo no entanto mais constante o comportamento da mais fina (GM1).

De notar que a redução da resistência ao punção atinge percentagens da ordem de 10,09% e 17,88%, respectivamente para a GM1 e para a GM1,5. Esta constatação associada à já expressa em 4.1.1 em relação ao comportamento ao punção estático dos geotêxteis leva a que se sugira especial atenção na selecção dos geotêxteis e geomembranas a colocar em sistemas de impermeabilização de aterros de resíduos com vista ao seu adequado comportamento a longo prazo sob acção das cargas estáticas indutoras de punção.

Resultados dos ensaios de punçoamento estático dos provetes das geomembranas em PEAD depois de submetidos à acção do lixiviado de um aterro de RSU

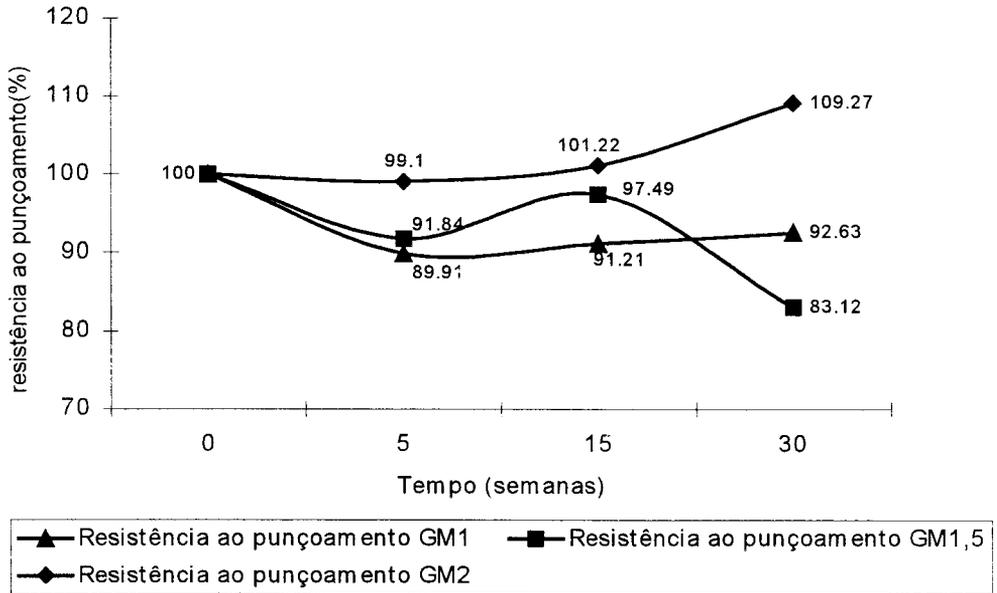


Fig. 2 - Variação da resistência ao punçoamento estático das geomembranas após exposição ao lixiviado de um aterro de RSU.

4.2 - Solução Ácida

4.2.1 - Geotêxteis

A variação da resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis após terem sofrido a acção da degradação da solução ácida está representada na Figura 3. Para os dois geotêxteis com maior massa por unidade de área ($GT235g/m^2$ e $GT400g/m^2$) o efeito da solução ácida é muito semelhante ao do lixiviado, especialmente para os dois períodos de exposição mais longos (15 e 30 semanas). Para o menor período de exposição considerado (5 semanas) nota-se uma influência menos significativa da solução ácida em termos de resistência ao punçoamento estático.

O geotêxtil de menor massa por unidade de área ($GT150g/m^2$) apresenta comportamento semelhante ao fim de 5 semanas de exposição, quer sob acção da solução ácida, quer sob acção do lixiviado. Porém, para períodos mais longos de exposição o comportamento deste geotêxtil sob acção da solução ácida diverge do observado para os restantes geotêxteis e do observado para o mesmo material sob acção do lixiviado, talvez devido a factores relacionados com a heterogeneidade do material em causa.

4.2.2 - Geomembranas

O comportamento ao punçoamento estático das três geomembranas consideradas sob a

acção de uma solução ácida (Fig. 4) revelou-se, em termos globais, semelhante ao observado sob acção do lixiviado, parecendo, no entanto, a primeira acção referida afectar menos significativamente as duas geomembranas mais espessas.

