

# ALGUNS PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA BASAL DE SELAGEM EM ATERROS SANITÁRIOS

Some designing aspects of basal sealing system in landfills

FARINHA, FRANCISCO J.B. \*

RESUMO - São descritos os principais elementos constituintes da barreira geológica e do sistema basal de selagem a considerar no dimensionamento de um aterro sanitário, nomeadamente quais os principais requisitos geotécnicos a considerar para cada um deles.

SYNOPSIS - The main elements that constitute the geological barrier and the sealing basal system to consider in a landfill design, namely the main geotechnical parameters to each one, will be described as follows.

## 1 - INTRODUÇÃO

Um aterro sanitário é uma obra no domínio da Engenharia Civil que, pela importância que suscita para as populações e para o meio ambiente, deve ser projectada e construída de acordo com os códigos e as normas internacionalmente aceites.

O seu projecto deverá providenciar uma selecção criteriosa nos materiais a empregar para a concepção do sistema basal de selagem, sendo importante a escolha desses mesmos materiais bem como o método construtivo adoptado para o aterro sanitário. Estes dois factores estão directamente relacionados com a tecnologia existente e com a topografia do local.

De salientar que apesar de não ser imperativo, a eficiência completa de um sistema basal de selagem só se cumpre quando o aterro é instalado num local com um solo que apresente baixa permeabilidade, isto é, com uma fracção predominante argilosa.

## 2 - BARREIRA GEOLÓGICA

Designa-se por barreira geológica o terreno natural constituinte do local onde se vai instalar o aterro sanitário. Em condições ideais deve ser estável e impermeável possuindo um elevado teor em argilas, devido à particularidade destes minerais em conferir aos solos uma baixa permeabilidade e grande capacidade de adsorção, causado pela sua grande superfície e cargas electrostáticas fortes.

Conforme se pode observar do quadro seguinte, consoante a natureza geológica do substrato, se ocorrer uma rotura na selagem basal do aterro sanitário, os lixiviados deverão ser retidos até que haja conclusão do saneamento, garantindo que a água subterrânea não seja afectada para além dos valores admitidos, durante um período nunca inferior a 30 anos. Essa capacidade de retenção depende directamente da capacidade de troca iónica apresentada pelo solo.

---

\* Eng. Geólogo. Mestre em Geologia de Engenharia (UNL)

### Quadro 1

Capacidade de troca iónica em solo, seco (Tchobanoglous, 1993)

Textura do solo	Capacidade de troca iónica em solo seco (m <sub>eq</sub> /100 g)
Areia	1-5
Areia fina margosa	5-10
Silte margoso	5-15
Argila margosa	15-30
Argila	Superior a 30

O substrato pode pois, na dependência da sua constituição mineralógica, promover a adsorção dos lixiviados caso haja uma rotura dos sistemas de selagem, evitando ou retardando a poluição do meio ambiente.

Esta barreira constituída pelo terreno de fundação, deve ainda ter capacidade de resistir ao assentamento, à compressão e ao aumento do volume resultante de pressões internas ou externas, de modo a prevenir a distorção ou rotura do sistema de selagem basal com a consequente contaminação do meio ambiente.

Para uma avaliação das características geotécnicas do substrato, deverá fazer-se uma análise detalhada de:

- a) Topografia
- b) Geologia
- c) Água subterrânea
- d) Propriedades dos solos e rochas
- e) Condições de drenagem superficial
- f) Condições sísmicas

Para efectuar estes estudos, empregam-se geralmente métodos de prospecção directa ou indirecta. Alguns deles não requerem qualquer tipo de furação ou escavação, estando a sua escolha directamente relacionada com o tipo de substrato existente no local.

Os ensaios geotécnicos vulgarmente utilizados, podem ainda ter como função determinar a aptidão do solo quer para fundação de estruturas, quer para reutilização ou ainda para impermeabilização.

Por exemplo, se o local onde se for instalar o aterro for constituído por um solo arenoso e o nível freático estiver a pequena profundidade, deve ser feita uma análise sísmica de modo a determinar a susceptibilidade do terreno à liquefacção, caso este local seja numa zona de intensa actividade sísmica.

