

PLANO DE GARANTIA DE QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO PARA GEOSSINTÉTICOS: SUGESTÕES PARA O FUTURO

Construction quality assurance plan for geosynthetics: future directions

Lopes, M. G.

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, glopes@dec.isel.ipl.pt

Barroso, Madalena

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, mbarroso@lnec.pt

Resumo: Nos aterros de RSU tem-se assistido a um aumento sistemático da aplicação de geossintéticos pelas inúmeras vantagens que apresentam relativamente aos materiais minerais, não só por permitirem aumentar a capacidade de armazenamento de resíduos, mas também por serem mais homogéneos e de mais rápida e fácil colocação. No entanto, a experiência tem demonstrado que o seu desempenho é muito influenciado pelo modo de instalação, sendo particularmente sensíveis ao punçoamento, verificando-se os principais danos durante a fase de construção. É por isso amplamente reconhecido que a garantia de qualidade da construção (GQC) e a qualidade do controlo da construção (QCC) são determinantes para a qualidade do desempenho dos aterros de resíduos. Salvo raras exceções, os procedimentos de GQC, no que se refere aos geossintéticos, têm permanecido praticamente inalterados durante a última década. Considerou-se por isso importante fazendo uso da experiência acumulada, analisar a adequação dos métodos usualmente empregues na avaliação da qualidade de aplicação dos geossintéticos e, tendo igualmente em consideração as novas tecnologias, propor as alterações julgadas convenientes, para melhorar a eficácia dos planos de GQC nomeadamente no que respeita aos geossintéticos.

Abstract: The best of Landfills designs and regulatory requirements will not necessarily translate to facilities that are protective of human health and environment unless they are properly constructed. Geosynthetics play an important role in this protective task because of their versatility, cost-effectiveness, ease of installation, and good mechanical and hydraulic properties, but they are susceptible to accidental punctures, which occur mostly during handling and installation. So, Construction quality assurance (CQA) and construction quality control (CQC) are widely recognized as critically important factors in overall quality performance for waste containment facilities. With little exception, construction quality assurance (CQA) procedures for geosynthetics have remained unchanged for over a decade. It is time to make use of new technologies and improve the effectiveness of CQA programs to produce the most benefit. In this paper, capitalizing on our experience, the traditional construction quality assurance procedures for geosynthetics are analyzed and reformulated and new technologies were proposed to improve the effectiveness of CQA plan, namely concerning geosynthetics.

1 INTRODUÇÃO

A consciencialização da necessidade de preservar a saúde pública, qualidade do meio ambiente e de proteger os solos e recursos hídricos levou a que se tenha optado pela utilização de barreiras múltiplas (naturais e artificiais) na constituição do sistema de confinamento dos aterros de resíduos. Nestes sistemas tem-se assistido a um aumento sistemático da aplicação

de geossintéticos, nomeadamente de geomembranas (tecnicamente designadas também por barreiras geossintéticas poliméricas), cujo desempenho é fundamental para garantir o isolamento dos solos envolventes, evitando a entrada de água do exterior sobre os resíduos e minimizando a fuga dos lixiviados. Embora os geossintéticos ofereçam inúmeras vantagens relativamente aos materiais minerais, não só por permitirem aumentar a capacidade de armazenamento de resíduos, mas também por serem mais homogéneos e de mais rápida e fácil colocação, a experiência tem demonstrado que o seu desempenho é muito influenciado pelo modo de instalação, sendo particularmente sensíveis ao punçoamento, verificando-se os principais danos durante a fase de construção. Um projecto bem realizado de um aterro de resíduos e regulamentação apropriada não são suficientes para garantir a preservação da saúde pública e qualidade do meio ambiente, a não ser que as operações de construção do aterro sejam também efectuadas adequadamente. Assim sendo, é hoje amplamente reconhecido que a garantia de qualidade da construção (GQC) e o controlo de qualidade da construção (CQC) são determinantes para a qualidade do desempenho dos aterros de resíduos e particularmente do desempenho dos geossintéticos utilizados nessas obras.

Salvo raras excepções, os procedimentos de GQC, e particularmente no que se refere aos geossintéticos, têm permanecido praticamente inalterados durante a última década. Considerou-se, por isso, importante fazendo uso da experiência acumulada, analisar a adequação dos métodos usualmente empregues na avaliação da qualidade de aplicação dos geossintéticos e, tendo igualmente em consideração as novas tecnologias, propor as alterações julgadas convenientes para melhorar a eficácia dos planos de GQC nomeadamente no que respeita a estes materiais.

2 O PLANO DE GARANTIA DE QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO (PGQC)

2.1 Objectivo do PGQC

Um plano de garantia de qualidade da construção (PGQC) tem por objectivo indicar o conjunto de actividades para assegurar e documentar que os materiais, técnicas construtivas empregues e obra realizada cumprem o especificado no projecto (incluindo as disposições e especificações regulamentadas para este tipo de obras). Este plano deve incluir para além dos seus intervenientes o tipo de auditorias, fiscalização e avaliações dos materiais e actividades necessárias para determinar e evidenciar a qualidade da construção da obra. Enquanto a GQC diz respeito às medidas a empreender por um organismo independente responsável por essa garantia, para avaliar se o empreiteiro construiu a obra de acordo com o estabelecido no projecto, o CQC diz respeito às medidas de auto controlo do empreiteiro para verificar se os materiais e técnicas utilizadas estão em conformidade com o especificado no projecto.

2.2 Resultados pretendidos com o PGQC

O PGQC deve informar sobre o tipo de inspecções, monitorização e ensaios a realizar para atestar a conformidade da obra realizada com o especificado no projecto, mas também deve

incluir a documentação e relatórios que permitam evidenciar e comprovar essa conformidade ao dono de obra (e demais intervenientes).

A implementação do PGQC é um instrumento fundamental para o organismo independente responsável pela GQC atestar a conformidade da obra realizada com o especificado no projecto.

2.3 Importância do PGQC

Muitos autores, entre eles Rollin *et al.* (2002) e Bouazza *et al.* (2002) referem que muitos dos erros de construção são evitados ou pelo menos minimizados nos aterros em que é implementado um adequado PGQC. Sobretudo no que se refere aos geossintéticos e em particular às geomembranas, a GQC é particularmente importante dada a susceptibilidade destes materiais a danos físicos, o que, repercutindo-se no seu desempenho, pode ter consequências graves, nomeadamente fuga de lixiviados ou biogás, com impactos ambientais de contaminação do ar, solo, água superficial e subterrânea de solução difícil e dispendiosa. Por exemplo um estudo realizado por Forget *et al.* (2005) mostra a incidência de orifícios/ha em geomembranas, antes de serem cobertas pela camada drenante, no caso da existência ou não de GQC. A média de orifícios/ha quando não existia GQC era de 22, contra 4 orifícios/ha no caso da existência de GQC (figura 1). O mesmo estudo revelou que o contraste era ainda superior no caso de se analisar geomembranas já cobertas pela camada drenante, onde a média de orifícios/ha se não existisse GQC era de 16, contra 0,5 orifícios/ha no caso da existência de GQC.

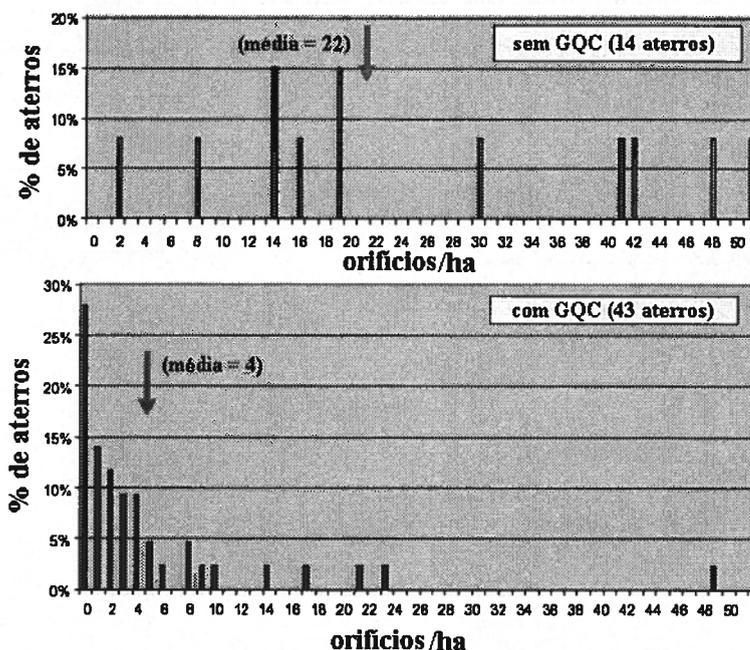


Figura 1 – Comparação da incidência de orifícios em geomembranas expostas quando existe ou não GQC (Forget *et al.*, 2005)

2.4 Estrutura do PGQC

Para atingir os objectivos expostos e os resultados pretendidos, o PGQC deve incluir para além da identificação dos vários intervenientes na construção, suas qualificações e responsabilidades, uma descrição do projecto e suas especificações, as recomendações para uma construção com qualidade (não esquecendo as providências para manter a integridade das partes já completadas), os detalhes do programa de inspecção, fiscalização, monitorização, ensaios e acções correctivas e a documentação que permita avaliar a conformidade da obra realizada com o especificado no projecto. A garantia de qualidade da construção depende muito da forma como interagem os diferentes intervenientes na realização das respectivas actividades. Na figura 2 mostra-se, a título de exemplo, a complexidade da organização das actividades de garantia de qualidade da construção a empreender, o que justifica a necessidade de realização de um plano adequadamente estruturado para o efeito.

