

## 2.

### Revisão da literatura I: Comportamento de solo reforçado com geossintético

Os geossintéticos são produtos poliméricos industrializados, desenvolvidos para aplicações em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais destacam-se: reforço, drenagem, filtração, separação e controle da erosão superficial (Vertematti, 2004).

Exemplos de geossintéticos são: geocélula, geocomposto, georrede, geoespaçador, geofôrma, geogrelha, geomanta, geomembrana, geotêxtil e geotubo.

Podem ser fabricados utilizando-se diversos polímeros, como polietileno, polipropileno, poliéster, poliamida, polivinil, variando-se conforme a necessidade à proporção de polímeros no geossintético. Materiais naturais, como fibra de côco e algodão, também podem ser utilizados.

Em projetos de engenharia, as aplicações de geossintéticos são diversas e cada tipo possui funções determinadas. A Tabela 2.1 apresenta o emprego de alguns geossintéticos para atender às suas funções nos projetos.

**Tabela 2.1 Funções de alguns geossintéticos em projetos de engenharia (Vertematti, 2004)**

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X
Geomembrana	X	-	-	-	-	-
Georrede	-	X	-	X	-	-
Geocélula	-	-	-	-	X	X
Geotubo	-	-	-	X	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X

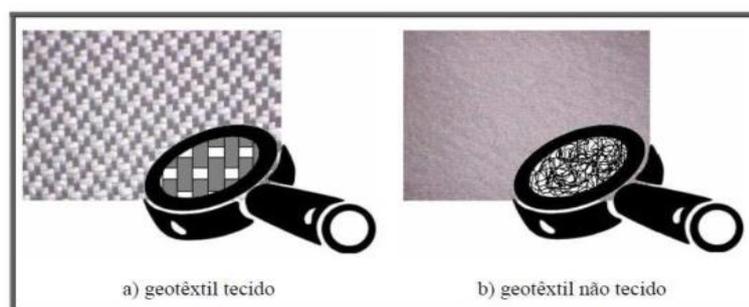
No Brasil, os geossintéticos são empregados de forma mais intensa em obras de drenagem e filtração, além das outras funções já listadas. Um material é considerado como filtro quando permite a passagem da água, ou outro fluido qualquer, mas retém os sólidos. Já um dreno deve permitir a passagem de líquidos com a menor perda de carga hidráulica possível (Vertematti, 2004).

## 2.1. Geotêxteis

Geotêxteis são mantas permeáveis, flexíveis e finas produzidas a partir de fibras sintéticas ou naturais. São produtos manufaturados a partir de diferentes polímeros, principalmente poliéster e polipropileno, em razão da resistência química e mecânica, e de variadas formas de fabricação (Lima, 2003).

A estrutura do geotêxtil é dada pela sua técnica de fabricação, ou seja, no processo de combinação das fibras, o qual pode dar origem a três tipos: tecidos, não-tecidos e tricotados.

De acordo com Freitas (2003), geotêxteis tecidos são aqueles fabricados por processos de tecelagem, em que há entrelaçamentos ordenados das fibras, em geral num ângulo de 90° e, segundo Paterniani (1991), possuem espessura muito fina (<1mm). Os não-tecidos são fabricados pela deposição aleatória de fibras (monofilamentos contínuos ou cortados) em uma esteira rolante, ficando a espessura do produto condicionada a velocidade de avanço da esteira. Os geotêxteis tricotados são oriundos do entrelaçamento de fios por tricotamento. A figura 2.1 demonstra o arranjo estrutural de geotêxteis tecidos e não tecidos.



**Figura 2.1** Arranjo estrutural dos principais geotêxteis, tecidos e não tecidos (Benjamin, 2006).

Apesar de serem fabricados por processos industriais de tecelagem, visando a homogeneidade do tecido percebe-se pela figura 2.2 que há fios em menor concentração em algumas regiões do geotêxtil.



**Figura 2.2 Amostra de geotêxtil exposta contra a luz.**

Em função do método de ligação das fibras dos geotêxteis não tecidos, esses podem ser agulhados, termoligados ou resinados. Quando agulhados, as fibras são interligadas mecanicamente por agulhamento; termoligados, as fibras são unidas por fusão parcial obtida por aquecimento; e resinados, são interligadas por resinas.

Segundo Freitas (2003), normalmente, para a função de filtração são utilizados geotêxteis não tecidos. Estes apresentam uma estrutura muito mais complexa que os tecidos, pois não atuam como uma simples interface, mais sim como um meio tridimensional, possuindo a espessura como parâmetro complementar. Vertematti (2004) lista as principais vantagens proporcionadas pelos geotêxteis como elemento filtrante, em relação a outros meios convencionais.

- A espessura do filtro é menor.
- Características controladas e regulares, por se tratar de um produto industrial.
- Facilidade de instalação, manutenção e baixo custo.

## 2.2.

### **Uso de geossintéticos nas rodovias**

O uso dos geossintéticos (geotêxtil / geogrelha) traz muitos benefícios ao se utilizar o reforço em rodovias:

