

# GEOTÊXTEIS. RESUMO CRÍTICO DA BIBLIOGRAFIA RECENTE\*

Geotextiles. A short review of recent literature

por  
JOSÉ FOLQUE\*\*

RESUMO — Desde 1980 que nada se publica em Portugal sobre aplicações de geotêxteis em obras de Engenharia Civil. Contudo diversas obras têm sido realizadas em que eles se aplicaram, algumas constituindo realizações de certo vulto. Por outro lado, a bibliografia estrangeira tem apresentado numeroso material sobre o assunto. Achou-se por isso oportuno efectuar uma revisão crítica das principais fontes bibliográficas disponíveis.

SYNOPSIS — Concerning Civil Engineering applications of geotextiles only one paper has been published, since 1980, in Portuguese technical journals. This paper was a notice containing very general comments. On the other hand, valuable literature on the subject has been published abroad during the last years. Therefore it seemed good time to present, in Portuguese, a short review of literature on geotextiles recently appeared.

## 1 — INTRODUÇÃO

Tanto quanto é do conhecimento do autor o único artigo publicado em Portugal sobre aplicações dos geotêxteis à Engenharia Civil foi o seu artigo aparecido na revista "Geotecnia" (Folque, 1980). Trata-se de um modesto artigo de divulgação no qual o autor procurou levar ao conhecimento dos técnicos portugueses com menos acesso a literatura estrangeira as potencialidades do material em referência, já com largas aplicações noutros países mas que em Portugal não era ainda, nessa data, muito conhecido.

Realizou-se depois disso um Painel sobre "Geotêxteis", bastante participado e com muitas discussões, mas as comunicações não chegaram a ser publicadas.

Entretanto têm sido muito numerosos os artigos, "estados da questão" e até livros que sobre os geotêxteis têm sido publicados. Só para dar uma ideia da actividade editorial relativa ao tema bastará dizer que os "Geotechnical Abstracts" publicaram, de Janeiro a Outubro de 1986, mais de quarenta "abstracts" relativos a geotêxteis e suas aplicações em engenharia civil. Há ainda a salientar, por se tratar de trabalhos de

\* Trabalho recebido em Março de 1987. A discussão do trabalho esta aberta por um período de três meses.

\*\* Engenheiro Civil, Investigador-Coordenador do LNEC.

grande importância, o "estado da questão" *Geotextiles* que Schlösser *et al.* (1985) apresentaram ao Congresso Internacional de Mecânica dos Solos de S. Francisco, e o Manual *Geotextiles and Geomembranes* (1986). Este trabalho é um livro de autoria colectiva, coordenada por van Zanten, com características de Manual, como ficou dito, cuja elaboração e publicação foram promovidas por entidades oficiais holandesas (em citações que deste trabalho se vierem a fazer no presente texto usar-se-á a sigla *GGCE*).

Perante os factos relatados pareceu ao autor que o assunto tinha amadurecido o suficiente para justificar a elaboração de uma revisão crítica da bibliografia mais recente. Este o objectivo do presente trabalho.

## 2 — GEOTÊXTEIS, GEOGRELHAS E GEOMEMBRANAS

### 2.1 — Generalidades

Além dos importantes trabalhos que foram citados na Introdução, importantes pelo conteúdo e, talvez ainda mais, pela modernidade, algumas outras publicações que tratam de geotêxteis na generalidade, e que poderá haver interesse em consultar, foram dadas à estampa também recentemente. São assim de citar: o relatório de Floss (1985) que resume o 1.º Simpósio Alemão sobre Geotêxteis; uma comunicação de Yamanouchi (1985) que foca recentes aplicações de geotêxteis e geogrelhas; um trabalho de Infold (1984) que trata de especificações de qualidade no domínio dos geotêxteis; o relato de Gamski (1984) que se refere a classificações de geotêxteis; o importante relato de Giroud *et al.* (1985) sobre o papel que os geotêxteis vieram desempenhar no campo da engenharia geotécnica; e ainda o Manual *The Geotextile Handbook* (1985) que um grupo de entidades suíças elaborou e editou.

Lê-se em *GGCE* (1986) que os primeiros geotêxteis foram produzidos na Holanda nos fins da década de 50. O seu desenvolvimento teve por fim fazer face a vultuosas e urgentes demandas resultantes da necessidade imperiosa de realizar trabalhos de protecção no delta do Escalda, Mosa e Reno. Esta necessidade agudizou-se com as grandes cheias de 1953 que inundaram mais de 150 000 hectares do SW da Holanda e causaram mais de 2000 mortes. Entre as obras em referência cita-se, pela sua notoriedade, importância, dificuldade, arrojado de concepção e execução, a célebre barragem de protecção de tempestades da embocadura do Escalda (Scheldt Storm Surge Barrier). No conjunto de obras a realizar estimou-se ser necessário dispor de mais de 2 milhões de m<sup>2</sup> de elementos capazes de proteger e filtrar taludes de diques e ainda taludes e fundos de escavações. Porque se pretendia efectuar as obras em ritmo acelerado impunha-se dispor, anualmente, de 200 000 m<sup>2</sup> de elementos do tipo citado. Surgiu assim a ideia de recorrer à poderosa indústria neerlandesa para promover a fabricação de telas capazes de desempenhar essas funções, tendo como matéria-prima materiais sintéticos. Estas telas vieram a ter larga aceitação na engenharia geotécnica, constituem uma valiosa e

importante inovação e, pode-se dizer, colmataram largas carências que neste campo se faziam sentir. Hoje são estas telas conhecidas pelo nome de "geotêxteis".

Dos geotêxteis derivaram as "geogrelhas", elementos cujo nome basta para definir a sua configuração. São elementos que, evidentemente, só servem para reforço mecânico de maciços terrosos em que sejam inseridos.

Designam-se por "geomembranas" telas, fabricadas a partir das mesmas matérias-primas utilizadas na fabricação dos geotêxteis, mas cuja apertada textura as torna praticamente impermeáveis a líquidos e até a gases.

Os geotêxteis podem ser tecidos e não-tecidos. Estes últimos são obtidos por processos mecânicos (agulhagem — entrelaçamento mecânico provocado por agulhas), por colagem derivada de prensagem, ou ainda por fusão parcial das fibras. Os geotêxteis tecidos são obviamente anisótropos, apresentando maior resistência e menor deformabilidade quando tensionados na direcção da trama. As telas não-tecidas, em que as fibras se dispõem ao acaso, em todas as direcções do seu plano, são praticamente isotrópicas.

Os geotêxteis (bem com as geogrelhas e geomembranas) fabricam-se a partir de diversos materiais sintéticos cuja enumeração, bem como a sigla pela qual muitas vezes são designados, se apresenta a seguir:

- Poliamido — PA
- Poliéster — PETP
- Polipropileno — PP
- Polietileno de baixa densidade — LDPE
- Polietileno de alta densidade — HDPE
- Cloreto de polivinil — PVC
- Copolímero de etileno com betume — ECB
- Polietileno clorado — CPE

(Os três últimos materiais citados são usados só para fabricação de geomembranas.)

Tabela 1

	PA	PETP	PP	LDPE	HDPE
Densidade	1,14	1,14	1,38	0,93	0,95
Absorção de água (atmosfera com 65% humidade relativa)%	4	0	0	0	0
Absorção de água (amostra submersa)%	10	1	0,01	0,01	0,01
Módulo E ( $\text{kg/cm}^2 \cdot 10^3$ )	30-40	12-18	2-5	Variáveis	
Resistência à tracção (molhada) ( $\text{kg/cm}^2 \cdot 10^3$ )	6-8	8-12	4-6	0,8-2,5	3-6
Alongamento na ruptura (%)	30-30	8-15	10-40	20-80	10-45

A Tabela 1 apresenta algumas propriedades básicas destes materiais. Há algumas propriedades constantes da tabela que haverá vantagem em realçar. Assim:

- o mais denso dos materiais usados é o polipropileno com densidade de 1,38;
- em atmosfera húmida, nomeadamente, numa atmosfera com 65% de humidade relativa, a absorção é nula para todos os materiais, excepto para o poliamido que absorve até 4% em peso;
- com as amostras submersas todos os materiais, com excepção do poliamido e do poliéster, têm absorção praticamente nula (0,01); o poliéster tem absorção pequena (1%); o poliamido absorve até 10% do seu peso;
- o módulo de elasticidade é da ordem dos 30 000 kg/cm<sup>2</sup> para o poliamido e desce até 2000 a 5000 kg/cm<sup>2</sup> para o polipropileno;
- a resistência à tracção é da ordem dos 1000 kg/cm<sup>2</sup> para o poliéster e desce até a pouco mais de 100 kg/cm<sup>2</sup> para os polietilenos de baixa densidade;
- os alongamentos de ruptura vão de 10% no poliéster até 80% no polietileno.

É de sublinhar que, como ficou apontado, estas características são das *fibras* e não das *telas* que com elas se fabricam. As características das telas obviamente que das primeiras dependem e de certo modo as reflectem, mas com elas não coincidem.

