



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
Núcleo de Geologia de Engenharia

Proc. 504/11/16149

## **APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO CONTROLO DA EROSÃO SUPERFICIAL E COSTEIRA**

Lisboa • Maio de 2007

I&D GEOTECNIA

RELATÓRIO 206/2007 – NGE



APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO CONTROLO DE EROSÃO SUPERFICIAL E  
COSTEIRA

APPLICATION OF GEOSYNTHETICS IN COAST AND SUPERFICIAL EROSION  
CONTROL

APLICACION DE GEOSYNTHETIQUES DANS LE CONTROLE DE EROSION  
SUPERFICIEL ET COTIERE



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) pelo acolhimento e, em particular, ao Doutor Filipe Telmo Jeremias, por me ter dado oportunidade de realizar este trabalho, em contexto de estágio por candidatura espontânea.

Em seguida, expresso os meus sinceros agradecimentos à Eng.<sup>a</sup> Madalena Barroso (LNEC) pelo incondicional apoio e disponibilidade demonstrada na orientação deste trabalho. Pelas sugestões dadas no sentido de organizar ideias e resolver problemas. Agradeço também o fornecimento de bibliografia e material geossintético indispensáveis à realização deste estudo.

Agradeço também ao Eng.º Vítor Silva (LNEC) pela disponibilidade revelada na resolução de problemas informáticos, que foram surgindo durante o período de feitura deste trabalho, sem o qual não seria possível a utilização do computador disponibilizado.

Gostaria ainda de agradecer ao Técnico Luís Pinto (LNEC) pela disponibilidade e paciência que demonstrou ao fotografar os geossintéticos disponibilizados para o trabalho.

Por fim, agradeço em particular à minha família pela ajuda financeira disponibilizada que permitiu que fosse possível concluir este trabalho. Pelo incondicional incentivo e apoio que me deram sempre que precisei.



# ÍNDICE DE TEXTO

<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 - EROSÃO.....</b>	<b>2</b>
2.1 Considerações gerais .....	2
2.2 Tipos de erosão.....	2
2.2.1 - Erosão superficial.....	3
2.2.2 - Erosão costeira .....	4
<b>3 - GEOSSINTÉTICOS .....</b>	<b>5</b>
3.1 Definição .....	5
3.2 Tipos de Geossintéticos.....	5
3.3 Matérias-primas dos geossintéticos.....	8
3.4 Funções dos geossintéticos.....	9
3.5 Vantagens da utilização dos geossintéticos no controlo de erosão .....	10
3.6 Geossintéticos no controlo da erosão .....	11
3.7 Propriedades relevantes dos geossintéticos no controlo da erosão .....	13
3.8 Sumário .....	14
<b>4 - GEOSSINTÉTICOS NO CONTROLO DA EROSÃO: ESTADO-DE-ARTE.....</b>	<b>15</b>
4.1 Controlo de erosão superficial.....	15
4.2 Controlo da erosão superficial.....	24
<b>5 - CASOS DE OBRA .....</b>	<b>32</b>
<b>6 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>7 - BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>37</b>



