

# CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO DE SOLDADURAS POR TERMOFUSÃO DE GEOMEMBRANAS EM PEAD: A IMPORTÂNCIA DA TEMPERATURA DE ENSAIO

Acceptance criteria for HDPE geomembranes double wedge seams: the influence of test temperature

Maria da Graça Dias Alfaro Lopes\*

Carla Maria Duarte Silva Costa\*\*

**RESUMO** – A resistência mecânica das soldaduras por termofusão de geomembranas em PEAD é normalmente determinada através de ensaios destrutivos de arranque (peel test) e de corte (shear test). É com base nos resultados destes ensaios que em obra se verifica a conformidade/não conformidade da soldadura relativamente à sua resistência. Neste artigo mostra-se como a temperatura de realização dos ensaios de arranque e de corte influencia os seus resultados e alerta-se para as consequências que pode ter na decisão de rejeição/aceitação das soldaduras.

**SYNOPSIS** – The mechanical strength of HDPE geomembranes double wedge seams is usually determined by destructive tests: peel test and shear test. The seam's conformity/non conformity decision is based on these tests results. In this paper it is shown the influence of the test temperature on the destructive tests results and its consequences on the seam acceptance/rejection decision.

## 1 – INTRODUÇÃO

As geomembranas em polietileno de alta densidade (PEAD) são cada vez mais utilizadas nos sistemas de confinamento de aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo a sua funcionalidade muito dependente do desempenho das geomembranas. A experiência tem demonstrado que, na generalidade, a produção em fábrica das geomembranas é sujeita a um controlo de qualidade rigoroso não constituindo assim uma fonte de problemas, pelo que o desempenho das geomembranas está mais dependente do modo de instalação em obra. É por isso, da máxima importância, um controlo de qualidade *in situ* que inclua não só uma supervisão cuidada das operações de selecção, transporte, armazenamento e colocação em obra, mas também a realização de ensaios para a determinação da estanqueidade e resistência mecânica das soldaduras entre os painéis da geomembrana, dado o número significativo que representam relativamente à quantidade de geomembrana instalada (numa obra que envolva 10 000 m<sup>2</sup> de geomembrana instalada, é normal a existência de mais de 1 500 m de soldaduras).

Nos aterros de RSU, as uniões entre os diferentes painéis de geomembranas de PEAD são, maioritariamente, efectuadas com soldaduras por termofusão duplas, obtidas por aquecimento das

---

\* Professora Coordenadora do ISEL. E-mail: glopes@dec.isel.ipl.pt

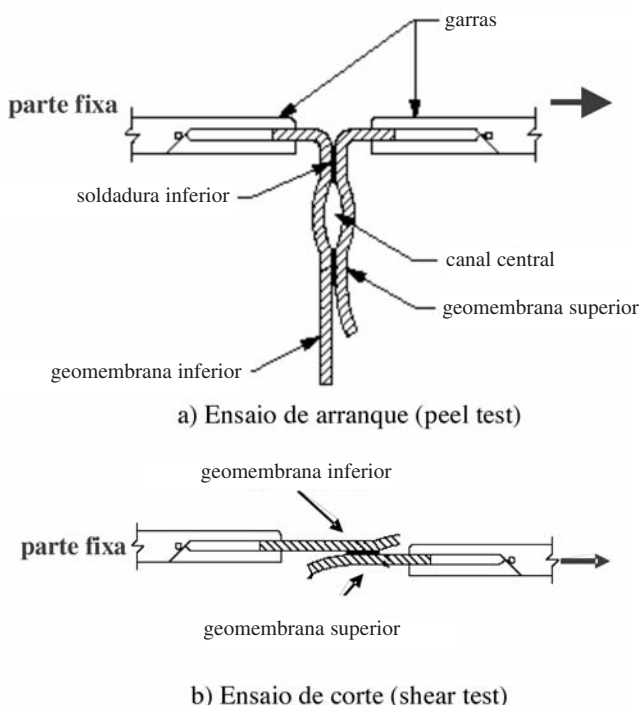
\*\* Professora Coordenadora do ISEL. E-mail: carlacosta@dec.isel.ipl.pt

geomembranas superior e inferior, através de duas cunhas metálicas quentes ou por insuflação de ar quente e auxílio de uma pressão mecânica de rolos compressores, Lopes (2006). Os métodos de controlo de qualidade das soldaduras têm por objectivo avaliar a sua estanqueidade e resistência mecânica. Na avaliação da estanqueidade recorre-se, normalmente, à realização de ensaios não-destrutivos de pressão com ar e na avaliação da sua resistência mecânica recorre-se, normalmente, à realização de ensaios destrutivos de arranque (peel test) e de corte (shear test).

Neste trabalho pretendeu-se mostrar a influência da temperatura nos resultados dos ensaios destrutivos realizados em soldaduras por termofusão duplas e evidenciar as consequências desse facto na decisão da sua aceitação/rejeição. Apresenta-se, ainda, a interpretação dos resultados com base na microestrutura das geomembranas.