A durabilidade dos geotêxteis é um aspecto que muito interessa considerar ao ter de fazer opções que contemplem a hipótese da sua utilização.

De acordo com Sotton (1984) mesmo em boas condições de armazenamento os geotêxteis sofrem envelhecimento, efeito que contudo não tem importância significativa.

As principais causas de degradação dos geotêxteis são: os raios ultravioletas, efeitos de termo-oxidação e de foto-oxidação, poluentes existentes no solo ou na atmosfera. Os mais activos dos agentes de degradação são os raios ultravioletas. Por isso, embora actualmente se usem aditivos na constituição dos geotêxteis, que melhoram substancialmente a sua resistência aos ultravioletas, é muito recomendável proteger os geotêxteis da acção da luz, o que de resto também os protegerá dos efeitos de foto e termo-oxidação.

No que se refere ao ataque por poluentes, quando se suspeitar da existência de agentes activos de poluição, devem submeter-se os geotêxteis a ensaios específicos para determinar a sua resistência e, eventualmente, estudar medidas de defesa.

Como comentário geral a estas notas introdutórias afigura-se ao autor de sublinhar que a experiência mundial (conhecida por via bibliográfica) e a experiência portuguesa (conhecida directamente) confirmam plenamente o papel de extraordinário relevo que os geotêxteis vieram desempenhar em Geotecnia prática. Um único aspecto houve que, de início, e o autor comungou nessas apreensões, levantou reservas: poder-se-ia confiar missão de tamanha responsabilidade como, por exemplo, a que desempenham os filtros das barragens, a um material que ainda não tinha tido a contraprova do *tempo*? Mas os anos foram rolando, já passam cerca de trinta anos sobre a primeira aplicação de geotêxteis em barragens (Notre-Dame des Aigles — 15 m de altura) e hoje pode dizer-se

que a sua durabilidade e permanência de funcionamento (desde que na construção se tomem as devidas precauções) é plenamente compatível com o tempo de vida que se atribui às obras em que os geotêxteis são aplicados.

### 3 — PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GEOTÊXTEIS

3.1 Sobre propriedades físicas dos geotêxteis, processos de determinação e respectivas normas, encontram-se completas informações em *GGCE* (1986). Também tem interesse a abordagem da questão apresentada por Schlösser (1985). Do assunto tratam também, obviamente, os trabalhos de índole geral que foram citados no Capítulo I.

3.2 Haverá interesse em dar algumas indicações sobre características geométricas dos geotêxteis comercializados.

Os geotêxteis vendem-se, em geral, em bandas de 5 a 5,5 m de largura. O comprimento, que evidentemente podia ser ilimitado dado o processo de fabrico, é usual limitar-se a rolos que contêm de 50 a 100 m de tela. As espessuras dos geotêxteis que se encontram no mercado vão de 0,2 a 10 mm (note-se que a espessura de um geotêxtil varia muito sensivelmente com a pressão nele exercida; por isso a espessura, com regra indicada pelo fabricante, é medida por processos normalizados).

3.3 A resistência à ruptura e a deformabilidade para esforços de tracção são propriedades muito importantes em relação a certas aplicações dos geotêxteis, nomeadamente quando eles são aplicados como elementos de reforço. Existem diversos procedimentos, alguns deles normalizados, para determinar estas características: ensaios convencionais de tracção; ensaios sobre tiras substancialmente mais largas do que as garras da máquina de ensaio (*grab-tests*); ensaios em estado de extensão plana, utilizando uma câmara triaxial e aplicando pressão no interior de um elemento tubular de geotêxtil, etc. O Manual *GGCE* (1986) descreve os ensaios que é habitual realizar e sobre eles dá muitos pormenores.

A Fig. 1 apresenta, para diversas qualidades de telas, domínios onde caem as curvas tensões-deformações de amostras, com 5 m de largura, ensaiadas à tracção. Como dessa figura se conclui, para efeitos de aplicação como elementos de reforço, têm muito pouco interesse, pode-se mesmo dizer que são inaplicáveis, as telas não-tecidas de qualquer qualidade, pois são muito grandes as tensões exibidas, mesmo para tensões aplicadas muito baixas. Os geotêxteis mais convenientes para este fim serão os tecidos de poliéster. Os polietilenos também se apresentam com resistência relativamente baixa.

A Fig. 2 apresenta resultados de ensaios tensão-deformação obtidos no equipamento que na mesma figura se encontra esquematizado. As telas ensaiadas foram geomembranas.

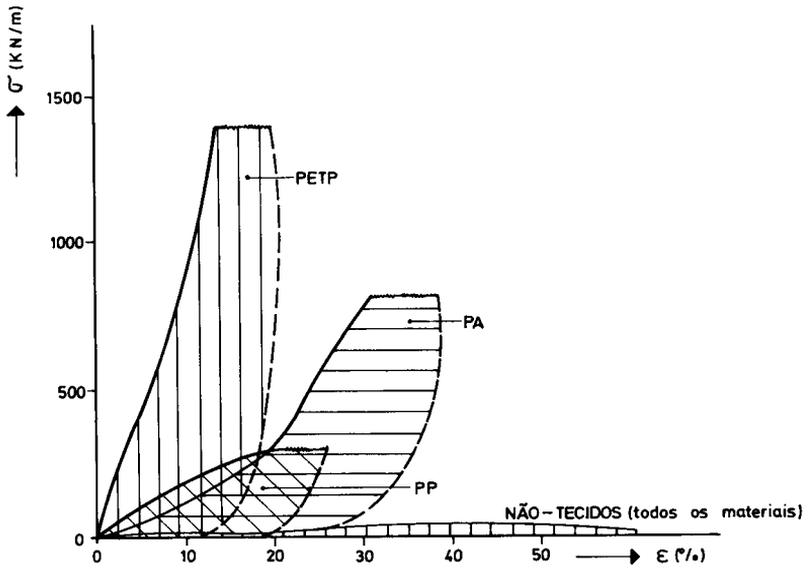


Fig. 1

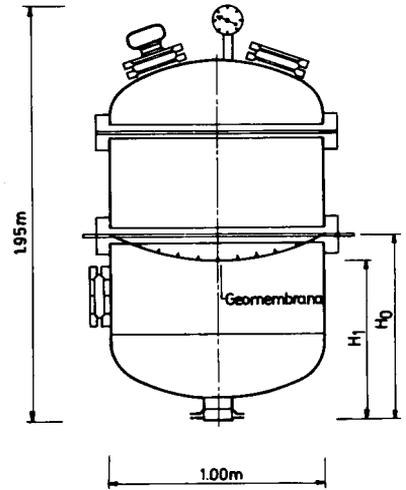
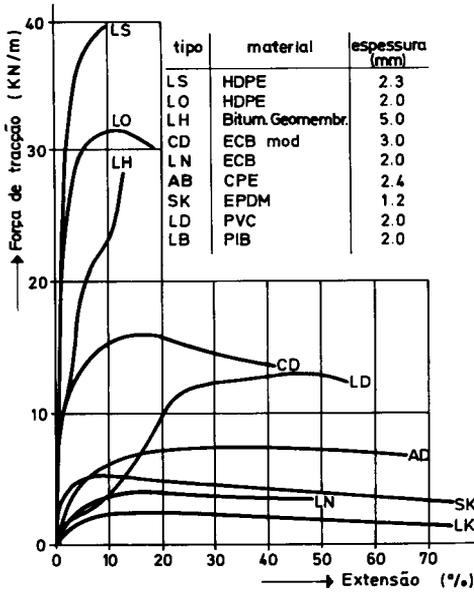


Fig. 2

Os geotêxteis exibem acentuadas características de fluência e relaxação. A Fig. 3 dá indicações sobre fluência experimentada por alguns geotêxteis (e geogrelhas) quando sujeitos a solicitações de 60% da tensão de ruptura.

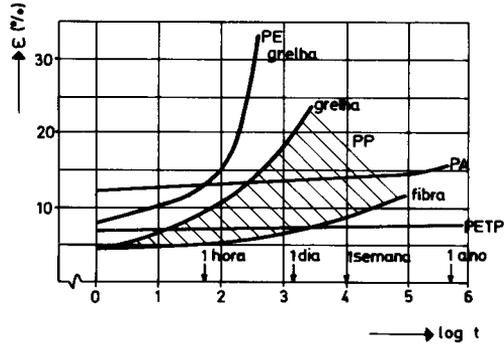


Fig 3

Depende da resistência à tracção a resistência ao punçoamento cuja determinação se faz com equipamentos do tipo do que se encontra esquematizado na Fig. 4.