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Diferentes tipos de erosão e suas definições (segundo Teixeira, 1968).....	3
Quadro 2 – Definição dos principais tipos de geossintéticos (IGS, 2000).....	6
Quadro 3 – Geossintéticos simples.....	7
Quadro 4 – Geossintéticos compostos. ....	8
Quadro 5 – Características dos principais polímeros utilizados como matéria-prima na fabricação de geossintéticos (Vertemati, 2004). ....	9
Quadro 6 – Principais funções dos geossintéticos e suas definições resumidas. ....	10
Quadro 7 – Tipos de sistemas de controlo da erosão a longo e a curto termo (Shukla & Yin, 2006).....	12
Quadro 8 – Critério de selecção de geomantas para reforço de vegetação dos TRM (adaptado de Vertematti, 2004).....	14
Quadro 9 – Critério de selecção de geomantas para controlo de erosão e revegetação dos ECRM (adaptado de Vertematti, 2004).....	14
Quadro 10 – As diferentes estruturas usadas nas duas fases de testes. ....	16
Quadro 11 – Quadro resumo dos resultados obtidos nos três locais em teste.....	20
Quadro 12 – Variações das alturas dos geotubos após o enchimento hidráulico.....	21
Quadro 13 – Propriedades físicas dos materiais de controlo de erosão (adaptado de Ogbobe et al., 1998).....	25
Quadro 14 – Resultados da velocidade de escoamento para as diferentes inclinações, quando aplicados os três tipos de geossintéticos (segundo Ogbobe et al., 1998) . ....	25
Quadro 15 – Resultados de $V_m$ para as diferentes inclinações, quando aplicados os três tipos de geossintéticos (segundo Ogbobe et al., 1998). ....	25
Quadro 16 – Relação entre a percentagem da redução da perda de solo e a percentagem da queda de chuva (segundo Lecka, 2004). ....	29



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Erodibilidade dos produtos de controlo de erosão, com base no impacte das gotas da chuva (Cancelli <i>et al.</i> , 1990 in Shukla & Yin, 2006). .....	13
Figura 2 – Erodibilidade dos produtos de controlo de erosão, com base no fluxo de água (Cancelli <i>et al.</i> , 1990 in Shukla & Yin, 2006). .....	13
Figura 3 – Diagrama esquemático do modelo físico utilizado (Molina e Yasuhara, 2005). ....	16
Figura 4 – Dique constituído por geossacos (Gang et al., 2006). .....	17
Figura 5 – Local de teste no lago Kasumigaura (Masuya et al. 2006). .....	18
Figura 6 – Local de teste no lago Inohana (Masuya et al. 2006). .....	19
Figura 7 – Local de teste no rio Niyodogawa (Masuya et al. 2006). .....	19
Figura 8 – Diagrama esquemático do modelo de ensaio de campo (Oh & Shin, 2003). .....	21
Figura 9 – Diagrama esquemático dos tubos geotêxteis na praia Young-Jin (Oh & Shin, 2006). .....	22
Figura 10 – Diagrama com os pontos de medição de pressão vertical ao longo de um geotubo (Oh & Shin, 2006). .....	23
Figura 11 – Diagrama esquemático do simulador de chuva (Ogbobe et al 1998). .....	24
Figura 12 – Esquema da vertente com as estacas e suas características (Watanabe et al., 2006). .....	26
Figura 13 – Talude carregado com solo empacotado (Watanabe et al., 2006). .....	26
Figura 14 – Esquema de um estudo piloto com os três colectores (Lecka, 2004). .....	28
Figura 15 – Disposição dos colectores para recolha de escoamento e sedimentos (Lecka, 2004). .....	29
Figura 16 – Comparação da retenção de humidade em taludes protegidos e não protegidos (Lecka, 2004). .....	30
Figura 17 – Uma das vertentes protegidas com o geotêxtil de fibras de coco, após um mês de colocação (Lecka, 2004). .....	31
Figura 18 – Geotubos na fase de preenchimento (www.igsbrasil.org.br, consultado em 2.04.2007). .....	32
Figura 19 – Geotubos já preenchidos, contendo o aterro (www.igsbrasil.org.br, consultado em 2.04.2007). .....	32
Figura 20 – Diagrama da margem protegida do rio na Ilha Nayachor (Sivaramakrishnan, 1994). .....	34



# **APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO CONTROLO DE EROSÃO SUPERFICIAL E COSTEIRA**

## **1 – INTRODUÇÃO**

A diversidade no meio geológico e a complexidade dos seus processos fazem com que, na Engenharia Civil, sejam encontradas situações em que os factores geológicos são condicionantes na concepção técnica, podendo afectar a viabilidade económica de um projecto.

