

# A EXPERIÊNCIA DE COLOCAÇÃO DE GEOMEMBRANAS DE PEAD EM ATERROS DE RSU

Lessons learned with the experience of HDPE geomembranes application in MSW landfills

Maria da Graça Alfaro Lopes\*

**RESUMO** – Em Portugal, nos últimos 10 anos, houve uma grande mudança na política de gestão de resíduos, tendo-se encerrado as lixeiras existentes e construído em sua substituição cerca de 40 aterros de RSU. Numa altura em que os primeiros destes aterros começam a atingir o limite da sua vida útil, sendo por isso necessário iniciar uma nova fase de construções deste tipo de infra-estruturas e dada a importância que o desempenho das geomembranas tem na eficácia do funcionamento dos sistemas de confinamento dos aterros de RSU, considerou-se importante retirar alguns ensinamentos para o futuro sobre a experiência de colocação de geomembranas na base e taludes de mais de uma dezena de aterros de RSU do nosso país, nomeadamente no que respeita aos materiais utilizados, às técnicas empregues e aos problemas encontrados.

**ABSTRACT** – During the last ten years a significant effort has been made to change the waste management policy in Portugal. In particular, all open dumps were closed and replaced by about 38 MSW landfills which have been built. Currently, as the first of these landfills are reaching the limit of their service life it is necessary to begin a new building phase of this type of infrastructures. Given the important role of geomembranes in the MSW landfills bottom liner system performance, it has been considered important to present the lessons learned with the experience of geomembranes placement in more than ten Portuguese MSW landfills, namely in relation to the used materials, the employed techniques and the perceived problems.

## 1 – INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos e, nomeadamente, dos resíduos sólidos urbanos (RSU), teve um grande impulso e desenvolvimento a partir da aprovação, em Novembro de 1996, do Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), que apresentava como grandes linhas de acção, o encerramento das cerca de 300 lixeiras existentes e a sua substituição por infra-estruturas adequadas de confinamento em aterro. Assim passou-se de 13 novos aterros de RSU em 1996, para 18 em 1997, 28 em 1998, 32 em 1999, 34 em 2000 e 38 em 2001. Numa altura em que os primeiros destes aterros começam a atingir o limite da sua vida útil, sendo por isso necessário iniciar uma nova fase de construções deste tipo de infra-estruturas e, dada a importância que o desempenho das geomembranas tem na eficácia do funcionamento dos sistemas de confinamento dos aterros de RSU, considerou-se importante apresentar os ensinamentos sobre a experiência de colocação de geomembranas em mais de uma dezena de aterros de RSU no nosso país.

Assim, com este trabalho, pretende-se, por um lado, apresentar os materiais, as técnicas utilizadas e os problemas encontrados durante a colocação de geomembranas na base e taludes dos aterros de RSU e, por outro lado, retirar alguns ensinamentos para o futuro.

---

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

## 2 – AS GEOMEMBRANAS NOS ATERROS DE RSU

Num aterro de RSU, as geomembranas podem ser utilizadas no sistema de confinamento basal e dos taludes, com a função de minimizar a fuga de lixiviados e, no sistema de cobertura, com as funções de controlar a infiltração das águas superficiais (e consequentemente a produção de lixiviado) e de evitar a migração não controlada do biogás.

Para além de terem de cumprir as funções indicadas, as geomembranas têm ainda de resistir a agressões químicas e biológicas por parte dos resíduos, lixiviados e biogás, a agressões mecânicas durante a construção (tráfego de obra, colocação de camadas sobrejacentes) e exploração (peso dos resíduos, assentamentos da cobertura ou fundação) e ainda ao efeito da exposição aos raios solares, entre outros. Na Tabela 1 resume-se as solicitações a que as geomembranas podem estar sujeitas quando utilizadas nos sistemas de confinamento basal, dos taludes e de cobertura de aterros de RSU.

**Tabela 1** – Solicitações das geomembranas nos dispositivos de confinamento basal, dos taludes e de cobertura de aterros de RSU (CFGG (1994)).

Tipo de solicitação	Base	Taludes	Cobertura	
			Inclinação < 5%	Inclinação > 5%
<b>Química/biológica</b>	XXX	XX	XX	XX
Mecânica:				
assentamentos	X	X	–	–
{ a curto prazo	XX	XX	XXX	XX
{ a longo prazo				
deslizamentos	X	XXX	–	XX
punçoamentos	XXX	XXX	–	–
{ a curto prazo	XXX	XX	XX	XX
{ a longo prazo				
peso dos resíduos	XX	XX	–	–
<b>Carga hidráulica</b>	XX	–	–	–
<b>Gelo/degelo</b>	X	XX	XX	XX
<b>Ultra-violetas (UV)</b>	X	XX	X	X
<b>Vandalismo/roedores</b>	X	X	XX	XX
<b>Vegetação</b>	–	–	XX	XX

Curto prazo < 6 meses; longo prazo > 6 meses.

X=baixa; XX=média; XXX=alta.

## 3 – A SELECÇÃO DO TIPO DE GEOMEMBRANA

Como foi referido, nos aterros de RSU as geomembranas têm não só de garantir uma baixa permeabilidade a longo prazo, mas também apropriadas resistências química, biológica, mecânica e ao atrito. Pelo exposto e tendo em consideração as vantagens e desvantagens das geomembranas mais comuns apresentadas na Tabela 2, no confinamento basal dos aterros de RSU é usual dar-se preferência à utilização de geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD), pela sua resistência química, mecânica, durabilidade e por permitirem soldaduras resistentes do ponto de vista mecânico e hidráulico. Estas geomembranas, embora rígidas, têm boas propriedades físicas e con-

seguem suportar as tensões elevadas muitas vezes impostas durante a construção do aterro. Na cobertura é usual a preferência por geomembranas de polietileno de baixa densidade (PEBD) por terem muitas das propriedades das geomembranas de PEAD, mas serem mais flexíveis e assim poderem acompanhar mais facilmente os assentamentos dos resíduos, com menos perigo de punçoamento.

**Tabela 2** – Vantagens e desvantagens das geomembranas mais comuns  
(adaptado de Bagchi (1994) e McBean (1995)).

Propriedade	Tipo de geomembrana			
	PEAD*	PEBD*	CSPE**	PVC**
Resistência a alta temperatura	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↓
Resistência a baixa temperatura	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↓
Resistência biológica	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	?
Resistência química	↑↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Resistência aos ultra – violetas (UV)	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↓
Resistência máxima à tracção	↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑
Resistência ao punçoamento	↑ a ↑↑	↑ a ↑↑	↑ a ↑↑	↑↑
Resistência ao atrito	↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Facilidade de colocação	↑	↑↑	↑↑	↑↑↑
Facilidade de realizar as soldaduras	↑	↑	↑↑	↑↑
Custo	moderado	moderado	alto	baixo

\* **PEAD** – polietileno de alta densidade; **PEBD** – polietileno de baixa densidade.

\*\* **CSPE** – polietileno clorosulfonado; **PVC** – policloreto de vinilo.

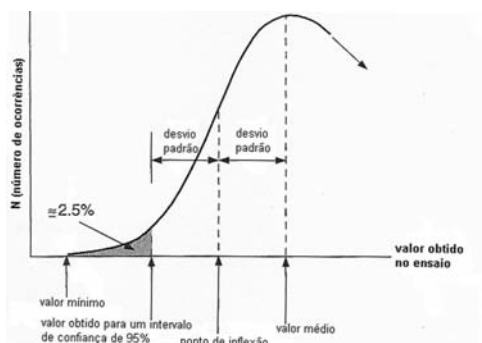
↓ = má; ↑ = baixa; ↑↑↑ = alta, ? = não referida.

Após o dimensionamento da geomembrana e definição das suas características relevantes, tendo em consideração as solicitações a que irá estar sujeita, é necessário escolher, entre os produtos propostos pelos diferentes fabricantes, aquele que melhor cumpre as especificações de projecto. Os fabricantes costumam fornecer fichas técnicas dos seus produtos, onde indicam os valores das propriedades consideradas importantes para as funções que esses produtos desempenham em diversas aplicações. A escolha de uma geomembrana passa assim pela comparação dos valores das propriedades indicadas nas fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes com os valores das propriedades indicadas nas especificações de projecto. Esta tarefa tem sido dificultada pelo facto das normas de ensaio utilizadas pelos fabricantes nem sempre serem equivalentes às especificadas no projecto, pois para as geomembranas ainda não existem normas harmonizadas (europeias) para a caracterização de todas as suas propriedades, conforme se mostra na Tabela 3.