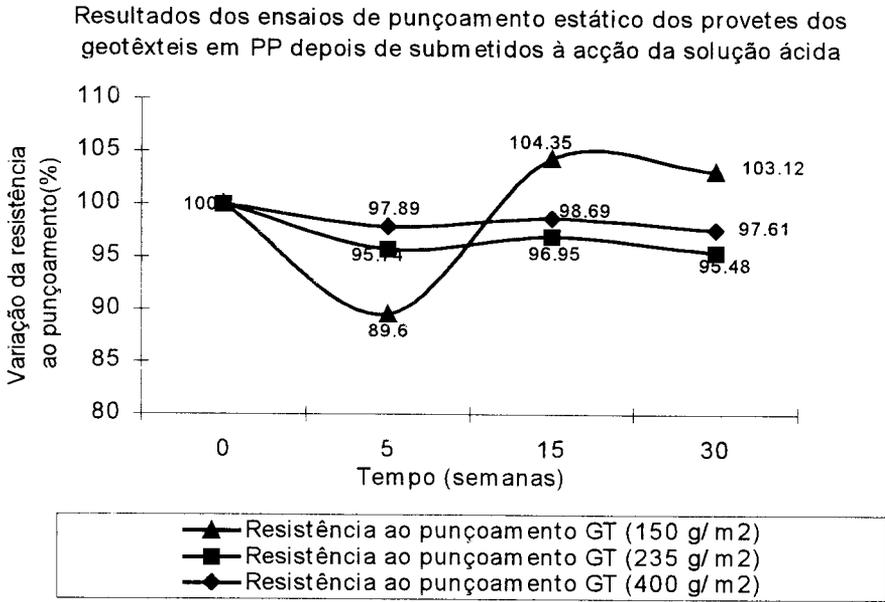


Fig. 3 - Variação da resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis após exposição à solução ácida.

4.3 - Solução Alcalina

4.3.1 - Geotêxteis

A acção da solução alcalina na resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis em estudo durante os períodos de exposição considerados está representada na Fig. 5. Verifica-se, em geral, que esta induz menores reduções de resistência do que as resultantes da acção do lixiviado e reduções maiores do que as que ocorrem por influência da solução ácida, para o geotêxtil de menor massa por unidade de área (150 g/m²).

4.3.2 - Geomembranas

O comportamento ao punçoamento estático das geomembranas seleccionadas sujeitas à acção da solução alcalina evidencia uma diminuição progressiva da resistência com o tempo de exposição (Fig. 6), aumentando essa diminuição com a redução da espessura da geomembrana. A redução de resistência observada é maior do que a resultante da exposição às outras duas acções consideradas no estudo ao fim de 30 semanas de exposição, sendo para os restantes períodos de exposição muito semelhante à que ocorre para a solução ácida (ver Fig. 4). Em termos de comportamento ao punçoamento estático a acção prolongada da solução alcalina parece ser mais nefasta para as geomembranas do que para os geotêxteis.

Resultados dos ensaios de punção estático dos provetes das geomembranas em PEAD depois de submetidos à acção da solução ácida

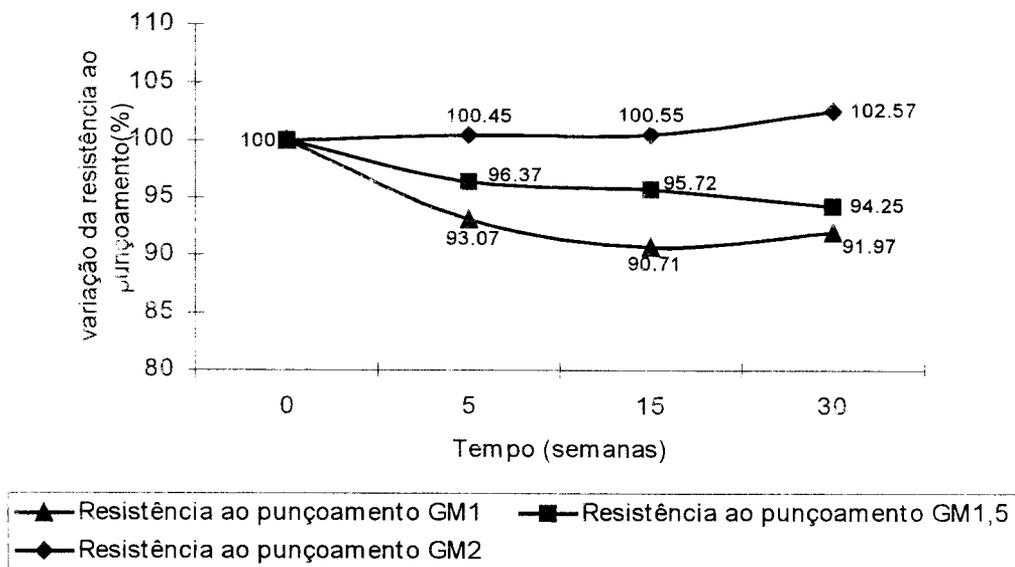


Fig. 4 - Variação da resistência ao punção estático das geomembranas após exposição à solução ácida.