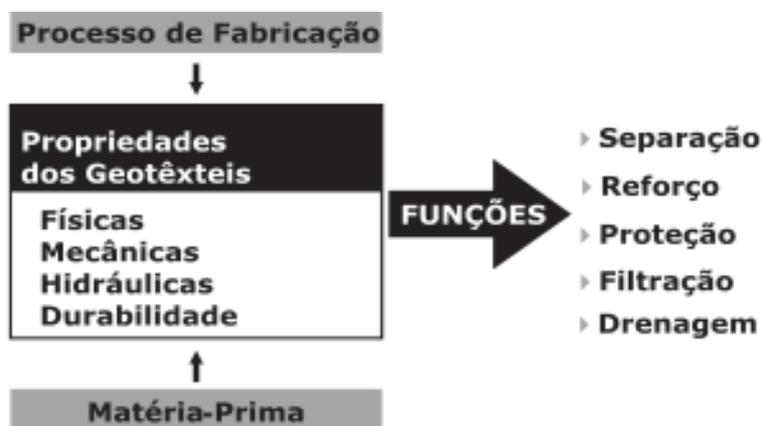
- Redução da intensidade de tensão no subleito (subrasante) e prevenção da base de agregado em penetrar no subleito (função de separação);
- Prevenção de finos oriundos do subleito bombeados ou de outra forma migrarem para dentro da base (função de filtração e separação);
- Permitir um aumento na resistência do subleito ao longo do tempo (função reforço);
- Redução dos recalques diferenciais da rodovia, o que auxilia na manutenção da integridade e da uniformidade do pavimento (reforço);
- Fornece uma barreira capilar para reduzir a ação da água em solos susceptíveis a degelo (função barreira);
- Prevenção da contaminação do material de base, o que pode permitir graduações mais abertas, com agregados conseqüentemente mais drenantes (filtração);
- Redução da profundidade de escavação requerida para a remoção de materiais de subleito indesejáveis (separação e reforço);
- Redução da espessura de agregado requerida para se estabilizar o subleito (função de separação e reforço);
- Redução de manutenções e extensão da vida útil do pavimento.

### **2.2.1. Proteção de geomembranas com geossintéticos**

Danos a geomembrana e defeitos de fabricação correspondem em pequenos orifícios, variações de espessura e baixa resistência ao *stress cracking*. Dos danos ocorridos durante a fase de colocação da camada drenante, 68% são devidos a pedras angulosas, também a inaceitáveis dimensões das partículas constituintes da camada drenante ou ao deficiente dimensionamento do geossintético de proteção; 16% devido ao equipamento pesado usado para espalhar a camada drenante e 16% devido a incorreta utilização do utensílio que verifica a espessura da camada drenante, segundo Vertematti (2004).

### 2.3. Funções desempenhadas pelos geossintéticos

O processo de fabricação e a matéria prima conferem ao geossintético todas as suas características e propriedades que, por sua vez, se combinam para criar as funções que o produto está apto a exercer, conforme a figura 2.3.

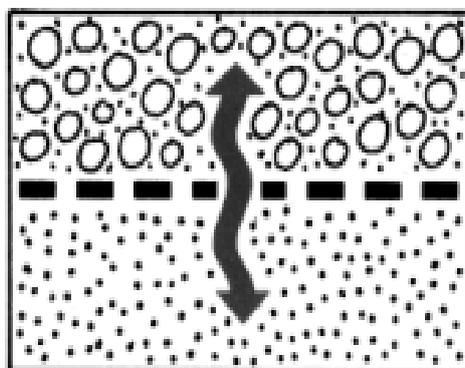


**Figura 2.3 Funções e propriedades dos Geotêxteis**

Segundo Koerner (1998) as funções dos geossintéticos nas obras geotécnicas podem ser agrupadas em seis categorias, conforme descrito nos itens 2.3.1 a 2.3.6.

#### 2.3.1. Separação

O geossintético é interposto entre dois materiais de naturezas diferentes, impede sua mistura e interpenetração, preservando suas características originais, com é apresentado na figura 2.4.

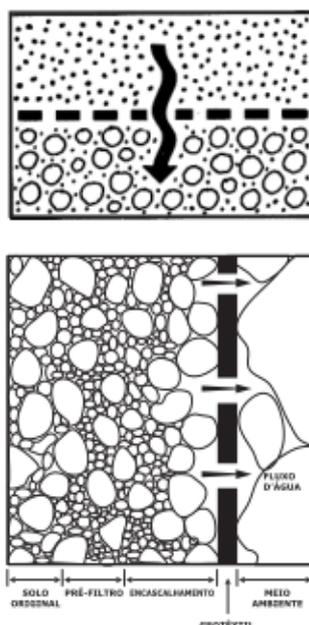


**Figura 2.4 Função Separação**

### 2.3.2. Filtração

Segundo Koerner (1998), filtração é o equilíbrio geossintético-solo que permite um adequado fluxo de líquido com limitada perda de solo perpendicularmente ao plano do geossintético, durante uma vida de serviço compatível com a aplicação em consideração.

O fenômeno de filtração para a água percolando em um solo bem graduado, pode ser visualizado no esquema apresentado na figura.

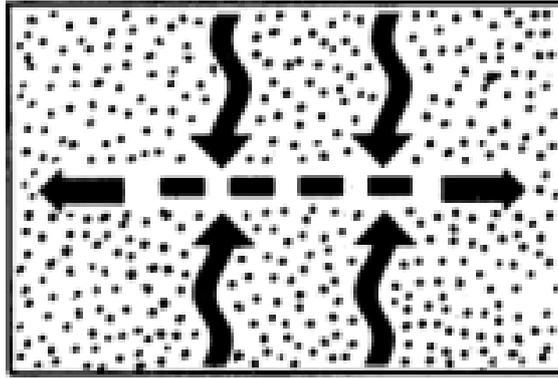


**Figura 2.5 Função Filtração**

### 2.3.3. Drenagem

É o equilíbrio geossintético-solo que permite um adequado fluxo de líquido com limitada perda de solo paralelamente ao plano do geossintético, dentro de sua estrutura, durante uma vida de serviço compatível com a aplicação em consideração.

O geossintético, através de sua estrutura física, coleta e conduz fluído em seu plano.



**Figura 2.6 Função Drenagem Planar**

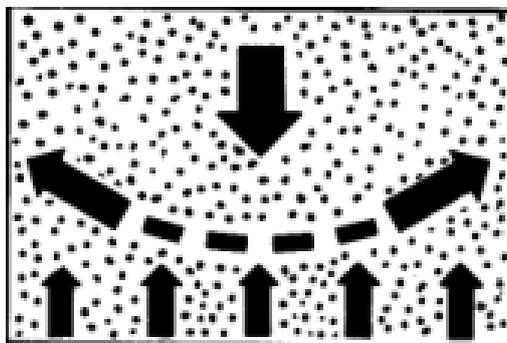
#### **2.3.4. Impermeabilização**

O geossintético é usado como barreira para impedir a passagem de líquidos. Esta aplicação assumiu grande importância nas últimas décadas devido ao crescimento das exigências ambientais para disposição de resíduos e rejeitos.