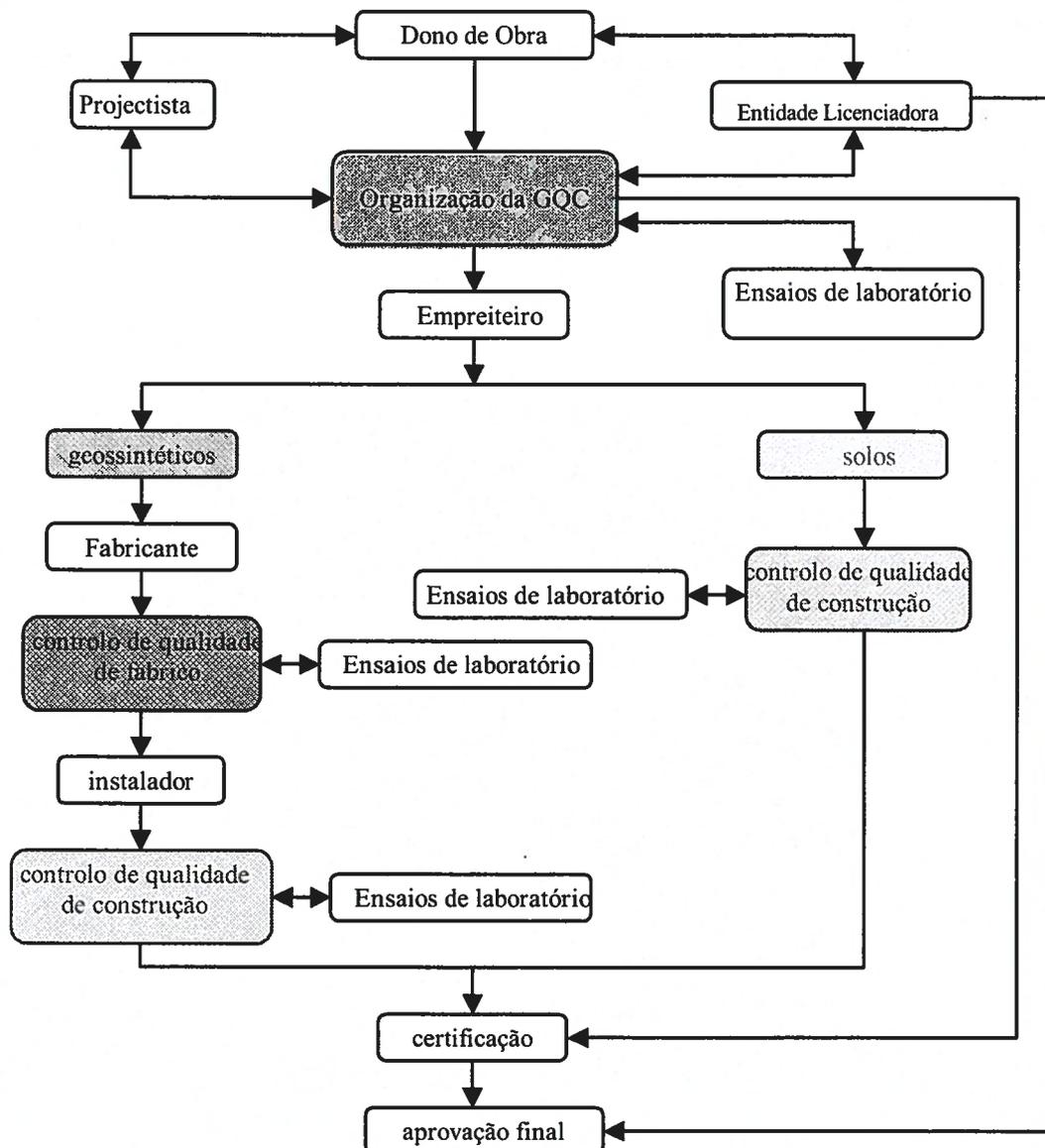


Figura 2 – Organização das actividades de GQC (Koerner & Koerner, 2006)

Em Portugal, a elaboração do PGQC para os aterros de RSU foi pedida ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, sendo a estrutura adoptada a indicada na figura 3, onde se verifica ter sido dado maior relevo às actividades de GQC relativas aos geossintéticos e em particular às geomembranas pelas razões indicadas em 2.3.

<p>1 - INTRODUÇÃO</p> <p>2 - INTERVENIENTES</p> <p>2.1 - Dono de obra</p> <p>2.2 - Projectista</p> <p>2.3 - Empreiteiro</p> <p>2.3.1 - Sub-empreiteiro</p> <p>2.3.1.1 - Solos</p> <p>2.3.1.2 - Geossintéticos</p> <p>2.4 - Fiscalização</p> <p>2.5 - Entidade licenciadora</p> <p>2.6 - Entidade independente para a GQC</p> <p>3 - REUNIÕES</p> <p>4 - DOCUMENTAÇÃO</p> <p>4.1 - Folhas de registos diárias</p> <p>4.2 - Relatórios mensais</p> <p>4.3 - Relatórios fotográficos</p> <p>4.4 - Relatório sobre modificações</p> <p>4.5 - Relatório final</p> <p>5 - ACTIVIDADES DE GQC</p> <p>5.1 - solos</p> <p>5.2 - geossintéticos (GM, GTX, GG, GB, GC)</p> <p>5.2.1 - Escolha dos materiais</p>	<p>5.2.2 - Controlo da qualidade de fabrico</p> <p>5.2.2.1 - Análise da conformidade (ensaios/rejeições)</p> <p>5.2.2.2 - Embalagem e etiquetagem</p> <p>5.2.3 - Recepção e aceitação dos materiais</p> <p>5.2.4 - Transporte e manuseamento</p> <p>5.2.5 - Armazenamento</p> <p>5.2.6 - Avaliação da qualidade da colocação</p> <p>5.2.6.1 - colocação dos materiais</p> <p>5.2.6.1.1 - Superfície de contacto</p> <p>5.2.6.1.2 - Vala de ancoragem</p> <p>5.2.6.1.3 - Colocação dos painéis</p> <p>5.2.6.2 - realização das uniões</p> <p>5.2.6.2.1 - Tipos de uniões (sobreposição, costura soldadura)</p> <p>5.2.6.2.2 - Realização de soldaduras (só para GM)</p> <p>5.2.6.3 - ensaios às soldaduras (só para GM)</p> <p>5.2.6.3.1 - Ensaio não-destrutivos</p> <p>5.2.6.3.2 - Ensaio destrutivos</p> <p>5.2.6.3.2.1 - Tipo, localização e frequência de amostragem</p> <p>5.2.6.3.2.2 - Número de provetes</p> <p>5.2.6.4 - Não-conformidades</p> <p>5.2.6.5 - Reparações</p> <p>5.3 - Outras actividades</p>
---	---

GM - geomembrana; GTX - geotêxtil; GB - geossintético bentonítico; GC - geocompósito

Figura 3 – Estrutura do PGQC dos aterros de RSU (Lopes, 2005)

Embora seja inegável as vantagens da implementação de um PGQC para o melhoramento do desempenho da obra, minimizando os custos de posteriores reparações (de execução normalmente difícil), queixas ou litígios, as actividades de avaliação de qualidade da construção implicam custos (variando entre 31 000 €/ha a 74 000 €/ha, segundo Shepherd *et al.* (1992), que convém otimizar em face dos respectivos benefícios.

2.5 Necessidade de actualização do PGQC

A confirmar os custos das actividades de avaliação de qualidade da construção referidos por Shepherd *et al.* (1992) para a realidade portuguesa e não tendo os PGQC sido sujeitos a alterações significativas durante a última década, é importante com base na experiência acumulada, propor as alterações julgadas convenientes, optimizando a relação custo/benefício (eficácia). Assim, torna-se necessário começar por identificar não só o tipo de problemas detectados e sua frequência, mas também as consequências em termos de impacto ambiental, de custos, de tempo e dificuldade de reparação. Em face desta análise e da evolução tecnológica relativamente aos materiais empregues, técnicas construtivas e técnicas de monitorização, será então possível propor um PGQC mais eficaz.

2.6 Identificação dos problemas mais comuns detectados em aterros de RSU

Não sendo conhecidos actualmente dados estatísticos sobre os problemas identificados nos aterros de RSU portugueses recorreu-se para além da própria experiência a casos relatados na bibliografia internacional. Sem a pretensão de se ser exaustivo, no Quadro 1 foram resumidos os tipos de problemas mais comuns identificados em aterros de RSU e indicada a sua localização, associando-os simultaneamente ao tipo de erro. No Quadro 1 realçaram-se os problemas devido a erros de construção, decorrentes durante esse período, aliás os únicos passíveis de poderem ser evitados ou minorados através da implementação de um adequado PGQC. Destes problemas os decorrentes da construção do sistema de confinamento de fundo são os mais amplamente referidos na bibliografia. Pensa-se que as limitadas referências a problemas decorrentes da construção do sistema de confinamento de cobertura são sobretudo por ainda não haver muitos aterros de RSU da “nova geração”, que tenham atingido o seu tempo de vida útil.

2.6.1 Frequência dos problemas identificados

Gross (1999) baseado num estudo realizado sobre 74 aterros de resíduos concluiu que são os problemas decorrentes da construção do sistema de confinamento de fundo e taludes os mais frequentes (25,5%), estando normalmente associados a erros de construção. Seguem-se os problemas de instabilidade/deslizamento dos sistemas de confinamento de cobertura (24,5%) e de fundo e taludes (20,3%), estando estes normalmente mais associados a erros de projecto do que de construção (figura 4).

Como se pode depreender do Quadro 1 os problemas decorrentes da construção dos aterros de resíduos estão normalmente associados à colocação dos geossintéticos e nomeadamente à colocação das geomembranas.