O conhecimento do comportamento das rochas e solos é ainda limitado, devido à grande variedade geológica e ao número de factores que o influenciam. Na tentativa da resolução de alguns problemas, a engenharia civil inovou em técnicas, processos e produtos, como é o caso dos geossintéticos.

A aplicação de geossintéticos no controlo da erosão é relativamente recente, razão pela qual a investigação neste domínio tem proliferado. O objectivo principal deste trabalho é contribuir para um melhor conhecimento da aplicação de geossintéticos na resolução de uma problemática bastante actual, como é o caso da erosão. Este estudo permite ajudar na solução de problemas em diversas áreas como a geotecnia, os transportes, os recursos hídricos, o geoambiente, entre outras.

Neste estudo efectua-se uma pesquisa bibliográfica no domínio da utilização de geossintéticos no controlo da erosão superficial e costeira, e apresentam-se casos de obra recentes, de importância considerável, no sentido de exemplificar possíveis acções que envolvam a utilização dos geossintéticos neste âmbito.

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. A seguir ao capítulo de introdução, o segundo capítulo refere-se à erosão, descrevendo sumariamente os vários tipos existentes, em particular a erosão superficial e costeira. O terceiro capítulo descreve sucintamente os diferentes tipos de geossintéticos, as suas vantagens, funções e aplicações, referindo de forma mais aprofundada a aplicação destes materiais na erosão superficial e costeira. O quarto capítulo diz respeito ao estado-de-arte dos geossintéticos quando aplicados no controlo de erosão superficial e costeira. O quinto capítulo apresenta alguns casos de obra recentes e, por fim, o sexto capítulo apresenta as conclusões deste estudo.

Este trabalho foi realizado no âmbito de um estágio proposto pela autora e aceite pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). O estudo decorreu no Núcleo de Geologia de Engenharia, no Departamento de Geotecnia da instituição anteriormente referida.

## **2 - EROSÃO**

### **2.1- Considerações gerais**

A erosão é um processo natural e contínuo, que consiste num desgaste e destruição das rochas da superfície terrestre, pelos agentes da geodinâmica externa (água, vento, variações de humidade relativa do ar, actividade humana, etc.). Pode tratar-se de simples acções de desintegração física ou de processos relacionados com a alteração ou decomposição química dos minerais das rochas, em que o oxigénio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos e outras substâncias em dissolução na água têm um papel significativo (Teixeira, 1968).

A vulnerabilidade das rochas à erosão reside principalmente na maior ou menor estabilidade dos seus minerais, embora outros factores inerentes às rochas possam ser minimizados, como é o caso da textura, da porosidade e do grau de fissuração das rochas (Carvalho, 1996).

A água é o agente natural com mais influência no processo erosivo dos materiais geológicos. Do ponto de vista químico, a água promove reacções químicas com certos minerais das rochas e participa em múltiplas reacções bioquímicas, em especial as que decorrem ao nível das raízes das plantas, ou as que são promovidas pela actividade de microorganismos. Fisicamente, a água actua por dissolução, por aumento de volume (sempre que congela nas fissuras dos minerais ou das rochas). Sob o ponto de vista dinâmico, participa significativamente no transporte, arrastando detritos e substâncias dissolvidas (Carvalho, 1996). A capacidade potencial da precipitação para provocar erosão depende, sobretudo, das características físicas da mesma (intensidade, duração e dimensão das gotas).

À desintegração física alteração e/ou decomposição química das rochas segue-se, muitas vezes, a formação de solos. Os solos são uma mistura de materiais sólidos, associada a uma fracção orgânica, sendo, de um modo geral, compostos por sólidos, água e ar, em proporções variáveis. Estes materiais geológicos são mais susceptíveis de serem mobilizados e transportados pelos agentes de erosão (Carvalho, 1996).