Os solos que compõem o substrato, deverão apresentar valores de permeabilidade inferiores a  $10^{-4}$  cm/s, não devendo estes valores ser limitativos, pois a adopção de geomembranas garante uma impermeabilização quase perfeita do substrato (Quadro 2). Se houver rotura da geomembrana, os lixiviados além de terem de ultrapassar a camada de argila do sistema basal de selagem, terão um substrato que não lhes permite fácil dispersão.

A posição do nível freático no substrato também é muito importante, devendo situar-se sempre mais de 1,0 m abaixo da base do aterro sanitário ou em alternativa, provocar-se o seu rebaixamento, por exemplo através de drenagem com poços de extração associados a paredes moldadas. O objectivo principal será impedir que haja contacto da água subterrânea com os resíduos sólidos.

Quando o terreno se encontra na fase de escavação para instalação do aterro sanitário, o substrato deverá ser dotado de uma inclinação igual ou superior a 3%, de maneira a favorecer o escoamento dos lixiviados por gravidade para um tanque de acumulação de lixiviados ou para a ETAR (caso exista).

Quadro 2  
Conductividade hidráulica em solos granulares (Custódio, 1976)

(K em cm.s <sup>-1</sup> )	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	1,0	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
Drenagem	Boa						Má		Quase impermeável	
Tipo de Solos	Areia grosseira		Areia fina com algum cascalho e argila			Areia muito fina com misturas de silte e argila				

Sempre que num aterro sanitário se realizarem escavações que excedam 3 m de altura, deve ser feita uma análise de estabilidade de taludes, com vista a avaliar a susceptibilidade destes ao escorregamento.

### 3 - SISTEMA BASAL DE SELAGEM

O sistema basal de selagem é o complexo natural ou artificial que se coloca por cima do terreno existente.

Consiste na colocação de solos argilosos de baixa permeabilidade em camadas de fraca espessura devidamente compactadas, acima do terreno do substrato depois de devidamente regularizado. Por vezes, para aumentar a eficiência desta barreira, recorre-se a um sistema combinado em que, acima da argila compactada, se coloca uma geomembrana impermeável em PEAD (polietileno de alta densidade) geralmente de 1,5 mm de espessura. A escolha da espessura da geomembrana tem a ver com as tensões a que esta estará sujeita quando colocada no aterro sanitário (Figura 1).

Quando a estabilidade dos taludes e da base do aterro sanitário estiver em causa, podem-se colocar geogrelhas por cima da geomembrana em PEAD, aumentando-se assim a resistência á tracção. De igual modo nos taludes deverá ser colocada geomembrana do tipo rugosa, de modo que seja aumentado o ângulo de atrito entre esta e as camadas adjacentes, evitando-se possíveis deslizamentos entre os componentes do sistema basal de selagem.

Estes sistemas artificiais devem ser constituídos por materiais que tenham propriedades químicas adequadas, bem como suficiente resistência e espessura, de modo a prevenir roturas devidas aos gradientes de pressão que se podem gerar na base.

Sobre este sistema de selagem (base e taludes) coloca-se uma camada drenante ou, em alternativa, um geocompósito drenante que, associado à inclinação do substrato, servirá para recolher os lixiviados e conduzi-los para uma bacia de recepção.

A escolha e colocação de um eficiente sistema basal de selagem, é das primeiras preocupações porque variará de local para local. No nosso país os aterros sanitários recentemente construídos ou a construir, estão dotados de modernos sistemas de selagem porque a maneira mais eficiente, mais económica e mais segura para evitar gastos futuros em despoluição, será a execução de eficazes sistemas de selagem.

A Proposta de Directiva da União Europeia propõe a adopção de um sistema basal de selagem com espessura superior a 1,0 m, constituído por argilas com permeabilidade de 10<sup>-9</sup> m/s, é sempre que a barreira geológica não ofereça de modo natural as condições prescritas, este sistema poderá ser complementado por meios artificiais como por exemplo uma geomembrana em PEAD (Quadro 3).