## 2 – ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLDADURAS DUPLAS POR TERMOFUSÃO

Os ensaios destrutivos de arranque (peel test) e de corte (shear test) podem ser realizados seguindo a norma ASTM D 4437 (1999), válida para geomembranas reforçadas e não reforçadas e a norma ASTM D 6392 (1999), válida para geomembranas não reforçadas e unidas por termofusão. A norma ASTM D 4437 segue o princípio de realização de ensaio indicado nas normas ASTM D 413 (1998) (método A) ou ASTM D 816 (1982) (método C) para o ensaio de arranque e na norma ASTM D 816 (método B) para o ensaio de corte. O princípio do ensaio consiste em traccionar o provete, retirado na zona da soldadura por termofusão dupla, a uma determinada velocidade (dependendo do tipo de geomembrana), como se representa esquematicamente na Figura 1, respectivamente para os ensaios de arranque e corte.



**Fig. 1** – Esquema da realização dos ensaios de arranque e corte em soldaduras por termofusão duplas.

O ensaio de arranque é usualmente realizado com o objectivo de verificar a adequação da adesão entre as geomembranas superior e inferior. O ensaio de corte é efectuado com o objectivo de verificar se o processo de soldadura afectou a sua resistência mecânica e a durabilidade da geomembrana na zona adjacente à soldadura (Peggs, 1990).

### 3 – CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO/REJEIÇÃO DE SOLDADURAS DUPLAS POR TERMOFUSÃO

Tendo por base os resultados obtidos em ensaios destrutivos, têm sido estabelecidos vários critérios de aceitação/rejeição de soldaduras por termofusão duplas de geomembranas de PEAD, nomeadamente por Haxo et al. (1990), Daniel e Koerner (1995), Peggs (1990) e GRI-GM 19 (2002), apresentados a título de exemplo na Tabela 1.

**Tabela 1** – Critérios de aceitação para soldaduras por termofusão de geomembranas de PEAD.

tipo de soldadura	ensaio	parâmetro	critérios			
			Haxo e Kamp (1990)	Daniel e Koerner (1995)	Peggs (1990)	GRI-GM 19 (2002)
termofusão	corte	eficiência ao corte (*)	>90%	>95%	>95%	>95%
		extensão (**)	>50%	–	>100% (texturada) >500% (lisa)	>50%
	arranque	eficiência ao arranque (*)	>60%	>62%	>80%	>72%
		separação	–	–	<0%	<25%

(\*) relação entre a resistência na zona da soldadura e a resistência na cedência especificada da geomembrana (dois desvios padrão abaixo do valor médio da resistência na cedência)

(\*\*) correspondente à resistência ao corte

Embora não exista consenso sobre o critério que melhor qualifica as soldaduras por termofusão duplas de geomembranas de PEAD em termos de resistência mecânica, é actualmente aceite que as características das soldaduras a curto prazo são obtidas pela determinação da resistência ao arranque e respectiva localização da rotura e pela determinação da resistência ao corte. Na previsão da durabilidade da soldadura e da geomembrana adjacente há necessidade de determinar se existe ou não separação na zona de soldadura, no ensaio de arranque e a extensão correspondente à resistência ao corte. O valor da extensão permite inferir se o processo de soldadura afectou a geomembrana adjacente (se a extensão for baixa a durabilidade poderá estar comprometida). Se existir separação das geomembranas (ainda que parcial) na zona de soldadura, as fissuras induzidas nas superfícies separadas podem implicar uma redução da resistência ao “stress cracking” da geomembrana (Peggs, 1990).

### 4 – TRABALHO EXPERIMENTAL

A resistência mecânica das soldaduras por termofusão duplas de geomembranas de PEAD foi determinada através de ensaios de arranque e de corte, segundo a norma ASTM D 4437, que esta-

belece diversas condições operatórias, nomeadamente a temperatura a que o ensaio se deve realizar ( $23^{\circ}\pm 2^{\circ}$  C). Sendo difícil em obra conseguir garantir a realização destes ensaios à temperatura indicada na norma, este estudo experimental teve como objectivo determinar se a realização dos ensaios a outras temperaturas conduz a resultados com diferenças significativas e, em caso afirmativo, avaliar de que forma pode conduzir à decisão errónea de aceitação/rejeição da soldadura.

### 4.1 – Material e amostras para ensaio

Os ensaios de arranque e de corte realizaram-se em amostras de soldadura por termofusão dupla de uma geomembrana de PEAD, de uso corrente no confinamento basal de aterros de RSU, cujas características estão indicadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Características da geomembrana de PEAD utilizada.