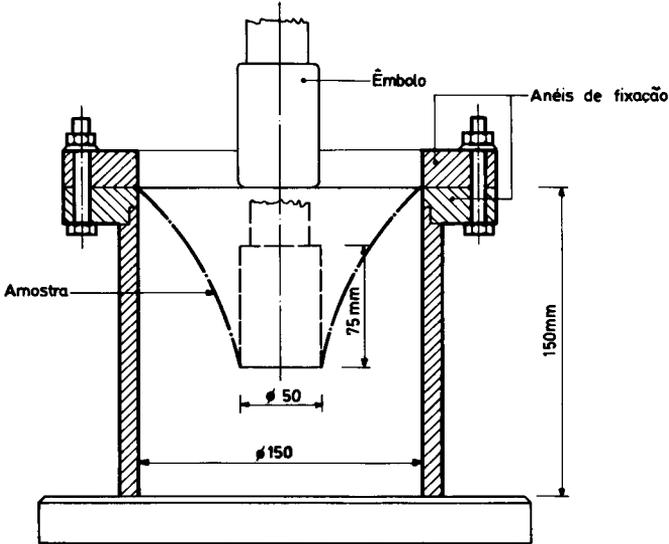


Fig. 4

Também interessa para caracterizar um geotêxtil a determinação da sua resistência ao rasgamento (Fig. 5).

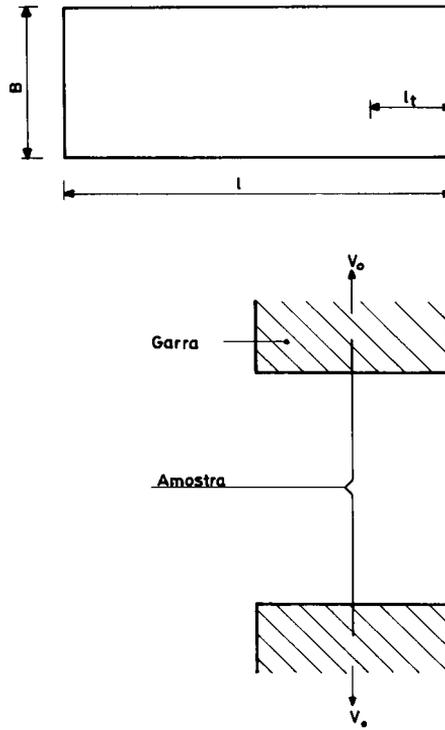


Fig. 5

3.4 O coeficiente de atrito entre os geotêxteis e solos ou outros materiais é uma propriedade cujo interesse de conhecimento é desnecessário encarecer. A sua determinação pode efectuar-se usando uma adaptação do aparelho de corte directo (Fig. 6).

Esta questão também tem grande importância no caso das geomembranas. Algumas geomembranas são tão lisas que, por prudência, chega a recomendar-se que se tome atrito nulo entre a tela e certos solos. Em todo o caso o atrito, sobretudo em relação a solos arenosos, ainda é apreciável, como se pode constatar na Fig. 7.

Outro modo de determinar a aderência do geotêxtil ao solo é pelo ensaio de extracção (Fig. 8). Os resultados dos dois tipos de ensaio não coincidem, pois é diferente o processamento da mobilização de aderências, como é evidente. Por isso Schlösser (1985) preconiza que se use o tipo que melhor reproduza as condições que se pretende estudar em obra. Fornece como guia as indicações que constam da Fig. 9.

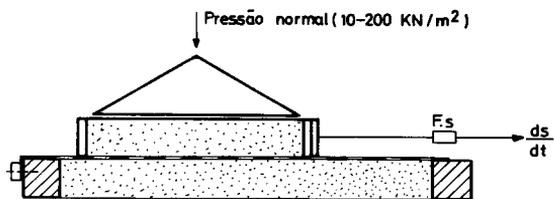


Fig. 6

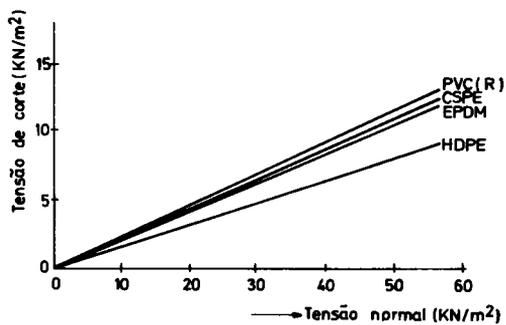


Fig. 7

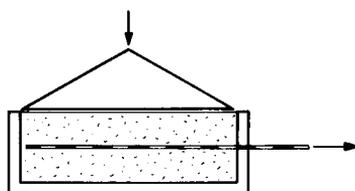


Fig. 8

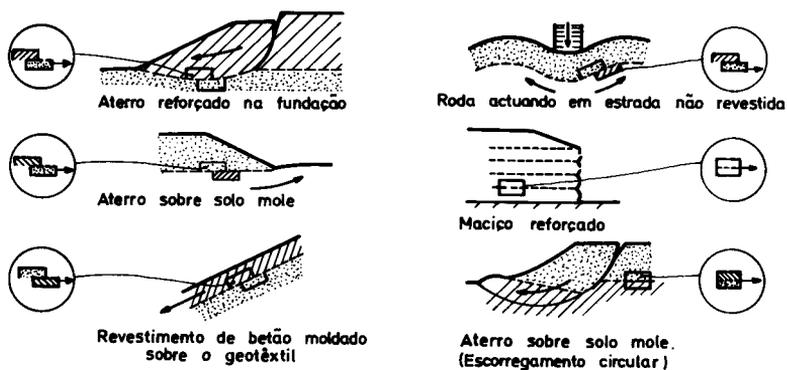


Fig. 9

3.5 As propriedades hidráulicas dos geotêxteis interessa que sejam medidas, quer na direcção normal ao plano do geotêxtil, quer ao longo do geotêxtil.

Há diversas montagens que permitem medir ambas as grandezas que ficaram referidas. A Fig. 10 mostra o esquema de um aparelho que permite medir a permeabilidade em relação ao fluxo que atravessa o geotêxtil normalmente ao seu plano (esta grandeza, em "calão" de geotêxteis, é muitas vezes designada por "permissividade").

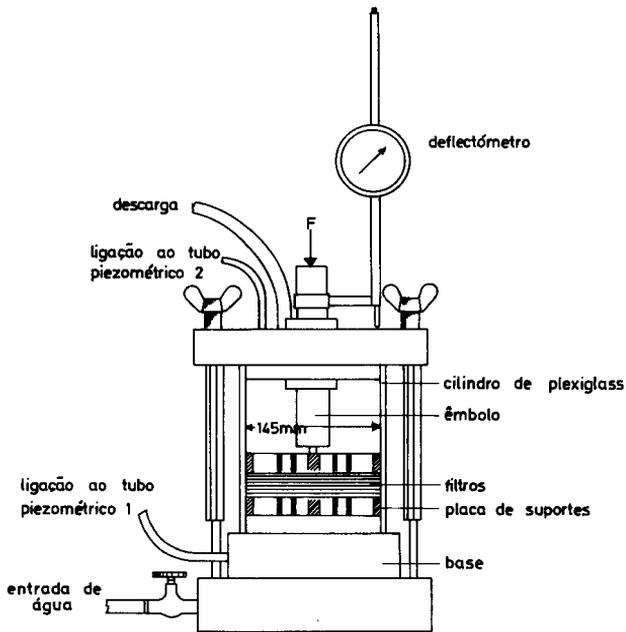


Fig. 10

A Fig. 11 representa uma montagem para medição da permeabilidade no plano do geotêxtil.

Quer a permeabilidade normal ao geotêxtil quer a permeabilidade ao longo do seu plano dependem da força normal aplicada à tela, circunstância que será levada em conta no projecto e, obviamente, nos ensaios de determinação de permeabilidades. É este facto que faz com que as montagens representadas nas Figs. 10 e 11 mostrem dispositivos para aplicação de solicitações normais à tela em ensaio.

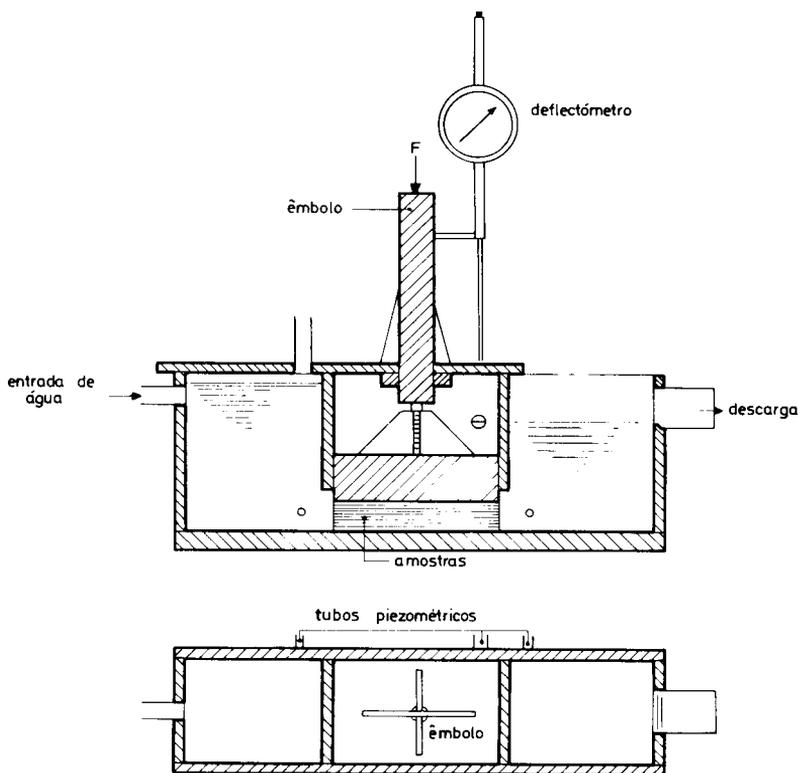


Fig. 11

Para indicar a permeabilidade no plano da tela é usual adoptar a grandeza "transmissividade" que é definida como "o caudal no plano da tela para gradiente hidráulico unitário e por unidade de largura:

$$\theta = k_p \cdot T_g \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$k_p$  — coeficiente permeabilidade no plano da tela (m/s)

$T_g$  — espessura da tela (m)

Há circunstâncias especiais que condicionam a permeabilidade de um geotêxtil incorporado num solo. Quer dizer, a permeabilidade do binário geotêxtil-solo é afectada por diversas circunstâncias entre as quais avultam o "bloqueio" e o "entupimento" ("blocking" e "clogging").

