

GEOSSINTÉTICOS ASSOCIADOS – AVALIAÇÃO DOS COMPORTAMENTOS À TRACÇÃO-DEFORMAÇÃO, AO PUNÇOAMENTO ESTÁTICO E AO RASGAMENTO

Associated geosynthetics - tensile, static puncture and tearing mechanical behaviour evaluation

Patricia Lopes*

M. Lurdes Lopes**

RESUMO - Os geossintéticos são materiais que nas suas diversas aplicações podem ser colocados isolados, ou em associação com outros geossintéticos, podendo apresentar os elementos constituintes e a associação comportamentos mecânicos distintos. O comportamento mecânico dos geossintéticos associados pode ser abordado em diferentes vertentes, como por exemplo o das interfaces entre os vários materiais, o de tracção-deformação, o de punçoamento e o de rasgamento. Assim, numa primeira fase de um programa de investigação mais vasto optou-se por estudar o comportamento à tracção-deformação, ao punçoamento estático e ao rasgamento de cinco geossintéticos isolados e de várias associações destes materiais. Os geossintéticos seleccionados para este estudo foram: dois geotêxteis não tecidos, agulhados, em polipropileno com massas por unidade de área distintas; duas geogrelhas, uma uniaxial em polietileno de alta densidade e outra biaxial em polipropileno; e uma geomembrana lisa, em polietileno de alta densidade, com dois milímetros de espessura. Com base nos resultados deste estudo procurar-se-á tirar conclusões acerca do comportamento de geossintéticos associados e da influência nesse comportamento de cada um dos componentes da associação.

SYNOPSIS - Geosynthetics are materials that can be used in different applications, either isolated, or in association with other geosynthetics. However, the elements that constitute the association and the association itself may present distinct mechanical behaviours. The mechanical behaviour of associated geosynthetics can be studied in different directions, namely that of geosynthetics interfaces, tensile, static puncture and tearing. In a first stage of a broad research program it was decided to study the tensile, static puncture and tearing behaviours of five geosynthetics, either isolated or associated. The geosynthetics selected for this study were: two polypropylene, non-woven, spunbonded geotextiles with different mass per unit area; two geogrids, a high density polyethylene uniaxial geogrid and a polypropylene biaxial geogrid; and a smooth, high density polyethylene geomembrane with two millimetres thickness. This paper presents the results of the study and put forwards some conclusions about the behaviour of associated geosynthetics and about the influence on that of each element of the association.

1 - INTRODUÇÃO

A aplicação dos geossintéticos em obras geotécnicas tem vindo a conhecer, nos últimos anos, um assinalável crescimento, nomeadamente na área do controlo ambiental. São inúmeras as razões que justificam o aumento na utilização destes materiais, salientando-se as seguintes: a facilidade de aplicação, o baixo custo e a sua versatilidade quando comparadas com as metodologias e materiais tradicionais.

* Engenheira Civil, Bolseira de Iniciação à Investigação Científica

** Professora Auxiliar da FEUP

O número de domínios de utilização diferentes é muito significativo e tende a aumentar, englobando cada domínio diferentes tipos de aplicação. Os geossintéticos são materiais que nas suas diversas aplicações podem ser colocados, quer isolados, quer em associação com outros geossintéticos, podendo apresentar os elementos constituintes e a associação comportamentos mecânicos distintos.

Embora a relevância dos diferentes aspectos do comportamento mecânico dos geossintéticos associados dependa do tipo de aplicação é sempre importante conhecer os valores das suas propriedades de tracção-deformação, punçoamento estático e rasgamento.

O presente trabalho insere-se num programa de investigação mais vasto, constituindo o estudo dos três aspectos referidos do comportamento mecânico dos geossintéticos associados uma das fases desse programa que prosseguirá no sentido da análise do comportamento mecânico das interfaces entre os diferentes geossintéticos.

No decurso deste trabalho, de acordo com resultados de ensaios de tracção-deformação, punçoamento estático e rasgamento, procurar-se-á tirar conclusões acerca do comportamento de diferentes tipos de geossintéticos associados e da influência nesse comportamento de cada um dos componentes da associação.

2 - RESULTADOS DE ESTUDOS ANTERIORES RELATIVOS AO COMPORTAMENTO DE GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS ASSOCIADOS

Como já foi dito atrás, o presente trabalho insere-se num programa de investigação mais vasto que se iniciou com o estudo dos comportamentos à tracção-deformação, ao punçoamento estático e ao rasgamento de geotêxteis não tecidos associados. Os resultados deste estudo encontram-se amplamente descritos em Lopes e Lopes (2000) pelo que aqui se fará apenas um resumo das principais conclusões obtidas para um melhor enquadramento do estudo subsequente relativo ao estudo dos mesmos comportamentos de diferentes tipos de geossintéticos associados.

No estudo do comportamento mecânico de geotêxteis não tecidos associados foram utilizados três geotêxteis não tecidos, agulhados, em polipropileno, estabilizados em relação às radiações ultra-violetas, da mesma marca, mas com massas por unidade de área diferentes (155, 315 e 584 g/m²), sendo estes ensaiados isoladamente e associados dois a dois à tracção-deformação, ao punçoamento estático e ao rasgamento.