A vulnerabilidade ou susceptibilidade de um determinado solo à erosão é determinada em função das suas características, da forma como é utilizado e da morfologia que o local apresenta. Os factores responsáveis pela erosão dos solos incluem a erosividade da chuva, a erodibilidade, a topografia, o tipo de cultivo (e sua sequência), as práticas de conservação utilizadas, assim como as técnicas de preparação da terra (Silva, 2003).

O Homem contribui também para a erosão, muitas vezes negativamente como no caso da desflorestação descontrolada, da construção de habitações em encostas, das técnicas agrícolas inadequadas, da ocupação do solo sem ordenamento, etc.

### **2.2 Tipos de erosão**

Existem muitos tipos de erosão, mas os mais comuns são os seguintes: fluvial, eólica, glaciária, costeira, submarina, remontante, diferencial, cársica e antrópica. A definição

resumida de cada um destes tipos apresenta-se no quadro 1, de acordo com o definido por Teixeira (1968).

**Quadro 1** – Diferentes tipos de erosão e suas definições (segundo Teixeira, 1968).

<b>Tipos de erosão</b>	<b>Definição</b>
<b>Fluvial</b>	O agente é a água de escorrência, torrentes, ribeiros, rios, etc. O declive, natureza litológica do leito, caudal, velocidade de escoamento e as condições climáticas, são factores determinantes.
<b>Eólica</b>	O agente é o vento que arrasta consigo areias e outros materiais sólidos, projectando-os contra as rochas, que encontra no caminho. O resultado é o desgaste e polimento, por acção do atrito.
<b>Glaciária</b>	O agente é o gelo dos glaciares, que se move, lentamente, em direcção às regiões mais baixas. As massas de gelo e também os materiais líticos que arrastam na passagem originam o desgaste e polimento das rochas sobre que se movem.
<b>Marinha</b>	Causada pela acção mecânica das vagas e dos materiais clásticos que movimentam. As acções químicas da água do mar (corrosão) também são importantes. Pode resultar em fenómenos de erosão diferencial e desmoronamentos nas costas das arribas.
<b>Submarina</b>	Ligada à acção das correntes litorais, ao escorregamento de materiais acumulados (sedifluxão), etc.
<b>Remontante / Regressiva</b>	Desgaste de um vale (ou de uma bacia hidrográfica), desencadeada por um abaixamento do nível de base, local ou geral, e que se propaga a partir desse ponto, no sentido de jusante para montante.
<b>Diferencial</b>	Ataca as rochas de maneira diferente, conforme maior ou menor resistência que elas opõem à desagregação.
<b>Cársica</b>	A água carregada de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) infiltra-se através de fissuras das rochas, alargando-as e passando a circulação a fazer-se em profundidade, através de galerias e canais. A parte superficial das regiões calcárias fica com um aspecto particular, ruiforme e que se designa de modelado cársico.
<b>Antrópica</b>	Provocada pela acção do Homem, devido à desflorestação dos terrenos, das culturas agrícolas, das explorações mineiras, das obras de engenharia, etc.

Para efeitos do presente trabalho, agrupam-se a erosão fluvial, eólica e glaciária em erosão superficial, a qual é seguidamente abordada.

### 2.2.1 - Erosão superficial

No âmbito da erosão superficial, os problemas dos taludes/vertentes assumem primordial destaque. Existem várias soluções para controlar a erosão nestes casos, entre os quais a protecção, especialmente adequada no caso de vertentes/taludes localizados em terrenos pouco rochosos. Esta solução permite reduzir a superfície do fluxo da água e manter as

partículas de solo, plantas ou sementes no local, envolvendo o uso de técnicas básicas como o revestimento e a retenção do solo. O revestimento pode ser permeável ou impermeável. (Shukla & Yin, 2006).

Outro método de controlar a erosão no caso dos taludes/vertentes consiste na utilização de vegetação. A profundidade das raízes das árvores, plantas, arbustos, etc., tendem a reforçar e estabilizar o solo, ou seja, consolida a massa de solo e reduz a erosão. A aplicação da vegetação, como barreira protectora, é preferível à aplicação de materiais como o betão.