Os danos que se verificam durante a colocação e ligação dos painéis das geomembranas, podem ocorrer no próprio painel ou na zona de união entre painéis (zona de soldadura).

Desde que seja efectuado um controlo de qualidade de fabrico adequado, em princípio não haverá razões para haver defeitos nos painéis de geomembranas que ponham a sua integridade física em causa, a não ser os decorrentes de um transporte, aplicação/cobertura inadequados. Na tentativa de detectar este tipo de danos, foram desenvolvidos alguns métodos mas estes só

permitem revelar os danos que afectem toda a espessura da geomembrana ou seja que tenham culminado em orifícios, rasgos, etc.

Quadro 1 – Aterros de RSU: descrição e localização dos problemas e sua associação ao tipo de erro

Localização do problema		Descrição do problema detectado	
Espacial	Temporal	Erro de projecto	Erro de construção
Sistema de confinamento de fundo e lateral	durante a construção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dessecação da camada de argila compactada sob a GM ▪ deslizamento na interface entre geossintéticos, (nos tabules) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ orifícios na GM ▪ levantamento e rasgamento da GM pelo vento ▪ rugas na GM devido à sua exposição a elevadas temperaturas ▪ deficientes soldaduras da GM ▪ hidratação (devido à chuva) e expansão do GB inadvertidamente exposto/ dessecação do GB ▪ deslizamento na interface entre geossintéticos, (nos tabules) por deficiente ancoragem provisória
	durante a operação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rugas na GM devido à deposição e assentamento dos resíduos ▪ orifício na GM devido ao seu punçamento por um tubo de drenagem de lixo/riacho ▪ orifício na GM devido ao seu punçamento por um tubo de drenagem de biogás ▪ deslizamento na interface entre geossintéticos, (nos tabules) ▪ deslizamento na interface geossintético/ solo (nos tabules) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fugas nas junções GM/tubo de drenagem
Sistema de colecta e remoção de lixiviados e sua monitorização	durante a construção	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ degradação de filtros de GTX em PP, por exposição excessiva aos UV
	durante a operação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ colmatção de filtros de GTX que envolvem tubos de colecta de lixo/riacho 	-
Sistema de confinamento de cobertura	durante a construção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ deslizamento na interface entre geossintéticos, (nos tabules) ▪ degradação da camada de recobrimento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ deficientes soldaduras da GM ▪ levantamento e rasgamento da GM pelo vento ▪ dessecação do GB
	durante a operação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ deslizamento na interface entre geossintéticos, (nos tabules) ▪ deslizamento na interface geossintético/ solo (nos tabules) ▪ rasgamento das junções entre a geomembrana e os poços de biogás, devido a assentamentos 	-

GM – geomembrana; GTX – geotêxtil; GB – geossintético bentonítico; PP – polipropileno

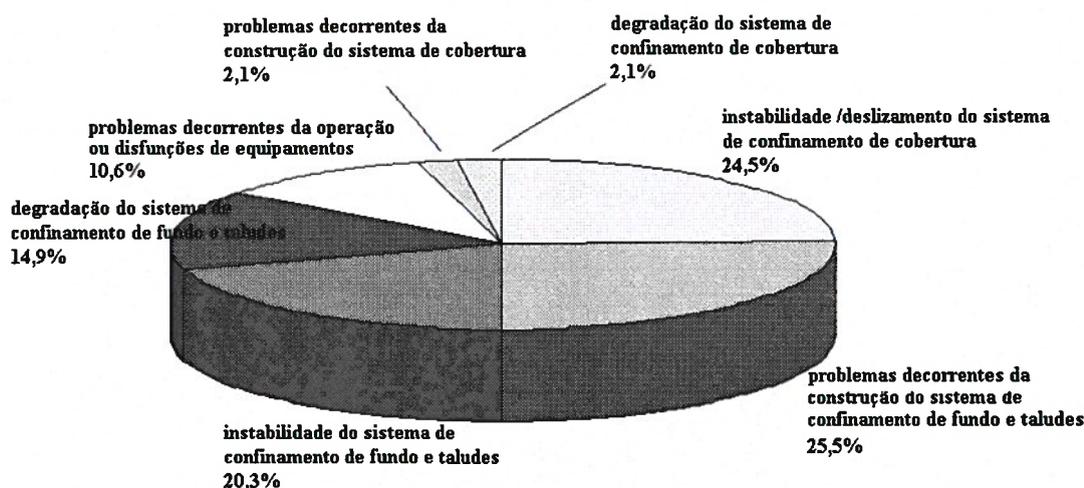


Figura 4 – Distribuição da frequência dos problemas identificados em aterros de resíduos

No que respeita às soldaduras entre painéis e por não poderem ser efectuadas em fábrica, dada a dimensão dos aterros de resíduos, tem havido uma grande preocupação na verificação da sua qualidade, atendendo à variedade de factores relacionados com a técnica do operador, com o equipamento e com as condições meteorológicas que as podem afectar. Assim, foram especialmente desenvolvidos métodos para verificação de integridade das soldaduras, podendo dividir-se em dois grandes grupos: os que têm por objectivo verificar a sua resistência (métodos destrutivos) e os que têm por objectivo verificar a sua continuidade/estanqueidade (métodos não-destrutivos).

Com base nos resultados dos métodos não-destrutivos, inúmeros autores têm efectuado estudos com o objectivo de verificar o tipo, localização, dimensão, frequência e causa dos orifícios nas geomembranas, nomeadamente Laine e Darilek (1993), Colucci e Lavagnolo (1995), Nosko *et al.* (1996), McQuade e Needham (1999), Nosko e Touze-Foltz (2000), entre outros. Destes estudos pode concluir-se que 25% dos orifícios ocorrem durante a colocação da geomembrana, 73% ocorrem durante a colocação da camada drenante sobrejacente e só cerca de 2% ocorrem durante a fase de operação do aterro. Dos 25% de orifícios que ocorrem durante a colocação da geomembrana, cerca de 61% devem-se a extrusões deficientes em juntas em “T” ou “Y” ou em uniões com tubos, 18% a fusões deficientes por sobreaquecimento, 17% a punçamentos devido a pedras existentes no solo subjacente e 4% a cortes decorrentes das operações de colocação da geomembrana e ensaios. Dos 73% de orifícios que ocorrem durante a colocação da camada drenante, 68% são devidos a pedras angulosas, a inaceitáveis dimensões das partículas constituintes da camada drenante ou um inadequado geotêxtil de protecção, 16% são devidos ao equipamento pesado usado para espalhar a camada drenante, sobretudo nos locais onde existiam rugas ou a inadequado espalhamento e 16% devido à incorrecta utilização do utensílio usado para verificar a espessura da camada drenante (figura 5).

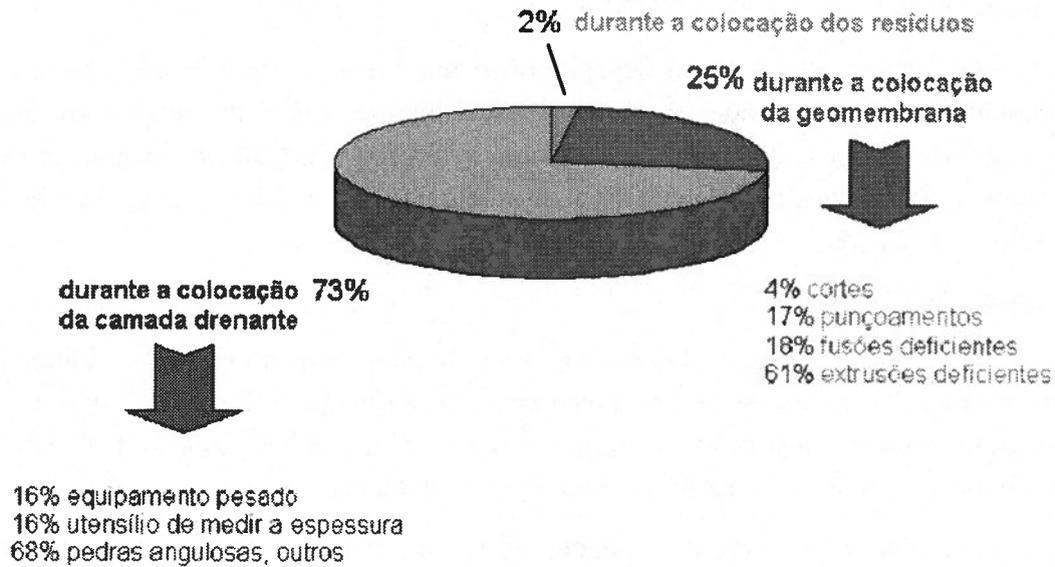


Figura 5 – Frequência de ocorrência de orifícios na geomembrana e respectivas causas

Relativamente à frequência de localização dos orifícios, cerca de 78% dos orifícios são na base do aterro, 9% nos cantos, 4% por baixo dos tubos de drenagem, 2% em ligações com tubos e 7% em outros locais (figura 6).