#### **2.3.5. Reforço**

Os solos em geral tem pouca ou nenhuma resistência à tração. Os geossintéticos, ao contrário, caracterizam-se por possuírem elevada resistência à tração.

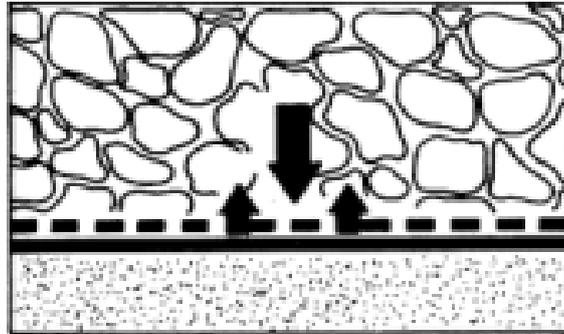
A través de suas propriedades mecânicas, atua no sentido de reforçar a estrutura geotécnica na qual está inserida, como apresentada na figura 2.7.



**Figura 2.7 Função Reforço**

### 2.3.6. Proteção

O geossintético é colocado adjacente a outro elemento de uma obra geotécnica, o protege de danos mecânicos tais como abrasão, punsonamento e rasgo, como apresentado na figura 2.8.



**Figura 2.8 Função Proteção**

## 2.4. Propriedades e normas de ensaios hidráulicos

Para a adequada utilização de geossintéticos nas funções de separador, filtro ou dreno, é necessário conhecer suas propriedades hidráulicas, que neste estudo foram analisadas em função dos seguintes ensaios:

- Ensaio de permeabilidade no plano da água - transmissividade;
- Ensaio de determinação de espessura.

A compressibilidade dos geocompostos faz com que sua permeabilidade seja em função da tensão normal a que eles estão submetidos. Os resultados de ensaio devem, portanto, indicar a pressão atuante sobre o geotêxtil durante sua realização. Pode-se adotar como “permeabilidade nominal” o valor obtido sob tensão de 2 kPa, ou seja, para a condição de espessura nominal.

### 2.4.1. Permeabilidade Transversal – Transmissividade

A permeabilidade transversal de um geocomposto indica a capacidade que a manta possui de conduzir água no seu próprio plano. É uma característica dos

geocompostos e uma propriedade importante a analisar sempre que houver interesse na consideração de drenagem através do geocomposto.

Considerando uma situação de fluxo laminar, da lei de Darcy tem-se:

$$Q = (K_T \cdot \Delta H \cdot A) / L \quad (2.1)$$

Onde:

Q – vazão (m<sup>3</sup>/s)

K<sub>T</sub> - permeabilidade transversal (m/s)

ΔH - perda de carga total (m)

L - comprimento da amostra na direção do fluxo

A - área do fluxo

Reescrevendo esta equação em função da espessura T<sub>g</sub> do geocomposto, temos:

$$K_T = \frac{Q}{\Delta H} \cdot \frac{1}{T_g} \quad (2.2)$$

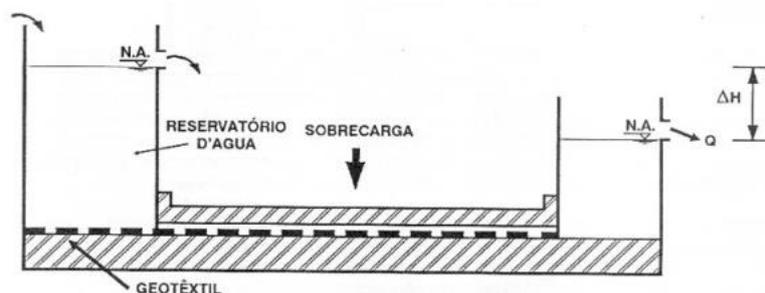
Denominando “transmissividade hidráulica” a relação:

$$\theta = \frac{Q}{\Delta H} ; \left( \frac{m^2}{s} \right) \quad (2.3)$$

tem-se:

$$K_T = \frac{\theta}{T_g} \quad (2.4)$$

Na figura 2.9 se apresenta o esquema de ensaio proposto pela ASTM-D4716, específico para geocompostos.



**Figura 2.9 Esquema de ensaio para determinação da permeabilidade transversal de geocompostos.**

A interação solo-geocomposto pode ter grande influência sobre a transmissividade hidráulica do sistema. Portanto, além dos ensaios de caracterização do geocomposto deveria realizar ensaios de desempenho

considerando o conjunto. O esquema apresentado na Figura 2.9 prevê a possibilidade de ensaiar o geocomposto com ou sem a presença do solo e em condições de carga normal simulando as do campo.

#### 2.4.2. Ensaio de determinação de Espessura

Esta baseado nas normas:

- ASTM D 5199/01- Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics.
- ASTM D 6525/00- Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Permanent Rolled.

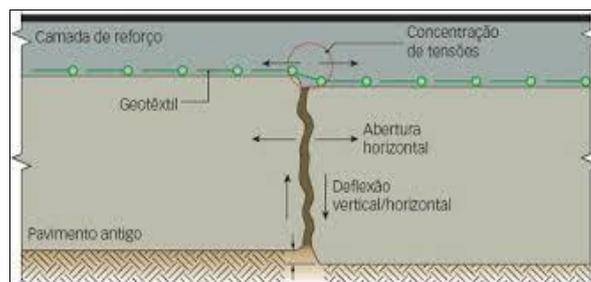
A espessura nominal de um geocomposto drenante é determinada pela observação da distância perpendicular entre um plano móvel e uma superfície paralela, provocada pela ocupação desse espaço por um geocomposto, sob uma pressão específica (2 kPa ou de 20 kPa por 5 segundos), obtém-se do ensaio a espessura nominal, em mm.