A comparação entre os valores indicados para as propriedades nas especificações de projecto e nas fichas técnicas deve ser efectuada com prudência, por normalmente os valores referidos nas especificações de projecto serem os valores máximos (ou mínimos) das propriedades, e nas fichas técnicas dos fabricantes serem apresentados normalmente os valores médios, consideravelmente diferentes dos anteriores como se exemplifica na Figura 1.

**Tabela 3** – Propriedades das geomembranas e respectivas normas de ensaios.

Propriedade		Tipo de geomembrana		
		mais comuns	ISO	EN
Massa surfática		ASTM D 1910	ISO 9864	prEN 1849-2
Massa volúmica		ASTM D 792 ASTM D 1505 DIN 53479	ISO 1183	–
Espessura		ASTM D 5199 DIN 53353	ISO 9863	prEN 1849-2
Resistência à tracção	na cedência	ASTM D 638 ASTM D 6693 ASTM D 4885 DIN 53255 PK4	ISO 527	prEN 12311-2
	na rotura			
Extensão	na cedência			
	na rotura			
Resistência ao punçoamento (estático)		ASTM D 4833 FTMS 101, m. 2065 DIN 43507	ISO 12236	EN ISO 12236
Resistência ao rasgamento		ASTM D 1004 DIN 5315	ISO 13434	–
Resistência aos lixiviados		–	–	EN 14415
Resistência à penetração de raízes		–	–	prEN 14416
Resistência à oxidação (envelhecimento térmico)		ASTM D 5885 ASTM D 3895	ISO 13438	prEN 14575
Resistência ao “stress cracking”, por exposição atmosférica		ASTM D 1693 ASTM D 5397 ASTM D 2552	ISO 6252	prEN 14576
Teor em negro de carbono		ASTM D 1603 ASTM D 4218	ISO 11358 ISO 06964	–
Dispersão em negro de carbono		ASTM D 3015 ASTM D 5596	ISO 11420	–



**Fig. 1** – Diferença entre os valores médios e mínimos das propriedades (Koerner (1998)).

Nas primeiras aplicações de geomembranas em aterros de RSU a grande preocupação era a sua durabilidade e a sua compatibilidade química com os resíduos e lixiviados. Hoje em dia é já aceite que a durabilidade da geomembrana não é uma preocupação para o tempo de vida útil da obra (Hsuan & Koerner (1998) e Rowe & Sangam (2002)). Agora e ainda, a grande preocupação, que pode por em causa o comportamento a longo prazo da geomembrana, é a qualidade da sua colocação em obra.

## 4 – A COLOCAÇÃO DA GEOMEMBRANA

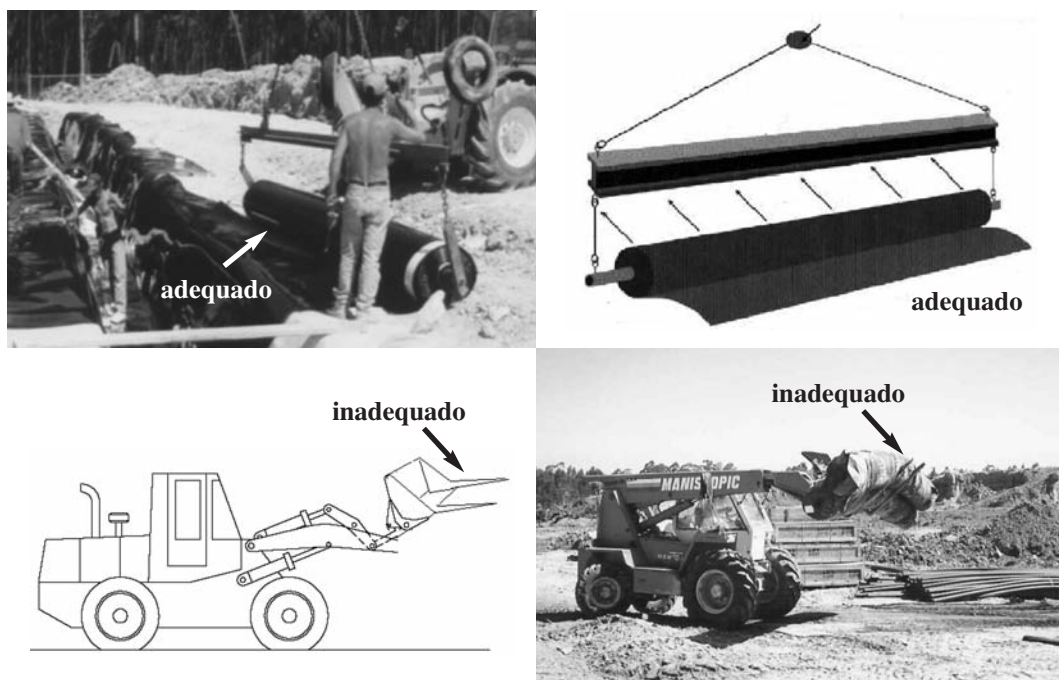
### 4.1 – Acções prévias

Antes da colocação dos painéis de geomembrana há um conjunto de acções prévias a desenvolver, por um lado, relativamente à recepção e transporte das geomembranas e, por outro, relativamente à preparação das superfícies de apoio e valas de ancoragem.

#### 4.1.1 – Recepção, transporte e armazenamento de geomembranas

Quando os rolos de geomembrana são descarregados deve-se verificar se não sofreram danos durante o transporte até à obra, rejeitando os que apresentarem danos graves ou suprimindo nos rolos as espiras necessárias até eliminar o(s) defeito(s). Seguidamente deve-se comprovar que o produto recebido cumpre as especificações de projecto, através da análise de certificados de controlo de qualidade (dentro da validade) ou/e realização de ensaios de conformidade.

O equipamento para transporte em obra deve ser o adequado, para que não se verifiquem quaisquer danos nos rolos de geomembrana (Figura 2) e zelar para que o manuseamento pelo pessoal do instalador se faça com os devidos cuidados (não deve ser permitido arrastar, deslizar ou empurrar os rolos).



**Fig. 2** – Exemplo de transporte adequado e inadequado.

O armazenamento das geomembranas deve ser o adequado para evitar, por exemplo, sujidade, danos mecânicos, vandalismo, passagem de veículos, etc. O empilhamento de rolos de geomembranas de PEAD pode ser permitido desde que não implique a rotura do núcleo do rolo (normalmente o limite é de quatro rolos). A superfície sobre a qual podem ser colocados os rolos deve ser minimamente preparada para que pedras ou objectos contundentes não danifiquem a geomembrana e também para esta não permanecer permanentemente molhada (Figura 3).



**Fig. 3** – Exemplo de armazenamento temporário adequado e inadequado.

#### **4.1.2 – Preparação da superfície de apoio**

Para além da verificação da conformidade dos alinhamentos, inclinações e compactação da camada de solo subjacente à geomembrana, é muito importante que imediatamente antes da colocação dos painéis de geomembrana se efectue uma inspecção cuidada que inclua a verificação da inexistência de: materiais contundentes (pedras, raízes, resíduos, etc.), mudanças abruptas de inclinação, zonas “moles”, fendilhação (por dissecação, erosão, etc.) (Figura 4) e deteriorações devidas ao trânsito local. No caso de se detectarem anomalias deve e providenciar-se as reparações julgadas necessárias.



**Fig. 4** – Estado da superfície do talude devido à exposição aos agentes atmosféricos.



Na Figura 5 mostra-se uma rotura por punçoamento detectada na geomembrana devido à existência de um osso (resíduo transportado por um pássaro) não removido da superfície do solo, antes da colocação do geossintético bentonítico (subjacente à geomembrana).