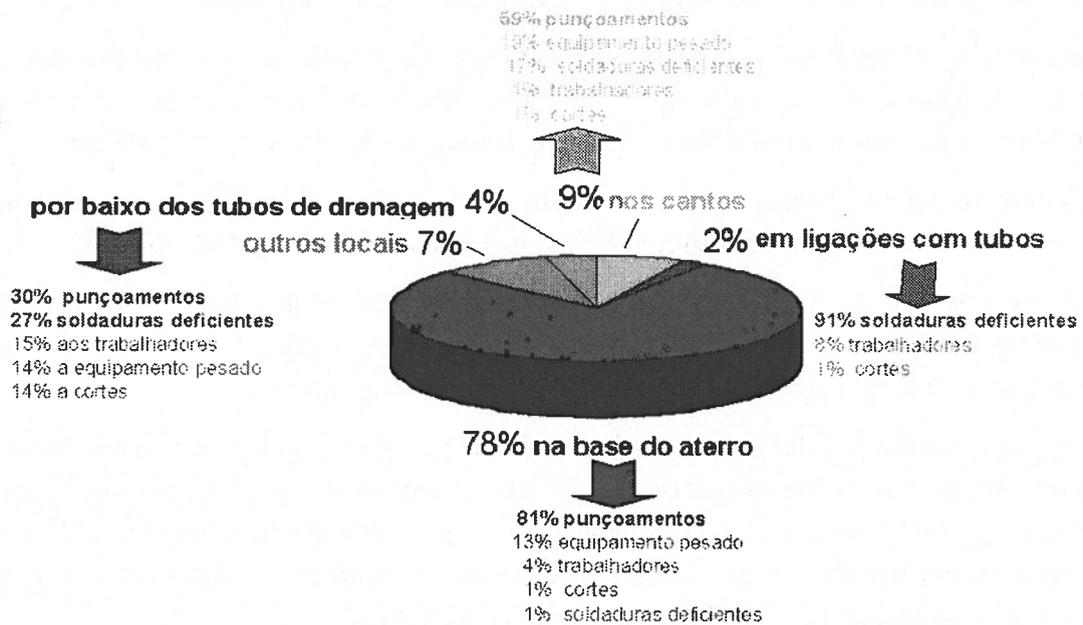


Figura 6 – Frequência de localização de orifícios na geomembrana e respectivas causas

Para além dos orifícios, todos os outros danos que ocorrem nos geossintéticos durante o período de construção são apenas avaliados através de observação visual, desconhecendo-se para esses casos estudos sobre a sua frequência de ocorrência.

2.6.2 Impacto dos problemas identificados

O impacto dos problemas detectados depende do tempo entre o momento em que ocorrem e são detectados/reparados e ainda, se são reparados durante o período de construção ou só durante o período de operação. Seguidamente será efectuada a associação entre os problemas identificados e os respectivos impactos no ambiente, na construção, na operação, na manutenção e nos custos.

– Impactos ambientais –

Em geral os problemas detectados durante a construção não implicam impactos ambientais, as consequências manifestam-se sobretudo nos atrasos na construção e início de exploração, nos aumentos dos custos de construção e manutenção e possivelmente na redução da confiança da entidade independente responsável pela garantia de qualidade.

Os problemas detectados durante a operação podem potencialmente implicar impactos ambientais, sobretudo se não forem detectados e reparados atempadamente. Relativamente à construção, as reparações durante a operação são mais difíceis de realizar e as repercussões são mais graves em termos de interrupções, manutenção e custos associados, já não referindo o impacto negativo que a percepção desses problemas tem para o público em geral, ainda que não cheguem a constituir um impacto ambiental.

Dos problemas identificados, os que podem implicar maiores riscos para o ambiente, por poderem por em risco a função de barreira à migração de lixiviados, são por ordem decrescente de preocupação: os rasgos na geomembrana, os orifícios na geomembrana e os orifícios nos geossintéticos bentoníticos do sistema de confinamento de fundo.

Os rasgos na geomembrana resultam normalmente de problemas de instabilidade, mas também podem advir, por exemplo, de problemas de *stress-cracking* ou ainda por perfurações indevidas provocadas pela colocação de tubos de drenagem de biogás ou de lixiviado.

Os orifícios na geomembrana, como se viu em 2.6.1, podem ter inúmeras causas sendo as mais frequentes associadas a extrusões deficientes e à colocação da camada drenante.

Os orifícios nos geocompósitos bentoníticos estão normalmente associados a deslocamentos ou a rugas que levam a uma diminuição da largura de sobreposição entre painéis ou ainda ao punçamento provocado por protuberâncias da camada subjacente.

Existem ainda outros problemas que podem induzir o enfraquecimento da integridade física da geomembrana e trazerem potenciais riscos para o ambiente, por exemplo deslocamentos que levam as geomembranas à tensão de cedência, exposição a diversos agentes atmosféricos, químicos e mecânicos que levem à diminuição da sua capacidade resistente, ou a uma rotura frágil, ou que conduzam à formação de sulcos rugas ou dobras.

Relativamente ao sistema de confinamento de cobertura, os potenciais riscos ambientais causados pelos problemas referidos têm impactos muito menores, sendo os mais preocupantes aqueles que conduzem à libertação de biogás. Este problema, embora grave, é de detecção rápida e de resolução normalmente simples.

– Impactos na construção, operação e manutenção –

Durante a construção do aterro de RSU o tipo de problemas que implicam a interrupção dos trabalhos enquanto se processa a respectiva reparação são sobretudo os orifícios na geomembrana ou nas uniões com tubos, a existência de dobras nas geomembranas ou ainda a degradação dos geossintéticos (por erosão, hidratação ou exposição aos UV).

Durante a exploração do aterro de RSU o tipo de problemas que implicam a interrupção dos trabalhos enquanto se processa a respectiva reparação são sobretudo os orifícios na geomembrana (muitos devidos à penetração indevida de tubos de drenagem de bigás aquando da sua cravação), roturas dos geossintéticos colocados nos taludes (instabilidade) e colmatação dos filtros de geossintéticos existentes no sistema de drenagem de lixiviados. Os problemas identificados durante a exploração são normalmente de reparação mais difícil e mais morosa do que os problemas detectados durante a construção.

Os problemas que implicam manutenções recorrentes estão normalmente relacionados com a erosão dos solos do sistema de cobertura.

– Impactos nos custos –

Os custos para corrigir os problemas atrás referidos podem ter uma variação significativa, dependendo se eles têm impacto na construção, manutenção ou operação. Obviamente que tendo impacto na operação os custos são normalmente superiores, por implicarem suspensão das actividades de operação e de recolocação dos resíduos. Mas certos problemas relacionados com a manutenção também podem ser dispendiosos, como é o caso dos problemas devido à erosão, sobretudo se forem muito recorrentes.

2.7 Análise do PGQC e recomendações para o futuro

Na maior parte dos casos, os problemas atrás referidos podem ser minimizados com a implementação de um adequado PGQC. Tendo presente o objectivo dos PGQC e os danos e impactos decorrentes dos materiais utilizados e das práticas construtivas seguidas, segue-se uma análise crítica das referidas práticas, dos métodos para a avaliação de qualidade da construção e a indicação das alterações julgadas convenientes para aumentar a proficiência dos PGQC.

2.7.1 Aspectos gerais

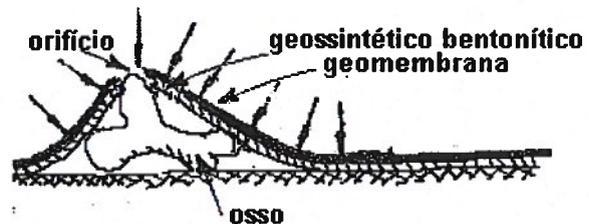
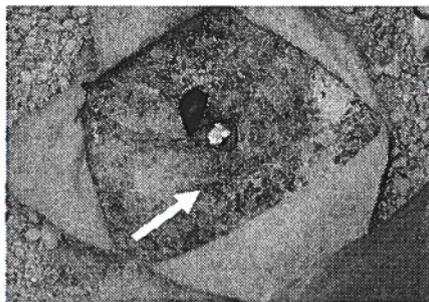
O PGQC para além de indicar as responsabilidades dos vários intervenientes, as recomendações para garantir a qualidade da construção, estabelecer as acções de verificação dessa qualidade e indicar os documentos para a evidenciar e avaliar é importante também que evidencie a forma como possíveis desvios às práticas construtivas recomendadas podem comprometer o desempenho dos materiais aplicados, nomeadamente dos geossintéticos (mais susceptíveis a danos físicos). E ainda que chame a atenção para a necessidade de uma boa articulação entre os trabalhos realizados por diferentes equipas, para que, em face das condições sazonais, a sequência de colocação das diferentes camadas de materiais dos sistemas de confinamento seja a adequada para garantir a sua cobertura atempada, de modo a evitar, por exemplo, a sua erosão, hidratação (e empolamento dos geossintéticos bentoníticos)

ou dessecação (das camadas de argila compactada) com consequências graves para o seu desempenho.

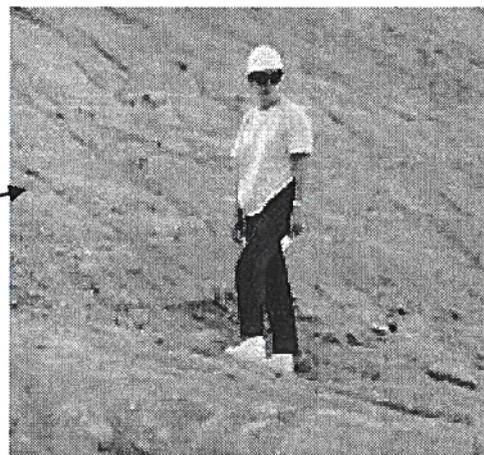
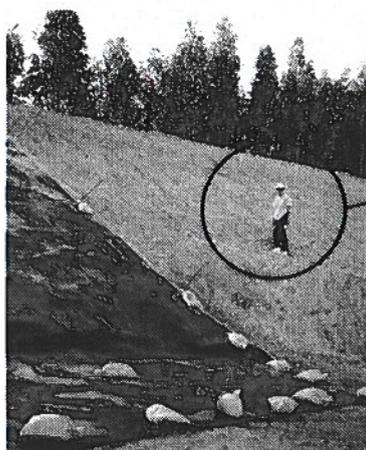
2.7.2 Aspectos relativos à camada de solo subjacente aos geossintéticos

Para além das especificações sobre os solos a utilizar, requisitos de compactação e técnicas de controlo de qualidade, de modo a garantir-se não só a estabilidade nos taludes mas também a capacidade de suporte adequada para o peso dos resíduos, deve haver uma maior preocupação relativamente aos aspectos que a seguir se referem.