O "bloqueio", fenómeno que não é função do tempo, é uma diminuição da permeabilidade que resulta de um certo número de poros, entre os mais pequenos da

tela, serem obstruídos por certos grãos do solo adjacente logo que se instala um fluxo *do* solo *para* a tela. Como é óbvio o efeito de "bloqueio" não se dá se o fluxo tiver actuação cíclica (oscilatória) pois então os ciclos de fluxo *da* tela *para* o solo desentopem a tela.

O "entupimento" é uma diminuição da permeabilidade a longo prazo que resulta, tal como o "bloqueio", de uma obturação de certos poros da tela, mas que, ao contrário do que acontece no "bloqueio", é acompanhada da formação de um filtro natural (formado por materiais do solo adjacente) que impede o progresso de arrastes, mas que vai ao longo do tempo transformando-se, até atingir uma constituição de equilíbrio que condiciona a permeabilidade do binário tela-solo. Como facilmente se depreende o "entupimento" tem efeitos benéficos, pois leva a tela a ficar com funções de filtro estável, estanque em relação a todas as dimensões de partículas do solo adjacente (após a pequena passagem consentida nos tempos iniciais de funcionamento). Mas esse efeito benéfico é pago por uma diminuição da permeabilidade da tela o que, diga-se de passagem, se tiver sido adequadamente previsto, não tem qualquer inconveniente.

Quer o "bloqueio" quer o "entupimento" têm de ser medidos por ensaios do tipo ensaio em modelo, isto é, ensaios em que se utiliza o geotêxtil a estudar em contacto com o próprio solo da obra e provocam-se em seguida as adequadas percolações, medindo os efeitos resultantes nas características de permeabilidade do geotêxtil. Como se deduz do que ficou dito, o estudo do "entupimento" é demorado, requerendo em geral a análise de uma amostra de geotêxtil que esteve durante bastante tempo a filtrar água do solo.

A Fig. 12 mostra em esquema a formação de um filtro associado a um fenómeno de "entupimento". É uma problemática que muito tem que ver com a função "separação" que os geotêxteis têm em certas aplicações que desempenhar, assunto a que no Capítulo seguinte se voltará.

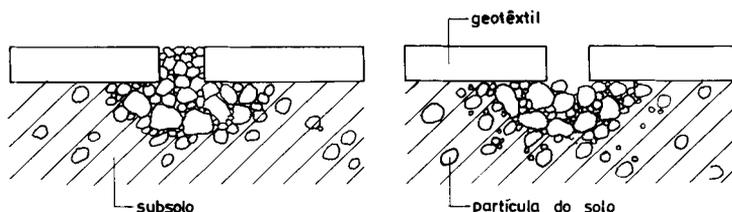


Fig. 12

3.6 Uma função obviamente dependente de certas propriedades já tratadas, e fundamental para a problemática dos geotêxteis, é a função "filtro". Esta função pode dizer-se que é uma adequada associação de uma conveniente permeabilidade com uma conveniente "separação". A permeabilidade assegura "drenagem" e a "separação" assegura a permanência da permeabilidade e a estabilidade do maciço filtrado.

A respeito deste tema, além da bibliografia básica já por diversas vezes citada, haverá interesse em consultar Cazuffi *et al.* (1985).

A regra básica de projecto no que se refere à permeabilidade de um conjunto tela-solo é que a permeabilidade da tela seja superior à do solo. Para garantir que assim aconteça diversas entidades desenvolveram regras específicas. Por exemplo, o Franzius Institut de Hanover preconiza que o valor de  $k$  a adoptar em projecto seja determinado multiplicando o  $k$  do geotêxtil, determinado em laboratório, por um coeficiente de redução  $\eta$ , função do próprio  $k$  e do  $d_{10}$  do solo (Fig. 13).

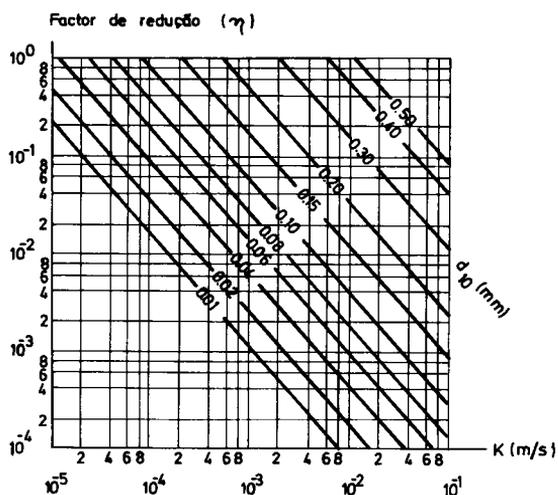


Fig. 13

Para garantir boas condições de drenagem na tela é necessário que o gradiente hidráulico nela instalado,  $\Delta H/T_g$ , seja inferior aos gradientes hidráulicos no solo na vizinhança da interface solo/geotêxtil. Intensas experiências conduzidas no Laboratório de Delft levaram, por via exclusivamente empírica, aos resultados que se apresentam na Fig. 14. Nessa figura é dado o gradiente no solo, perto da interface, em função da porosidade do geotêxtil (medida por  $O_{90}$ , abertura que corresponde ao ponto, numa curva porométrica, em que 90% dos poros têm dimensão menor do que  $O_{90}$  — adiante



menores partículas do solo fossem maiores do que os maiores poros da tela. Mas normalmente tal não é requerido para que um geotêxtil funcione convenientemente como filtro: para tal bastará que, como atrás ficou dito, mesmo sem conseguir evitar uma certa passagem inicial de partículas finas do solo, se forme um filtro natural na interface solo-tela, filtro constituído por um conjunto estável de partículas do próprio solo, capaz de reter todas as partículas do solo (Fig. 12).

O efeito "retenção" ou, com maior generalidade, a função "filtro" de um binário solo-geotêxtil, para obras importantes e no estado actual dos conhecimentos, tem de ser estudado em modelo. Nele se utilizarão, como é evidente, os próprios materiais da obra e se reproduzirão as condições hidráulicas antecipadas. Mas, para projectos menos exigentes, há métodos mais fáceis de pôr em prática embora menos fiáveis. Esses métodos, como seria de esperar, baseiam-se em regras estabelecidas por relacionamento da granulometria do solo com a porometria da tela. Há diversos conjuntos de regras preconizados. A seguir se resumem alguns deles:

a) As regras francesas definem uma "dimensão de filtração",  $O_f$ , que corresponde, para uma areia calibrada, ao  $d_{95}$  que passa após repetidas imersões da tela e da areia. As condições fixadas para a areia são:

- a máxima dimensão das partículas deve ser, pelo menos, duas vezes o  $O_f$
- o coeficiente de uniformidade da areia ( $d_{60}/d_{90}$ ) deve ser pelo menos de 6
- o  $d_{10}$  da areia deve ser pelo menos 4 vezes menor do que o valor estimado para  $O_f$

Uma vez fixado  $O_f$  preconiza-se a regra

$$O_f \leq c \cdot d_{85} \text{ (solo)}$$

em que  $c = c_1 c_2 c_3 c_4$ . Por sua vez

- $c_1$  (função da uniformidade do solo) vai de 1,0 a 0,8
- $c_2$  (função da compactidade) vai de 0,8 a 1,25
- $c_3$  (função das condições hidráulicas) vai de 1,0 a 0,6 conforme  $i$  varia de 1 até 20 a 40
- $c_4$  (função da textura do geotêxtil) vai de 1,0 a 0,3 conforme a maior ou menor homogeneidade do geotêxtil.

b) O método ASTM preconiza a determinação de uma abertura aparente, AOS (*apparent opening size*). O AOS, também muitas vezes designado por  $O_{95}$ , determina-se usando diversos conjuntos de esferas de vidro de dimensão uniforme. Fazem-se passar as esferas de vidro pela tela como quando se procede a uma peneiração. O AOS é definido com o diâmetro das esferas das quais 50% passam no geotêxtil.