Resultados dos ensaios de punção estático dos provetes dos geotêxteis em PP depois de submetidos à acção da solução alcalina

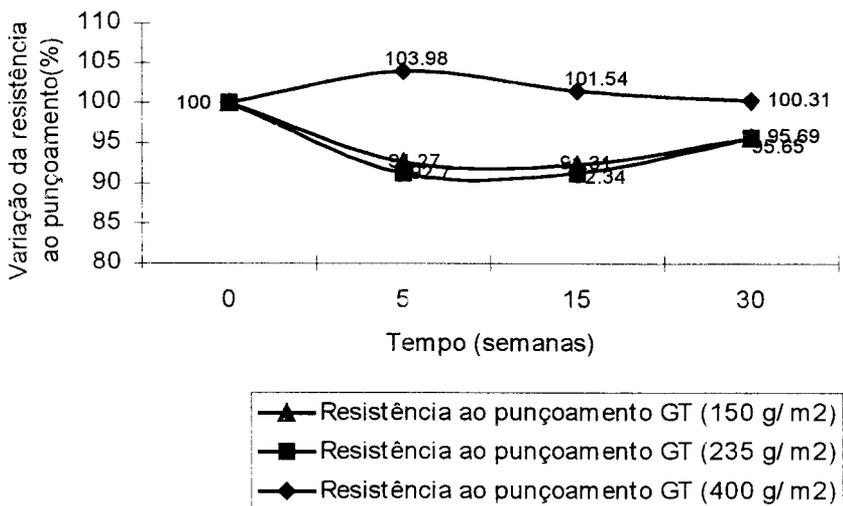


Fig. 5 - Variação da resistência ao punção estático dos geotêxteis após exposição à solução alcalina.

Resultados dos ensaios de punçoamento estático dos provetes das geomembranas em PEAD depois de submetidos à acção da solução alcalina

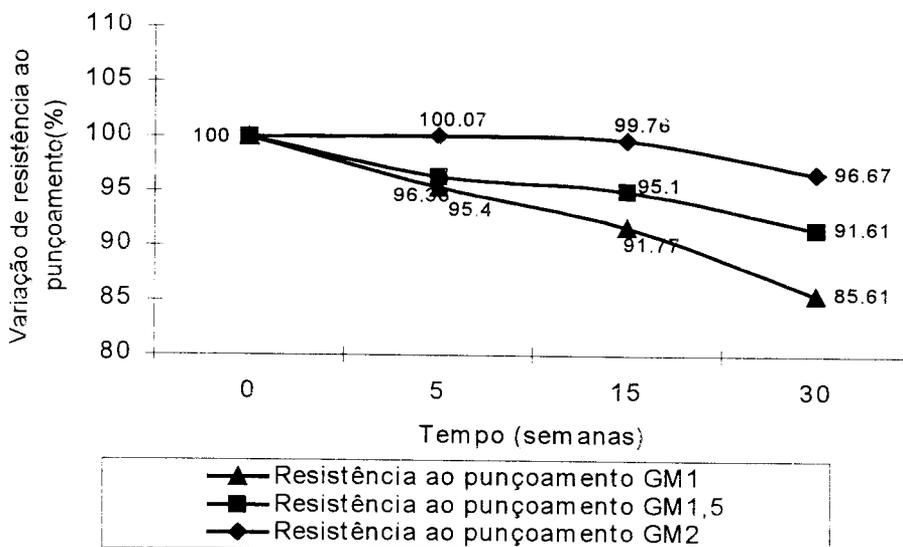


Fig. 6 - Variação da resistência ao punçoamento estático das geomembranas após exposição à solução alcalina.

4.4 - Solução de Cloreto de Sódio

4.4.1 - Geotêxteis

A acção da solução de cloreto de sódio na resistência ao punçoamento estático dos dois geotêxteis de maior massa por unidade de área (235 g/m^2 e 400 g/m^2) ensaiados pode ser considerada pouco importante (ver Fig. 7). Ao fim de 30 semanas de exposição à solução de NaCl estes geotêxteis apresentam variações pouco significativas em relação ao valor inicial da resistência ao punçoamento estático (cerca de +3,11% e de -1,18%, respectivamente, para os geotêxteis de 235 g/m^2 e 400 g/m^2). No que se refere ao geotêxtil de menor massa por unidade de área (150 g/m^2) nota-se uma redução crescente de resistência ao punçoamento estático com o aumento do tempo de exposição à solução de NaCl.