A escassez das matérias-primas usadas nos métodos tradicionais (protecção e revestimento) e os limitados recursos financeiros presentes na resolução de muitos problemas na engenharia civil fizeram com que os engenheiros se tornassem mais inovadores e passassem a adoptar novos produtos, como é o caso dos geossintéticos, principalmente na aplicação da vegetação, em terrenos não vegetados, como barreira protectora.

### **2.2.2 - Erosão costeira**

Este tipo de erosão ocorre em zonas litorais e é causada pela acção mecânica das vagas e dos materiais clásticos que se movimentam, tendo em conta a acção química da água do mar sobre as rochas presentes (Komar, 1976).

A erosão da costa é causada principalmente pela acção da onda de impacto e pela acção abrasiva da areia e fragmentos de rocha que são atirados contra a costa. Este tipo de erosão tende a agudizar-se durante os temporais (Komar, 1976).

Segundo o mesmo autor, adicionados à acção das ondas existem variados processos de meteorização (transformação das rochas sob a acção dos fenómenos climáticos e biológicos), tais como o desgaste das rochas em consequência dos agentes atmosféricos e da acção da chuva.

A acção antrópica contribui igualmente para a erosão costeira, nomeadamente a construção de obras exteriores portuárias (com ou sem dragagens de manutenção dos canais de acesso), a subida do nível do mar, a inadequada ocupação da faixa costeira e a interferência das actividades humanas nos fluxos dos transportes de areia dos rios e da orla costeira (Komar, 1976).

A erosão marinha produz em geral o recuo da costa, que normalmente não é uniforme devido à existência de variações na resistência da rocha (erosão diferencial). As costas constituídas por rochas mais resistentes tendem a retrair-se mais lentamente, enquanto que costas constituídas por rocha menos resistente, fragilizada por falhas ou com muita estratificação são facilmente erodidas pela acção das ondas. No entanto, é nos sedimentos não consolidados, como os depósitos glaciares, que a erosão ocorre com maior intensidade e rapidez, tal como sublinhado por Komar (1976).

É necessário ter-se em conta que a erosão costeira não é apenas o desgaste das rochas por acção das ondas. A degradação dos sistemas dunares, resultante do avanço do mar sobre a terra, da construção sobre as dunas, etc., também é uma forma de erosão. Os sistemas dunares

são importantes porque servem de barreira contra os fenómenos de inundação, protegendo assim populações e áreas agrícolas localizadas na envolvente dos maciços dunares (Neves et al., 2005).

Também no caso das zonas costeiras, os geossintéticos tiveram um papel importante nas recentes soluções adoptadas para controlar a erosão nessas zonas. Os geossintéticos utilizados para controlar este e outros tipos de erosão estão tratados no capítulo seguinte.

## **3 – GEOSSINTÉTICOS**

### **3.1 Definição**

Segundo a IGS (International Geosynthetic Society, 2000), um geossintético é um produto fabricado, obtido de polímeros sintéticos, usado com solo, rocha ou ligado a outro material de engenharia geotécnica como uma parte integral de um projecto, estrutura ou sistema.

Nas últimas quatro décadas, houve um considerável desenvolvimento na área dos geossintéticos e suas aplicações em todo o mundo.

Os geossintéticos são actualmente empregues em quase todos os tipos de obras no domínio da engenharia civil. A construção com estes produtos deve acompanhar a evolução técnico-científica para que se atinja o equilíbrio exigido entre segurança e economia (Shukla & Yin, 2006).

Os geossintéticos são versáteis, adaptáveis a várias situações de obra, podendo ser combinados com outros materiais de construção.