Nos ensaios de tracção-deformação e de punçoamento estático (normalizados a nível Europeu) cumpriu-se os procedimentos de ensaio constantes nas normas Europeias EN ISO 10319 e EN ISO 12236, respectivamente. No caso do ensaio de rasgamento (não normalizado a nível Europeu) seguiu-se os procedimentos constantes na norma ASTM D 4533.

De acordo com os resultados obtidos podem ser formuladas as seguintes conclusões fundamentais:

- a associação de geotêxteis permite obter valores de resistências mecânicas (à tracção, ao punçoamento estático e ao rasgamento) superiores aos de cada um dos componentes das associações;
- no que diz respeito aos comportamentos à tracção-deformação e ao punçoamento estático verifica-se ser mais vantajoso associar geotêxteis com resistências não muito díspares, uma vez que o benefício que se tira da associação dos dois materiais é maior;
- nestes casos a resistência da associação é praticamente igual à soma das resistências de cada um dos componentes quando isolados;
- no que se refere ao comportamento ao rasgamento constata-se que, quanto mais resistentes forem os componentes das associações de geotêxteis maior é o incremento na resistência das associações.

3 - GEOGRELHAS E GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS

3.1 - Ensaios realizados e materiais utilizados

Com o objectivo de caracterizar o comportamento mecânico das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, efectuaram-se ensaios de tracção-deformação de acordo com a norma Europeia EN ISO 10319. Uma vez que as associações em estudo têm como um dos componentes as geogrelhas, carece de sentido avaliar os comportamentos ao punçoamento estático e ao rasgamento dessas associações.

Nos estudos efectuados foram utilizados:

- dois geotêxteis não tecidos, agulhados, em polipropileno, com massas por unidade de área distintas (340 g/m^2 e 800 g/m^2), designados ao longo deste trabalho por GT_1 e GT_2 , respectivamente;
- duas geogrelhas, uma uniaxial em polietileno de alta densidade e outra biaxial em polipropileno, designadas, respectivamente por GG_u e GG_b , no decorrer deste trabalho.

Cada um dos geossintéticos (GT_1 , GT_2 , GG_u e GG_b) foi ensaiado à tracção-deformação isoladamente, sendo também ensaiadas quatro associações diferentes destes materiais (GT_1+GG_u , GT_1+GG_b , GT_2+GG_u , GT_2+GG_b).

3.2 - Análise dos resultados

Iniciou-se o estudo do comportamento à tracção-deformação de geogrelhas e geotêxteis não tecidos ensaiando separadamente os quatro materiais já referidos (GT_1 , GT_2 , GG_u e GG_b), procurando assim concluir acerca do comportamento de cada um deles isoladamente.

Quadro 1 - Resultados, na rotura, dos ensaios de tracção-deformação dos geotêxteis não tecidos GT_1 e GT_2 e das geogrelhas GG_u e GG_b .

		Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
		Resistência à tracção	Deformação (%)	Resistência à tracção	Deformação (%)
Geotêxtil GT_1	Valor médio	13244,00 (N/m)	148,33	20781,80 (N/m)	150,81
	Coef. variação	6,79 (%)	6,70	10,41 (%)	15,14
Geotêxtil GT_2	Valor médio	42677,44 (N/m)	102,54	45274,57 (N/m)	87,55
	Coef. variação	9,05 (%)	9,69	7,98 (%)	10,99
Geogrelha GG_u	Valor médio	44053,65 (N/m)	11,30	-	-
	Coef. variação	4,87 (%)	1,57	-	-
Geogrelha GG_b	Valor médio	24311,15 (N/m)	10,60	23453,93 (N/m)	9,43
	Coef. variação	5,90 (%)	9,55	3,47 (%)	6,23

O Quadro 1 apresenta os valores, após tratamento estatístico, da resistência à tracção e da deformação na rotura, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta dos quatro geossintéticos considerados.

Com base nos resultados dos ensaios, verifica-se que o geotêxtil GT_2 , com massa por unidade de área de 800 g/m^2 , possui uma resistência à tracção significativamente superior à do geotêxtil GT_1 , com massa por unidade de área de 340 g/m^2 . Note-se que a resistência do geotêxtil GT_2 é próxima da da geogrelha GG_u , que apresenta uma resistência à tracção bastante mais elevada do que a da geogrelha GG_b . Nestas circunstâncias será possível estudar o

comportamento de associações de materiais com resistências relativamente próximas (como é por exemplo o caso da associação GT_2+GG_u) e bastante díspares (como por exemplo nos casos das associações GT_1+GG_u e GT_2+GG_b).

No caso dos geotêxteis, as resistências à tracção obtidas na direcção perpendicular à de fabrico são superiores às correspondentes na direcção de fabrico, sendo semelhantes em ambas as direcções para a geogrelha biaxial (GG_b). Dadas as características estruturais da geogrelha uniaxial (GG_u) carece de sentido determinar a resistência à tracção na direcção perpendicular à de fabrico.

Analisando os valores da deformação conclui-se que as geogrelhas consideradas apresentam uma rigidez muito superior à dos geotêxteis, facto este que condicionará, muito provavelmente, o comportamento das associações destes materiais.