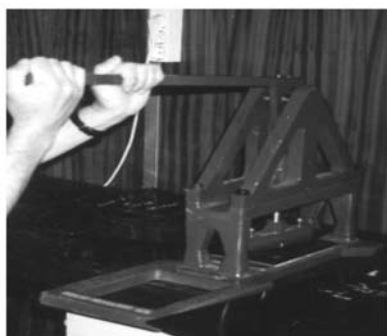
propriedades	norma	valor
espessura	ASTM D 751	2 mm
densidade	ASTM D 792	0,946
resistência à tracção (na rotura)	ASTM D 638	55 N/mm
extensão (na rotura)		700 %
resistência à tracção (na cedência)		34 N/mm
extensão (na cedência)		73%
teor em negro de carbono	ASTM D 1603	2-3 %

Prepararam-se duas amostras da referida geomembrana com uma junta com dupla soldadura por termofusão a meio (Figura 2) para cada temperatura de ensaio, num total de 8 amostras.

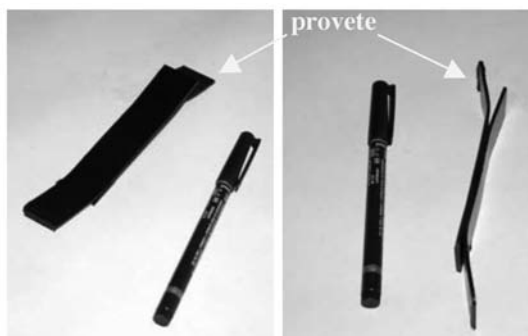


**Fig. 2** – Amostra da geomembrana, com uma dupla soldadura por termofusão, a meio.

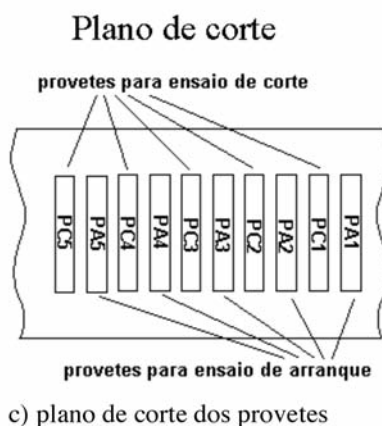
Em cada amostra cortaram-se, na zona da soldadura, dez provetes (cinco para o ensaio de corte e cinco para o ensaio de arranque), recorrendo a uma máquina de corte (Figura 3).



a) máquina de corte dos provetes



b) aspecto dos provetes



**Fig. 3** – Máquina de corte, provetes e plano de corte.

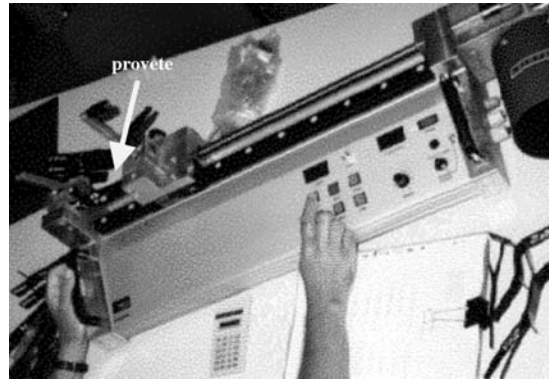
## 4.2 – Metodologia de ensaio

Na realização dos ensaios destrutivos de arranque e de corte (com base na norma ASTM D 4437), utilizou-se um aparelho tipo Examo 300F (Figura 4) e as seguintes condições operatórias:

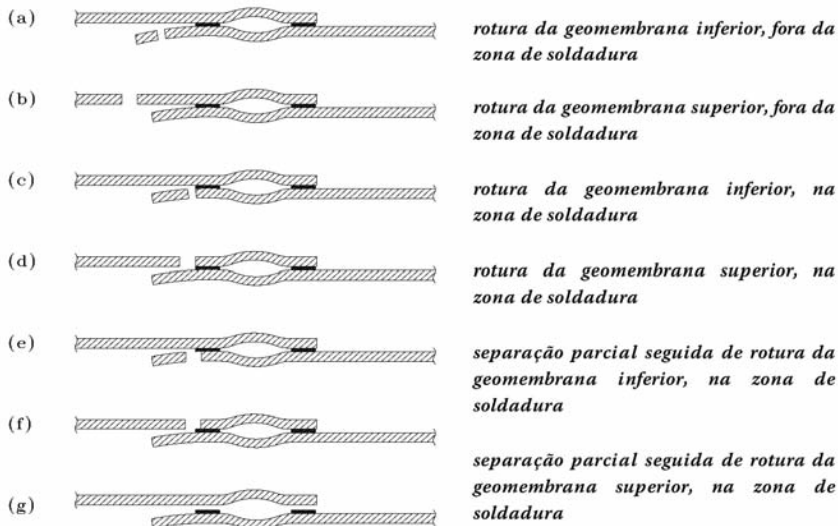
- provetes: retangulares com 25,4 mm de largura e 152,4 mm de comprimento;
- velocidade de deformação: 51 mm/min;
- distância entre garras: 25,4 mm no ensaio de arranque e 101,2 mm no ensaio de corte;
- temperatura: 17, 20, 25, 28° C e 23° C (temperatura normalizada);
- número de provetes/ensaio: 5 no ensaio de arranque e 5 no ensaio de corte;
- número de amostras: 8, duas por cada temperatura ensaiada: 17, 20, 25, 28° C;
- número de provetes por amostra e tipo de ensaio: 3 para a temperatura escolhida e 2 para a temperatura normalizada (23° C).