#### 2.5. Aplicação dos geossintéticos em pavimentos

##### 2.5.1. Recapeamento Asfáltico – Proteção

O geossintético, aplicado na interface das camadas antiga e nova, retarda a ascensão das trincas da capa antiga para a nova, pois seus filamentos ou fibras redistribuem as tensões que se concentraram nas bordas das trincas e fissuras.

Para atuar corretamente, o geossintético deve ser totalmente saturado com asfalto e estar aderido a ambas as superfícies, o que é conseguido através de imprimatórias, como é visto na figura 2.10.



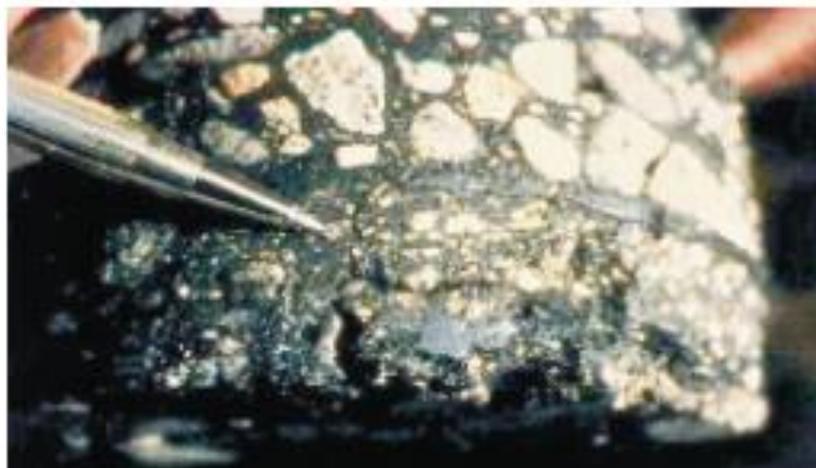
**Figura 2.10 Recapeamento Asfáltico com utilização de geossintético**

Com as trincas e fissuras preenchidas e o geossintético misturado com a emulsão asfáltica, têm-se um conjunto impermeável que irá barrar a penetração das águas de chuvas pelas futuras trincas do novo pavimento, como é apresentado na figura 2.11.



**Figura 2.11 Aplicação de geossintético sobre a capa antiga, já imprimada com asfalto através de suporte rodante**

O geossintético, saturado de asfalto, atua como barreira anti-reflexão e membrana impermeável, aumentando a vida útil da nova capa de duas a dez vezes dependendo das condições locais.

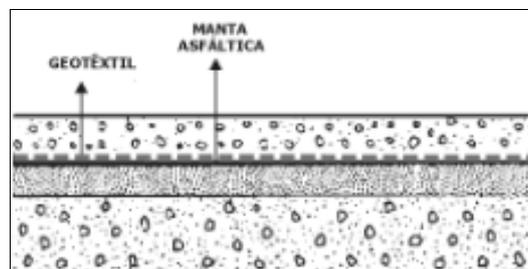


**Figura 2.12 Amostra extraída de recapeamento asfáltico, após anos de uso, onde se constata o bloqueio de ascensão das trincas pela ação do geossintético.**

### 2.5.2. Proteção de Impermeabilização – Proteção

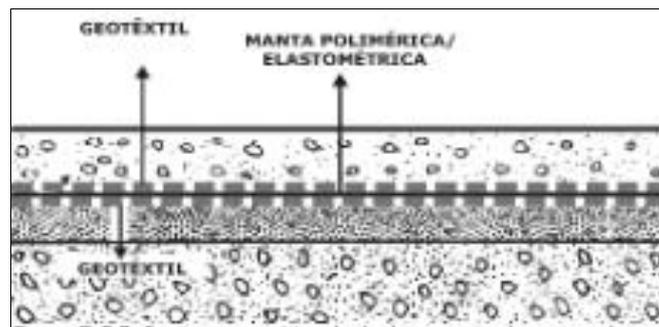
Nas impermeabilizações com mantas asfálticas ou geomembranas elastoméricas/poliméricas, sua função de barreira contra a percolação de fluídos deve ser preservada.

Vários esforços devidos a objetos contundentes ou transmitidos pelos materiais de construção adjacentes, podem danificar as mantas e comprometer todo o sistema impermeabilizante, para diminuir esses danos se recomenda usar um sistema de impermeabilização de laje como é representada na figura 2.13.



**Figura 2.13 Seção esquemática de proteção de manta asfáltica em impermeabilização de laje**

Na figura 2.14 se apresenta a proteção de impermeabilização de lajes com manta asfáltica, o geossintético é colocada apenas na face superior, para absorver os esforços dinâmicos do pavimento/cobertura.



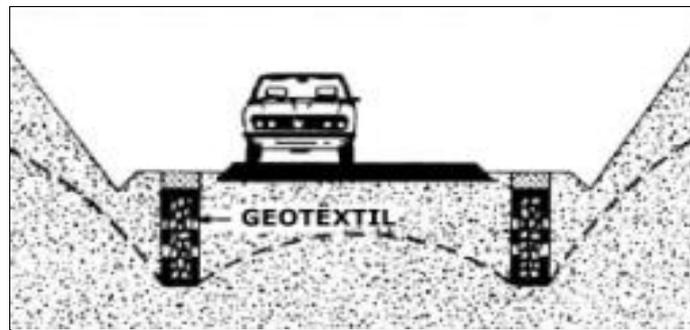
**Figura 2.14 Seção esquemática de dupla proteção de geomembrana polimérica/elastométrica delgada em impermeabilização de laje**

A prevenção da colmatagem dos drenos devido ao carregamento dos finos do solo pelo fluxo de água é feita a través da utilização de uma camada de geossintético filtrante envelopando totalmente o material drenante, usualmente uma brita.

Na parte superior da seção drenante, o geossintético filtrante é sobreposto para garantir proteção total contra a penetração de finos e recebe uma camada selante de reaterro compactado

## 2.6. Drenos longitudinais profundos - Filtração

Para rebaixar o lençol freático em obras viárias, geralmente em cortes rodoviários ou ferroviários, drenos longitudinais profundos paralelos são construídos ao longo da via.