Como regra de dimensionamento preconiza-se

$$d_{85 \text{ (solo)}} > \text{AOS}$$

c) O Laboratório de Delft recomenda as regras que a seguir se resumem:

- quando não há fluxo, isto é, para água estacionária:  $O_{90}/d_{90} \leq 2$
- quando há fluxo e o solo pode desenvolver filtro natural:  $O_{98}/d_{85} \leq 2$
- idem, mas sem filtro natural; há ainda a distinguir dois casos:
  - não se podem aceitar quaisquer danos —  $O_{98}/d_{15} \leq 1,0$
  - danos ligeiros são aceitáveis —  $O_{98}/d_{15} \leq 1,5$

A porosidade dos geotêxteis determina-se usando o mesmo processo que se usa quando se aplica o método ASTM.

Não tem o autor experiência de determinação de propriedades físicas de geotêxteis, com excepção da condução de estudos experimentais relativos a permeabilidade. Foram ensaiados dois não-tecidos agulhados e foram feitas determinações de "admissividade", "bloqueio" e "entupimento". Para averiguação deste último efeito os ensaios foram conduzidos com um tempo de actuação de dois anos.

Embora houvesse uma apreciável diferença de comportamento entre os dois geotêxteis ensaiados, mesmo aquele que deu resultados menos favoráveis mostrou-se aceitável para servir de filtro aos tipos de solos ensaiados; e note-se que estes eram bastante diversificados — um solo argiloso de granulometria extensa, um solo argiloso de granulometria muito descontínua (grandes deficiências em partículas de dimensão "silte") e ainda uma areia fina.

## 4 — APLICAÇÕES

### 4.1 — Fundações de estradas e aterros

De acordo com Giroud e Carrol (citados em Schlösser 1985) a maior quantidade de geotêxteis, a nível mundial, que actualmente é utilizada destina-se a aplicação em fundações de aterros sobre solos moles, sobretudo aterros de estradas. Nesta aplicação são duas as funções principais que os geotêxteis são chamados a desempenhar:

- reforço da fundação, quando o aterro é fundado em solos muito moles;
- separação de camadas, na fundação, interpondo-se entre o solo de fundação e o do aterro.

O primeiro aspecto será tratado com mais desenvolvimento quando se tratar dos geotêxteis como elementos de reforço.

No papel de elemento separador de camadas os geotêxteis desempenham um papel muito importante na fundação de aterros, sobretudo rodoviários, pois evitam a contaminação da parte inferior do aterro por partículas provindas da fundação, arrastadas por fluxo ascendente de água do subsolo, fluxo que é consequência de

elevadas subpressões desenvolvidas nos poros do solo de fundação por acção das forças transmitidas pelo tráfego. Este fenómeno poderia rapidamente levar à degradação da fundação de suporte da fundação. Acerca dos requisitos de "separação" as regras a adoptar para escolha do geotêxtil, em função do terreno subjacente, já ficaram indicadas no Capítulo anterior.

Interessantes pormenorizações sobre o problema da utilização de geotêxteis na fundação de aterros podem ser encontradas em Boutrup *et al.* (1983) e em Rowe *et al.* (1985).

#### 4.2 — Protecção de taludes

A protecção de taludes, como se deduz do que ficou dito na Introdução, é uma muito importante aplicação dos geotêxteis na Geotecnia actual. Não é por isso de estranhar que sejam muito abundantes as fontes bibliográficas sobre o assunto. Além da bibliografia básica que tem sido indicada, haverá interesse em consultar: Hoerten *et al.* (1984), Jewel (1984), Schneider *et al.* (1985) e Smoltczyk *et al.* (1985).

O estudo de um caso concreto proporcionará boa oportunidade para analisar as funções que um geotêxtil tem que desempenhar na protecção de taludes e, ao mesmo tempo, dará ocasião a exemplificar cálculos e apresentar ordens de grandeza de algumas propriedades físicas que os geotêxteis utilizados exibem.

Seja o talude representado na Fig. 15. Trata-se de um talude com dois trainéis separados por uma berma situada a  $-1,00$ . O trainel superior tem talude a  $1/2$  e o

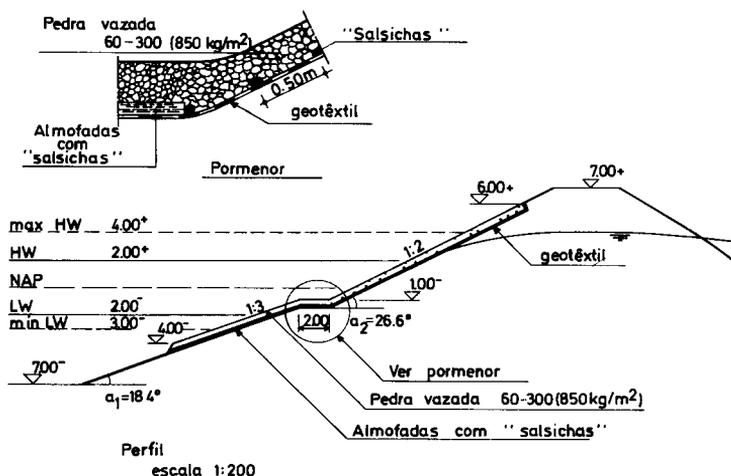


Fig. 15

inferior tem talude a 1/3. O revestimento, da berma para cima, é constituído por um geotêxtil recoberto com betão asfáltico (o geotêxtil comporta, como elementos de fixação, "faxinas" de geotêxtil preenchidas por pedra "salsichas", em terminologia de estaleiro). Da berma para baixo o revestimento é constituído por um geotêxtil (também reforçado por grupos de "salsichas"), recoberto por enrocamento de 60-300 kg. Este enrocamento tem a espessura média correspondente a  $d_{50}$ , o que dá 0,45 m. Daqui resulta (com  $\gamma = 3 \text{ t/m}^3$ ) um peso de revestimento de  $850 \text{ kg/m}^2$ .

O solo que constitui o aterro protegido tem as seguintes características:

— granulometria

$$d_{10} = 100 \mu$$

$$d_{50} = 150 \mu$$

$$d_{90} = 200 \mu$$

— peso específico das partículas	— $2,65 \text{ g/cm}^3$
— peso específico do solo seco	— $1,80 \text{ t/m}^3$
— peso específico do solo húmido	— $2,12 \text{ t/m}^3$
— porosidade	— $40\%$
— ângulo de atrito interno	— $30^\circ$
— coesão	— $0$
— coeficiente de permeabilidade	— $10^{-4} \text{ m/s}$

No seguimento vão analisar-se os diversos requisitos a que o geotêxtil tem de satisfazer, por outras palavras, analisa-se como é que ele resiste às acções a que é submetido e como desempenha as funções que tem de assegurar. Nomeadamente, serão contemplados os seguintes aspectos: filtro e dreno, "bloqueio", "descolamento" do talude (*flapping*), resistência à subpressão, resistência ao escorregamento do rip-rap sobre a tela, resistência ao escorregamento da tela sobre o solo.

#### *Efeito filtro e dreno*

Para o caso em estudo, aplicando o que se deduz da Fig. 14, tendo em atenção que

$$d_{90}/d_{10} = 2$$

$$d_{90} = 200 \mu = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

vem que  $i = 60$ .

Como se requer que o gradiente no filtro seja inferior ao gradiente  $i$ , vem que

$$\Delta h / T_g < 60$$

Tomando para o geotêxtil a espessura  $T_g = 1 \text{ mm}$ , vem que a perda de carga no geotêxtil,  $\Delta h$ , terá de ser inferior a 60 mm. Analisando a questão em termos de coeficiente de permeabilidade e recordando que a Fig. 14 foi estabelecida para uma velocidade de fluxo  $v = 10^{-2} \text{ m/s}$ , vem que  $k = v/i = 10^{-2}/60 = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

Para garantir um bom funcionamento como dreno e como filtro, além da condição acima exposta é também requerido que o geotêxtil efectue convenientemente a sua função de "retenção". De acordo com critérios preconizados pelo Laboratório de Delft terá de ser:

— no talude superior (danos inaceitáveis):

$$O_{98}/d_{95} \leq 1,0$$

donde se conclui que o geotêxtil a adoptar poderá ter  $O_{98}$  de  $110 \mu$

— no talude inferior (é aceitável que ocorram pequenos danos, visto não haver inconvenientes estéticos):

$$O_{98}/d_{95} \leq 1,5$$

donde se conclui que o geotêxtil a adoptar poderá ter  $O_{98} = 1,5 \times 110 = 165 \mu$

### "Bloqueio"

De acordo com a experiência do Laboratório de Delft o máximo risco de "bloqueio" dá-se para

$$O_{90}/d_{90} = 1$$

No caso presente, porque  $d_{90} = 200 \mu$ , viria que o máximo risco de "bloqueio" se verificaria para um geotêxtil com  $O_{90}$  de  $200 \mu$  (correspondente aos  $d_{90}$  do solo). Mas como as telas a usar, mesmo a de poro mais largo (no talude inferior), tem  $O_{98}$  de  $165 \mu$ , a condição é satisfeita com certeza.