### - ensaio de arranque

Neste ensaio foi registado o valor da resistência à rotura/unidade de largura de cada provete e indicada a respectiva localização (tipo) de rotura, conforme indicado na Figura 5.



**Fig. 4** – Aparelho para realização dos ensaios de arranque e de corte.



**Fig. 5** – Ensaio de arranque: tipos de rotura (adaptado de USEPA (1988)).

#### - ensaio corte

Neste ensaio foi registado o valor da resistência máxima/unidade de largura para cada provete.

## 5 – RESULTADOS DOS ENSAIOS

Como já foi referido foram ensaiadas duas amostras de geomembrana para cada temperatura de ensaio, num total de oito amostras. Dos cinco provetes usados em cada ensaio três foram ensaiados à temperatura escolhida e dois à temperatura preconizada na norma de ensaio.

Com o objectivo de verificar a influência da temperatura nos resultados dos ensaios de arranque e corte foram comparados os resultados dos ensaios realizados à temperatura de 17, 20, 25 e 28°C, com os resultados obtidos para a temperatura preconizada na norma de ensaio (23°C).

5.1 – Resultados dos ensaios de arranque

Os resultados dos ensaios de arranque realizados a diferentes temperaturas estão apresentados nas Tabelas 3 a 6.

De referir que em nenhum dos 40 provetes submetidos ao ensaio de arranque se verificou separação na zona da soldadura (tipo *e, f* ou *g* da Figura 5), localizando-se a rotura sempre na zona da soldadura (tipo *c* ou *d* da Figura 5).

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de arranque (temperatura = 28/23°C).

Tipo de ensaio	Amostra nº	Proвете nº	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência à rotura (kN/m)	Tipo de rotura (*)
Ensaio de arranque	1	1	28	31,5	d
		2		30,7	d
		3		31,5	d
		4	23 (temp. normalizada)	32,3	d
		5		32,7	d
	2	1	28	28,3	c
		2		28,3	c
		3		27,2	c
		4	23 (temp. normalizada)	29,9	c
		5		28,7	c

(\*) ver figura 5

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de arranque (temperatura = 25/23°C).

Tipo de ensaio	Amostra nº	Proвете nº	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência à rotura (kN/m)	Tipo de rotura (*)
Ensaio de arranque	3	1	25	31,9	d
		2		32,3	d
		3		32,7	d
		4	23 (temp. normalizada)	32,7	d
		5		29,1	d
	4	1	25	32,3	c
		2		31,9	c
		3		32,7	c
		4	23 (temp. normalizada)	30,7	c
		5		31,9	c

(\*) ver figura 5

**Tabela 5** – Resultados dos ensaios de arranque (temperatura = 20/23°C).

Tipo de ensaio	Amostra n°	Provete n°	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência à rotura (kN/m)	Tipo de rotura (*)
Ensaio de arranque	5	1	20	35,0	c
		2		35,0	c
		3		35,0	c
		4	23 (temp. normalizada)	34,6	c
		5		34,3	c
	6	1	20	35,0	d
		2		34,3	d
		3		33,9	d
		4	23 (temp. normalizada)	33,1	d
		5		33,1	d

(\*) ver figura 5

**Tabela 6** – Resultados dos ensaios de arranque (temperatura = 17/23°C).

Tipo de ensaio	Amostra n°	Provete n°	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência à rotura (kN/m)	Tipo de rotura (*)
Ensaio de arranque	7	1	17	35,0	c
		2		35,0	c
		3		35,0	c
		4	23 (temp. normalizada)	34,6	c
		5		34,6	c
	8	1	17	35,0	c
		2		35,0	c
		3		35,4	c
		4	23 (temp. normalizada)	32,7	c
		5		32,7	c

(\*) ver figura 5



## 5.2 – Resultados dos ensaios de corte

Os resultados dos ensaios de corte realizados a diferentes temperaturas estão apresentados nas Tabelas 7 a 10.

**Tabela 7** – Resultados dos ensaios de corte (temperatura = 28/23° C).

Tipo de ensaio	Amostra nº	Provete nº	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência máxima (kN/m)
Ensaio de corte	1	1	28	35,8
		2		35,0
		3		35,0
		4	23 (temp. normalizada)	35,8
		5		35,8
	2	1	28	35,0
		2		35,0
		3		35,0
		4	23 (temp. normalizada)	35,4
		5		35,4

**Tabela 8** – Resultados dos ensaios de corte (temperatura = 25/23°C).

Tipo de ensaio	Amostra nº	Provete nº	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência máxima (kN/m)
Ensaio de corte	3	1	25	37,4
		2		37,0
		3		37,0
		4	23 (temp. normalizada)	36,6
		5		36,6
	4	1	25	37,0
		2		37,4
		3		37,4
		4	23 (temp. normalizada)	37,0
		5		37,0