**Figura 2.15 Seção esquemática de drenos longitudinais profundos ao longo de cortes rodoferroviários**

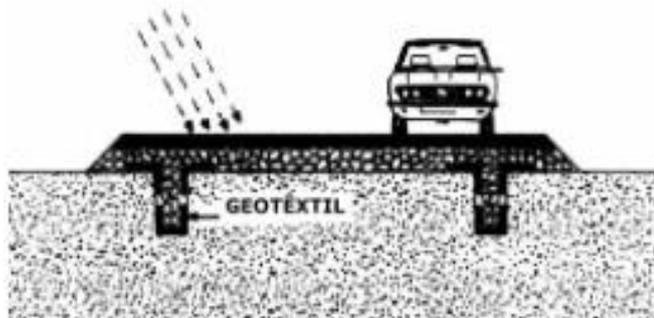
A prevenção da colmatagem dos drenos devido ao carregamento dos finos do solo pelo fluxo de água, é feita a través da utilização de uma camada de geossintético filtrante envelopando totalmente o material drenante, usualmente uma brita.

Na parte superior da seção drenante, o geossintético filtrante é sobreposto para garantir proteção total contra a penetração de finos e recebe uma camada selante de reaterro compactado.

## 2.7. Drenos de Pavimentos – Filtração

Todo pavimento viário, mesmo que seja considerado impermeável, com o passar do tempo irá permitir a penetração de água para sua base. A presença de água confinada na base do pavimento, sujeita aos ciclos dinâmicos de carga, irá provocar o bombeamento das partículas finas do subleito através da base e

revestimento, até emergir no leito da via, além de promover a queda de resistência do subleito e camadas do pavimento.



**Figura 2.16 Seção esquemática de pavimento viário dotado de drenos de pavimento paralelos.**

Esse fenômeno ocorre em estradas, vias urbanas, pátios e estacionamentos e colabora para a rápida deterioração do pavimento.



**Figura 2.17 Dreno de pavimento rodoviário construído junto com a estrada**

A inclusão de drenos de pavimento, construídos com geossintético filtrante, previne o desenvolvimento do bombeamento, pois retira a água da base tão logo ela penetre, garantindo a manutenção da resistência do subleito/estrutura, bem como a vida útil do pavimento.

## 2.8.

### **Outras aplicações e tecnologias de uso dos geossintéticos**

Na atualidade os geossintéticos também têm as seguintes aplicações:

- a) Barragens, proteção do talude montante, drenos vertical e horizontal, dreno de pé de talude.
- b) Canais, colchões drenantes, base para impregnação asfáltica e proteção de geomembranas.
- c) Captação de águas subterrâneas, poços profundos e trincheiras de captação.
- d) Construção Civil, drenagem subterrânea, proteção de impermeabilização, muros de contenção.
- e) Construção Industrial, drenagem subterrânea, proteção de impermeabilização, estacionamentos e arruamentos, reforço de aterros sobre solos moles e taludes íngremes.
- f) Controle de Erosão, revestimentos de canais, bacias de amortecimentos, proteção superficial de taludes.
- g) Esporte e Lazer, campos de futebol, quadras de tênis, campos de golfe, jôquei clubes, praias artificiais, proteção de gramados.
- h) Obras de contenção, muros em solos reforçados, drenos em muros de arrimo, muros de gaviões, paliçadas e diques contínuos.
- i) Obras Marítimas, enrocamentos de contenção, diques contínuos.

## 2.9.

### **Reforço de solo com geossintético – Histórico**

Segundo Casagrande (2005) os geossintéticos vêm sendo usados nas obras geotécnicas há várias décadas, para proporcionar ao solo algumas características como drenagem, proteção à erosão, reforço do mesmo, entre outras. Existem diversos tipos de geossintéticos, sendo estes classificados em geotêxteis, geogrelhas, geomalhas, geomembranas, tiras, fibras e geocompostos. Os geotêxteis são mais utilizados, estes são conformados por fibras têxteis ordenadas aleatoriamente e empregados como elementos de reforço, separação, drenagem, filtração, e proteção. As geogrelhas são grelhas plásticas utilizadas como elementos de reforço, principalmente contra as solicitações de tração e melhora na

distribuição das tensões. As geomalhas são estruturas planas com elevado volume de vazios para utilização como meio drenante. As geomembranas conformam elementos de baixíssima permeabilidade.

Segundo Martins (2012), no caso de uso de solos finos, geralmente de rigidezes inferiores aos solos grossos, reforços mais rígidos são necessários. No entanto, o problema principal da possibilidade de desenvolvimento de pressões da água na zona reforçada persiste. Notou-se, no entanto o problema principal da possibilidade de desenvolvimento de pressões da água na zona reforçada persiste. Notou-se, no entanto, a partir da década de 80, que os geotêxteis não tecidos, embora flexíveis, poderiam cumprir não somente a função de reforço, mas, associadamente, a função de drenagem interna de estruturas de solo reforçado. Dentre as vantagens da função de drenagem destas estruturas estão a rápida dissipação de pressões da água na interface solo-reforço e a aceleração do adensamento do solo em situações em que o solo é saturado.

A eficiência de geotêxteis não tecidos na função de drenagem é bastante conhecida atualmente, muito embora poucos trabalhos tivesse mostrado claramente o efeito da infiltração de água de chuva no comportamento de estruturas de solos finos reforçados. É bastante conhecido também que, os problemas de deslocamentos excessivos e rupturas são, na maioria das vezes, implicações do uso de solos finos e do avanço de umedecimento no interior da zona reforçada, o que prejudica não somente a resistência e a rigidez do solo, mas também a interação deste com o reforço. Por outro lado ele indica que necessita-se ainda conhecer o processo de infiltração solo e geotêxtil e os efeitos deste no comportamento das estruturas.