Resíduos

Geotêxtil com funções filtrantes e de separação

Camada de drenagem para dispersão dos lixiviados

Geotêxtil para protecção da geomembrana

Geomembrana em PEAD

Geotêxtil para protecção ao subsolo

Subsolo

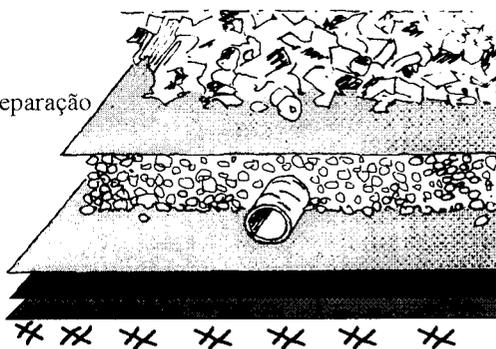


Figura 1 - Pormenor do sistema de selagem com recolha de lixiviados

Quadro 3

Espessuras e permeabilidades da camada de argila admitida noutros países

PAÍS	ESPESSURA	PERMEABILIDADE (K em m/s)
Alemanha	0,6 m	$10^{-9}$
Reino Unido	1 m	$10^{-7}$
Austria	0,6 m	$10^{-9}$
Itália	depende de K	$<10^{-6}$
EUA	0,9 m	$10^{-7}$

Verifica-se que, de país para país, há actualmente diferenças nas metodologias empregues, o que tenderá a esbater-se e mesmo a anular-se quando a Proposta de Directiva entrar em vigor em todos os países da U.E.

Sobre esta temática, as normas em vigor nos EUA apresentam uma comparação de valores de lixiviados detectados, colectados e eficientemente removidos pelo sistema de recolha de um aterro sanitário, onde a espessura de argila é de 90 cm e a permeabilidade de  $10^{-7}$  cm/s associada a uma geomembrana com espessura de 1,0 mm (Figura 2).

Para que os estratos argilosos de baixa permeabilidade se possam considerar completamente impermeáveis aos lixiviados têm que ser previamente ensaiados em termos da sua estabilidade química para a composição prevista dos fluidos que terão origem nos detritos. Convém, por isso, que todos os materiais que irão estar em contacto permanente com os lixiviados sejam quimicamente resistentes, de modo que não sofram alterações das suas propriedades com o evoluir do tempo (USEPA, 1991).

Para um sistema basal de selagem de origem natural eficiente é necessário, no entanto, do ponto de vista geotécnico cumprir determinados requisitos, de forma a garantir uma boa impermeabilização.

Os procedimentos deverão ainda incluir medidas com vista a uma conservação a longo prazo, de modo a ter em conta os factores que possam influenciar o comportamento do sistema de selagem, como por exemplo a sua composição, as condições de construção (teor em água utilizado, densidade, métodos de compactação, tamanho dos grãos, dissecação, etc.), alterações pós-construção (mudança das tensões de confinamento, migração de partículas, assentamento diferencial, instabilidade de taludes, mudanças tixotrópicas, etc.) e compatibilidade química entre os vários elementos.