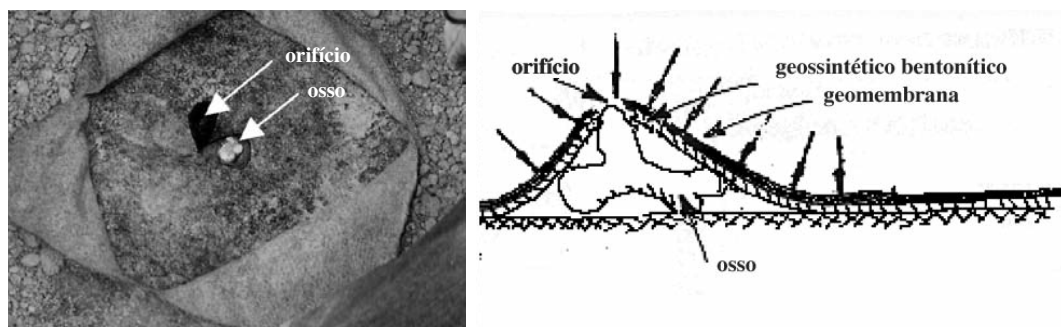


Fig. 5 – Rotura por punçoamento da geomembrana (Lopes & Lopes (2002)).

#### 4.1.3 – Vala de ancoragem

A vala de ancoragem, que tem de ser realizada antes da colocação da geomembrana, deve ser construída de acordo com as dimensões e localização especificadas em projecto, recomendando-se no entanto as dimensões mínimas indicadas na Figura 6b (Recomendações IGS Brasil IGSBR IGMT 01 (2003)). A vala deve ser arredondada nos cantos, para evitar danos na geomembrana, não deverá haver solo solto entre a vala (Figura 6a) e a geomembrana e o material de enchimento deve ter a forma e as dimensões que não causem danos à geomembrana (Figura 6c).

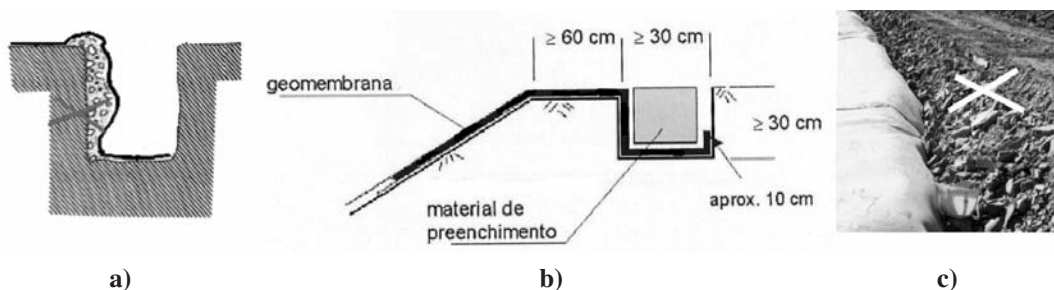
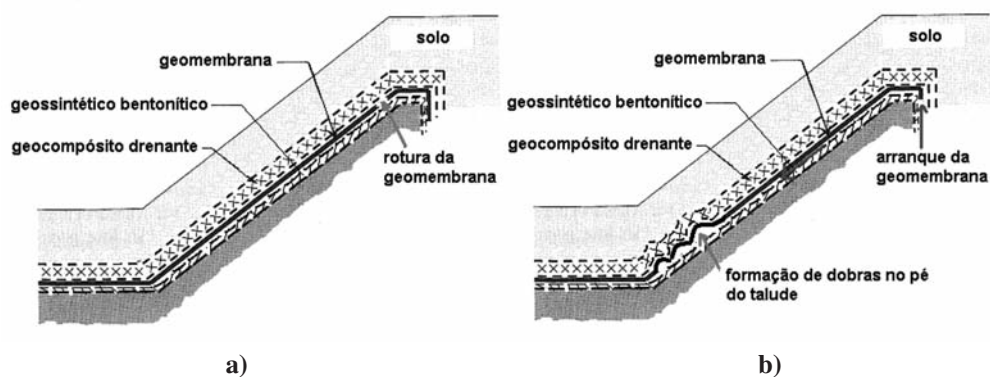


Fig. 6 – Vala de ancoragem: valores mínimos e incorrecções.

Devido à utilização de vários geossintéticos na constituição do sistema de confinamento, e atendendo aos baixos valores de resistência ao corte entre eles (Tabela 4), o dimensionamento da vala de ancoragem deve ser efectuado de forma a evitar problemas de rotura ou arranque da geomembrana na zona de ancoragem (Figura 7), sobretudo quando se recorre a alturas e inclinações elevadas dos taludes de escavação, com o objectivo de aumentar a capacidade de armazenamento de resíduos. Contudo, e ainda que o dimensionamento esteja correcto, sucede com alguma frequência o escorregamento da geomembrana durante a construção e a subsequente formação de dobras no pé do talude (Figura 8) por insuficiente carregamento provisório da geomembrana no interior da vala de ancoragem, que é normalmente efectuado quer com sacos de areia, quer com solo, como se mostra na Figura 9.

**Tabela 4** – Valores típicos dos ângulos de atrito entre geossintéticos  
(Bouzza et al (2002) e Sharma & Lewis (1994)).

Atrito entre geossintéticos	Geomembrana HDPE (lisa)	Geomembrana HDPE (rugosa)	Georrede
Geotêxtil tecido	7°-11°	9°-17°	9°-18°
Geotêxtil não tecido agulhado	8°-12°	15°-33°	10°-27°
Geotêxtil não tecido termoligado	9°-11°	15°-16°	17°-21°
Georrede	5°-19°	7°-25°	–
Geossintético bentonítico	8°-16°	15°-25°	–

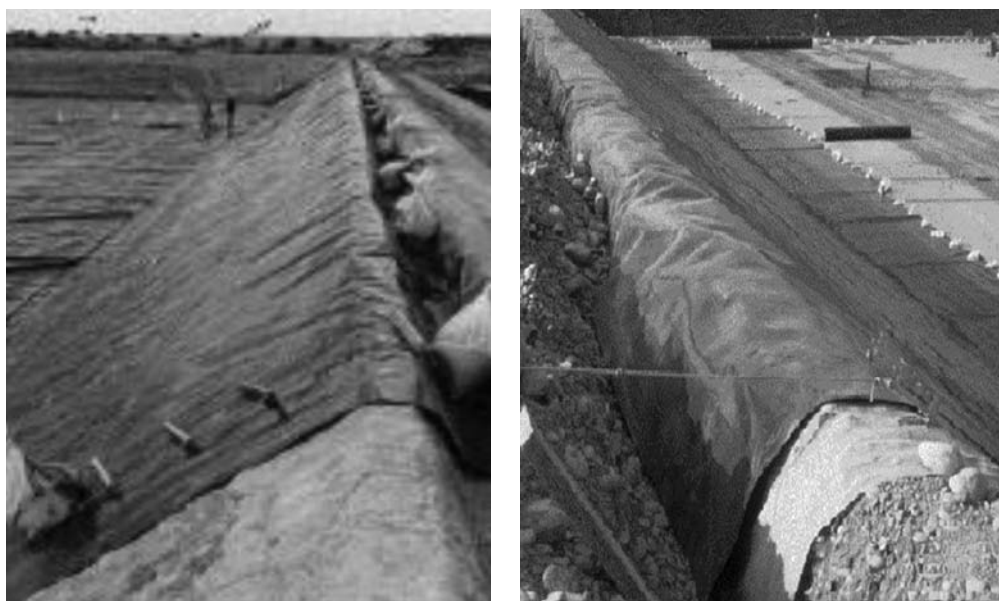


**Fig. 7** – Tipos de instabilidade: rotura (a) e arranque (b) da geomembrana.



**Fig. 8** – Dobras no pé de talude por insuficiente carregamento provisório (Lopes, 2000 a e b).



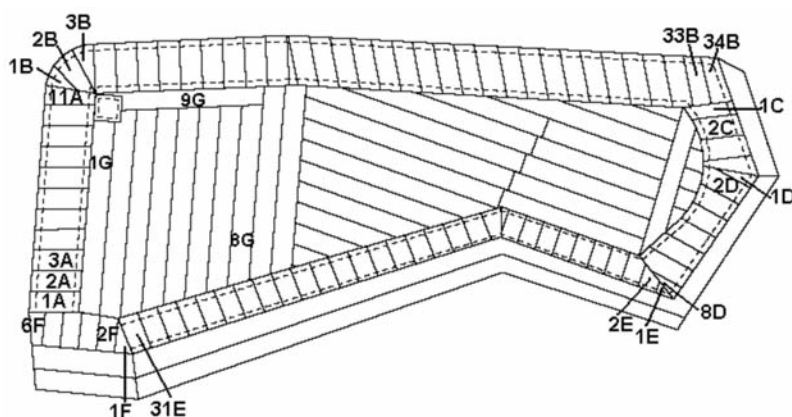


**Fig. 9** – Carregamento provisório com sacos (a) e solo (b).

#### 4.2 – Colocação dos painéis de geomembrana

Após se verificar que a superfície da camada subjacente à geomembrana não sofreu alterações desde a sua aprovação até à colocação da geomembrana, e que na eventual colocação de um geosintético subjacente à geomembrana este apresenta a sua superfície limpa e sem resíduos, pode-se começar o transporte dos rolos de geomembrana para o local de colocação. Como já se referiu, deve ter-se todo o cuidado para que os equipamentos usados no transporte e desenrolamento da geomembrana não causem danos ao solo de suporte e à geomembrana.