Após a verificação da conformidade dos alinhamentos, inclinações e compactação da camada de solo e sua aprovação pela fiscalização, é muito importante que, imediatamente antes da colocação dos geossintéticos, se efectue uma segunda inspecção que inclua a verificação da inexistência de materiais contundentes (pedras, raízes, resíduos (figura 7 a), etc.), mudanças abruptas de inclinação, zonas “moles”, fendilhação, por dessecação, erosão, etc. (figura 7 b) ou deteriorações devidas ao tráfego de obra. É também importante que seja evidenciado o facto dos punçoamentos serem a causa de uma percentagem significativa (17%) dos orifícios produzidos nas geomembranas dos sistema de confinamento de fundo e que, conhecendo-se as repercussões, se seja mais intransigente no controlo da camada subjcente à geomembrana, e mais exigente nas reparações a efectuar.



a) Rotura por punçoamento da geomembrana devido à existência de um resíduo (osso)



b) Estado da superfície do talude devido à exposição aos agentes atmosféricos

Figura 7 – Problemas da superfície do solo subjacente à geomembrana (Lopes, 2006 a)

Uma outra questão prende-se com os cuidados a ter para manter a altura mínima especificada entre o nível freático e a primeira camada do sistema de confinamento, durante não só o período de construção mas até que a pressão hidrostática seja compensada pelo peso das camadas do sistema de confinamento e resíduos. É importante não só indicar o tipo de sistema de drenagem a implementar e o período durante o qual deve funcionar mas também evidenciar as repercussões em termos de degradação dos materiais sobrejacentes (figura 8) ou de instabilidade, caso não seja possível garantir essa altura mínima.

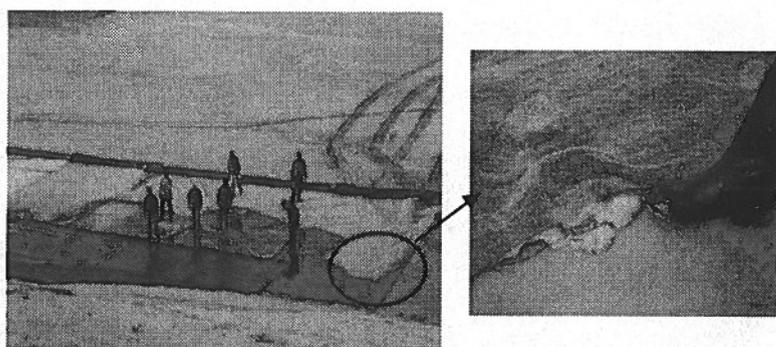


Figura 8 – Hidratação e degradação do geossintético bentonítico (Lopes, 2006 c)

2.7.3 Aspectos relativos aos geossintéticos

De uma forma geral durante a colocação dos painéis de geossintéticos deve ter-se um maior cuidado com os equipamentos utilizados no seu transporte e desenrolamento para não causarem danos à camada subjacente ou aos próprios geossintéticos. Tem ainda de haver uma maior vigilância sobre a adequação das condições atmosféricas para a colocação dos geossintéticos e sobre a adequação da forma de realização das uniões entre os painéis, sobretudo das geomembranas. Os métodos de verificação de danos nas geomembranas devem também ser actualizados.

Assim, e especificamente para as geomembranas tem de haver uma maior preocupação para estas não serem colocadas não só sob chuva ou nevoeiro, mas também sob vento excessivo, providenciando as medidas adequadas para evitar o seu levantamento e deslocação pela acção do vento (figura 9).

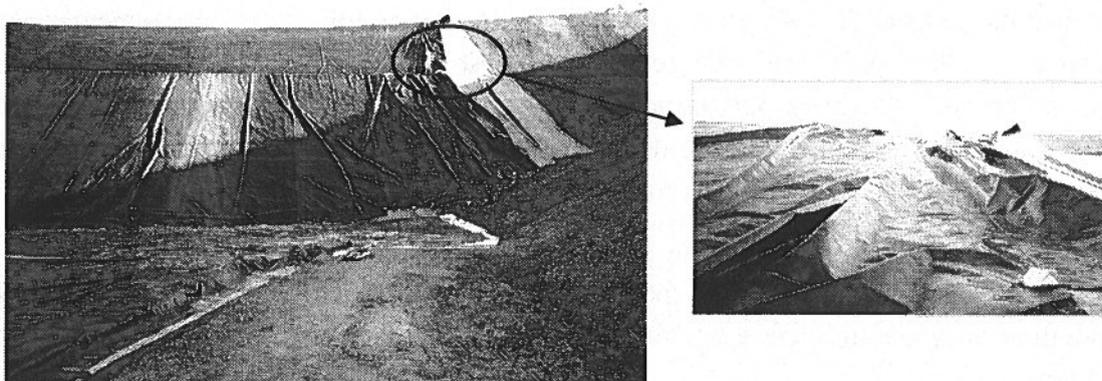
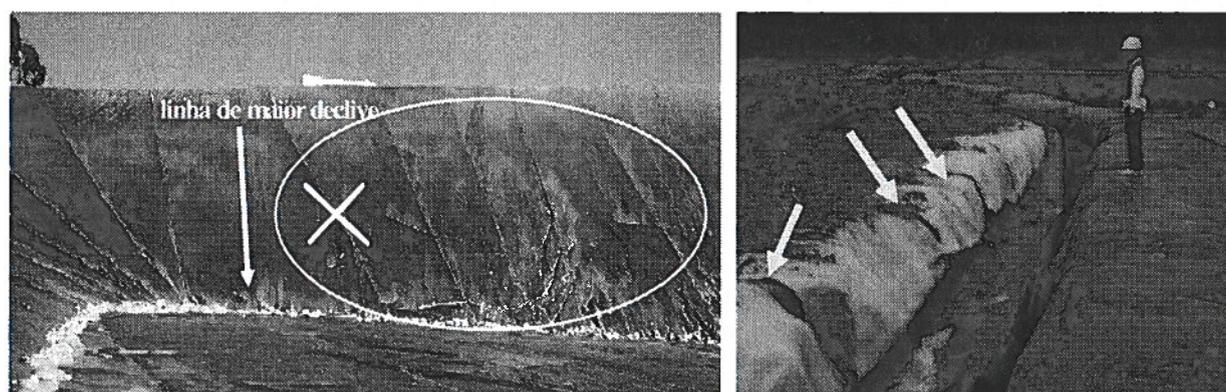


Figura 9 – Deslocação da geomembrana por acção do vento (Lopes, 2006 a)

A fiscalização para além de efectuar um controle mais apertado relativamente à forma como são dispostos os painéis, sobretudo em pontos críticos (por exemplo cantos dos taludes e em curvas), deve alertar para as repercussões em termos de formação de rugas (figura 10 a) ou pregas. A verificação da largura de sobreposição adequada entre os painéis é fundamental para a posterior realização das uniões nas geomembranas mas, também não deve ser descurada nos restantes geossintéticos, tendo em consideração os deslocamentos previsíveis face à sua localização no aterro (figura 10 b).



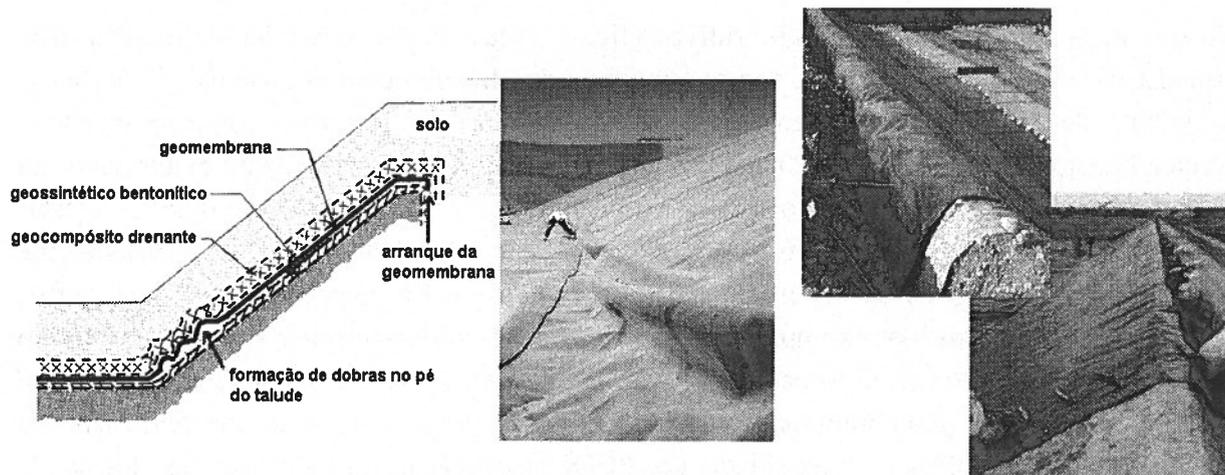
a) painéis em viés relativamente à linha de maior declive b) inexistência de sobreposição

Figura 10 – Anomalias decorrentes de uma colocação dos painéis deficiente (Lopes, 2006 a)

Devido à utilização de vários geossintéticos na constituição do sistema de confinamento, e atendendo aos baixos valores de resistência ao corte entre eles, é essencial um adequado dimensionamento da vala de ancoragem para evitar problemas de rotura ou arranque da geomembrana na zona de ancoragem, sobretudo quando se recorre a alturas e inclinações elevadas dos taludes de escavação. Contudo, e ainda que o dimensionamento esteja correcto, deve dar-se mais atenção ao facto de, com alguma frequência, se verificar o escorregamento da geomembrana durante a construção e a subsequente formação de dobras no pé do talude (figura 11 a) por insuficiente carregamento provisório da geomembrana no interior da vala de ancoragem, que é normalmente efectuado quer com sacos de areia, quer com solo (figura 11 b).