Martins avaliou experimentalmente a influência do avanço da frente de umedecimento em protótipos de muros de solos finos reforçados com geotêxteis no laboratório, adicionalmente, foi acompanhado o desempenho de uma estrutura real construída em campo, em que o comportamento de seções de geotêxtil tecidos e não tecidos são comparados. Ele constatou a contribuição dos reforços na drenagem interna da zona reforçada que dissiparam 20% do volume da água infiltrado, com a formação de uma barreira capilar na interface solo-geotêxtil, e se geram deformações pelo avanço da frente de umedecimento gerado principalmente pela variação da rigidez do solo.

### **2.9.1.**

#### **Estruturas de solos finos coesivos com reforços permeáveis**

Uma das soluções existentes na literatura para possibilitar a utilização de solos finos locais em estruturas de solo reforçadas, é a utilização de reforços permeáveis que forneceriam drenagem interna da estrutura, evitando o excesso de pressões da água positivas, além de favorecer no processo de compactação. Tal técnica pode ainda vir a favorecer o comportamento da interação solo-reforço devido à dissipação da água na interface.

### **2.9.2.**

#### **Interação solos coesivos-reforços permeáveis**

Dentre os reforços considerados permeáveis estão os geotêxteis não tecidos e os geoco

mpostos. O objetivo deste tópico é demonstrar que embora geotêxteis não tecidos sejam considerados materiais de rigidez muito baixa, e por esse motivo, muitas vezes, sejam excluídos na fase de escolha do reforço da estrutura, estes se apresentam como uma opção favorável em ocasiões em que a drenagem interna não é alcançada pelo próprio material do aterro, ou seja, quando solos de baixa permeabilidade são utilizados.

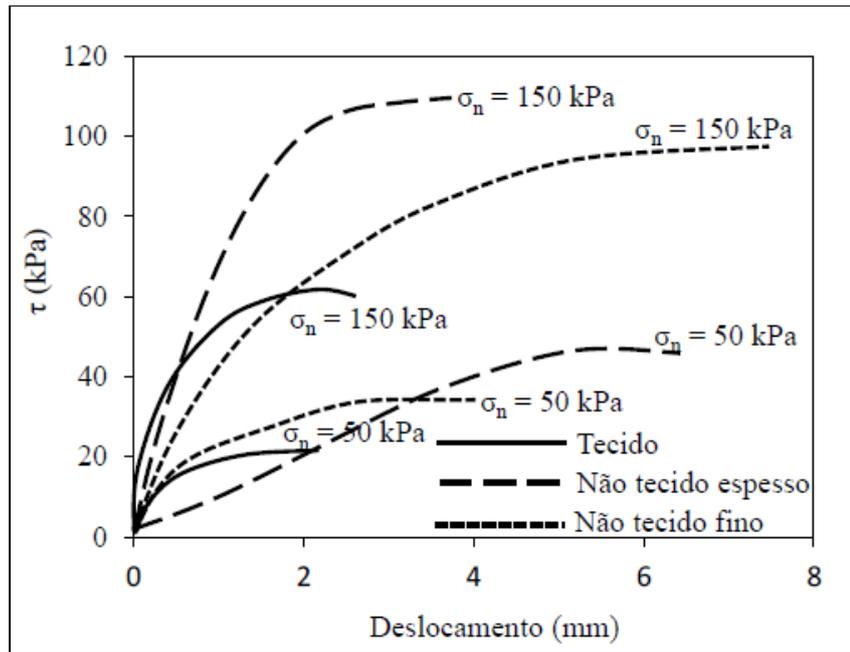
Muitas pesquisas têm relatado a eficiência das funções de drenagem interna e reforço de geotêxteis não tecidos, ou geocompostos, no favorecimento do processo de interação solo-reforço (Ingold, Miller, 1982; Fabian; Fourie, 1986; Fourie; Fabian, 1987; LaFleur; Duchame, 1987; Naughton, 2010).

Embora os mecanismos que regem a resistência da interface de geogrelhas sejam os mesmos, independente do tipo de solo, em solos granulares, o atrito e a resistência passiva são mais predominantes quando comparados aos solos finos. Adicionalmente, a capacidade de solos granulares de drenar água com maior facilidade contribui positivamente no comportamento mecânico da interface. No caso de reforços planares como os geotêxteis, a rugosidade e a interpenetração do solo nos vazios dos reforços consistem nos principais mecanismos de interação. Os geotêxteis não tecidos são reforços planares com larga quantidade de vazios, o que permite a impregnação do solo nestes vazios. Este fenômeno, juntamente com a rugosidade dos geotêxteis não tecidos, favorece o processo de interação.

Adicionalmente, a característica singular de drenar água pelo interior da sua estrutura faz deste material uma excelente opção no reforço de solos finos de baixa capacidade de drenagem.

Uma comparação de eficiência de interface por meio de ensaios de cisalhamento entre diferentes geossintéticos e diferentes solos foi realizada por Eigenbrod e Locker (1987). Os ensaios foram conduzidos com geotêxteis tecidos, não tecidos e geomembranas em argila MH-CH, argila CL e dois tipos de areia. Resultados obtidos mostraram que, em solos granulares, os geotêxteis não tecidos mobilizaram mais de 90% da resistência das areias, enquanto os geotêxteis tecidos mobilizaram entre 76% e 86% e as geomembranas em torno de 56% e 70%. Já em solos argilosos, os geotêxteis não tecidos mobilizaram entre 62% a 78% das resistências das argilas, e os geotêxteis tecidos entre 61% e 63%.

Conclusões semelhantes foram obtidas por LaFleur et al. (1987) por meio de ensaios de cisalhamento direto em argila de elevada plasticidade. A eficiência de interface em geotêxtil não tecido foi maior do que 100%, ou seja, a resistência ao cisalhamento na interface foi maior que a do solo. Por outro lado, o geotêxtil tecido mobilizou 50 a 60% da resistência do solo. No entanto, o deslocamento para a mobilização do reforço foi maior em geotêxteis não tecidos finos do que em geotêxteis tecidos, conforme é apresentado na figura 2.18 eficiência dos geotêxteis tecidos é prejudicada pela superfície lisa deste tipo de reforço, além de não permitirem a impregnação do solo em sua estrutura. Observa-se na figura 2.18, que a resistência de cisalhamento de interface em geotêxteis não tecidos é também dependente da espessura do material. Os autores relatam que tal dependência esta associada à capacidade de geotêxteis não tecidos mais grossos de serem impregnados por maior quantidade de partículas de solo em seu arranjo.