A colocação dos painéis de geomembrana deve seguir a ordem indicada num esquema de disposição previamente acordado, e estes devem ser numerados “*in situ*”, sequencialmente à sua colocação (Figura 10).



**Fig. 10** – Exemplo de esquema de disposição de painéis (adaptado de Engepol, Technical Manual (2002)).

Para além do esquema de disposição geral, também devem estar indicados os pormenores da disposição dos painéis em pontos críticos, nomeadamente nos cantos dos taludes e em curvas (Figuras 11 e 12).

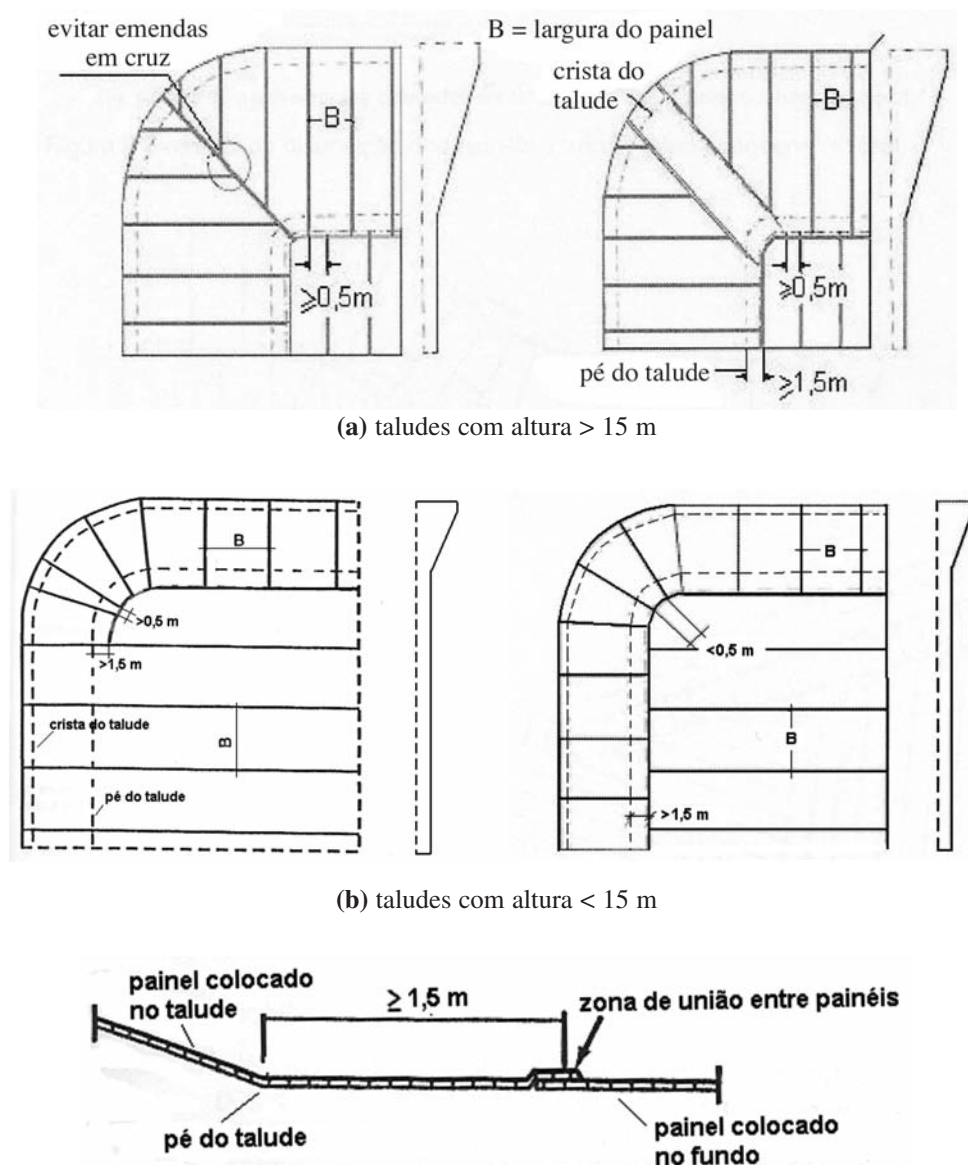
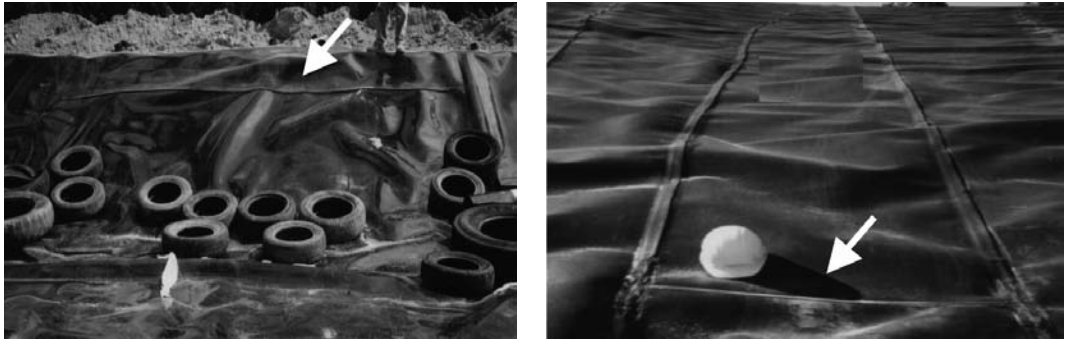


Fig. 11 – Exemplos de disposição de painéis em taludes (Directive DVS 2225, Parte 4 1996).

Como se pode verificar na Figura 11, os painéis de geomembrana devem ser colocados paralelamente à linha de maior declive do talude. Devem-se evitar as uniões em cruz e as uniões em T com um intervalo inferior a 0,5 m.

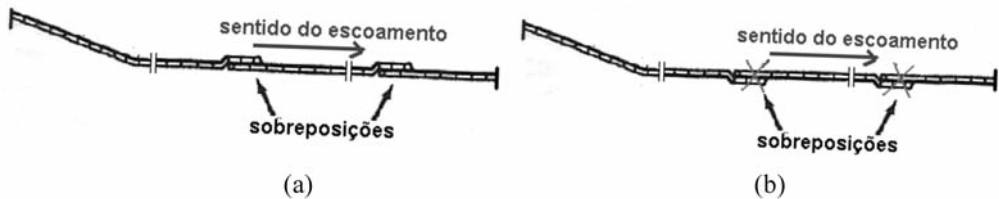
As uniões entre os painéis de geomembrana colocados nos taludes e na base devem ser efectuadas a uma distância do pé do talude de pelo menos 1,5 m.

Não é recomendável a realização de sobreposições horizontais nos taludes (Figura 12). Caso seja inevitável não devem localizar-se nem na parte superior do talude nem a uma distância inferior a 15 cm do pé do talude.