Tendo como objectivo caracterizar o comportamento mecânico das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, prosseguiu-se o estudo ensaiando à tracção-deformação as seguintes associações: GT_1 associado a GG_u ($GT_1 + GG_u$), GT_1 associado a GG_b ($GT_1 + GG_b$), GT_2 associado a GG_u ($GT_2 + GG_u$) e GT_2 associado a GG_b ($GT_2 + GG_b$).

As Figs 1 a 4 apresentam as curvas tracção-deformação obtidas durante a realização dos ensaios das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, bem como, as de cada um dos componentes das associações quando ensaiados isoladamente. O Quadro 2 mostra os valores, tratados estatisticamente, da resistência à tracção e da deformação na rotura, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta das quatro associações de geossintéticos estudadas.

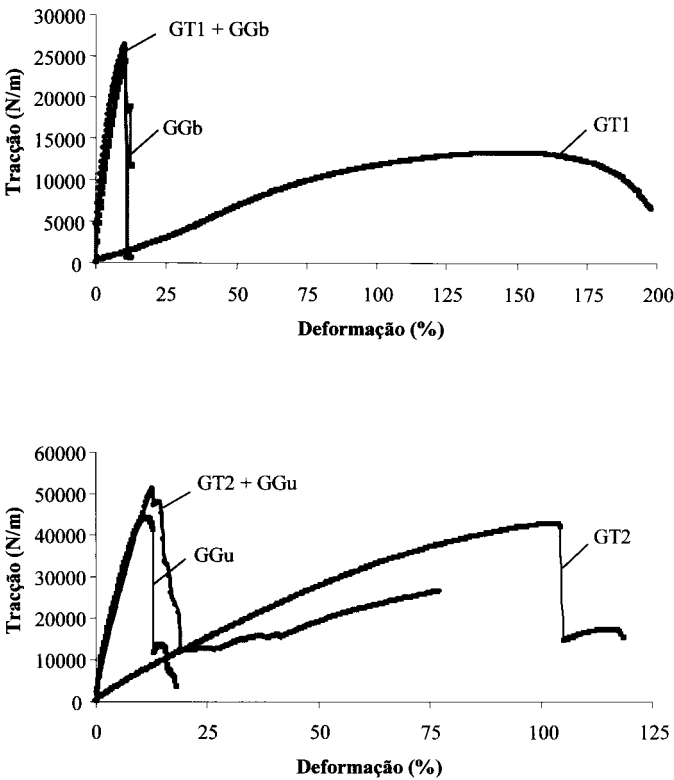


Fig.1 - Curvas tracção-deformação das associações de geogrelhas com o geotêxtil não tecido GT_1 na direcção de fabrico.

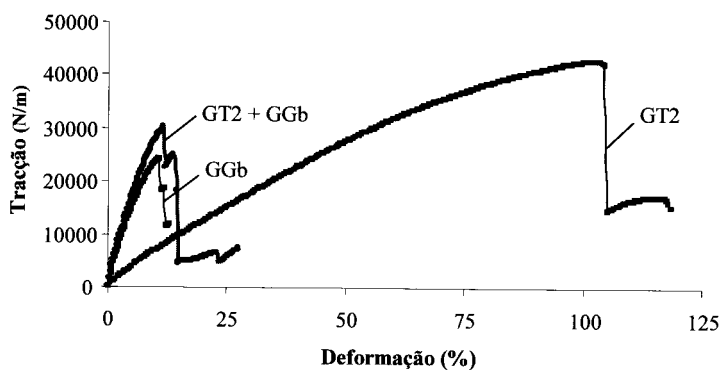


Fig. 2 - Curvas tracção-deformação das associações de geogrelhas com o geotêxtil não tecido GT2 na direcção de fabrico.

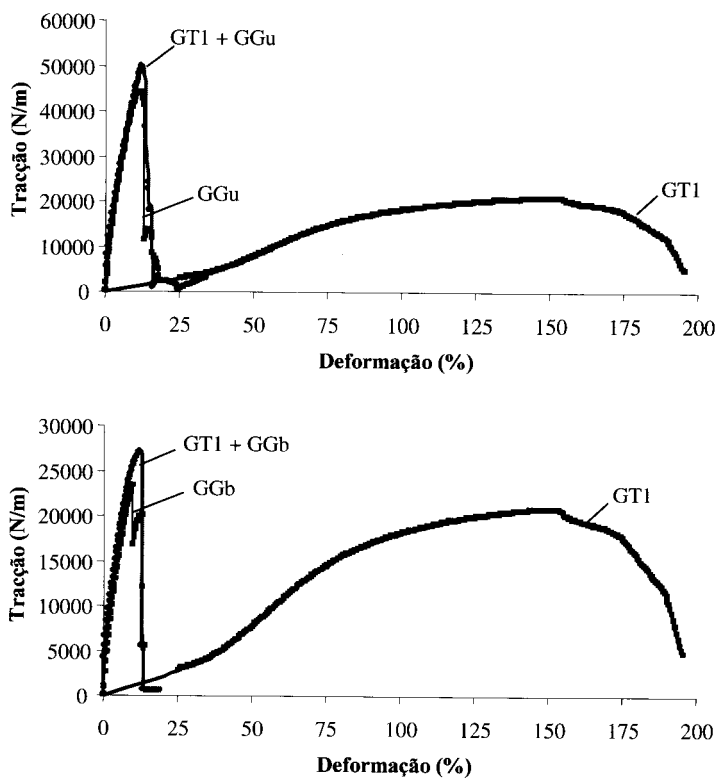


Fig. 3 - Curvas tracção-deformação das associações de geogrelhas e do geotêxtil não tecido GT1 na direcção perpendicular à de fabrico.