### **3.2 Tipos de Geossintéticos**

O desenvolvimento acelerado dos geossintéticos é uma realidade presente e, a cada dia, novos produtos são criados. Desse modo, muitos desses novos produtos não foram classificados de forma harmonizada. Essa situação permite que haja, entre os diversos países e organizações, diferenciações na classificação. O quadro 2 mostra a definição resumida dos vários tipos de geossintéticos

**Quadro 2** – Definição dos principais tipos de geossintéticos (IGS, 2000).

<b>Geossintéticos</b>	<b>Definição</b>
<b>Geotêxteis</b>	Material têxtil, plano, permeável, polimérico (sintético ou natural), utilizado em contacto com o solo e/ou outros materiais em aplicações da Engenharia Civil e geotécnica.
<b>Geogrelha</b>	Estrutura plana, polimérica, constituída por uma grelha aberta e regular de elementos resistentes à tracção, ligados entre si por extrusão, colagem ou entrelaçamento, cujas aberturas têm dimensões superiores à grelha formada pelo elemento constituinte.
<b>Georrede</b>	Material que consiste em duas séries de elementos paralelos que se cruzam formando ângulos constantes.
<b>Geoacolchoado</b>	Estrutura tridimensional, permeável, constituída por monofilamentos poliméricos e/ou outros elementos (sintéticos ou naturais), ligados por processos mecânicos, térmicos e/ou químicos.
<b>Geocélula</b>	Estrutura celular, tridimensional, permeável, polimérica (sintética ou natural), alveolar ou similar, constituída por tiras de geossintéticos interligados.
<b>Geomembrana</b>	Material planar, relativamente impermeável, polimérica (sintética ou natural), usada em contacto com o solo/rocha e/ou outro material geotécnico em aplicações da engenharia civil.
<b>Geocompósito</b>	Material fabricado, constituído por um conjunto de materiais em que pelo menos um dos seus componentes é um produto geossintético.
<b>Geoforma</b>	Estrutura geossintética permeável, tridimensional, mecanicamente preenchida com solo ou outro material, adoptando determinada forma (saco ou em forma de tubo) que vai definir a sua nomenclatura (geossaco/geotubo). Muito utilizado no controlo da erosão costeira.
<b>Geomanta</b>	Produto com estrutura tridimensional permeável usado para controlo de erosão superficial do solo, também conhecido como “biomanta” quando biodegradável. Colocado sobre o solo para controlo temporário da erosão.
<b>Geocolchão</b>	Estrutura tridimensional, permeável colocada sobre a superfície do solo e depois coberta com solo para prevenir erosão.
<b>Biogeotêxteis</b>	Estrutura feita de fibras naturais (juta, coco, etc.), que se reúnem para formar uma estrutura plana, aberta, e ao mesmo tempo deformável, capaz de se adaptar perfeitamente bem ao solo. Usado na protecção das vertentes contra a erosão.

Apresentam-se nos quadros seguintes os diferentes tipos de geossintéticos, agrupados por simples (quadro 3) e compostos (quadro 4).

**Quadro 3 – Geossintéticos simples.**

<b>Geossintéticos</b>	<b>Sigla</b>	<b>Principais tipos</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Geotêxteis</b>	<b>GTX</b>	Não tecido	
		Tecido	
<b>Geogrelha</b>	<b>GGR</b>	Extrudidas	
		Coladas	
<b>Georrede</b>	<b>GNT</b>		
<b>Geoacolchoado</b>	<b>GMA</b>		
<b>Geocélula</b>	<b>GCE</b>		
<b>Geomembrana</b>	<b>GMB</b>	Polimérica	
		Betuminosa	
<b>Geomanta</b>	<b>GM</b>		
<b>Geocolchão</b>	<b>GBL</b>		

**Quadro 4 – Geossintéticos compostos.**

Geossintéticos	Sigla	Principais tipos	Exemplos
<b>Geocompósito</b>		Bentonítico	
	<b>GC</b>	Drenante	
		Reforço	
<b>Geocontentores</b>		Geotubo	
		Geossaco	
<b>Biomanta</b>	<b>BM</b>		

De todos os tipos de geossintéticos, apenas alguns são utilizados no controlo da erosão, como é o caso das geocélulas (utilizadas também como reforço), geomantas (*geoblanket*), biomantas (*biomat*), geoacolchoados (*geomat*), geocolchão (*geomattress*) e biogeotêxteis. Estes materiais não são os únicos utilizados neste âmbito, mas são aqueles em que a sua função principal é o controlo da erosão.