**Tabela 9** – Resultados dos ensaios de corte (temperatura = 20/23° C).

Tipo de ensaio	Amostra n°	Provete n°	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência máxima (kN/m)
Ensaio de corte	5	1	20	39,4
		2		39,4
		3		39,0
		4	23 (temp. normalizada)	38,6
		5		38,2
	6	1	20	39,4
		2		38,6
		3		38,2
		4	23 (temp. normalizada)	38,6
		5		38,6

**Tabela 10** – Resultados dos ensaios de corte (temperatura = 17/23° C).

Tipo de ensaio	Amostra n°	Provete n°	Temperatura de ensaio (°C)	Resistência máxima (kN/m)
Ensaio de corte	7	1	17	40,6
		2		40,6
		3		40,2
		4	23 (temp. normalizada)	39,4
		5		39,4
	8	1	17	40,6
		2		40,2
		3		40,2
		4	23 (temp. normalizada)	39,0
		5		39,0

## 6 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Figura 6 mostra-se a variação da resistência à rotura com a temperatura, obtida em ensaios de arranque.

Na Figura 7 mostra-se a variação da resistência máxima com a temperatura, obtida em ensaios de corte.

Da análise das Figuras 6 e 7, verifica-se que, de uma forma geral, tanto nos ensaios de arranque como nos ensaios de corte, quando a temperatura de ensaio é superior à preconizada pela norma

(23°C) os valores da resistência são inferiores aos que se obtêm quando se realiza o ensaio à temperatura de 23°C. Pelo contrário, quando a temperatura de ensaio é inferior à preconizada pela norma (23°C) os valores da resistência são superiores aos que se obtêm quando se realiza o ensaio à temperatura de 23°C.

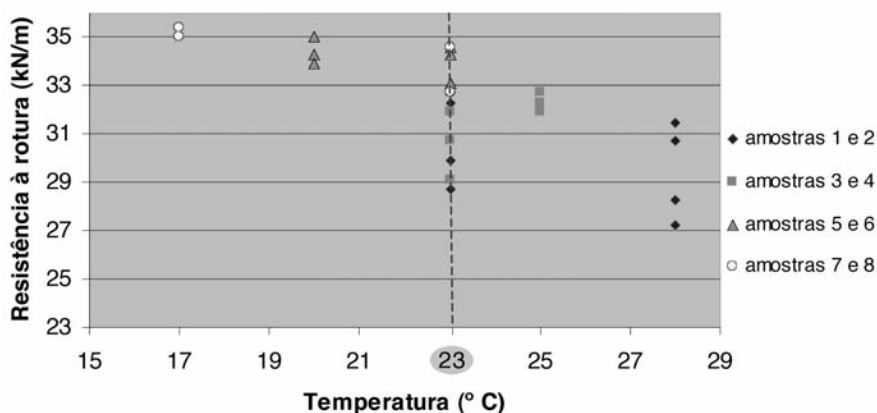


Fig. 6 – Ensaio de arranque: variação da resistência à rotura com a temperatura.

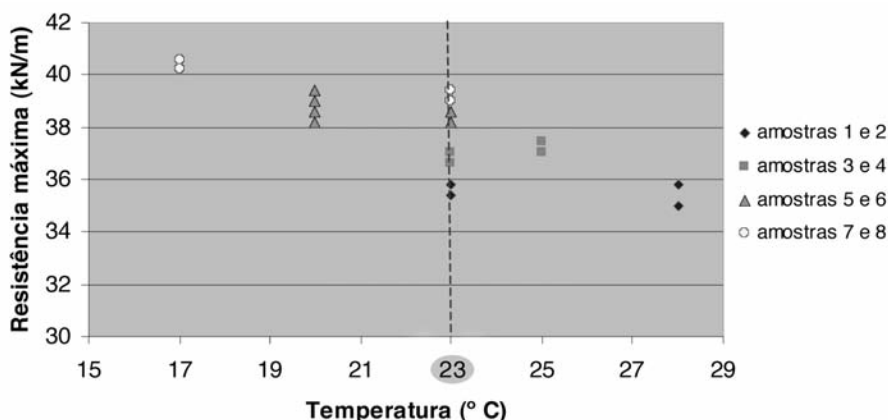
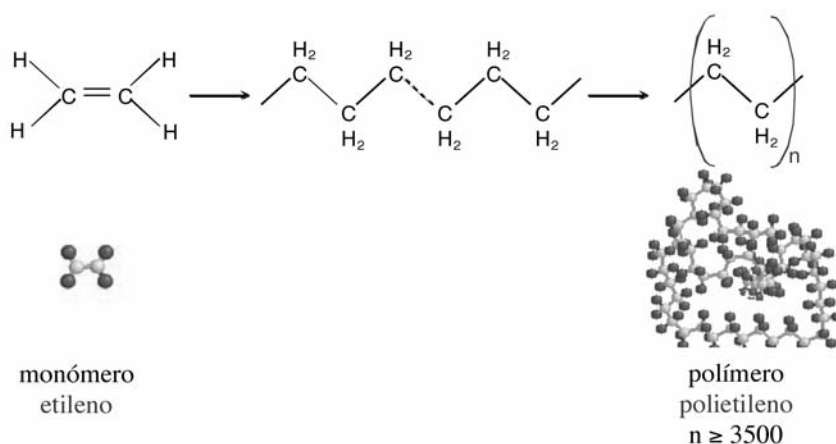


Fig. 7 – Ensaio de corte: variação da resistência máxima com a temperatura.