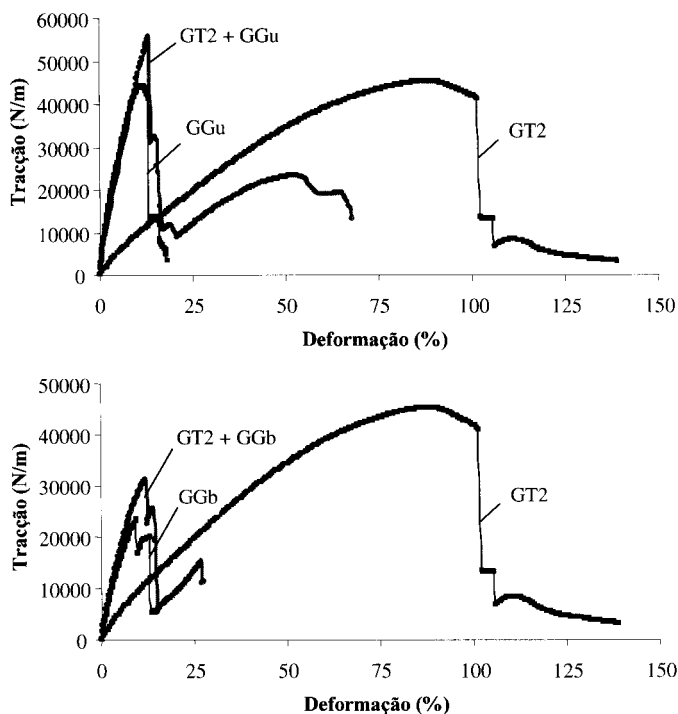


Fig. 4 - Curvas tracção-deformação das associações de geogrelhas e do geotêxtil não tecido GT2 na direcção perpendicular à de fabrico.

Quadro 2 - Resultados, na rotura, dos ensaios de tracção-deformação das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos.

		Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
		Resistência à tracção	Deformação (%)	Resistência à tracção	Deformação (%)
Associação	Valor médio	47573,36 (N/m)	13,00	50167,36 (N/m)	12,60
GT ₁ +GG _u	Coef. variação	9,15 (%)	4,21	2,42 (%)	5,17
Associação	Valor médio	26373,19 (N/m)	10,67	27040,76 (N/m)	12,44
GT ₁ +GG _b	Coef. variação	2,38 (%)	7,63	5,40 (%)	13,80
Associação	Valor médio	51664,26 (N/m)	12,89	55749,50 (N/m)	13,48
GT ₂ +GG _u	Coef. variação	5,13 (%)	7,70	3,31 (%)	9,80
Associação	Valor médio	30282,42 (N/m)	11,95	31469,85 (N/m)	12,27
GT ₂ +GG _b	Coef. variação	8,43 (%)	11,84	4,29 (%)	5,65

Numa tentativa de sintetizar e facilitar a interpretação dos resultados obtidos, o Quadro 3 apresenta, para as direcções de fabrico e perpendicular a esta, os valores médios da resistência à tracção e da deformação na rotura das geogrelhas e dos geotêxteis não tecidos ensaiados à tracção-deformação isolados e associados, bem como a soma dos valores médios da resistência à tracção na rotura das geogrelhas e dos geotêxteis isolados constituintes de cada associação.

Analisando o Quadro 3, verifica-se que as geogrelhas têm uma influência preponderante no comportamento do conjunto. Como se pode constatar, em qualquer das situações, o valor da deformação da associação é muito próximo do valor da deformação da geogrelha que a constitui quando isolada. Por outro lado, o valor da resistência à tracção da associação é muito condicionado pela resistência da geogrelha, afastando-se mais ou menos deste valor conforme a resistência do geotêxtil que lhe está associado. Contudo, esse afastamento é pouco significativo quando comparado com a diferença entre as resistências dos geotêxteis utilizados nas associações.

Quadro 3 - Resumo dos resultados, na rotura e em termos de valores médios, dos ensaios de tracção-deformação.

	Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
	Resistência à tracção (N/m)	Deformação (%)	Resistência à tracção (N/m)	Deformação (%)
Geotêxtil GT ₁	13244,00	148,33	20781,80	150,81
Geotêxtil GT ₂	42677,44	102,54	45274,57	87,55
Geogrelha GG _u	44053,65	11,30	-	-
Geogrelha GG _b	24311,15	10,60	23453,93	9,43
Associação GT ₁ +GG _u	47573,36	13,00	50167,36	12,60
Associação GT ₁ +GG _b	26373,19	10,67	27040,76	12,44
Associação GT ₂ +GG _u	51664,26	12,89	55749,50	13,48
Associação GT ₂ +GG _b	30282,42	11,95	31469,85	12,27
Geotêxtil GT ₁ +Geogrelha GG _u	57297,65	-	64835,45 *	-
Geotêxtil GT ₁ +Geogrelha GG _b	37555,15	-	44235,73	-
Geotêxtil GT ₂ +Geogrelha GG _u	86731,09	-	89328,22 *	-
Geotêxtil GT ₂ +Geogrelha GG _b	66988,59	-	68728,50	-

* este valor da soma foi obtido considerando para valor médio da resistência à tracção na rotura da geogrelha GG_u isolada o valor 44053.65 N/m, correspondente à direcção de fabrico da geogrelha uniaxial, isto porque, em qualquer das associações a geogrelha GG_u foi sempre traccionada na sua direcção de fabrico.