4.4.2 - Geomembranas

A Fig. 8 mostra o comportamento no tempo, em termos de punçoamento estático, das geomembranas consideradas neste trabalho sob a acção de uma solução de NaCl.

Em geral, verifica-se uma redução da resistência ao punçoamento estático por acção do agente em causa. Apenas a geomembrana de maior espessura (GM2) apresenta ao fim de 30 semanas de exposição um acréscimo insignificante em relação ao valor inicial (1,71%). As geomembranas menos espessas (GM1 e GM1,5) apresentam reduções de resistência em relação ao valor inicial, ao longo dos três períodos de exposição considerados, sendo ao fim de 30 semanas de exposição essa redução de, cerca de, 8,95% e 16,7%, respectivamente, para as geomembranas GM1 e GM1,5.

Resultados dos ensaios de punçoamento dos provetes dos geotêxteis em PP depois de submetidos à acção da solução de NaCl

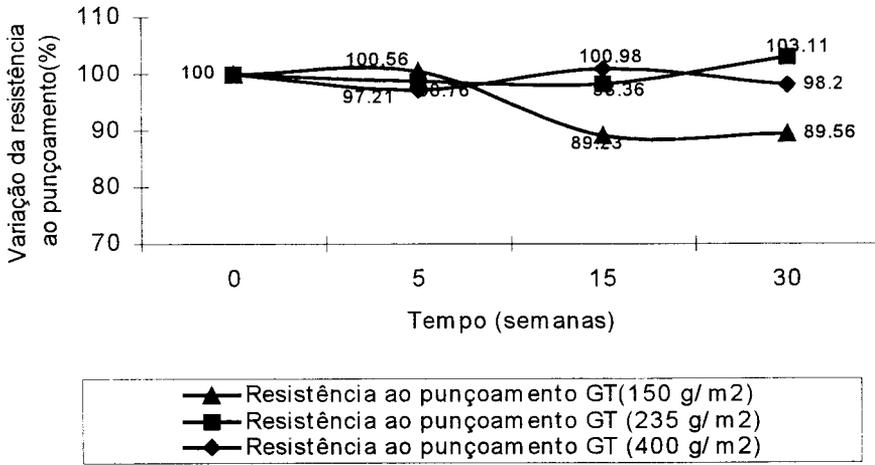


Fig. 7 - Variação da resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis após exposição à solução de cloreto de sódio.

Resultados dos ensaios de punçoamento dos provetes das geomembranas em PEAD depois de submetidos à acção da solução de NaCl

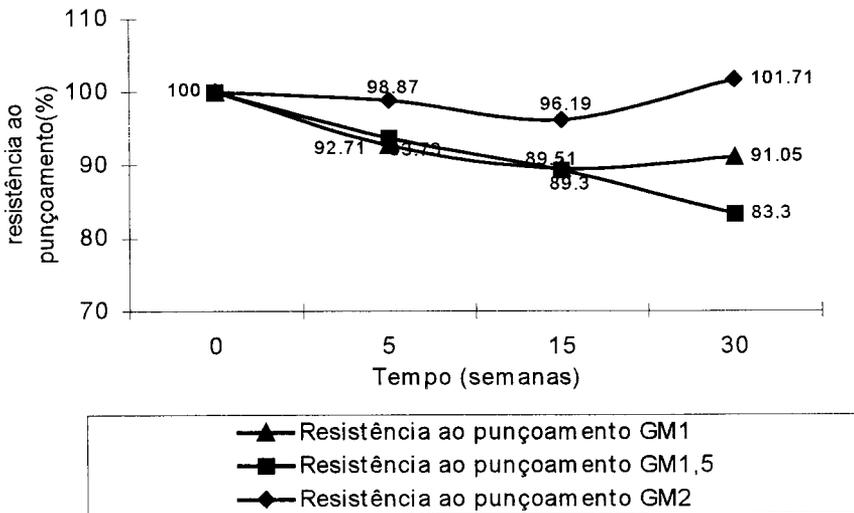


Fig. 8 - Variação da resistência ao punçoamento estático das geomembranas após exposição à solução de cloreto de sódio.

5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudada a influência da acção de quatro agentes químicos de degradação no comportamento ao punçoamento estático de três geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno da mesma marca, mas com massas por unidade de área diferentes (150 g/m^2 , 235 g/m^2 e 400 g/m^2) e três geomembranas lisas em polietileno de alta densidade da mesma marca, mas com espessuras diferentes (1mm, 1,5mm e 2mm).