### 6.1 – Interpretação dos resultados com base na microestrutura das geomembranas

As geomembranas em estudo são constituídas pelo polímero de polietileno. Este polímero consiste, quimicamente, em muitas pequenas unidades químicas de base, o monómero de etileno, ligadas covalentemente entre si formando macromoléculas (Figura 8).

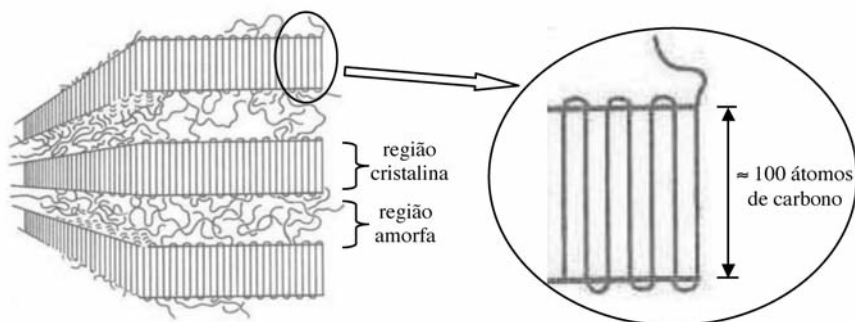
Os monómeros de etileno são bifuncionais porque dispõem de duas funções activas para se ligarem uns aos outros, dando origem a cadeias moleculares principais, lineares ou ramificadas, muito longas, produzindo-se um material termoplástico. À escala atómica, um pequeno segmento de uma cadeia molecular de polietileno é tri-dimensional, apresentando uma configuração em ziguezague, porque o ângulo entre as ligações covalentes carbono-carbono é de cerca de 109°. As



**Fig. 8** – Estrutura do polímero do polietileno (n – grau de polimerização i.e. número médio de monómeros da cadeia molecular do polímero).

ligações entre as longas cadeias moleculares são ligações secundárias fracas o que permite que estas se movam umas em relação às outras.

O PEAD é, essencialmente, constituído por cadeias poliméricas lineares sem muitas ramificações, pelo que têm mais tendência a empilhar-se e a disporem-se paralelamente originando um sistema compacto (por isso tem uma densidade elevada) e com regiões que apresentam uma estrutura regular i.e. cristalina. No entanto, não se obtém cristalização completa devido à grande dimensão das cadeias moleculares que conduz a fenómenos de enrolamento, dobragem e entrelaçamento e originam regiões amorfas de estrutura aleatória, pelo que a estrutura do PEAD é semi-cristalina. O modo exacto como se organizam as moléculas de um polímero permanece sem estar completamente esclarecido pelo que, no seu estudo, tem-se recorrido a diversos modelos nomeadamente, ao *modelo das cadeias dobradas*. De acordo com este modelo, o polietileno cristaliza numa estrutura em cadeias dobradas sobre si próprias (Figura 9) que se designa por lamela. Frequentemente, as lamelas dispõem-se em várias camadas separadas por material amorfo. O grau de cristalinidade do PEAD pode variar de 40 a 50% (Reddy e Butul, 1999) do volume total, afectando grandemente a sua resistência mecânica. Para graus de polimerização idênticos, verifica-se um aumento da resistência mecânica do material para um maior grau de cristalinidade, que advém de um empilhamento mais compacto das cadeias poliméricas e correspondentes forças de ligação intermoleculares mais fortes.



**Fig. 9** – Representação da estrutura semi-cristalina do PEAD de acordo com o modelo das cadeias dobradas (adaptado de Callister, 1997).

Os mecanismos moleculares subjacentes à união das geomembranas por termofusão devem-se ao fornecimento de calor que conduz a movimentos internos (de vibração, alongamento, rotação, translação ou outros) do polímero para absorver a energia que está a receber. Estes movimentos internos permitem que as cadeias poliméricas se desenrolem e se afastem conduzindo a um enfraquecimento das ligações secundárias entre as cadeias moleculares do polímero. A extensão dos movimentos internos é detectável pelo aumento da temperatura do polímero. As partes das geomembranas que se pretendem unir por termofusão, são aquecidas e pressionadas uma contra a outra, de forma a permitir que as cadeias poliméricas escorreguem umas sobre as outras. A posterior diminuição da temperatura, conduz, novamente, à sua solidificação acompanhada da formação de novas ligações secundárias não devendo, no entanto, ocorrer alteração significativa da estrutura molecular e das propriedades do polímero.