Concretizando, apesar da resistência à tracção do geotêxtil GT₂ ser cerca de 3,2 vezes superior à do geotêxtil GT₁, na direcção de fabrico, e cerca de 2,2 vezes superior na direcção perpendicular à de fabrico, a diferença no valor da resistência à tracção das associações destes materiais com as geogrelhas é muito menor.

No que se refere às associações com a geogrelha uniaxial GG_u, verifica-se que a resistência à tracção da associação GT₂ + GG_u é apenas cerca de 1,1 vezes superior à da associação GT₁ + GG_u, em ambas as direcções consideradas. É de realçar que o valor da resistência à tracção das associações é, para a associação GT₁ + GG_u cerca de 83% do valor que corresponde à soma das resistências dos componentes da associação quando isolados, na direcção de fabrico, e cerca de 77% na direcção perpendicular à de fabrico, baixando, no caso da associação GT₂ + GG_u, para

cerca de 60% e 62% desse mesmo valor, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta, respectivamente.

Relativamente às associações com a geogrelha biaxial GG_b , verifica-se um comportamento semelhante, constata-se que a resistência à tracção da associação $GT_2 + GG_b$ é cerca de 1,15 vezes superior à da associação $GT_1 + GG_b$, em qualquer das direcções estudadas. O valor da resistência à tracção das associações é, para a associação $GT_1 + GG_b$, cerca de 70% do valor correspondente à soma das resistências dos elementos constituintes da associação quando isolados, na direcção de fabrico, e cerca de 61% na direcção perpendicular à de fabrico, baixando, no caso da associação $GT_2 + GG_b$, para cerca de 45% e 46% desse mesmo valor, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta, respectivamente.

Em ambos os casos foi posta em evidência a pouca influência da resistência do geotêxtil na resistência da associação.

De acordo com os resultados apresentados, verifica-se que o valor da resistência à tracção das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos é sempre inferior ao valor que corresponde à soma das resistências à tracção dos componentes da associação quando isolados, sendo contudo tanto maior quanto mais resistentes forem os elementos que constituem a associação.

Do estudo, referente ao comportamento à tracção-deformação das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, pode-se concluir que as geogrelhas têm uma influência preponderante no comportamento da associação, que é sem dúvida condicionado pela rigidez das geogrelhas.

4 - GEOMEMBRANAS E GEOTÊXTEIS NÃO TECIDOS

4.1 - Ensaios realizados e materiais utilizados

Com o objectivo de caracterizar o comportamento mecânico das associações de geomembranas e geotêxteis não tecidos, efectuaram-se ensaios mecânicos de curto prazo: de tracção-deformação, de punçoamento estático e de rasgamento.

Nos ensaios realizados utilizou-se um geotêxtil não tecido, agulhado, em polipropileno, com massa por unidade de área de 340 g/m^2 e uma geomembrana lisa, em polietileno de alta densidade, com 2 mm de espessura, designados ao longo deste trabalho por GT_1 e GM , respectivamente. Estes dois materiais foram ensaiados isoladamente e associados.

No que se refere aos ensaios de tracção-deformação existe, para os geotêxteis, uma norma Europeia aprovada que é a EN ISO 10319, sendo para as geomembranas corrente utilizar a ASTM D638. Porém, estas normas de ensaio impõem configurações de provetes e velocidades de ensaio distintas. Numa tentativa de encontrar uma solução de compromisso, optou-se por ensaiar provetes de ambos os materiais e das suas associações de acordo com os procedimentos constantes norma Francesa NF T54-102 relativa a ensaios de tracção-deformação de geomembranas. A razão principal desta opção tem a ver com o facto desta norma considerar provetes rectangulares 25 mm de largura e 120 mm de altura (distância entre garras), ao contrário do que acontece com a ASTM D638 que impõe provetes de menores dimensões em forma de haltere (6 mm de largura na zona média do provete e 64 mm entre garras) que podem não permitir obter resultados representativos do comportamento dos geotêxteis. Os resultados serão expressos em termos de força de tracção na rotura, em N.

No caso do ensaio de punçoamento estático, uma vez que as orientações da Comissão Europeia de Normalização de ensaios de geomembranas vão no sentido de adoptar a norma de ensaio aprovada para os geotêxteis para a definição desta propriedade cumpriram-se os procedimentos de ensaio constantes nessa norma que é a EN ISO 12236.

Dado não existir, a nível Europeu, norma aprovada, ou em estudo, para o ensaio de rasgamento de geotêxteis decidiu-se adaptar as dimensões dos provetes destes materiais às dimensões previstas na norma ASTM D1004 relativa ao ensaio de rasgamento de geomembranas e seguir de perto os procedimentos constantes nesta norma, tendo-se optado por expressar os resultados em termos de força de rasgamento na rotura, em N.