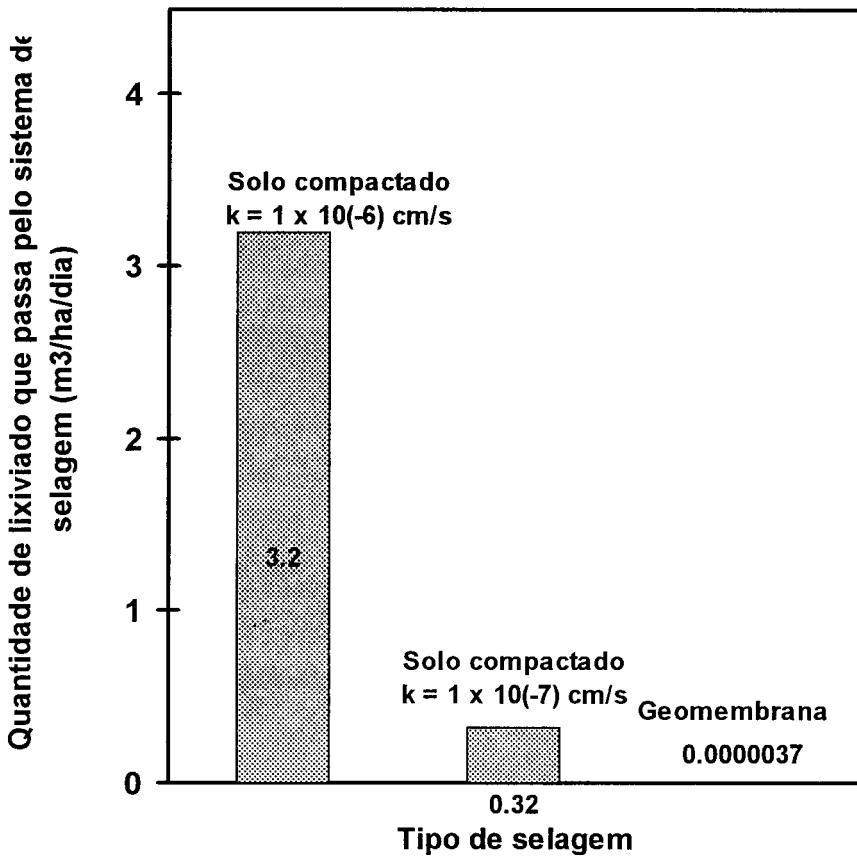


Figura 2 - Quantidade de lixiviados que passam através da camada de argila com diferentes permeabilidades e através de uma geomembrana.

Por cima da camada de argila ou da geomembrana, caso exista, deve de ser colocada uma camada drenante que sirva para recolha e condução dos lixiviados para um tanque de recepção a fim de serem tratados. Esta camada drenante pode ser do tipo natural (areia, cascalho, etc) ou artificial (geocompósito drenante), providenciando uma superfície uniforme, contínua e altamente permeável sobre a qual os resíduos irão ser depositados, e ao mesmo tempo proteger a camada de argila de possível dissecação e/ou erosão durante a sua construção.

Quadro 4  
 Procedimentos a ter em conta no dimensionamento de uma sistema basal de selagem.

PROCEDIMENTO	COMENTÁRIO
Preparação adequada da fundação (com alisamento e recompactação do substrato).	Facilita a colocação dos elementos do sistema basal de selagem e confere estabilidade ao substrato.
Espessura de argila superior a 1,5 m. Recentemente a Proposta de Directiva aconselha uma espessura igual ou superior a 1,0m.	Gordon (1990) justifica a espessura de 1,5m pela possibilidade de se poderem verificar assentamentos na base do aterro, ou até erros construtivos que possam danificá-la.
Inclinação do terreno da base do aterro superior a 3% e inclinação dos taludes laterais 1(V): 3(H).	A eficiência do sistema de drenagem e rapidez de escoamento de lixiviados depende das inclinações proporcionadas, o que por sua vez depende do tipo de terreno.
Permeabilidade da argila inferior a $10^{-8}$ cm/s (Jessberger, 1990). Outros autores consideram como valor máximo admissível de permeabilidade $10^{-7}$ cm/s (Landreth, 1990), (Mitchell, 1990).	Há que fazer ensaios de permeabilidade a várias amostras provenientes do local, de modo a aumentar a representatividade do solos.
Os solos utilizados neste sistema de impermeabilização devem conter pelo menos 20% de finos e apresentarem granulometria inferior a 25 mm;	Consegue-se dar maiores garantias de impermeabilização.
Limite de liquidez (LL) superior a 30.	Consegue-se assim evitar que o solo fluidifique facilmente durante a compactação.
Índice de plasticidade (IP) superior a 15.	As normas americanas são menos restritivas e admitem um valor de IP superior a 10.
Equipamento de compactação (pés de carneiro ou cilindro) com especificação do número de passagens a efectuar, para garantir uma boa compactação.	Homogeneiza a camada de argila, conferindo-lhe maior índice de permeabilidade.
Compactação da argila a 95% do ensaio Proctor (Gordon, 1990) e escarificação entre cada uma das camadas de argila.	Eliminar discontinuidades e fenómenos de dissecação entre as várias camadas (Figura 3).
Verificação da permeabilidade conseguida em cada camada impermeabilizante (Trautwein et al, 1990) através de ensaios apropriados;	Verificar se a permeabilidade obtida em obra é igual à que se pretende.

A camada drenante de origem natural, deverá possuir as seguintes características geotécnicas:

- 0.3 m de areia média e grosseira
- permeabilidade de  $10^{-3}$  cm/s a 1,0 cm/s (Landreth, 1990; USEPA, 1989)
- solo passado no peneiro 200 inferior a 5%.