A interpretação dos resultados dos testes efectuados neste trabalho, em termos da microestrutura das geomembranas, tem subjacente os princípios descritos anteriormente. A temperatura mais elevada, as forças de ligação secundárias entre as cadeias poliméricas são mais fracas e a estrutura do polímero menos cristalina, o que facilita o movimento relativo das cadeias poliméricas e conduz à diminuição da sua resistência mecânica, de acordo com os resultados obtidos e representados na Figura 6 e na Figura 7.

## 6.2 – Implicações dos resultados obtidos na decisão de aceitação/rejeição de soldaduras

Antes de analisar se os resultados obtidos em ensaios realizados a temperaturas diferentes da preconizada pela norma de ensaio podem induzir a uma decisão errada de aceitação da soldadura, torna-se necessário decidir qual o critério de aceitação/rejeição a adoptar, pois como já se referiu, até ao momento não existe consenso.

Adoptou-se o critério utilizado na maioria dos aterros de RSU construídos no nosso país. Este critério estabelece, de acordo com as recomendações do NSF (1983) e GRI-GM19 (2002), que se considere, para geomembranas de PEAD com 2 mm de espessura unidas por termofusão, o valor mínimo de 23 kN/m para a resistência à rotura determinada no ensaio de arranque. Quanto ao tipo de rotura (Figura 5), segundo as recomendações de Haxo (1989), consideraram-se aceitáveis as dos tipos “a”, “b”, “c”, e “d” e, ainda, as roturas do tipos “e” e “f” desde que a separação na zona de soldadura seja inferior a 10%. São rejeitadas as soldaduras com roturas dos tipos “e” e “f” cuja separação seja superior a 10% e roturas do tipo “g”.

No que diz respeito à resistência máxima obtida em ensaios de corte, e seguindo as recomendações do NSF (1983) e GRI-GM19 (2002), o critério adoptado estabelece um valor mínimo de 30 kN/m para geomembranas de PEAD com 2 mm de espessura, como a ensaiada.

Com base nestes critérios verifica-se que, para todos os provetes e temperaturas ensaiadas, os valores dos resultados obtidos, tanto nos ensaios de arranque (Figura 6) como nos ensaios de corte (Figura 7) são significativamente superiores aos valores mínimos estabelecidos (23 kN/m e 30 kN/m respectivamente), não comprometendo assim a decisão de aceitação daquelas soldaduras. Veja-se agora o que pode acontecer no caso dos valores obtidos num ensaio de arranque serem inferiores aos apresentados na figura 6 em cerca de 6 kN/m, ainda que superiores ao mínimo recomendado (para a temperatura indicada na norma de ensaio), como se exemplifica na Figura 10.

Se *in situ* os ensaios fossem realizados à temperatura de 28°C, como dois dos resultados da resistência à rotura obtidos a esta temperatura são inferiores ao valor mínimo admitido pelo critério adoptado (23 kN/m), decidir-se-ia pela rejeição da soldadura, o que seria incorrecto, pois à tempe-

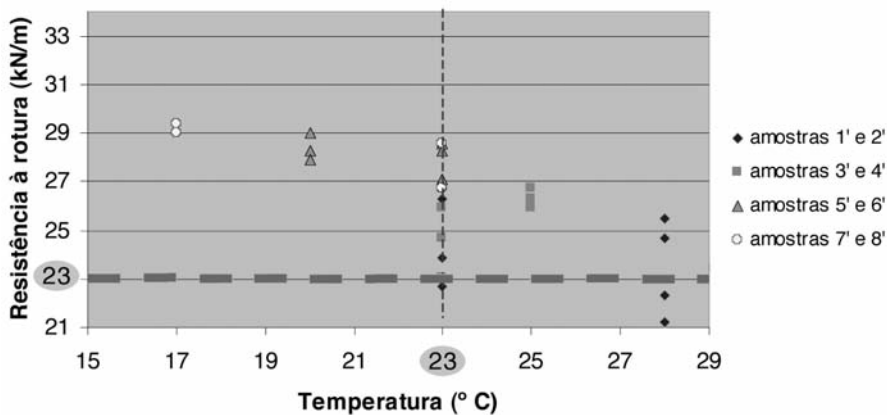


Fig. 10 – Ensaio de arranque: variação da resistência à rotura com a temperatura.

ratura preconizada pela norma (23°C) os valores obtidos são superiores ao mínimo recomendado. Seguindo o mesmo raciocínio, veja-se agora o que pode acontecer no caso dos valores obtidos num ensaio de arranque serem inferiores aos ensaiados em cerca de 11 kN/m, resultando à temperatura indicada pela norma, valores quase todos inferiores ao mínimo recomendado, como se exemplifica na Figura 11.