4.2 - Análise dos resultados

4.2.1 - Ensaio de tracção-deformação

Iniciou-se o estudo do comportamento à tracção-deformação ensaiando separadamente a geomembrana (GM) e o geotêxtil não tecido (GT_1), procurando assim concluir acerca do comportamento de cada um deles quando isolados.

O Quadro 4 apresenta os valores, após tratamento estatístico, da resistência à tracção e da deformação na rotura, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta dos dois geossintéticos considerados.

Tendo como objectivo caracterizar o comportamento mecânico das associações de geomembranas e geotêxteis não tecidos, prosseguiu-se o estudo ensaiando à tracção-deformação a associação do geotêxtil não tecido GT_1 com a geomembrana GM (GT_1+GM).

Quadro 4 - Resultados, na rotura, dos ensaios de tracção-deformação do geotêxtil não tecido GT_1 e da geomembrana GM.

		Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
		Resistência à tracção	Deformação (%)	Resistência à tracção	Deformação (%)
Geotêxtil GT_1	Valor médio	331,10 (N)	123,61	519,55 (N)	125,67
	Coef. Variação	6,79 (%)	6,70	10,41 (%)	15,14
Geomembrana GM	Valor médio	382,05 (N)	473,14	367,04 (N)	553,83
	Coef. Variação	19,61 (%)	20,52	29,91 (%)	26,95

A Fig. 5 apresenta as curvas tracção-deformação obtidas durante a realização dos ensaios da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana ($GT_1 + GM$), bem como, as de cada um dos componentes da associação quando ensaiados isoladamente.

O Quadro 5 mostra os valores, tratados estatisticamente, da resistência à tracção e da deformação na rotura, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta da associação estudada ($GT_1 + GM$).

Numa tentativa de sintetizar e facilitar a interpretação dos resultados obtidos, o Quadro 6 apresenta, para as direcções de fabrico e perpendicular a esta, os valores médios da resistência à tracção e da deformação na rotura do geotêxtil não tecido e da geomembrana ensaiados à tracção-deformação isolados e associados, bem como a soma dos valores médios da resistência à tracção na rotura do geotêxtil e da geomembrana que constituem a associação quando isolados.

Analisando o Quadro 6, verifica-se que, em ambas as direcções, o valor da resistência à tracção da associação GT_1+GM é idêntico ao valor que corresponde à soma das resistências dos componentes da associação quando isolados.

No que respeita às deformações, observa-se que, o valor da deformação da associação se situa no intervalo definido pelas deformações obtidas para os componentes da associação

quando ensaiados isolados, sendo no entanto muito mais próximo do limite inferior do intervalo definido.

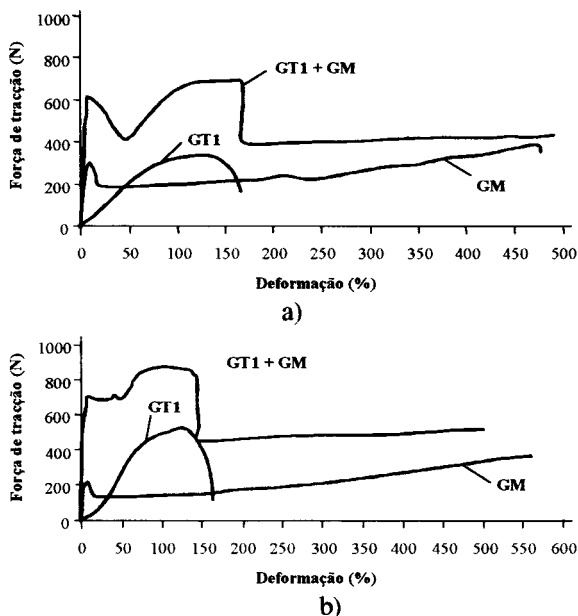


Fig. 5 - Curvas tracção-deformação da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana: a) na direcção de fabrico; b) na direcção perpendicular à de fabrico.

Quadro 5 - Resultados, na rotura, dos ensaios de tracção-deformação da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana.

		Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
		Resistência à tracção	Deformação (%)	Resistência à tracção	Deformação (%)
Associação GT ₁ +GM	Valor médio	780,01 (N)	156,96	1043,90 (N)	124,06
	Coef. Variação	8,94 (%)	17,69	1,49 (%)	18,29

Quadro 6 - Resumo dos resultados, na rotura e em termos de valores médios, dos ensaios de tracção-deformação.

	Direcção de fabrico		Direcção perpendicular à de fabrico	
	Resistência à tracção (N)	Deformação (%)	Resistência à tracção (N)	Deformação (%)
Geotêxtil GT ₁	331,10	123,61	519,55	125,67
Geomembrana GM	382,05	473,14	367,04	553,83
Associação GT ₁ +GM	710,01	156,96	879,90	124,06
Geotêxtil GT ₁ +Geomembrana GM	713,15	-	886,59	-

Do estudo, referente ao comportamento à tracção-deformação, pode-se concluir que a resistência da associação é idêntica à soma das resistências dos elementos que a constituem quando isolados. Por outro lado, conclui-se que a rigidez na rotura da associação é maior do que a dos materiais constituintes.