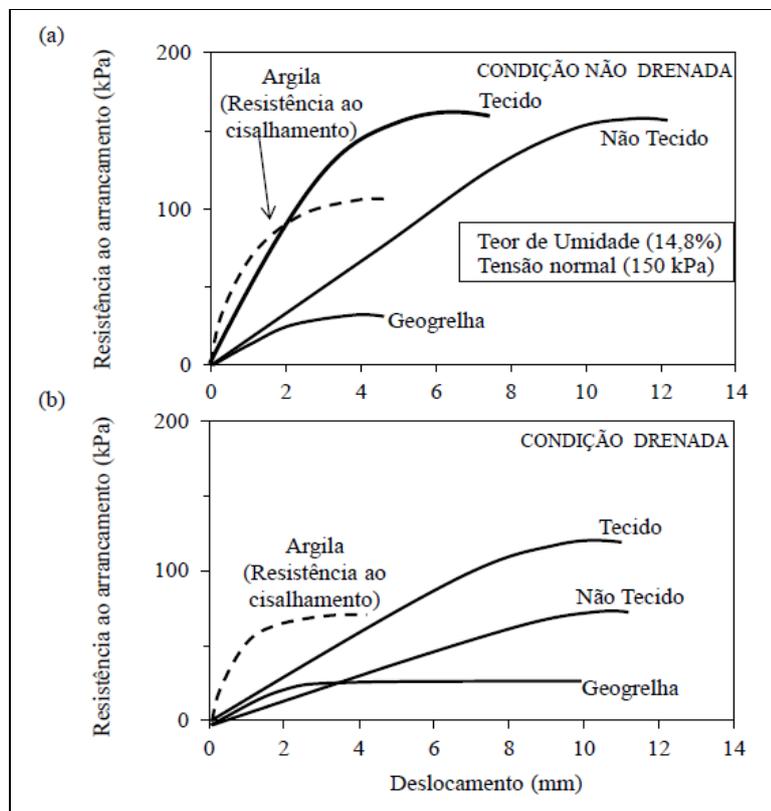


**Figura 2.18 Resultados de cisalhamento direto de interface de três diferentes tipos de geotêxteis em solo argiloso (LaFleur et al. 1987)**

A capacidade de drenagem de reforços não tecidos é uma das principais propriedades na escolha deste material como reforço de solos finos. Durante a vida útil da estrutura, carregamentos consideráveis e repentinos podem vir a ocorrer durante e após a construção, sendo estas condições ideais para o desenvolvimento de pressões de água. Por tanto, em condições críticas de carregamento e saturação do solo, a função de drenagem passa a compor a função primordial no comportamento da estrutura.

Fourie e Fabian (1987) avaliaram efeito da dissipação da pressão da água dos geotêxteis não tecidos em condições drenadas e não drenadas em ensaios de arrancamento e cisalhamento de interface, estabelecendo a influência dessas condições em outros tipos de reforço impermeáveis avaliados. Ensaios foram realizados usando argila siltosa CL, geotêxtil não tecido, geotêxtil tecido e georrede. Ambos os ensaios foram conduzidos nas condições drenadas (0,033 mm/min.) e não drenada (0,9 mm/min.). Os resultados mostraram que a resistência de interface com argilas pode ser aumentada com o uso do material permeável em ambas as condições drenada e não drenada. Os principais fatores que afetaram a resistência de interface foram a rigidez, a rugosidade e a

transmissividade dos geotêxteis. Foi verificado ainda que a resistência de interface dos geotêxteis não tecidos é proporcional às tensões confinantes e a transmissividade. Na condição não drenada, a eficiência de contato foi maior para o geotêxtil não tecido (Figura 2.19a), enquanto na condição drenada, a resistência de arrancamento foi maior para os geotêxteis tecidos (Figura 2.19b). Os autores relatam que o comportamento drenado de arrancamento dos geotêxtil não tecido foi influenciado pela relaxação, o que não ocorreu em ensaios de cisalhamento direto. Tal comportamento reduziu a resistência à tração do material, resultando em menores valores de resistência ao arrancamento em comparação ao observado nos ensaios não drenados.



**Figura 2.19** Ensaios arrancamento em argila: a) condição não drenada; b) condição drenada (Fourie Fabian, 1987).

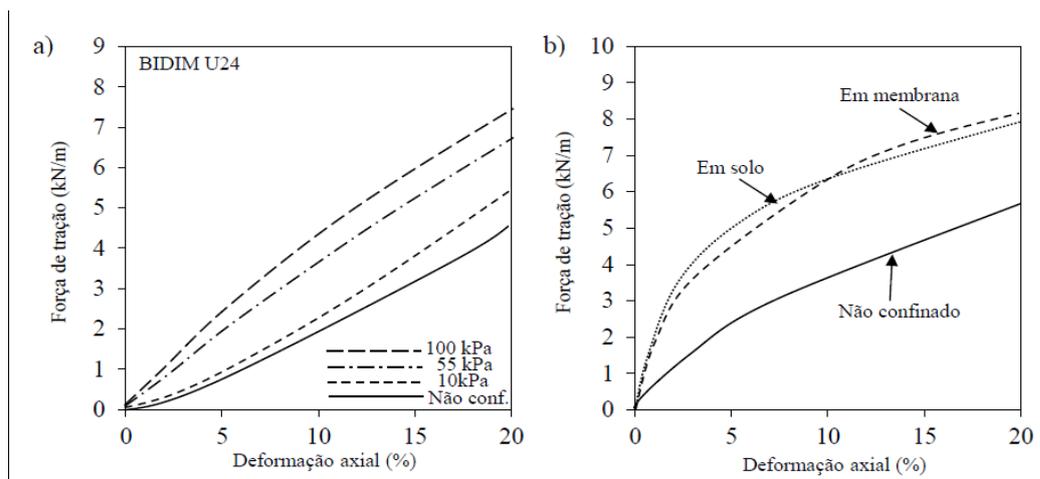
### 2.9.3.