A análise das causas dos orifícios que ocorrem durante a colocação da geomembrana vem confirmar a maior dificuldade de realização de soldaduras por extrusão com qualidade, relativamente às soldaduras por termofusão, já que aquelas são responsáveis por 61% dos orifícios que se verificam nesta fase dos trabalhos, contra apenas 18% dos orifícios devido a fusões deficientes, normalmente por sobreaquecimento.

No sentido de se evitarem os orifícios por sobreaquecimento nas soldaduras por termofusão, é uma mais valia a utilização de equipamento, permitindo, por exemplo, a monitorização da temperatura da geomembrana e em função desta, seleccionar a velocidade de realização da soldadura.



a) formação de dobras no pé do talude b) carregamento com sacos e solo

Figura 11 – Dobras no pé de talude por insuficiente carregamento provisório (Lopes, 2006 a)

A fiscalização, para além de garantir que as operações de soldadura são realizadas a temperaturas superiores a 10 °C ou inferiores a 40 °C, deve ainda ser inexorável quanto à existência de dobras, rugas ou sujidade e humidade na zona de soldadura uma vez que a IAGI (2004) refere que 50% das soldaduras defeituosas se devem à presença de sujidade ou humidade na zona de sobreposição dos painéis. Para minimizar este tipo de problemas as soldaduras devem ser realizadas logo após a colocação dos painéis. Também a utilização de geomembranas com os bordos protegidos por uma fita autocolante (figura 12), a retirar só no momento da soldadura, é uma mais valia no sentido de se evitar os problemas referidos em soldaduras longitudinais, que representam cerca de 95% da totalidade das soldaduras. Mas atenção, no caso da fita não ser retirada pode comprometer a resistência da soldadura.

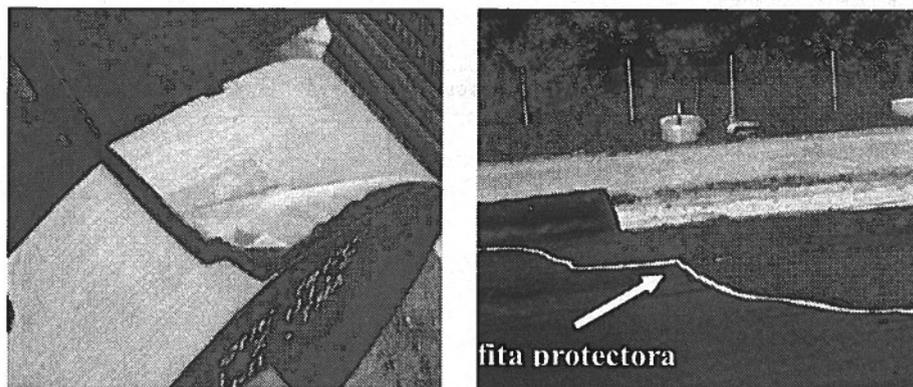


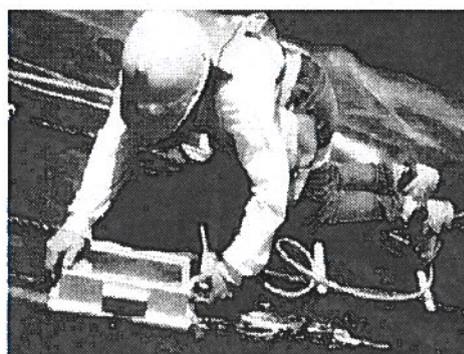
Figura 12– Fita autocolante protectora de sujidade e humidade (Lopes, 2006 a)

O número significativo de orifícios encontrados nas soldaduras por extrusão, aponta no sentido de minimizar o número dessas soldaduras, e em contrapartida aumentar a vigilância da sua realização, sobretudo em juntas em T e Y e ligações a tubos, mostrando as repercussões que deficiências nessas soldaduras podem implicar.

No que respeita aos ensaios não-destrutivos (figura 13), o PGQC deve dar indicações mais específicas sobre a sua realização, nomeadamente especificando para os ensaios a realizar nas soldaduras de termofusão dupla (ensaios de pressão com ar) o valor da pressão a ser injectada no canal central da soldadura, em função da geomembrana e temperatura, para evitar danos na soldadura, por excesso de pressão. No que se refere aos ensaios não-destrutivos a realizar sobre as soldaduras por extrusão é urgente substituir os ensaios de vácuo (usualmente preconizados no PGQC), de difícil execução sobretudo em ligações com tubos, por outros ensaios não-destrutivos, por exemplo o ensaio do arame eléctrico (electric wire test). Contudo para a realização deste ensaio torna-se obrigatório a introdução de um arame de cobre na zona de sobreposição das geomembranas superior e inferior (figura 14), antes da realização da extrusão, o que implica a necessidade do PGQC preconizar modificações na forma de realização das soldaduras por extrusão.



a) ensaio de pressão com ar



b) ensaio de vácuo

Figura 13 – Ensaios não - destrutivos (Lopes, 2006 a).

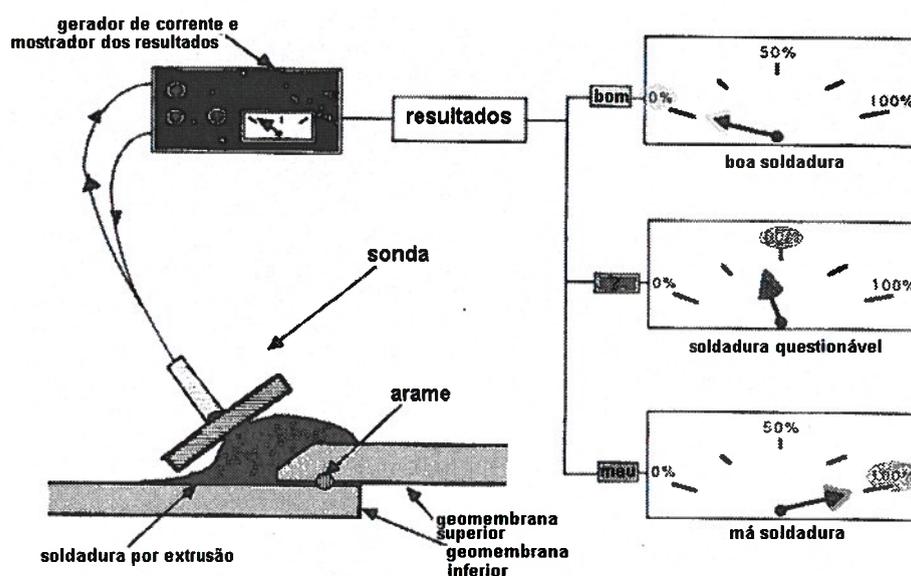


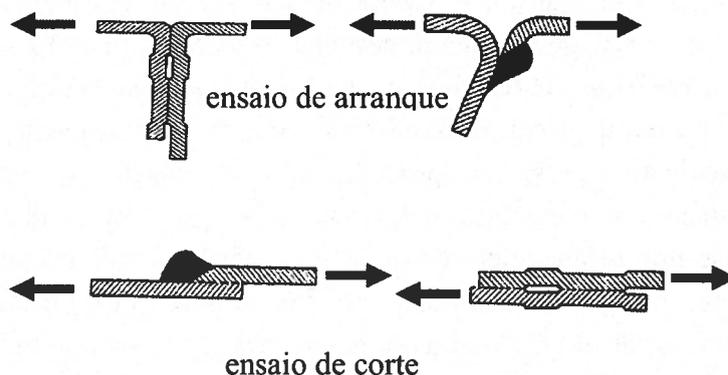
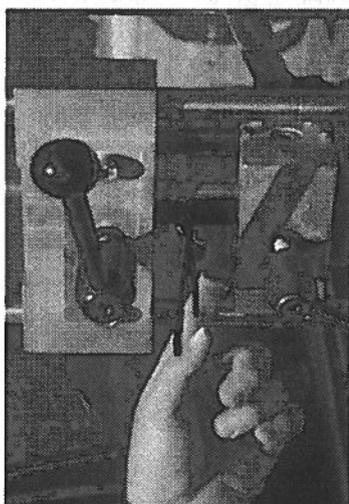
Figura 14 – Esquema do ensaio do arame eléctrico (Lopes, 2006 b)

A realização dos ensaios destrutivos (ao arranque e corte) para verificação da resistência das soldaduras pressupõe o corte de amostras e a posterior reparação com um remendo e subsequente união por extrusão à geomembrana (figura 15).