4.2.2 - Ensaio de punção estático

Para estudo do comportamento ao punção estático começou-se por ensaiar isoladamente o geotêxtil não tecido GT₁ e a geomembrana GM, com o objectivo de obter a resistência ao punção estático de cada um deles. No Quadro 7 estão expressos os resultados, na rotura, já tratados estatisticamente, destes ensaios.

Quadro 7 - Resultados, na rotura, dos ensaios de punção estático do geotêxtil não tecido GT₁ e da geomembrana GM.

		Resistência ao punção estático	Deslocamento
Geotêxtil GT ₁	Valor médio	2,13 (KN)	65,78 (mm)
	Coef. Variação	15,33 (%)	7,82 (%)
Geomembrana GM	Valor médio	5,33 (KN)	118,56 (mm)
	Coef. Variação	0,84 (%)	1,48 (%)

Para caracterizar o comportamento ao punção estático de associações de geomembranas com geotêxteis não tecidos ensaiou-se a associação GT₁+GM.

O Quadro 8 apresenta os resultados obtidos na rotura, tratados estatisticamente, para a associação considerada (GT₁+GM).

Quadro 8 - Resultados, na rotura, do ensaio de punção estático da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana.

		Resistência ao punção estático	Deslocamento
Associação GT ₁ +GM	Valor médio	7,66 (KN)	79,57 (mm)
	Coef. Variação	4,47 (%)	4,47 (%)

A Fig. 6 mostra a curva força-deslocamento obtida durante a execução do ensaio de punção estático da associação GT₁+GM, bem como as curvas correspondentes a cada um dos componentes da associação quando ensaiados isoladamente.

O Quadro 9 resume os resultados obtidos, em termos de valores médios, nos ensaios de punção estático realizados. Este quadro apresenta a força de punção estático e o deslocamento na rotura do geotêxtil e da geomembrana ensaiados isolados e associados, bem como a soma dos valores médios da força de punção estático na rotura dos elementos da associação quando ensaiados isolados.

Pela análise do Quadro 9, verifica-se que o valor da resistência ao punção estático da associação está muito próximo do valor que corresponde à soma das resistências dos elementos constituintes da associação quando isolados.

Relativamente aos deslocamentos, constata-se que, à semelhança do observado no comportamento à tracção-deformação, o valor do deslocamento na rotura da associação

pertence ao intervalo definido pelos deslocamentos na rotura dos seus elementos constituintes quando isolados.

Do apresentado, conclui-se que o valor da resistência ao punçoamento estático da associação destes materiais é próxima da soma das suas resistências quando isolados.

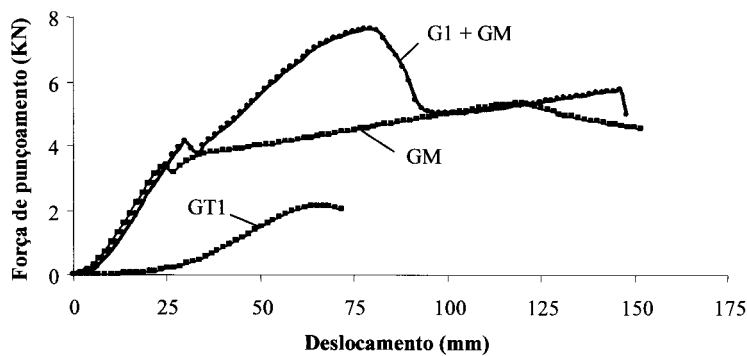


Fig. 6 - Ensaio de punçoamento estático: curvas força-deslocamento.

Quadro 9 - Resumo dos resultados, na rotura e em termos de valores médios, dos ensaios de punçoamento estático.

	Resistência ao punçoamento estático (KN)	Deslocamento (mm)
Geotêxtil GT ₁	2,13	65,78
Geomembrana GM	5,33	118,56
Associação GT ₁ +GM	7,66	79,57
Geotêxtil GT ₁ +Geomembrana GM	7,46	-

4.2.3 - Ensaio de rasgamento

No estudo do comportamento ao rasgamento seguiu-se um procedimento em tudo semelhante ao que foi adoptado nos casos analisados anteriormente. Começou-se por ensaiar separadamente o geotêxtil não tecido GT₁ e a geomembrana GM, com o intuito de determinar a resistência ao rasgamento de cada um.

Os resultados, na rotura, tratados estatisticamente, dos ensaios de rasgamento realizados, quer na direcção de fabrico dos geossintéticos, quer na direcção perpendicular à de fabrico, encontram-se expressos no Quadro 10.

Seguiu-se a caracterização do comportamento ao rasgamento da associação do geotêxtil não tecido GT₁ com a geomembrana GM.

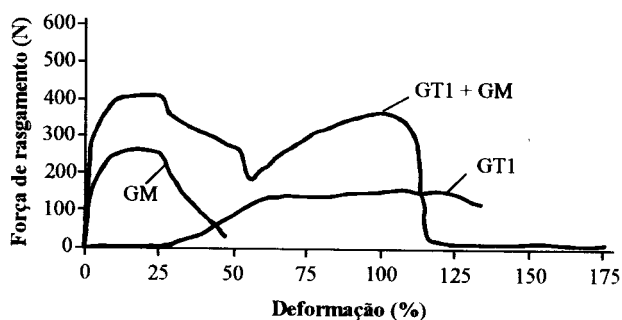
Os resultados dos ensaios de rasgamento, na rotura e após tratamento estatístico, da associação estudada (GT₁+GM), nas direcções de fabrico e perpendicular a esta, mostram-se no Quadro 11. As curvas força-deformação obtidas durante a realização dos ensaios de rasgamento da associação GT₁+GM, bem como as de cada um dos componentes da associação quando ensaiados isoladamente apresentam-se na Fig. 7.