### "Deslocamento" do suporte (*flapping*)

Este acidente só acontece quando a tela é actuada por pressões dinâmicas de água, incidindo alternadamente em cada uma das faces da tela. Isto ocorre, em regra, devido à acção das vagas. As pressões de água, nos ciclos em que actuam no sentido de "descolar" a tela do talude, podem exceder os pesos nela actuantes e causar assim o seu levantamento, que ocorreria portanto ciclicamente. Em nomenclatura de língua inglesa designa-se este fenómeno por "flapping". Para evitar o "flapping" recomenda-se que a máxima dimensão de enrocamento a colocar directamente sobre a tela seja de 10-60 kg. Procura-se assim evitar que a tela fique exposta na abertura entre pedras, ou melhor, procura-se que esses intervalos sejam bastante pequenos. No caso em estudo, em que o rip-rap adoptado é de 60-300 kg, torna-se portanto necessário utilizar uma protecção adicional. Para isso preconiza-se a colocação, directamente sobre o geotêxtil, como camada intermédia, de uma camada de brita com 0,15 m de espessura.

### Resistência à subpressão

Porque se impôs que o coeficiente de permeabilidade do geotêxtil fosse superior ao do terreno, não se poderão instalar subpressões.

#### *Resistência ao escorregamento do rip-rap sobre a tela*

O coeficiente de atrito do rip-rap em relação à tela tem de ser superior à tangente do ângulo do talude,  $\text{tg } \alpha = 1/3$ .

#### *Resistência ao escorregamento da tela em relação ao solo*

Obviamente que o coeficiente de atrito tela-solo terá de ser superior igualmente à  $\text{tg } \alpha = 1/2$  (inclinação do tranel inferior).

### 4.3 — Filtros e transições em barragens

Facilmente se deduzirá de tudo o que ficou dito que uma aplicação dos geotêxteis que apresenta grande interesse é a sua utilização como filtros e transições em barragens de terra.

O Bulletin 55 da ICOLD (1986), exclusivamente dedicado a este tema, sistematiza algumas das vantagens mais flagrantes. Assim, são apontadas estas circunstâncias:

- *Uniformidade* — O geotêxtil, como material fabricado que é, facilita a obtenção de uniformidade no filtro. Esta vantagem é tanto mais de apreciar porque com os materiais granulares naturais a uniformidade é uma condição quase sempre muito difícil de satisfazer.
- *Manutenção de continuidade* — As telas, com apreciável resistência à tracção e elevada extensibilidade, asseguram muito facilmente a construção de um filtro sem interrupções. Nos materiais granulares, pelo contrário, tornam-se necessários cuidados especiais para que os filtros não abram fendas ou não fiquem interrompidos, quer por ausência dos materiais requeridos, quer por intrusão de materiais indesejáveis.
- *Espessura* — Os geotêxteis permitem realizar filtros com espessuras muito menores do que os materiais naturais. A repercussão económica deste facto incide, sobretudo, na redução *geral* de volume de obra.

A estas vantagens ainda se poderá acrescentar uma outra, eventual, mas que quando existe é de grande peso: nem sempre, a distância conveniente do local da barragem, se encontram materiais granulares adequados à constituição de um bom filtro.

Contudo, nem tudo são vantagens. Assim, o facto de o filtro constituído por um geotêxtil ser atravessado, inicialmente, por algumas partículas finas do solo filtrado pode levar a contaminações indesejáveis do solo adjacente; é circunstância que tem de ser ponderada.

O facto de os geotêxteis resistirem à tracção também pode, nesta aplicação, trazer desvantagens: assentamentos diferenciais da camada base inferior ao geotêxtil podem ocasionar zonas que, por ficarem não pressionadas pela tela que as atravessa "em ponte", são susceptíveis de sofrer erosões indesejáveis, tudo se passando como se houvesse "ravinamentos" debaixo do geotêxtil.

Não tem o autor conhecimento directo de resultados que respeitem a esta aplicação. Mas o facto de, desde há muito, dedicar a sua atenção ao estudo de barragens de terra tem feito que se mantenha atento a realizações neste domínio que são objecto de artigos de revistas técnicas ou figuram em Relatos de Congressos. Com esta base, mas ainda muito mais, com base no Boletim 55 da ICOLD "Geotextiles as filters and transitions in fill dams", 1986, trabalho que reúne os resultados de muitos anos de experiência, vivida em diversos locais do mundo, parece poder já afirmar-se que os geotêxteis ganharam completo direito de "cidadania" como elementos a adoptar em filtros e transições de barragens de terra, sem limite de altura. Mas é necessário ter presente que é *indispensável* um estudo *extremamente cuidadoso* contemplando o geotêxtil e a sua interacção com as terras a utilizar.

#### 4.4 — Os geotêxteis como reforço do terreno

As Figs. 16, 17 e 18 mostram esquemas de utilização de geotêxteis como elementos de reforço de solos.

Acerca do seu emprego como reforço em barragens de terra é indispensável consultar o relatório preparado por Yamamura (1986) para a ICOLD.

Antes de apresentar a descrição de algumas aplicações de reforço interessará indicar algumas grandezas fundamentais envolvidas nestes problemas. Assim, será de ter em atenção que se recomenda que as forças aplicadas conduzam a extensões que não excedam 5 a 6%. Também será útil ter conhecimento de que os geotêxteis usualmente disponíveis no mercado têm resistências à ruptura em tracção de 10 a 80 t/m. Mas, para evitar apreciáveis fluências, as tensões a aplicar não poderão exceder 25% da tensão de ruptura, para geotêxteis de polipropileno e polietileno; para geotêxteis de poliéster a tensão a adoptar poderá ir até 40% da tensão de ruptura.

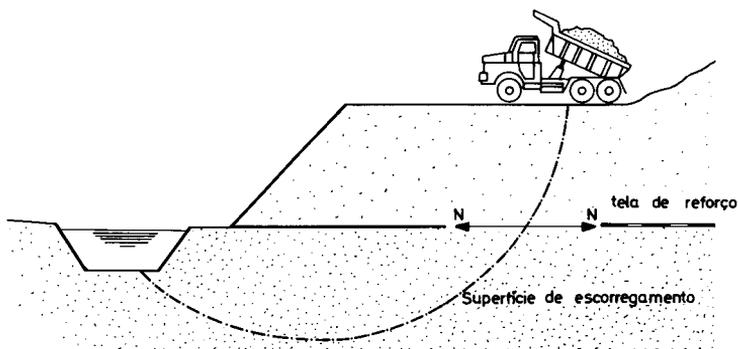


Fig. 16

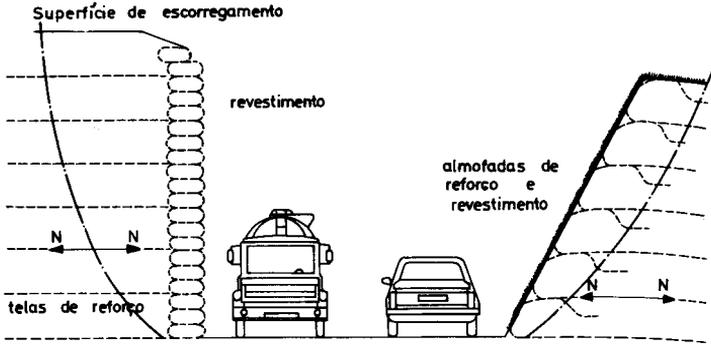


Fig. 17

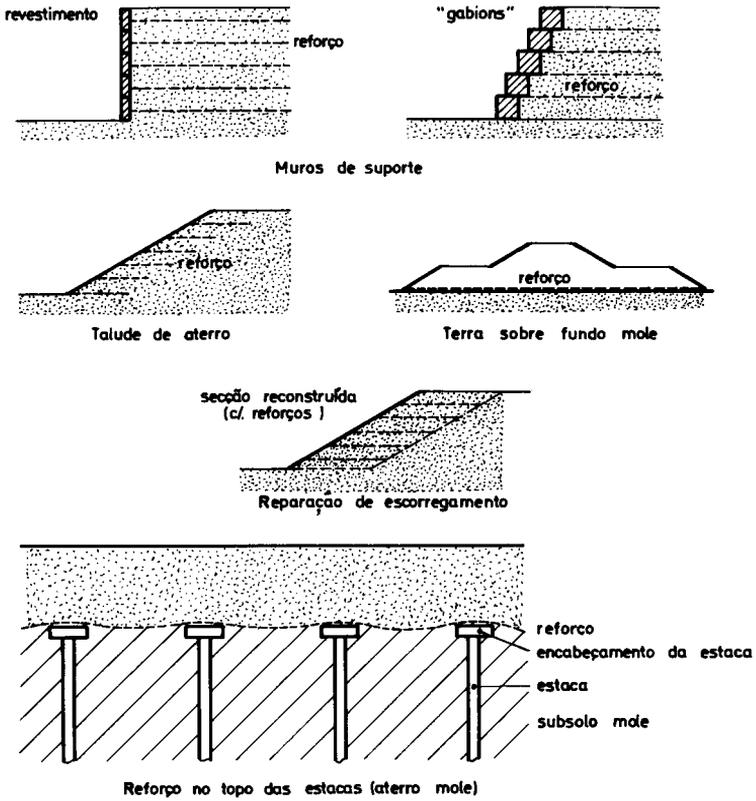


Fig. 18

A Fig. 19 apresenta três situações de instabilização que podem tender a instalar-se e ser evitadas pela utilização de reforços constituídos por geotêxteis.