O facto de soldaduras por termofusão, serem substituídas, na zona do remendo, por soldaduras por extrusão, comprovadamente de pior qualidade, tem criado grande polémica sobre se a realização dos ensaios destrutivos traz mais benefícios ou inconvenientes, até por o remendo e a rigidez da soldadura por extrusão introduzirem pontos de maior concentração de tensões, sob carga, para além de se questionar se o ensaio de arranque simula as solicitações de serviço. Pelas razões apontadas, alguns autores sugerem mesmo que os ensaios destrutivos devam ser substituídos por ensaios não-destrutivos, por exemplo usando o método de termografia por infravermelhos (Peggs *et al.* (1994)). Mas a polémica sobre estes ensaios estende-se ainda à localização das amostras e frequência de amostragem, pois muito embora no PGQC dos aterros de RSU portugueses se tenha deixado à consideração da fiscalização a definição daqueles parâmetros, em função da qualidade das soldaduras evidenciada pelo instalador, na maior parte dos PGQC de outros países é comum a frequência de amostragem ser da ordem dos 150 m.



a) Recolha de amostra e remendo subsequente



b) Ensaios de corte e arranque

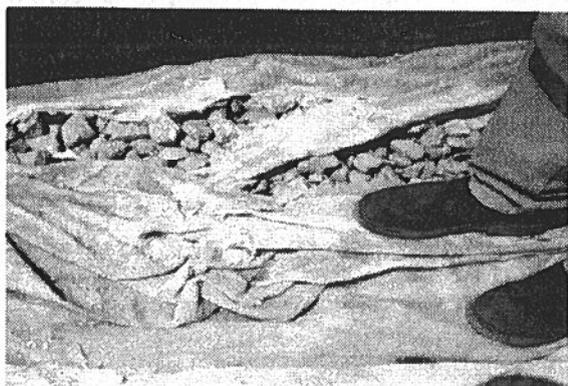
Figura 15 – Recolha de amostra e ensaio de corte e arranque de soldaduras (Lopes, 2005)

Segundo Mark Cadwallader (IAGI (2004)), de uma forma geral os resultados dos ensaios destrutivos revelam que o número de soldaduras defeituosas encontradas tem vindo a diminuir (de 7 para 2%) ao longo desta última década, por um lado, devido à maior aplicação e proficiência dos PGQC e, por outro lado, devido ao aumento da experiência dos instaladores e melhoria dos equipamentos de soldadura. Assim, e corroborando a Associação Internacional de Instaladores de Geossintéticos (IAGI) propõe-se que a frequência de amostragem seja flexível e função da qualidade das soldaduras, única forma de premiar a qualidade das equipas que demonstrem qualidade no seu trabalho e penalizar as que não a possuem. A definição da frequência de amostragem pode ser realizada quer através do método dos atributos, formalizado na norma GRI-GM14 (1998), recomendado para obras com áreas superiores a 100 ha, quer através do método da carta de controlo formalizado na norma GRI-GM20 (2002), recomendado para obras de área inferior. Esta estratégia pode conduzir a uma diminuição da frequência da amostragem, no caso das soldaduras serem de boa qualidade, mas subsiste ainda a questão da localização das amostras, pois autores como Phaneuf e Peggs (2001), Adams *et al.* (2001), Thiel (2002) e Darilek e Laine (2001), questionam a utilidade de se substituírem uma quantidade considerável de metros de soldaduras de termofusão por soldaduras de extrusão só para se efectuarem ensaios de verificação de resistência, 97% dos quais dão, em geral, bons resultados. Para se evitar a realização de soldaduras de extrusão e simultaneamente garantir um controlo de qualidade eficaz, os mesmos autores aconselham que as amostras para realização de ensaios destrutivos sejam em número reduzido e retiradas em locais não críticos, por exemplo na vala de ancoragem, no fim ou princípio da soldadura, ou em locais onde já seja previsível haver necessidade de se efectuar remendos, obviamente sem prejuízo da recolha de amostras em todos locais considerados suspeitos. Lembram ainda a importância do instalador realizar diariamente ensaios de pré-qualificação, única forma de demonstrar que os soldadores e equipamentos utilizados têm a qualidade necessária para a realização das soldaduras. De referir que o ensaio ao arranque é efectuado para verificar a qualidade da soldadura e o ensaio ao corte para verificar se o material adjacente à soldadura apresenta uma deformação apropriada, o que significa não ter sido afectado pela realização da soldadura. De salientar que é o valor da deformação na cedência e na rotura e não o valor da resistência ao corte que é mais importante conhecer para aferir se a zona adjacente à soldadura é afectada por esta, contrariamente ao que tem sido seguido nos PGQC dos aterros de RSU portugueses, em que só se define o valor mínimo da resistência ao corte. Assim, para além de ser conveniente detalhar os procedimentos de ensaio ao corte e arranque (especificando nomeadamente a temperatura de ensaio, já que esta condiciona os resultados) é muito importante que sejam referidos quais os critérios de rejeição/aceitação das soldaduras, pois tendo por base os resultados obtidos nos ensaios destrutivos, vários critérios de aceitação/rejeição de soldaduras têm sido desenvolvidos, nomeadamente por Haxo & Kamp (1990), National Sanitation Foundation (1983), Peggs & Rollin (1994) e Rollin *et al.* (1991), não existindo consenso sobre o critério que melhor qualifica a resistência da soldadura.

A cobertura da geomembrana pela camada subsequente é outro aspecto a melhorar, pois para além de dever ser realizada com brevidade (garantindo-se antes que todos os remendos dos orifícios foram realizados), é necessário ter mais cuidado para a cobertura não se fazer durante o período mais quente do dia, por a geomembrana apresentar nesse momento mais rugas.

2.7.4 Aspectos relativos à degradação dos geossintéticos

Normalmente para os geossintéticos (sobretudo para os geotêxteis) para os quais se prevê uma exposição prolongada aos UV (por exemplo os que são colocados nos taludes), tem de ter-se o cuidado de verificar a sua resistência relativamente a este tipo de solicitação. Existem contudo outros casos em que, por imponderáveis da construção, há geotêxteis que ficam expostos por mais tempo do que o previsto e que, excedendo a sua resistência, sofrem danos significativos, como se ilustra na figura 16 para o caso de um filtro de geotêxtil (a) e um geotêxtil de protecção(b), ambos em polipropileno, ao fim de 3 e 4 meses de exposição solar, respectivamente. A fiscalização deve ser mais vigilante para evitar este tipo de problemas.



Danos no filtro de geotêxtil
dum dreno de fundo
(3 meses de exposição solar)



Danos no geotêxtil de protecção
de uma geomembrana
(4 meses de exposição solar)

Figura 16 – Danos em geotêxteis, por exposição solar (Lopes, 2006 c)

2.7.5 Aspectos relativos à camada drenante

Tendo-se demonstrado que na secção 2.6.1 a maior percentagem (73%) de danos em geomembranas aplicadas em aterros de resíduos é devida à colocação menos cuidada da camada drenante e que estes não são facilmente reparáveis, é particularmente importante por um lado que a fiscalização seja inflexível no controlo da realização desta camada e que haja recomendações mais específicas sobre os cuidados a ter na sua realização, nomeadamente no que respeita ao tipo de equipamento a utilizar para o espalhamento e forma de o efectuar, sem esquecer de chamar também a atenção para as repercussões da utilização indevida do utensílio para controlar a espessura da camada drenante, responsável por 16% dos orifícios detectados. Por outro lado deve prescrever-se a obrigatoriedade de utilização de métodos de detecção de orifícios na geomembrana após a sua cobertura (ver secção 2.7.6), indicando as condições específicas de aplicação desses métodos, de contrário, todo o trabalho de inspecção e monitorização realizado traduzir-se-á numa batalha perdida. Apesar dos custos elevados, a sua utilização será sempre mais eficaz e conduzirá a soluções mais económicas que quaisquer medidas correctivas a realizar, quando, através da monitorização das águas subterrâneas, se concluir haver fugas de lixiviado.

2.7.6 Métodos de detecção de orifícios

Existem métodos de detecção de orifícios que podem ser utilizados para geomembranas antes e após a sua cobertura, como é o caso do ensaio com sistema fixo de detecção e localização de orifícios. Outros métodos só podem ser aplicados quando a geomembrana estiver coberta, como é o caso do ensaio da sonda eléctrica móvel.

Para o ensaio com sistema fixo de detecção e localização de orifícios, antes da colocação da geomembrana, é necessária a colocação no solo, a pequena profundidade, de uma rede de sensores, segundo uma quadrícula pré-definida. Cada sensor é ligado através de um cabo eléctrico a um aparelho de aquisição de dados, situado na proximidade da obra (figura 17).

Depois da colocação da geomembrana (ou também da camada de protecção e camada drenante) instala-se um gerador de corrente eléctrica ao qual se ligam dois eléctrodos, um colocado acima da geomembrana e outro (o eléctrodo terra) colocado no solo de fundação. Quando uma corrente eléctrica é aplicada, a densidade de corrente sob a geomembrana pode ser medida pelos diferentes sensores. Qualquer perfuração da geomembrana provoca uma anomalia na distribuição da densidade da corrente eléctrica. Através de um software específico podem localizar-se os orifícios da geomembrana com bastante precisão.