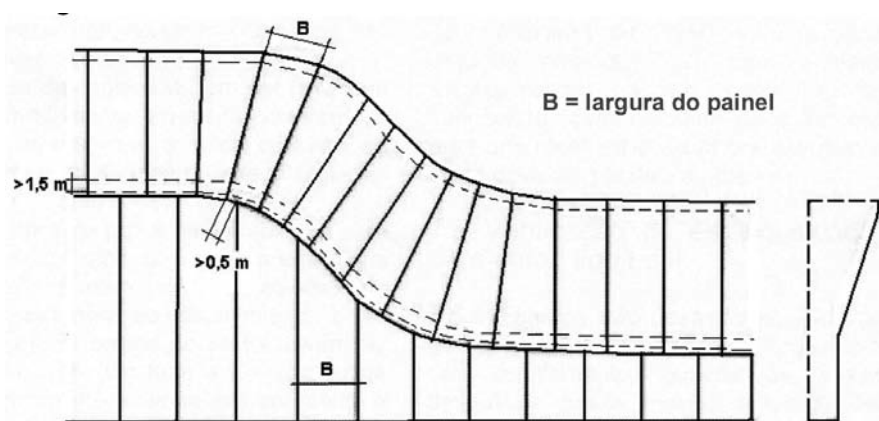
**Fig. 12** – Exemplos de sobreposições horizontais em talude.

Deve ainda ter-se o cuidado de realizar as sobreposições existentes na base do aterro de forma adequada (ver Figura 13a), ou seja tendo em consideração a inclinação da base e consequentemente o sentido do escoamento do lixiviado.



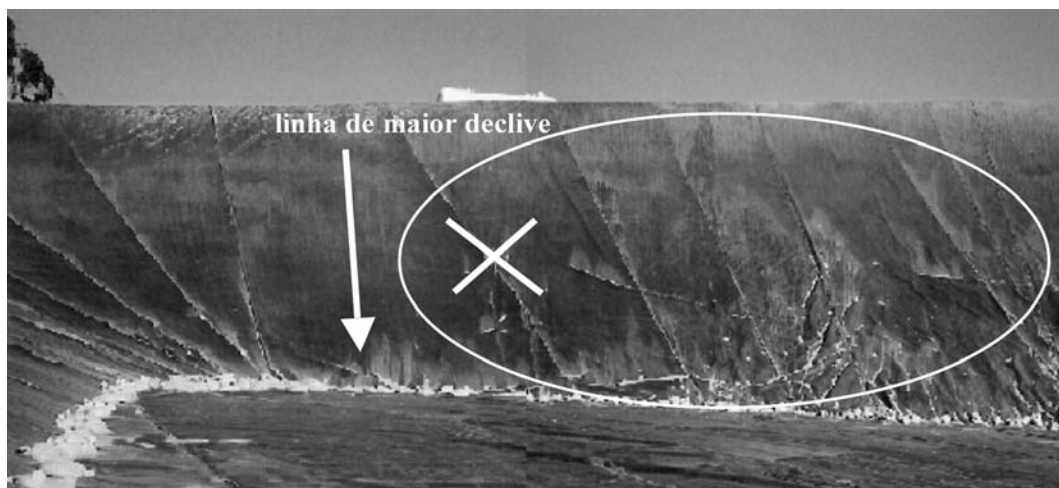
**Fig. 13** – Exemplo de sobreposições adequadas (a) e inadequadas (b) na base do aterro.

Os painéis devem ser colocados a partir da crista do talude e de forma a ter o mínimo de rugas possível, pelo que a disposição dos painéis em curva deve ser efectuada da forma indicada na Figura 14.



**Fig. 14** – Exemplo de disposição de painéis em curva (Directive DVS 2225, Parte 4 1996).

Na Figura 15 mostra-se um caso de disposição incorrecta de painéis em talude e as rugas que em consequência se formaram.



**Fig. 15** – Exemplo de disposição incorrecta de painéis de geomembrana em talude.

Nas uniões, a largura de sobreposição dos painéis deve ser a adequada para que se possam efectuar as soldaduras. Nas geomembranas de PEAD é, normalmente, de 10 cm para as soldaduras por termofusão e de 7,5 cm para as soldaduras por extrusão.

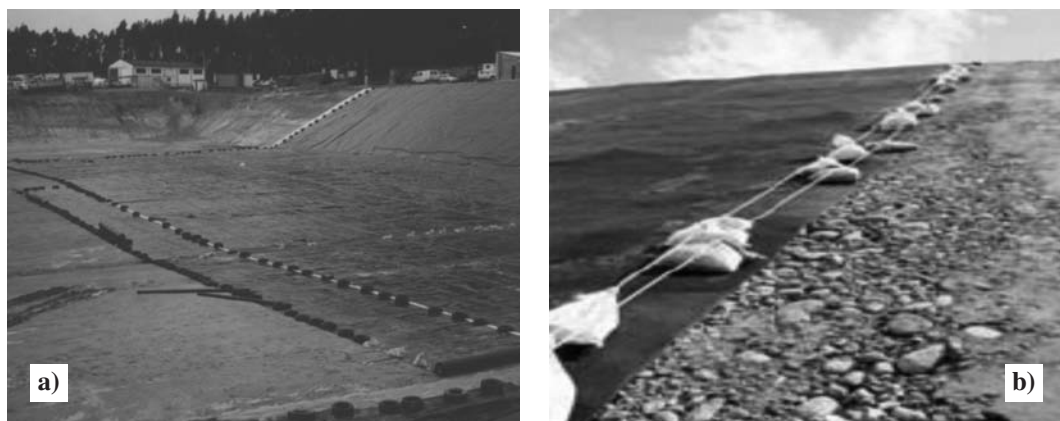
As geomembranas não devem ser colocadas sob chuva, nevoeiro e vento excessivo. Antes de se proceder às soldaduras entre painéis devem-se providenciar as medidas adequadas para evitar o seu levantamento e deslocação pela acção do vento (Figura 16), o que pode causar acidentes pessoais graves, para além dos prejuízos materiais.



**Fig. 16** – Deslocação da geomembrana pela acção do vento.

Em muitos casos utilizam-se sacos de areia, pneus, etc. Qualquer outro tipo de carregamento provisório pode ser adoptado desde que não danifique a geomembrana (Figura 17). Também se deve ter o cuidado de só colocar os painéis de geomembrana que se consiga soldar no próprio dia.



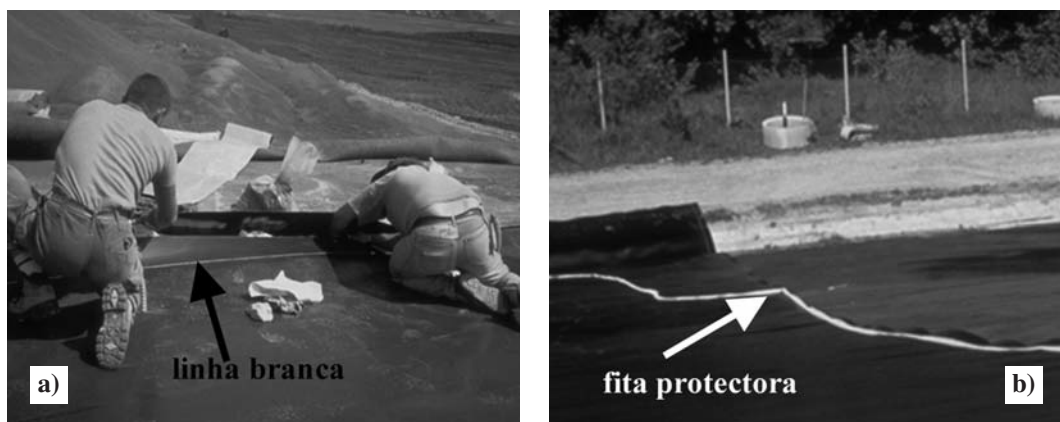


**Fig. 17** – Exemplos de carregamentos provisórios com pneus (a) e sacos de areia (b).

Todo o cuidado deve ainda ser tomado para evitar danos na geomembrana provocados por queda de objectos contundentes e movimentação de pessoas ou equipamentos.