Os quatro agentes de degradação seleccionados (lixiviado de um aterro de RSU e soluções ácida, alcalina e de cloreto de sódio) actuaram isoladamente sobre os geossintéticos por períodos de 5, 15 e 30 semanas. É de referir, no entanto, que nas estruturas reais, em regra, coexiste a actuação simultânea de vários agentes (por exemplo: temperaturas elevadas e lixiviados) podendo, por isso, essa acção simultânea levar a um comportamento distinto dos geossintéticos.

A heterogeneidade intrínseca aos materiais estudados dificulta a formulação de conclusões inequívocas, no entanto, com base nos resultados obtidos no estudo formular-se-ão as seguintes conclusões:

- 1) em termos gerais, os agentes de degradação considerados no presente estudo afectam mais significativamente o geotêxtil de menor massa por unidade de área (150 g/m^2) e a geomembrana de menor espessura (1mm);
- 2) os geotêxteis sujeitos à acção do lixiviado do aterro de RSU evidenciam menores resistências ao punçoamento estático à medida que o tempo de exposição aumenta, sendo essa redução tanto mais evidente quanto menor é a massa por unidade de área do material;
- 3) a redução de resistência ao punçoamento estático das geomembranas por acção dos lixiviados do aterro de RSU é mais significativa para as duas geomembranas de menor espessura (1 e 1,5 mm) ensaiadas;
- 4) as conclusões enunciadas em 2) e 3) sugerem especial cuidado na selecção da geomembrana e do geotêxtil de protecção a aplicar em sistemas de impermeabilização de aterros de resíduos, uma vez que aqueles materiais estão permanentemente sujeitos a acções estáticas indutoras de punçoamento e durante muito tempo em contacto com lixiviados;
- 5) a acção da solução ácida na resistência ao punçoamento estático das geomembranas é semelhante à do lixiviado, parecendo, no entanto afectar menos significativamente o comportamento do material à medida que a sua espessura aumenta;
- 6) a acção da solução alcalina na resistência ao punçoamento estático dos geotêxteis é menor do que a do lixiviado e maior do que a da solução ácida, particularmente no caso do geotêxtil de menor massa por unidade de área;
- 7) a exposição das geomembranas a uma solução alcalina leva à diminuição progressiva da resistência ao punçoamento estático dos materiais com o tempo de exposição, aumentando essa diminuição com a redução da espessura da geomembrana;
- 8) a redução da resistência ao punçoamento estático observada é maior do que a resultante da exposição às outras duas acções consideradas no estudo ao fim de 30 semanas de exposição, sendo para os restantes períodos de exposição muito semelhante à que ocorre para a solução ácida;
- 9) em termos de comportamento ao punçoamento estático a acção da solução alcalina parece ser mais nefasta para as geomembranas do que para os geotêxteis, em especial à medida que o tempo de exposição aumenta;

- 10) a exposição a uma solução de NaCl não afecta significativamente a resistência ao punçoamento estático dos dois geotêxteis com maior massa por unidade de área (235 g/m^2 a 400 g/m^2) considerados, diminuindo essa resistência para o geotêxtil de 150 g/m^2 ;
- 11) a exposição a uma solução de NaCl diminui a resistência ao punçoamento estático das geomembranas em especial daquelas com menor espessura;
- 12) dado o presente estudo ter sido efectuado considerando apenas geotêxteis não tecidos agulhados de filamento longo em polipropileno e geomembranas lisas em polietileno de alta densidade, e dado existir uma grande diversidade deste tipo de geossintéticos (nomeadamente, em termos de processos de fabrico e polímeros constituintes), considera-se que a generalização dos comportamentos constatados exige a sua comprovação para outros geotêxteis e outras geomembranas com características distintas das dos estudados.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos pelo patrocínio e apoio financeiro ao FEDER e Programa PRAXIS XXI, no âmbito do projecto de investigação 3/3.1/CEG/2598/95.

Os autores desejam expressar, igualmente, os seus agradecimentos à Polyfelt TS e à Naüe Fasertechnik GmbH & Co. KG a disponibilização dos geossintéticos ensaiados e à SERURB pela cedência, no aterro de resíduos sólidos urbanos de Matosinhos, de instalações e de alguns equipamentos e dados fundamentais ao desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LOPES, M. L. C. - *Muros reforçados com geossintéticos*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 1992.
- MONTEIRO, A. J. R. V. - *Comportamento de geossintéticos face a agentes presentes em aterros – uma contribuição*. Dissertação de Mestrado em Ambiente, FEUP, Porto, 1998.
- LOPES, M. LURDES e MONTEIRO, A. VIEIRA - *Avaliação do comportamento à tracção de geotêxteis sujeitos a agentes de degradação*. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia – Geotecnia, Nº 85, 1999.