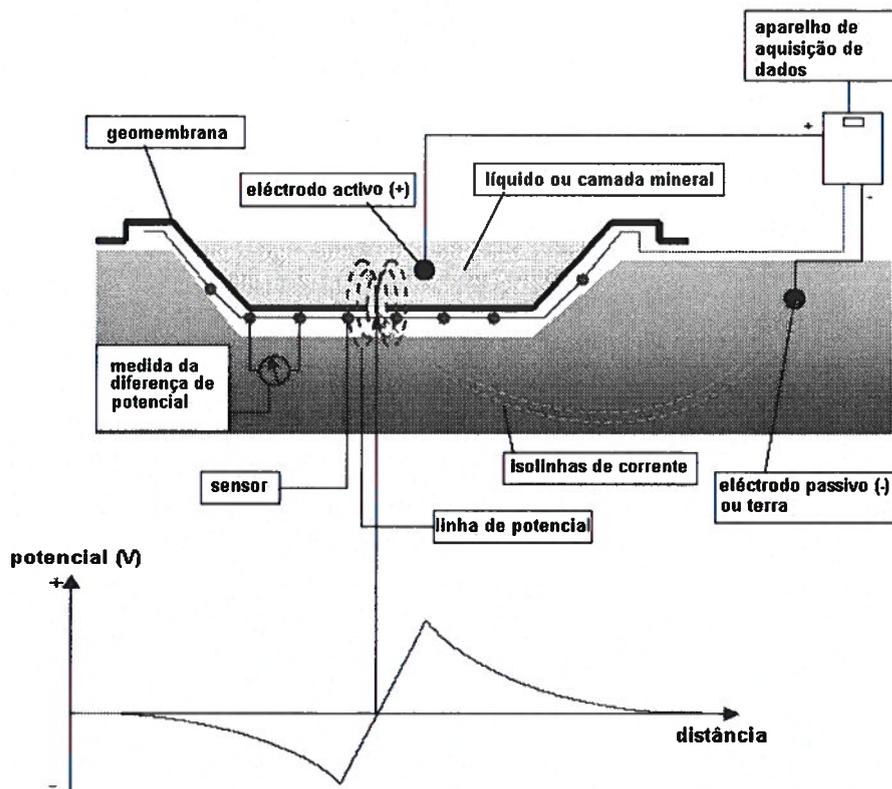


Figura 17 – Esquema do ensaio com sistema fixo de detecção e localização de orifícios (CFGG, 2003)

No ensaio da sonda eléctrica móvel (figura 18) utilizam-se dois eléctrodos, um colocado no solo de suporte e outro, colocado no material que cobre a superfície superior da

geomembrana, de modo a estabelecer-se uma diferença de potencial entre o solo exterior e o meio interno. Os dois eléctrodos são ligados a um gerador de corrente contínua. Com a ajuda de uma sonda eléctrica móvel efectuam-se medidas de potencial eléctrico, segundo uma densidade pré-determinada. Uma mudança de sinal nos valores medidos pode indicar a existência de um orifício. Como o campo de potencial diminui à medida que a sonda se afasta do eléctrodo, se tal não acontecer e se pelo contrário se verificar um aumento do potencial, significa que a sonda está na proximidade de um orifício.

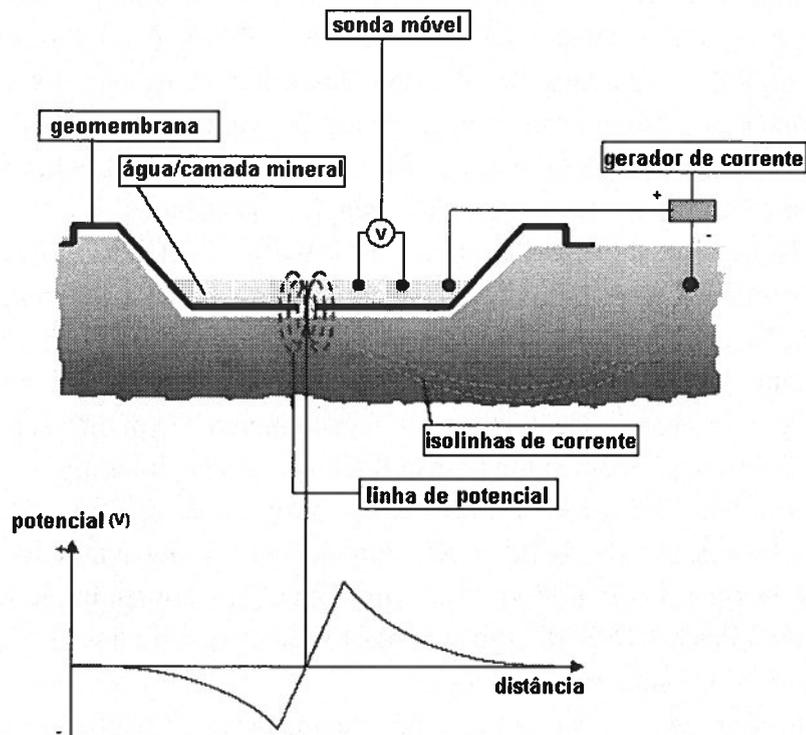


Figura 18 – Esquema do ensaio da sonda eléctrica móvel (CFGG, 2003)

É primordial que no PGQC sejam indicados, para além dos procedimentos destes ensaios, as respectivas condições de aplicação, para uma escolha mais adequada em cada caso específico. Por exemplo, estes métodos para serem eficazes, obrigam a que os materiais em contacto com as superfícies inferior e superior da geomembrana sejam condutores, pelo que a existência de uma camada de argila muito seca, ou de uma geogrelha pode dificultar as medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M., Hullings, D. & Swyka, M. (2001). “Geomembrane construction quality assurance updated”. Geotechnical Fabrics Report, vol. 19, no 4, pp. 18-21.
- Bouazza, A., Zornberg, J. G. & Adam, D. (2002). “Geosynthetics in waste containment facilities: recent advances”. Proceedings of 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, França, pp. 445-507.

- CFGG (2003). "Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes", France.
- Colucci, P. & Lavagnolo, M. C. (1995). "Three Years Field Experience in Electrical Control of Synthetic Landfill Liners". Proceedings of the 5th International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, pp. 437-451.
- Darilek, G. T. & Laine, D. L. (2001). "Costs and benefits of geomembrane liner installation CQA". Proceedings of the Geosynthetics 2001 Conference, IFAI, Roseville, Minn, pp. 65-74.
- Forget B., Rollin, A. L. & Jacquelin T. (2005). "Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes". Proceedings of Sardinia 2005, Sardenha.
- GRI GM14 (1998). "Standard Guide for Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using the Method of Attributes".
- GRI GM20 (2002). "Standard Guide for Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using control Charts".
- Gross, B. A., Bonaparte, R. B. & Giroud, J. P. (1990). "Evaluation of Flow from Landfill Leakage Detection Layers". Proceedings of 4th International Conference on Geotextiles, Vol. 2, Haia, Holanda, pp. 481-486.
- Haxo, H. & Kamp, L. (1990). "Destructive Testing of Geomembranes Seams: Shear and Peel Testing of Seam Strength". Geotextiles and Geomembranes, vol. n° 9, pp. 369-404.
- IAGI (2004). "Improving Geomembrane Installations". White paper, pp. 1-17.
- Koerner, G. R. & Koerner, R. M. (2006). "Construction Quality Assurance-Inspectors Certification Program (CQA-ICP)". GRI white paper n° 8, Geosynthetic Institute, USA.
- Laine, D. L. & Darilek, G. T. (1993). "Locating Leaks in Geomembrane Liners of Landfills Covered With a Protective Soil". Proceedings of the Geosynthetics '93 Conference, Vol. 3, IFAI, Vancouver, Canada, pp. 1403-1412.
- Lopes, M. G. (2005). "Avaliação da qualidade de aplicação de geomembranas em aterros de resíduos: o que deve mudar". Actas do "1º Seminário Português sobre Geossintéticos", Porto, 23 a 24 de Novembro, 18 pp.
- Lopes, M. G. (2006 a). "A experiência de colocação de geomembranas de PEAD em aterros de RSU". Revista Geotecnia n°106, Março, pp. 55-74.
- Lopes, M. G. (2006 b). "Análise dos métodos de controlo de integridade de geomembranas de PEAD usadas em aterros de RSU". Revista Geotecnia n°106, Março, pp. 107-131.
- Lopes, M. G. (2006 c). "Problèmes liés a la mise en place de géosynthétiques dans des centres de stockage de déchets ménagers au Portugal". Actas dos Rencontres 06-Géosynthétiques, Montpellier, França, 12 a 14 de Junho, pp. 115-122.
- McQuade, S. J. & Needham, A. D. (1999). "Geomembrane liner defects-causes, frequency and avoidance". Geotechnical Engineering n°137 pp. 203-213.
- National Sanitation Foundation (1983). "International Standard 54: Flexible membrane liners". Ann. Arbor, Michigan, USA (revisto em 1985 e 1993).
- Nosko, V., Andrezal, T., Gregor, T. & Ganier, P. (1996). "SENSOR damage detection system (DDS)-the unique geomembrane testing method". Proceedings of the 1st European Geosynthetics Conference, Maastricht, pp. 743-748.

- Nosko, V. & Touze-Foltz, N. (2000). "Geomembrane liner failure: modelling of its influence on contaminant transfert". Proceedings of the 2nd European Geosynthetics Conference, Bologna, vol 2, pp. 557-560.
- Phaneuf, R. & Peggs, I. (2001). "Landfill construction quality - Lessons learned from electrical resistivity testing of geomembrane liners". Geotechnical Fabrics Report, vol. 19, no 3, pp. 28-35.
- Peggs, I. D., Miceli, G. F. & McLearn, M. E. (1994). "Infrared Thermographic Nondestructive Testing of HDPE Geomembrane Seams". Proc. of the 5th International Conference on Geosynthetics, Singapore 5-9 September, pp. 941-944.
- Peggs, I. D. & Rollin, A. (1994). "Seams in HPDE Geomembranes: The Quality Target". 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, pp. 949-952.
- Rollin, Fayoux & Benneton (1991). "Non destructive and destructive seam testing". Geomembranes Identification and performance testing – RILEM – Chapman and Hall.
- Rollin A. L., Marcotte M., Chaput L. & Caquel F. (2002). "Lessons learned from geo-electrical leaks surveys". Proceedings of 7th International Conference on Geosynthetics, Nice França, pp. 527-530.
- Shepherd, J. A., Rivette, C. A. & Nava, R. C. (1992). "Landfill Liner CQA: A summary of Real Costs and a Question of True Value". Proceedings of the 6th GRI Seminar, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. 29-35.
- Thiel, R. (2002). "Current Industry Issues with GCLs". Proceedings of GRI XVI, Geosynthetic Institute, Folsam, Pa.
- Thiel, R., Darilek, G. & Laine D. (2003). "Cutting holes for testing vs testing for holes". GFR, Junho/Julho, pp. 20-23.