#### 4.3 – Realização das soldaduras entre painéis de geomembrana

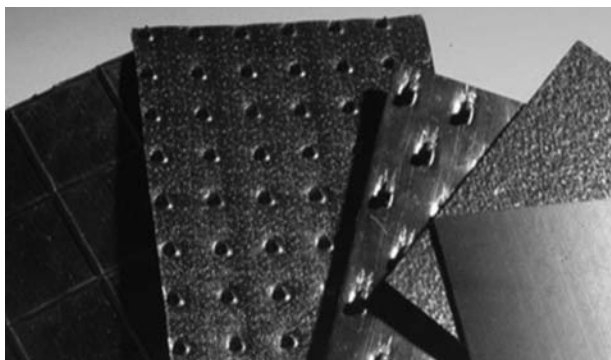
Antes de começar as operações de soldadura deve-se providenciar que, nessa zona, a geomembrana esteja limpa (sem sujidade ou humidade), sem dobras ou rugas e que a sobreposição mínima entre painéis seja a adequada para o tipo de soldadura a realizar. Em muitos casos, nos bordos dos painéis da geomembrana vem desenhada uma linha branca para indicação da largura de sobreposição dos painéis (Figura 18a) e em alguns casos os bordos vêm protegidos da sujidade com uma fita (Figura 18b), que só deverá ser retirada no momento da soldadura. No caso de não ser retirada pode comprometer a resistência da soldadura.



**Fig. 18** – Zona de sobreposição entre painéis (McBean *et al* 1995).

Se existirem rugas ou dobras na zona de soldadura, estas devem ser cortadas de modo a tornar plana a zona onde a máquina de soldar deve passar, devendo-se posteriormente colocar, na zona cortada, um remendo oval da mesma geomembrana (com o mínimo de 1,5 m de comprimento) devidamente soldado por extrusão.

Os painéis de geomembrana com superfície não é lisa (Figura 19) é usual apresentarem, na zona de sobreposição (bordos), uma banda lisa para garantir uma melhor fusão quando se realiza a soldadura. No entanto, nos cantos dos taludes em que é necessário cortar os painéis em viés, ou nas soldaduras transversais, a zona de sobreposição não é lisa, devendo-se providenciar as medidas necessárias (consoante o tipo de superfície) para se garantir uma boa fusão e consequentemente uma boa resistência mecânica dessas soldaduras.



**Fig. 19** – Diferentes tipos de geomembranas.

Imediatamente antes da realização das soldaduras, deve-se realizar um ensaio de pré-qualificação de soldadura, ou seja, deve-se efectuar uma soldadura num pedaço de geomembrana com o mesmo equipamento e nas mesmas condições de operacionalidade (temperatura, velocidade, pressão de contacto, etc.) com que se efectuarão as soldaduras entre painéis *“in situ”* e verificar, através de ensaios mecânicos de arranque e corte (ver § 4.3.2), se os valores da resistência ao arranque e corte excedem os indicados nas especificações de projecto. No caso dos valores não serem satisfatórios dever-se-ão ajustar as condições de operacionalidade em função da temperatura da geomembrana e da temperatura ambiente.

As soldaduras não devem ser realizadas a temperaturas inferiores a 10 °C ou superiores a 40 °C, nem com chuva ou nevoeiro. As soldaduras devem ser orientadas paralelamente à linha de maior declive do talude, e deve-se evitar a existência de soldaduras perpendiculares a essa linha. Nos cantos, ou em locais de geometria complicada, deve-se minimizar o número de soldaduras e nenhuma soldadura horizontal deve existir a menos de 1,5 m do pé de talude ou em áreas onde sejam previsíveis grandes concentrações de tensões.

As soldaduras devem ser realizadas logo após o desenrolar dos painéis de geomembrana, para evitar extensões ou retracções desta e, sempre, entre painéis que estejam à mesma temperatura, o que significa que o último painel colocado no dia anterior não deve ser soldado à primeira geomembrana colocada no dia seguinte, sem que tenha decorrido o tempo suficiente para que ambas as geomembranas estejam à mesma temperatura.





Todas as soldaduras devem ser numeradas, pois esta informação é de grande utilidade para o controle de integridade (continuidade/estanqueidade) das soldaduras a realizar após a sua realização (ver § 4.3.2).

#### **4.3.1 – Tipos de soldaduras**

Existem diversos métodos para efectuar as soldaduras de geomembranas, mas nem todos se adaptam bem a todos os tipos de geomembranas, conforme se mostra na Tabela 5.



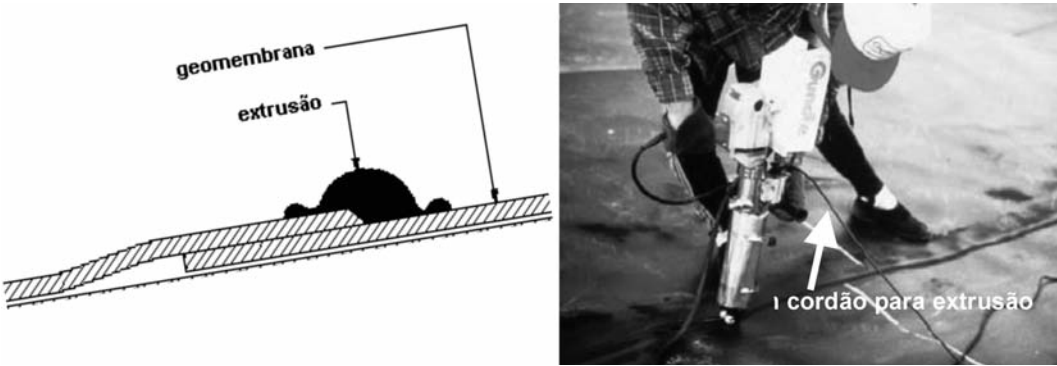
**Tabela 5** – Métodos de soldadura consoante vários tipos de geomembrana (adaptado de Koerner (1998)).

Métodos de soldadura	Tipos de geomembranas			
	PEAD	PEBD	CSPE	PVC
<b>Extrusão:</b> 	a	a	na	na
<b>Termofusão (dupla):</b> 	a	a	a	a
<b>Química:</b> 	na	na	a	a
<b>Colagem:</b> 	na	na	a	a

Na soldadura química a união entre painéis é conseguida pelo “ataque” químico das superfícies, provocado por um solvente volátil que leva à fusão das geomembranas superior e inferior, com auxílio de uma pressão mecânica.

Na soldadura por colagem, contrariamente à soldadura química, há incorporação de um adesivo na zona de sobreposição dos painéis.

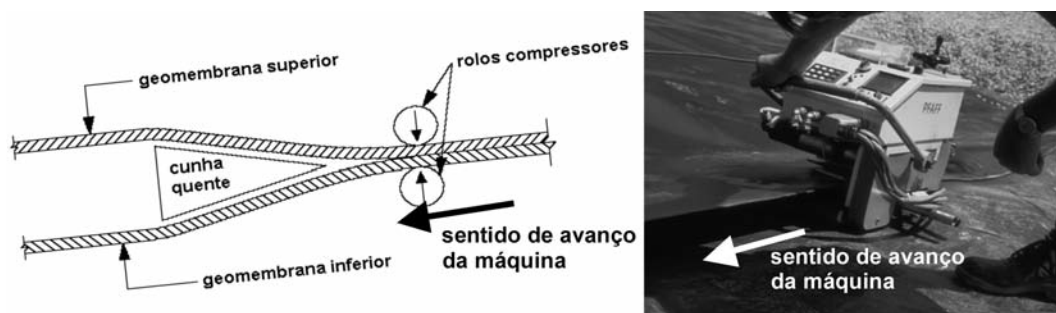
Na soldadura por extrusão há deposição de material, obtido por extrusão de um cordão ou de grânulos do mesmo polímero da geomembrana, na borda do painel da geomembrana superior (Figura 20).



**Fig. 20** – Soldadura por extrusão (Kavazanjian & Cooley 2001).

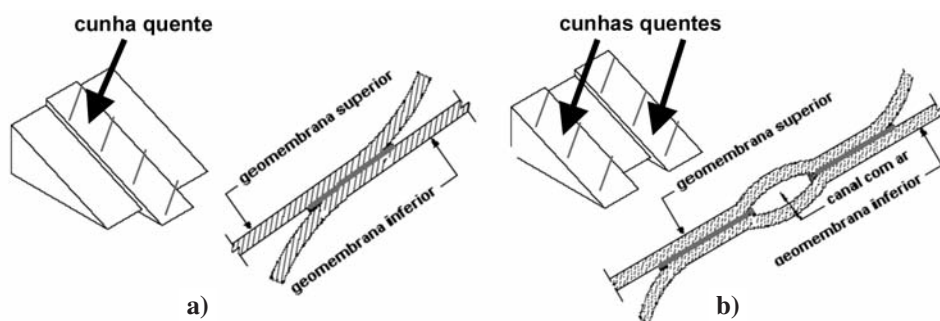
A soldadura por termofusão é conseguida pelo aquecimento das geomembranas superior e inferior, através de uma cunha metálica quente ou por insuflação de ar quente, com auxílio de uma pressão mecânica de rolos compressores (Figura 21).