O 1.º caso (Fig. 19a), falta de estabilidade interna, pode estudar-se esquematizando-o de acordo com a Fig. 20: a força instabilizadora será o impulso activo  $F_{a1}$ , força que se transmite integralmente ao geotêxtil de reforço, por acção do atrito interno. A força de tracção aplicada ao geotêxtil será pois

$$N_1 = F_{a1}$$

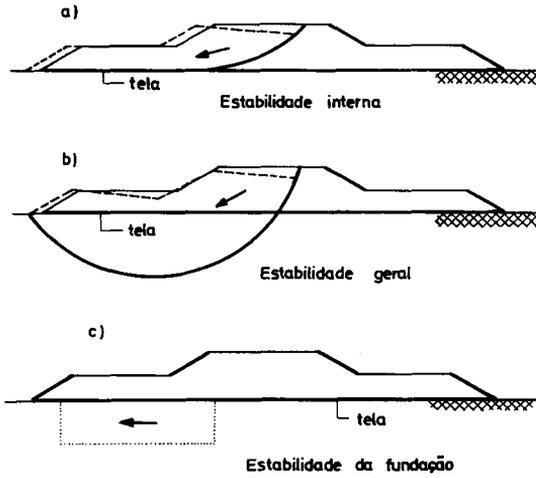


Fig. 19

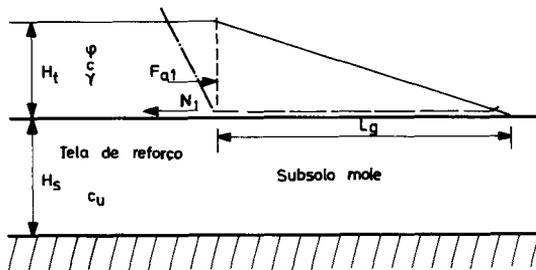


Fig. 20

No 2.º caso a força na tela calcular-se-á como se mostra na Fig. 21. Tomando momentos das forças actuantes determinar-se-á  $N_3 \cdot \cos \alpha$ , força tangente à superfície de escorregamento no ponto de intercepção dessa superfície com a tela. A força que actua a tela é  $N_3$ .

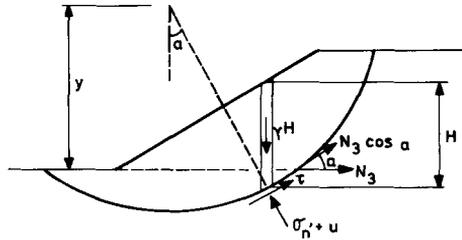


Fig. 21

No 3.º caso, a instabilização por "squeezing" da fundação, o cálculo da força absorvida pela tela poderá fazer-se como se esquematiza na Fig. 22. O bloco tracejado (tenha-se em atenção que se está a considerar uma fundação em solo puramente coesivo ( $\varphi=0$ ), com resistência não-drenada  $c_u$ ) estará em equilíbrio se se desenvolverem, em cada fronteira, forças tangenciais  $c_u L_g$ , que equilibram o excesso de forças activas sobre as passivas.

Esse excesso é, como claramente se deduz da Fig. 22,  $q_{s1} \cdot H$  (sendo  $q_{s1} = \gamma H_f$ ). O equilíbrio do bloco requer então que

$$2 c_u \cdot L_g \geq q_{s1} \cdot H$$

A tela suportará a força  $c_u L_g$  e uma força igual desenvolver-se-á na base do bloco.

Nas obras reforçadas com telas colocadas a diversas alturas (por exemplo, os casos representados na Fig. 17), elas poderão ser assimiladas a cortinas (verticais ou inclinadas) reforçadas com ancoragens. De acordo com a proposta de Terzaghi e Peck para estas cortinas é

$$\sigma_H = 0,65 K_A (1,5 q_s + \gamma H)$$

sendo  $q_s$  a sobrecarga sobre um aterro de altura  $H$ . O espaçamento,  $h$ , entre geotêxteis será, obviamente,

$$h = N_{max} / \sigma_H$$

em que  $N_{max}$  é a máxima força admissível no geotêxtil.

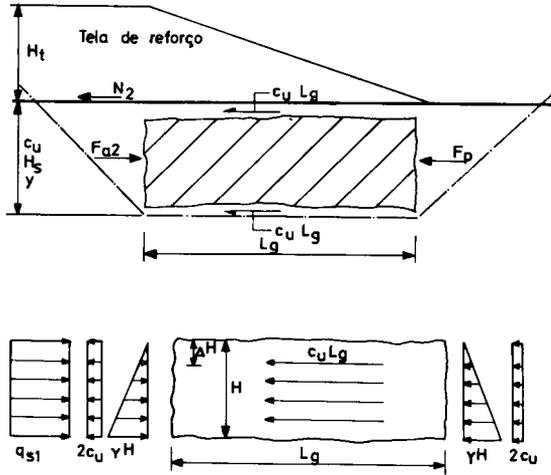


Fig. 22

#### 4.5 — Drenagem

É numerosa a bibliografia recente sobre este tema. Só para citar alguns trabalhos mais relevantes dá-se indicação de: Faure *et al.* (1984), Murray *et al.* (1984), Mlynerek (1985), Rankilor (1985).

O Manual *GGCE* (1986) dedica um capítulo ao tema "drenagem". Dá muitos pormenores sobre drenagem para fins agrícolas, matéria que por estar fora do âmbito da Engenharia Civil não se comentará neste texto.

Acerca do uso de geotêxteis como drenos para instalações tais como as de rebaixamento do nível freático, os drenos usados são do tipo do indicado na Fig. 23: constam fundamentalmente de uma membrana vertical de geotêxtil ligada a uma bainha,

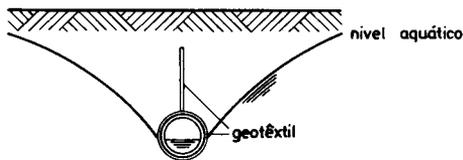


Fig. 23

constituída também por geotêxtil, que envolve um tubo perfurado. Os geotêxteis utilizados têm de exibir a "permissividade" e "transmissividade" adequadas para assegurar o efeito *drenagem*. Também as propriedades de "retenção" (ou "separação") têm de ser as convenientes para que o dreno mantenha as suas propriedades de filtro, pelo menos durante um intervalo de tempo apreciável.

Uma aplicação actualmente muito importante dos geotêxteis é a utilização de bandas como elementos verticais de drenagem para acelerar o processo de consolidação de solos argilosos moles. Estes elementos são usualmente designados por "geodrenos" e há uma grande variedade disponível no mercado.

O Manual *GGCE* (1986) apresenta um método nomográfico, aproximado, que se afigura muito útil para projectar redes de geodrenos. Os nomogramas estão apresentados na Fig. 24.

Para efectuar o projecto começar-se-á por fixar qual o grau de consolidação,  $\bar{U}$ , que se pretende atingir num dado intervalo de tempo; com estes dados, do nomograma da Fig. 24c), tira-se a grandeza auxiliar  $f_1$ . Conhecido o coeficiente de consolidação horizontal,  $c_h$ , do solo a tratar, e escolhido o geodreno a usar (caracterizado pelo seu diâmetro aparente,  $d$ ) do nomograma da Fig. 24b) tira-se  $L_{eq}$  em função de  $d$  e do produto  $f_1 c_h \cdot L_{eq}$  é o "espaçamento equivalente" dos geodrenos, valor do qual se tira o espaçamento real tendo em atenção (Fig. 24a) que para drenos dispostos em quincôncio é  $L = L_{eq}/1,0$  e para drenos dispostos em malha quadrada é  $L = L_{eq}/1,13$ . Falta dizer que o diâmetro equivalente do geodreno,  $d$ , é dado por

$$d = 2(B + T)/\pi = 2B/\pi$$

em que  $B$  é a largura e  $T$  a espessura da banda que constitui o geodreno.