Se *in situ* os ensaios fossem realizados à temperatura de 17°C, como os resultados da resistência à rotura obtidos são superiores ao valor mínimo admitido pelo critério adoptado (23 kN/m), decidir-se-ia pela aceitação da soldadura, o que seria incorrecto pois à temperatura preconizada pela norma (23°C) obtêm-se valores inferiores ao mínimo recomendado.

Com base nos resultados apresentados, e dado que a maioria dos critérios de aceitação/rejeição se baseiam entre outros parâmetros na resistência à rotura (ensaio de arranque) e resistência máxima (ensaio de corte), será aconselhável que a temperatura de realização dos ensaios *in situ* tenha um valor próximo do preconizado na norma de ensaio ou, em alternativa, que seja obtido em laboratório o valor de resistência mínima aceitável correspondente à temperatura para a qual se vão realizar os ensaios.

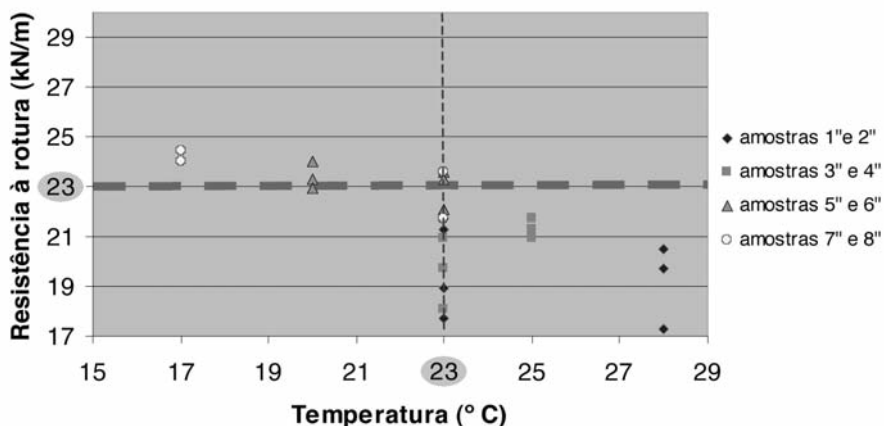


Fig. 11 – Ensaio de arranque: variação da resistência à rotura com a temperatura.

## 7 – CONCLUSÕES

Com este estudo experimental pretendeu-se mostrar que a temperatura de realização dos ensaios de arranque e de corte, em geomembranas de PEAD unidas por soldadura de termofusão dupla, afecta os resultados obtendo-se valores de resistência superiores quando o ensaio é realizado a temperaturas inferiores à preconizada pela norma de ensaio e valores de resistência inferiores quando o ensaio é realizado a temperaturas superiores à preconizada pela norma de ensaio. Para além da interpretação deste fenómeno com base na microestrutura das geomembranas, pretendeu-se alertar para as consequências que a realização de ensaios in situ a temperaturas diferentes da preconizada pela norma pode ter, na decisão errónea de aceitação/rejeição das soldaduras.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 413 (1998) – “Standard Test Methods for Rubber Property—Adhesion to Flexible Substrate”. (re-aprovada em 2002).
- ASTM D 816 (1982) – “Standard Test Methods for Rubber Cements” (re-aprovada em 2001).
- ASTM D 4437 (1999) – “Standard practice for determining the integrity of field seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes”.
- ASTM D 6392 (1999) – “Standard test method for determining the integrity of nonreinforced geomembrane seams produced using thermo-fusion methods”.
- Callister Jr, W. D. (1997) – “Materials Science and Engineering. An introduction.”, 4th Ed., John Wiley & Sons, pp.459.
- Daniel, D. E., Koerner, R. M. (1995) – “Waste containment facilities. Guidance for construction, quality assurance and quality control of liner and cover systems”, ASCE Press, New York.
- GRI-GM19 (2002) – “Standard Specification for Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes” (revista em 2003).
- Haxo, H. (1989) – “Destructive Testing”. Seminar on the seaming of geosynthetics, Geosynthetic Research Institute, Philadelphia, December 14 – 15.
- Haxo, H., Kamp, L. (1990) – “Destructive Testing of Geomembranes Seams: Shear and Peel Testing of Seam Strength”, *Geotextiles and Geomembranes*, nº9, pp.369-404.
- Lopes, M.G. (2006) – “A experiência de colocação de geomembranas de PEAD em aterros de RSU”, *Revista Geotecnia*, nº 106, pp. 55-74.
- National Sanitation Foundation (1983) – “International Standard 54: Flexible membrane liners”, Ann. Arbor, Michigan, USA (revisto em 1985 e 1993).
- Peggs, I. D. (1990) – “Destructive Testing of Polyethylene Geomembrane Seams: Various Methods to Evaluate Seams Strength”, *Geotextile and Geomembranes*, nº9, pp.405-414.
- Reddy, D. V., Butul, D. (1999) – “A Comprehensive Literature Review of Liner Failures and Longevity”, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, University of Florida, pp. 2.
- USEPA (1988) – “EPA/600/2-88/052”, Lining of waste containment and other impoundment facilities, Washington, D. C.