Embora para as soldaduras de geomembranas de PEAD sejam aplicáveis os métodos de extrusão e termofusão, prefere-se, por razões de fiabilidade, efectuar soldaduras por termofusão; só nos locais onde estas não são possíveis se executam soldaduras por extrusão.



**Fig. 21** – Soldadura por termofusão (Steel Dragon Enterprise CO).

Consoante se tem uma ou duas cunhas quentes, assim as soldadura por termofusão são simples (Figura 22a) ou duplas (Figura 22b).



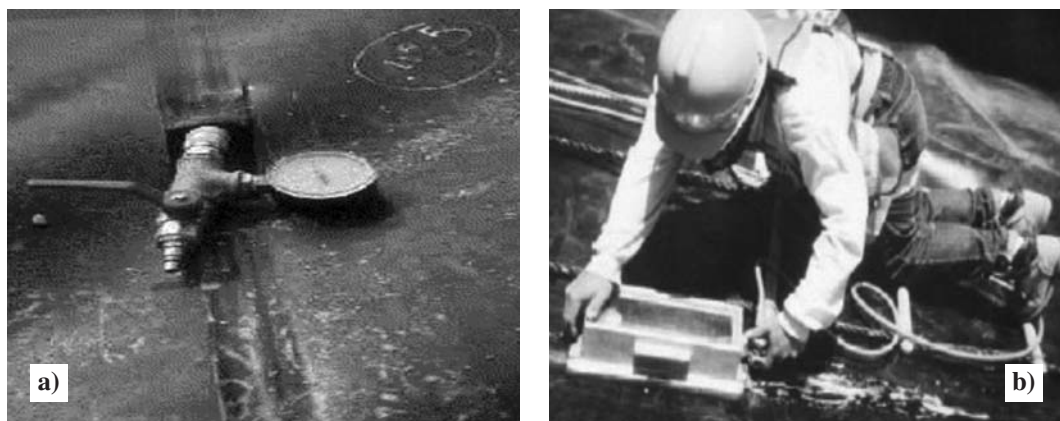
**Fig. 22** – Soldaduras simples (a) e duplas (b) por termofusão (adaptado de Steel Dragon Enterprise CO).

Normalmente recorre-se às soldadura duplas por termofusão, por estas permitirem a realização de ensaios para verificação da sua continuidade (ou estanqueidade), através da injeção de ar sob pressão no canal existente entre as duas zonas de soldadura (Figura 22b).

#### **4.3.2 – Controlo de continuidade (estanqueidade) e resistência das soldaduras**

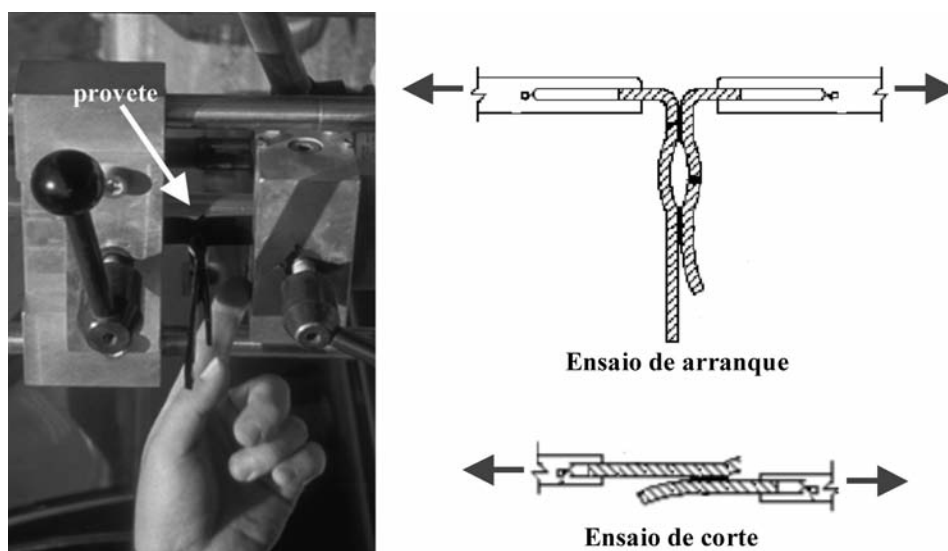
Para a verificação da continuidade das soldaduras são realizados ensaios não - destrutivos: ensaios de pressão de ar (para as soldaduras duplas por termofusão) e ensaios de vácuo (para as soldaduras por extrusão). O ensaio de pressão de ar, consiste em injectar, com uma agulha, uma determinada pressão no canal (Figura 22b) existente nas soldaduras de termofusão duplas e verificar se existe estabilização da pressão, evidência de que a junta é estanque (Figura 23a). Para o ensaio de vácuo, começa-se por lavar a zona a ensaiar com uma solução de água e detergente. Coloca-se depois uma câmara transparente sobre a zona em questão e cria-se vácuo com a ajuda de uma bomba (Figura 23b). A existência de “bolhas de sabão” é um sinal evidente de fuga de ar e, consequentemente, de não continuidade da soldadura.

Nos locais em que os resultados dos ensaios não - destrutivos não forem satisfatórios, ou que um defeito seja detectado, dever-se-á fazer um remendo, ou remover-se a soldadura e substituí-la por uma faixa de geomembrana, soldada em ambos os lados por termofusão ou ainda reforçar a junta com uma soldadura por extrusão.



**Fig. 23** – Ensaios não - destrutivos de pressão (a) e vácuo (b).

Para a verificação da resistência das soldaduras são realizados ensaios destrutivos de arranque (peel test) e de corte (shear test), segundo as normas ASTM D 4437 (1988) e ASTM D 6392 (1999), consoante o tipo de geomembrana. O princípio do ensaio é simples, consistindo em traccionar, a velocidade preconizada (51 mm/min), cada provete conforme é indicado na Figura 24, respectivamente para o ensaio de arranque e corte.



**Fig. 24** – Ensaios destrutivos de arranque e corte.

Tendo por base os resultados obtidos nos ensaios destrutivos, vários critérios de aceitação/rejeição de soldaduras de geomembranas de PEAD têm sido desenvolvidos, nomeadamente por Haxo & Kamp (1990), National Sanitation Foundation (1983), Peggs & Rollin (1994) e Rollin *et al* (1991).

Embora não exista consenso sobre o critério que melhor qualifica, em termos de resistência, as soldaduras de geomembranas de PEAD, é actualmente aceite que a determinação da resistência ao arranque e respectiva localização da rotura e a determinação da resistência ao corte poderão dar indicações das características das soldaduras a curto prazo. Para a previsão da durabilidade da sol-

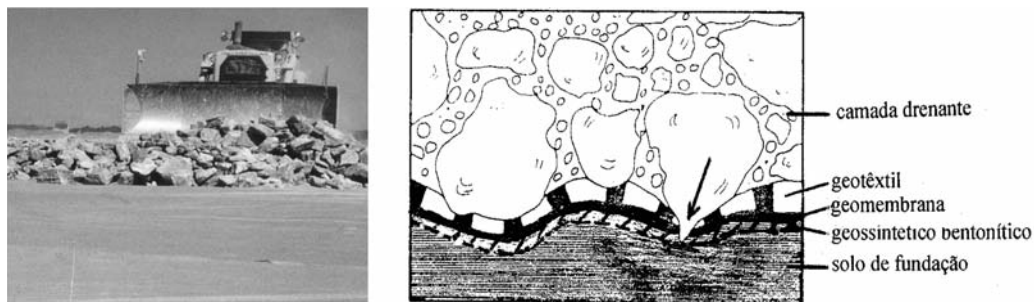
dadura e geomembrana adjacente há necessidade de determinar a extensão correspondente à resistência ao corte e saber se existe ou não, no ensaio de arranque, separação na zona de soldadura. O valor da extensão permite inferir se o processo de soldadura afectou a geomembrana adjacente (se a extensão for baixa a durabilidade poderá estar comprometida). Se existir separação (ainda que parcial) na zona de soldadura, fissuras induzidas nas superfícies separadas podem implicar uma redução da resistência ao “stress cracking” da geomembrana (Peggs, 1990).