#### Efeito de confinamento nas propriedades mecânicas de geotêxteis não tecidos

O comportamento de resistência e deformabilidade à tração de geotexteis não tecidos são significativamente afetados pelo efeito do confinamento do solo. O confinamento dificulta o processo de reorientação das fibras têxteis na direção

do esforço aplicado, devido à interpenetração do solo na estrutura interna dos geotêxteis não tecidos (McGown et al., 1981; McGown et al., 1982; Andrawes et al., 1984; Gomes, 1992; Mendes: Palmeira, 2008; França; Bueno, 2011). Quaisquer que sejam os procedimentos utilizados, os resultados são semelhantes e demonstram acréscimos significativos na rigidez e na resistência dos geotêxteis não tecidos confinados em relação à condição não confinada. Por esse motivo, a experiência da utilização de reforços não tecidos em estruturas de solos reforçados tem mostrado que os níveis de deformação nos reforços e deslocamentos das estruturas não competem com as previsões de projeto que se baseia nas características de deformabilidade do reforço na condição não confinada.

McGown e Andrawes (1982) mostraram que a rigidez inicial dos geotêxteis não tecidos é significativamente modificada sob as condições de confinamento (Figura 2.20). Segundo os autores, o confinamento do solo modifica os vazios na estrutura do geotêxteis, sendo que a uniformidade dessas mudanças depende da natureza do material confinante. Desde aquela época, os autores já recomendavam que as propriedades mecânicas de reforços utilizadas em projetos de estrutura de solo reforçado, principalmente os geotêxteis não tecidos, fossem determinadas em condições confinadas, uma vez que o confinamento governa as propriedades de tração. Segundo os autores, ensaios de tração não confinada são apropriados para o controle de qualidade dos materiais por demandarem menor tempo de ensaio, no entanto, não deveriam ser utilizados como parâmetros de projeto.



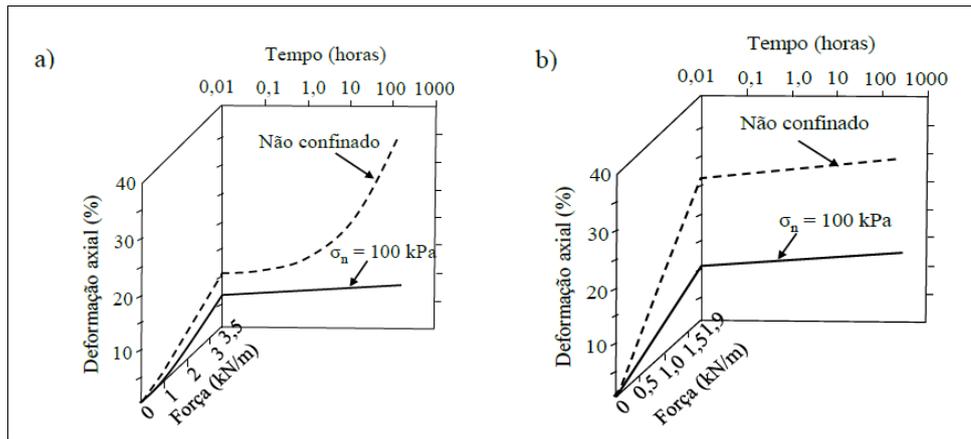
**Figura 2.20 Resultados de tração confinada de geotêxteis não tecidos: a) efeito do nível do confinamento (McGown; Andrawes, 1982); b) efeito da superfície de confinamento (Ling et al, 1993).**

Ling et al. (1993) desenvolveram um equipamento para comparar ensaios de tração de geossintéticos sob diferentes condições: não confinados, confinados em solo e confinados em geomembrana. Os valores de rigidez dos geotêxteis não tecidos agulhados e tricotados (Bidim U24) foram influenciados pelo confinamento, assim como observado por McGown e Andrawes (1982). No entanto, não foram observadas diferenças significativas nos valores de tração entre geotêxteis confinados em membrana e em solo (Figura 2.20).

Por outro lado, ensaios de tração confinada em solos de diferentes granulometrias realizados por Gomes (1992) mostraram que a interpenetração das partículas mais finas do solo na matriz do geotêxtil não tecido favorece a ação do confinamento, enquanto para o tecido, o efeito do confinamento é o mesmo para todos os solos. Resultados do efeito da impregnação considerando o nível da impregnação, determinado pela relação entre a massa de solo impregnada e a massa das fibras do geotêxtil, foram apresentados por Mendes e Palmeira (2008). Os autores mostram que a impregnação contribui na rigidez dos não tecidos, podendo aumentar com a taxa de impregnação e do confinamento.

Do mesmo modo que as características de tração dos geotêxteis não tecidos são melhoradas pelo efeito de confinamento e impregnação do solo, o comportamento de fluência destes materiais também é alterado.

Ensaio realizados por Kamiiji (2006) mostram o efeito do confinamento nos resultados de fluência dos geotêxteis não tecidos, cuja fluência foi drasticamente diminuída. Nos resultados apresentados por Holtz et al. (1982), em que a fluência triaxial confinada em areia foi avaliada, observou-se que a fluência dos geotêxteis não tecidos confinados foi semelhante à de tecidos confinados. Já McGown et al. (1982) mostram reduções de até 60% na fluência do não tecido confinado com relação aos ensaios sem confinamento, como apresenta a Figura 2.21.



**Figura 2.21** Comparação entre ensaios de fluência confinada e não confinada de: a) geotêxtil não tecido resinado; b) não tecido agulhado (McGown et al. 1982).