Quadro 10 - Resultados, na rotura, dos ensaios de rasgamento do geotêxtil não tecido GT₁ e da geomembrana GM.

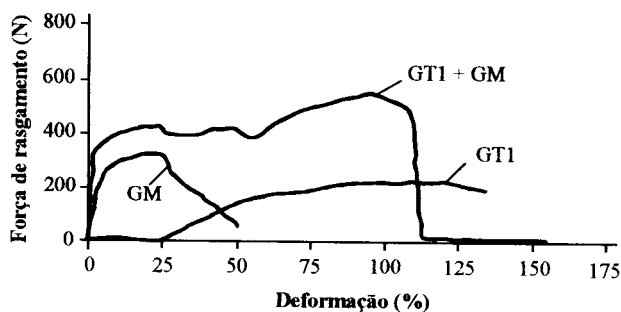
		Direcção de fabrico	Direcção perpendicular à de fabrico
		Força de rasgamento	Força de rasgamento
Geotêxtil GT ₁	Valor médio	159,75 (N)	240,55 (N)
	Coef. Variação	10,47(%)	13,29 (%)
Geomembrana GM	Valor médio	259,96 (N)	320,66 (N)
	Coef. Variação	7,48 (%)	7,39 (%)

Quadro 11 - Resultados, na rotura, dos ensaios de rasgamento da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana.

		Direcção de fabrico	Direcção perpendicular à de fabrico
		Força de rasgamento	Força de rasgamento
Associação GT ₁ +GM	Valor médio	429,43 (N)	695,50 (N)
	Coef. variação	36,15(%)	10,02 (%)



a)



b)

Fig. 7 - Ensaios de rasgamento. Curvas força-deformação da associação do geotêxtil não tecido com a geomembrana: a) na direcção de fabrico; b) na direcção perpendicular à de fabrico.

O Quadro 12 resume os resultados obtidos, em termos de valores médios, nos ensaios de rasgamento realizados. Este quadro apresenta, nas direcções de fabrico e perpendicular a esta, a força de rasgamento na rotura do geotêxtil não tecido e da geomembrana ensaiados isolados e

associados, bem como a soma dos valores médios da força de rasgamento na rotura do geotêxtil e da geomembrana quando isolados.

Analisando o Quadro 12, verifica-se que, em ambas as direcções, o valor da resistência ao rasgamento da associação GT₁+GM é ligeiramente inferior ao valor que corresponde à soma das resistências dos componentes da associação quando isolados. A diferença máxima ocorre na direcção perpendicular à de fabrico não ultrapassando contudo os 2,2%.

Quadro 12 - Resumo dos resultados, na rotura e em termos de valores médios, dos ensaios de rasgamento.

	Direcção de fabrico	Direcção perpendicular à de fabrico
	Força de rasgamento (N)	Força de rasgamento (N)
Geotêxtil GT ₁	159,75	240,55
Geomembrana GM	259,96	320,66
Associação GT ₁ +GM	417,60	548,94
Geotêxtil GT ₁ +Geomembrana GM	419,71	561,21

Conclui-se assim que, em termos de resistência ao rasgamento, a resistência da associação é próxima da soma das resistências dos seus componentes quando isolados.

5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho procurou-se, através da realização de ensaios mecânicos de curto prazo, estudar o comportamento mecânico de associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, e de geomembranas e geotêxteis não tecidos, avaliando também a influência nesse comportamento de cada um dos componentes da associação. Com base nos resultados obtidos é possível formular as seguintes conclusões fundamentais:

- no que se refere ao comportamento à tracção-deformação das associações de geogrelhas e geotêxteis não tecidos, conclui-se que as geogrelhas têm uma influência preponderante no comportamento da associação, que é muito condicionado pela rigidez das geogrelhas;
- nestes casos o valor da deformação do conjunto é muito próximo do valor da deformação da geogrelha que constitui a associação quando isolada, sendo o valor da resistência à tracção da associação também determinantemente influenciado pela resistência da geogrelha;
- a associação de geomembranas e geotêxteis não tecidos permite obter valores de resistências mecânicas (à tracção, ao punçoamento estático e ao rasgamento) próximos dos valores que correspondem à soma das resistências dos componentes da associação quando isolados;
- a rigidez na rotura da associação de geomembranas e geotêxteis não tecidos é maior do que a dos materiais que a compõem.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao FEDER e ao programa PRAXIS XXI o apoio financeiro concedido através do Projecto de Investigação 3 / 3.1 / CEG / 2598 / 95.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lopes, Patrícia e Lopes, M. Lurdes. *Estudo do comportamento mecânico de geotêxteis associados*. Actas do 7º Congresso Nacional de Geotecnia, Vol.II, pp.1097-1107, Porto, 2000.