Quando os resultados de um ensaio destrutivo realizado sobre uma amostra retirada de uma soldadura não forem satisfatórios, devem-se efectuar ensaios sobre duas amostras retiradas a uma distância mínima de 3 m para cada lado da amostra anteriormente referida. Se para essas novas amostras os resultados obtidos nos ensaios destrutivos forem satisfatórios, deverá a soldadura ser refeita no interior da zona limitada por aquelas amostras. Se os resultados não forem satisfatórios será repetido o processo.

De referir que durante as operações de colocação de geomembrana os defeitos mais frequentemente detectados relacionam-se com a deficiente realização das soldaduras, daí a importância da realização dos ensaios destrutivos e não - destrutivos, para a sua detecção e subsequente reparação, evitando-se assim possíveis fugas de lixiviado através de orifícios na geomembrana. Normalmente, as soldaduras que apresentam maiores problemas localizam-se nos cantos dos taludes e na soldadura de fecho entre a base e o talude, por serem usualmente também as de maior dificuldade de execução.

#### 4.3.3 – Protecção da geomembrana

Como o desempenho do sistema de confinamento está muito dependente da integridade física da geomembrana, estando também provado que muitos dos danos na geomembrana são devidos à colocação menos cuidada da camada drenante suprajacente (Figura 25) é particularmente importante a escolha do tipo de protecção a usar e generalizar a utilização de métodos de detecção de orifícios na geomembrana.



**Fig. 25** – O risco de punção da geomembrana durante a colocação da camada drenante (Lopes 2000 a).

Assim, após a colocação da geomembrana, é da máxima importância a sua protecção mecânica com um geotêxtil de adequada resistência ao punção, para que a camada drenante, a ser colocada a seguir, não danifique a geomembrana. De referir que os danos na geomembrana devidos à colocação menos cuidada da camada drenante não são facilmente reparáveis, pela dificuldade que há na sua detecção, a não ser através de métodos de detecção de orifícios da geomembrana (Peggs (1996)). Apesar dos custos destes métodos, a sua utilização será mais eficaz e de menor custo que quaisquer medidas correctivas a realizar, quando, através da monitorização das águas subterrâneas se concluir haver fugas de lixiviado.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objectivo deste artigo foi o de retirar alguns ensinamentos para o futuro sobre a experiência de colocação de geomembranas em mais de uma dezena de aterros de RSU do nosso país, nomeadamente no que respeita aos materiais utilizados, às técnicas empregues e aos problemas encontrados.

Assim, começou por mostrar-se a forma de seleccionar as geomembranas com base nas solicitações a que estão sujeitas quando empregues no sistema de confinamento basal de aterros de RSU.

Foi indicado seguidamente um conjunto de boas práticas a ter em consideração relativamente à recepção e transporte das geomembranas e à preparação das superfícies de apoio e valas de ancoragem, para evitar possíveis agressões mecânicas nas geomembranas que podem por em causa a sua integridade física e consequentemente a sua estanqueidade.

Relativamente à colocação dos painéis foram também indicados os procedimentos de disposição a seguir e as consequências de utilização de processos menos correctos.

Sobre a realização das soldaduras foram indicados os diversos tipos a utilizar, as condições e cuidados de realização e por fim como fazer o seu controlo de estanqueidade e resistência.

Por fim foi chamada a atenção para a importância da protecção da geomembrana aquando da colocação da camada drenante, para evitar roturas por punçoamento e consequentemente o risco de perda de estanqueidade da geomembrana, o que conduziria à fuga dos lixiviados e contaminação dos solos e água subterrânea.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 4437 (1988) – “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”.
- Bagchi, A. (1994) – “Design, construction, and Monitoring of Landfills”, John Wiley & Sons, Inc., 2ª edição.
- Bouzza, A., Zornberg, J. G., Adam, D. (2002) – “Geosynthetics in waste containment facilities: recent advances”, 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, França de 21 a 23 de Setembro.
- CFGG (1994) – “Recommandations pour l'utilisation des geosynthetiques dans les centres de stockage de déchets”, França.
- Directive DVS 2225, Parte 4 (1996) – “Soudage de géomembranes en polyethylene utilisées pour l'étanchéification de décharges d'ordure et des déchets”, Institut de Soudure.
- Engapol Ltd (2002) – “Technical Manual”. Página consultada a 28 de Março de 2005.  
< [www.engapol.com/ingles/pdf/technical\\_manual.pdf](http://www.engapol.com/ingles/pdf/technical_manual.pdf)>
- Kavazanjian, E. Jr. & Cooley, B. H. (2001) – “Construction of Synthetic Lining System”, California State Water Resources Control Board Liner Construction Training Workshop.
- Haxo, H. & Kamp, L. (1990) – “Destructive Testing of Geomembranes Seams: Shear and Peel Testing of Seam Strength”, Geotextiles and Geomembranes, vol. nº 9, pp. 369-404.

- Hsuan, Y. G. & Koerner, R. M. (1998) – “Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* vol. 124 nº 6 pp. 532-541.
- Koerner, R. M. (1998) – “Designing with Geosynthetics”, Fourth Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- McBean, E. A., Rovers, F. A. & Farquhar, G. J. (1995) – “Solid Waste Landfill Engineering and Design”, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey.
- Lopes, M. G. (2000, a) – “Aspectos geotécnicos relacionados com o emprego de geossintéticos em aterros de RSU”, VII Congresso Nacional de Geotecnia, vol. II, pp 1179-1188, 10 a 13 de Abril, Porto.
- Lopes, M. G. (2000, b) – “A utilização de geossintéticos nos sistemas de confinamento de aterros de resíduos”, Seminário de Aspectos geotécnicos do projecto e construção de aterros de resíduos, promovido pela SPG, em 15 de Dezembro, 15 páginas.
- Lopes, M. G. & Lopes, M. L. (2002) – “Experiência Portuguesa na construção dos sistemas de confinamento de aterros de resíduos sólidos urbanos”. *Revista Geotecnia* nº 95, Julho, pp. 57-65.
- 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*, nº 9, pp. 405-414.
- Peggs, I. D. (1996) – “Defect identification, leak location, and leak monitoring in geomembrane liners”, *Proc. of the 1st European Geosynthetics Conference*, 30 de Setembro a 2 de Outubro, Holanda.
- Peggs, I. D. & Rollin, A. (1994) – “Seams in HPDE Geomembranes: The Quality Target”, *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, pp. 949-952.
- Recomendações IGS Brasil IGSBR IGMT 01 (2003) – “Instalação de geomembranas termoplásticas em obras geotécnicas e de saneamento ambiental – Recomendações para projecto”, <<http://www.igsbrasil.org.br/Instalacao%20GM%20Termoplasticas%20-%20Recomendacao%20-%20Texto.pdf>>
- Rollin, Fayoux & Benneton (1991) – “Non destructive and destructive seam testing”, *Geomembranes Identification and performance testing – RILEM – Chapman and Hall*.
- Rowe, R. K. & Sangam, H. P. (2002) – “Durability of HDPE geomembranes”, *Geotextiles and Geomembranes* volo. nº 20, nº 2 pp. 77-95.
- Sharma, H. D. & Lewis, S. P. (1994) – “Waste containment Systems, waste stabilization, and landfills. Design and evaluation”, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Steel Dragon Enterprise CO, Ltd (2001) – “Quality Assurance Manual for the installation of flexible membrane lining systems”. Publicação editada na página da empresa Steel Dragon Enterprise CO, Ltd e consultada em 9 de Novembro de 2001. <[www.steel-dragon.com/literature/manuals/installation\\_qa\\_qc\\_manual.pdf](http://www.steel-dragon.com/literature/manuals/installation_qa_qc_manual.pdf)>