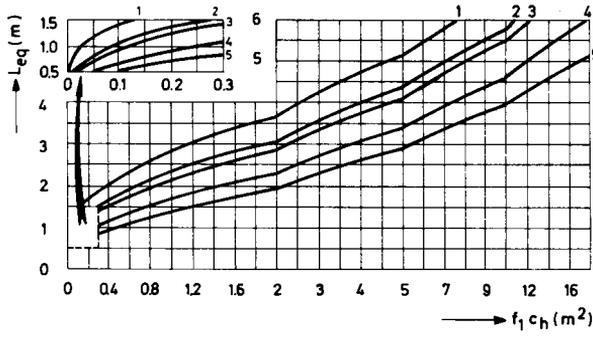
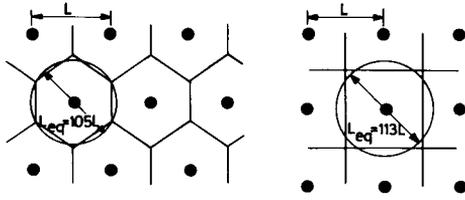
Conhece o autor, por informação directa, a experiência que se colheu numa importante obra da margem sul do Tejo, em que geodrenos foram intensa e extensivamente utilizados para efeitos de aceleração de consolidação. Os resultados foram plenamente satisfatórios.

#### 4.6 — Geomembranas

Geomembranas, como ficou dito, são telas impermeáveis, quer aos líquidos quer aos gases. São fabricadas, em regra, a partir de polietileno de alta densidade (HDPE), de polietileno de baixa densidade (LDPE), de polivinil (PVC), etc.

Tem particular importância, nos projectos em que se utilizam geomembranas, averiguar se se irão desenvolver forças que elas tenham de absorver e saber dimensioná-las para fazer face a essas forças.

A principal causa (se não a única) do aparecimento de forças de tracção numa geomembrana é o assentamento diferencial da base em que ela assenta. Isto porque as



- 1  $d=0.50\text{m}$
- 2  $d=0.25\text{m}$
- 3  $d=0.18\text{m}$
- 4  $d=0.05\text{m}$
- 5  $d=0.01\text{m}$

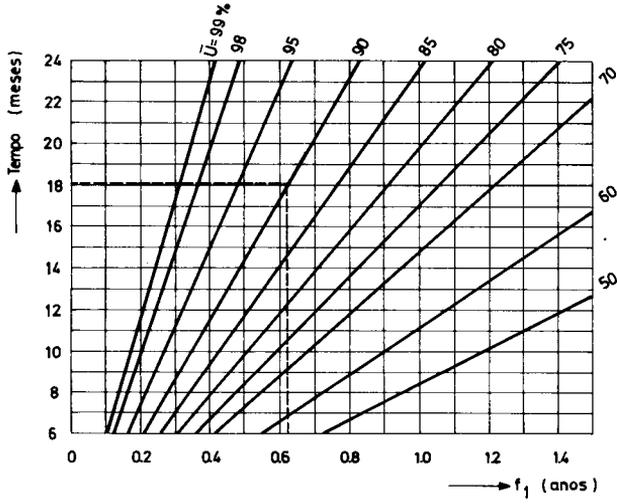


Fig. 24

geomembranas são usualmente dispostas de forma a serem actuadas perpendicularmente ao seu plano; nestas condições elas não terão de suportar qualquer esforço. Mas se um dado segmento de geomembrana, devido a assentamento diferencial da base, sai do plano em que foi colocado, as forças actuantes (em regra as geomembranas são actuadas não só pelo peso de líquidos mas também pelo peso de materiais granulares de cobertura) deixam de ser normais à geomembrana nesse segmento; consequentemente desenvolver-se-ão forças tangenciais na interface que metem a tela em tracção.

Se for  $F_N$  a força normal exercida numa geomembrana, na largura unitária e num comprimento  $L$ , a máxima força de tracção que se pode desenvolver é condicionada pela resistência ao arrancamento do troço  $L$ , isto é, pelas máximas forças tangenciais que se podem desenvolver nas interfaces tela-solo. Dois casos se podem dar (Fig. 25); no caso esquematizado na Fig. 25a), que corresponde a uma membrana muito rígida, a força máxima de tracção,  $N$ , está condicionada pelo coeficiente de atrito tela-solo,  $\mu$ , e será a soma das duas forças tangenciais desenvolvidas, uma em cada face da geomembrana:

$$N = 2 T = 2 \mu \cdot F_N \cdot L$$

No caso esquematizado na Fig. 25b), que corresponde a uma membrana muito flexível, ao coeficiente de atrito soma-se um coeficiente de "imbrincamento",  $c_m$ . E assim virá

$$N = 2 T = 2 (\mu + c_m) \cdot F_N \cdot L$$

É de notar que, em cada um dos casos, o coeficiente  $\mu$  ou a soma  $(\mu + c_m)$  têm de ser determinados por via experimental, obviamente por ensaios de arrancamento.

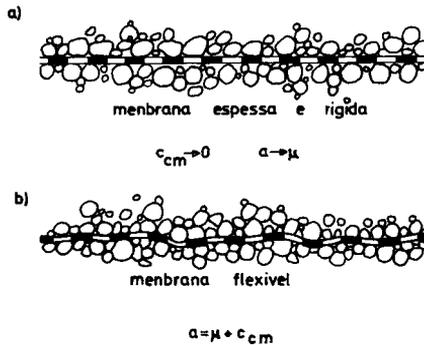


Fig. 25

Será de interesse recordar (resultados que estão apresentados na Fig. 2 — Cap. II) que uma geomembrana de polietileno com 2 mm de espessura poderá resistir a um esforço de tracção de mais de 3 t/m com um alongamento de ruptura de 10%; já uma geomembrana de PVC resistirá só a pouco mais de 1 t/m com um alongamento da ordem dos 50%.

### BIBLIOGRAFIA

- BOUTRUP *et al.* — *Analysis of embankments on soft ground reinforced with geotextiles*. VIII Europ. Conf. Soil Mech., Helsinki, 1983.
- CAZUFFI *et al.* — *The use of geotextiles in drains; laboratory tests and design criteria*. Symp. "Recent develop. in ground treat.", Bangkok, 1985.
- FAURE *et al.* — *Influence of the filtration opening size on sand retention capacity of geotextiles*. Int. Conf. "Flex. revetments incorporating geotextiles", Londres, 1985.
- FLOSS — *Geotextiles in Soil Mechanics and Foundation Engineering*. General Report, First German Symp. on Geotextiles, "Geotextiles and Geomembranes" n.º 4, 1985.
- FOLQUE — *A utilização de telas tecidas e não-tecidas em obras de Engenharia Civil*. "Geotecnia", n.º 28, 1980.
- GAMSKI — *Classification of geotextiles*. Proc. Symp. "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn (Áustria), 1984.
- GAMSKI — *The Geotextile Handbook*. EMPA, St. Gallen, 1985.
- GIROUD *et al.* — *Geotextiles in geotechnical engineering*. "Geotextiles and Geomembranes", n.º 3, 1985.
- GIROUD *et al.* — *Geotextiles as filters and transitions in fill dams*. ICOLD, Bulletin 55, 1986.
- HOERTEN *et al.* — *Filtration properties of geotextiles and mineral filters demonstrated by the examples of banks protection*. "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn (Áustria), 1984.
- INFOLD — *The specifications of geotextiles for use in Civil Engineering*. "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn (Áustria), 1984.
- JEWEL — *Material requirements for geotextiles and geogrids in reinforced slopes application*. "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn (Áustria), 1984.
- MLINFREK — *Hydraulic conductivity and pore sizes of non-woven filter fabrics*. "Geotextiles and Geomembranes", n.º 2, 1985.
- MURRAY *et al.* — *Composite geotextiles for soil and structure drainage*. "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn, (Áustria), 1984.
- RANKILOR — *The specification and use of geotextiles in drains*. "Geotextiles and Geomembranes", n.º 2, 1985.
- ROWE *et al.* — *Geotextile reinforcement of embankments on peat*. "Geotextiles and Geomembranes", n.º 2, 1985.

- ROWE *et al.* — *An approximate method for estimating the stability of geotextile reinforced embankments.* "Canadian Geot. Journ.", n.º 3, 1985.
- SCHNEIDER *et al.* — *Design of slopes reinforced with geotextiles and geogrids.* "Geotextiles and Geomembranes", n.º 3, 1986.
- SCHLÖSSER *et al.* — *GEOTEXTILES* in "Construction Geotechnique". Spec. Conf. XI Int. Conf. Soil Mech., S. Francisco, 1985.
- SMOLTCZYK *et al.* — *Slope protection by membrane structure.* "Geotextiles and Geomembranes", n.º 2, 1985.
- SOTTON — *Durability of geotextiles.* "Geotextilien im der Geotechnik", Dornbirn (Áustria), 1984.
- YAMAMURA — *New construction methods.* Committee on technology of dams construction, ICOLD, 1986.
- YAMANOUCHI — *Recent developments in the use of synthetic geofabrics and geogrids.* Int. Symp. "Recent develop. in ground improv. techn.", Bangkok, 1985.
- ZANTEN, R. V. van (coordenador) — *Geotextiles and geomembranes in Civil Engineering.* Balkema, 1986.