No interior desta camada drenante são colocados tubos em PEAD, ranhurados a meia cana, que servem para aumentar a capacidade de vazão dos lixiviados sendo por vezes envoltos em geotextil, de modo a evitar a obturação. Estes tubos estendem-se ao longo da linha de maior declive e embocam num sifão, seguindo deste para o tanque de recepção.

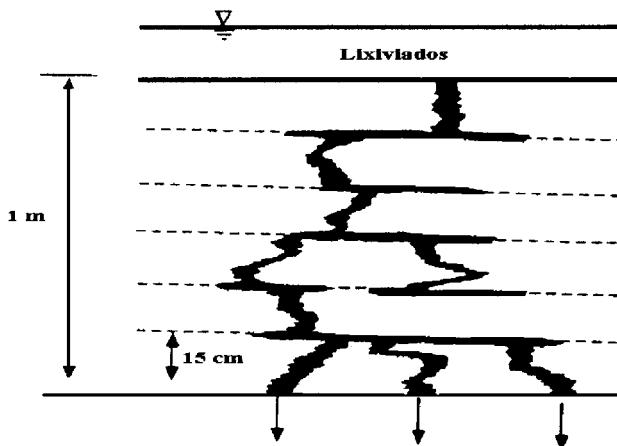


Figura 3 - Fendas de dissecação na camada de argila quando mal compactada (USEPA, 1991)

#### 4 - CONCLUSÕES

Relativamente ao exposto, podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Verifica-se que os resultados de percolação de lixiviados indicam melhores comportamentos para os sistemas mistos (geomembrana + argila) do que para os sistemas em que só se utiliza argila.
- A análise das características do substrato e a avaliação do sistema de selagem mais eficiente, deve ser feita por um especialista e com esses dados chegar-se a uma solução de compromisso em termos de permeabilidade e espessura da argila, e de qual a espessura da geomembrana a utilizar.
- Deve de haver durante a fase de construção uma vigilância sempre muito apertada junto do Empreiteiro, de modo a que os materiais empregues e a permeabilidade obtida na camada argilosa estejam de acordo com o preconizado no projecto.

#### 5 - BIBLIOGRAFIA

- CODUTO, D.P. e HUITRIC, R. - *Monitoring Landfill Movements Using Precise Instruments*. ASTM, 1990.
- COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS - *Proposta de Directiva do Conselho relativa à deposição de resíduos em aterros*. COM(97)105 final, 1997.
- CUSTÓDIO, E. - *Lições de Hidrogeologia*. Madrid, 1976.
- FARINHA, F.J.B. - *Contribuição da geotecnia na elaboração de estudos para aterros sanitários*. Dissertação de Mestrado apresentada à FCT/UNL. Lisboa, 1995.
- GORDON, M. - *Regulation, construction and performance of clay-lined landfills in Wisconsin*. Waste containment systems. ASCE, 1990.
- JESSBERGER, H. - *Some geotechnical aspects of waste disposal*. 6th Congress IAEG. Balkema. Rotterdam, 1990.
- JONES, D.R.V. - *Waste disposal in steep sided quarries. Engineering considerations*. Geological Society of London, 1993.
- LANDRETH, R. - *Landfill containment systems regulations*. ASCE. Geotechnical special publication nº 26, 1990.
- LANDVA, A. e CLARK, J.I. - *Geotechnics of Waste Fill*. ASTM, 1990.

- MITCHELL, R. e GORDON, M. - *Regulation, construction and performance of clay lined landfills in Wisconsin*. ASCE. Geotechnical special publication n° 26, 1990.
- POTTER, H.A.B. e YONG, R.N. - *Waste disposal by landfill in Britain: Problems and solutions*. Geological Society of London, 1993.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THIESEN, H. e VIGIL, S. - *Integrated solid waste management*. McGraw-Hill, Inc, 1993.
- TRAUTWEIN - *Performance evaluation of earthen liners*. Waste containment systems. ASCE, 1990.
- USEPA - *Requirements for hazardous waste landfill, design, construction and closure*. EPA/625/4-89/022, 1989.
- USEPA - *Design and construction of RCRA/CERCLA final covers*. EPA/625/4-91/025, 1991.