As georredes e geogrelhas também podem ser utilizadas no controlo da erosão, embora a sua principal função seja a de drenagem e reforço, respectivamente.

### 3.3 Matérias-primas dos geossintéticos

Os geossintéticos são constituídos essencialmente por polímeros e, em menor escala, por aditivos. Os aditivos têm função de introduzir melhorias nos processos de fabrico ou modificar aspectos de comportamento de engenharia do polímero básico. De modo geral, os geossintéticos são fabricados a partir de polímeros sintéticos, derivados de petróleo, embora algumas fibras naturais (juta, sisal, coco, etc.) também sejam empregues no fabrico de alguns geotêxteis e geomantas (Vertemati, 2004).

Existem vários polímeros utilizados na fabricação de geossintéticos:

- polietileno (geotêxteis, geomembranas, geogrelhas, geotubos, etc.);
- polietileno de alta densidade (geomembranas, geocompósitos, geotira, geotubos, etc.);
- poliestireno expandido (geocompostos, geoespaçador, etc.);
- poliamida (geogrelhas, geotêxteis, georredes, etc.);
- policloreto de vinilo (geomembranas, geogrelhas e geotubos);
- poliéster (geotêxteis, geogrelhas, georredes, geocompósitos, etc.);
- polipropileno (geomembranas, geogrelhas, georredes, geocompósitos, etc.).

O quadro seguinte resume as características dos polímeros mais importantes na fabricação da matéria orgânica.

**Quadro 5** – Características dos principais polímeros utilizados como matéria-prima na fabricação de geossintéticos (Vertemati, 2004).

<b>Polímero</b>	<b>Características</b>
<b>Polipropileno (PE)</b>	Polímero termoclástico semicristalino, o mais leve constituinte dos geossintéticos. Adicionam-lhe antioxidantes para reduzir a susceptibilidade à degradação por oxidação.
<b>Polietileno (PE)</b>	Produto termoplástico bastante cristalino. Apresenta uma elevada resistência química, devido à sua estrutura muito compactada, dificultando assim a permeabilidade aos gases, líquidos e vapores.
<b>Poliéster (PET)</b>	Polímero que difere da maioria dos polímeros pela presença de oxigénio na sua estrutura molecular. Pode-se aumentar a resistência à tracção de um geossintético que tem este constituinte, utilizando para isso cadeias moleculares mais pesadas. Contém aditivos para reduzir as degradações térmicas e U.V.
<b>Poliamida (PA)</b>	Produto conhecido por nylon. Torna-se menos rígido e estável em condições de alta humidade. Para reduzir a degradação aos raios U.V. e melhorar as propriedades de engenharia presentes, adicionam-se compostos metálicos e negro – de – fumo.
<b>Polivinil clorado (PVC)</b>	Polímero composto por vinil clorado e aditivos. Este produto apresenta elevada resistência a químicos inorgânicos, mas é susceptível ao ataque de solventes e óleos orgânicos.

### 3.4 Funções dos geossintéticos

Numa obra de engenharia os geossintéticos podem exercer uma ou mais funções, das quais se podem salientar a separação, impermeabilização, drenagem, filtração, reforço, protecção e controlo da erosão. O quadro 6 apresenta resumidamente o significado de cada uma das funções salientadas anteriormente.

**Quadro 6** – Principais funções dos geossintéticos e suas definições resumidas.

<b>Funções</b>	<b>Definição</b>
<b>Separação</b>	Acção de impedir a mistura ou interacção de materiais adjacentes.
<b>Impermeabilização</b>	Acção de bloqueio ou desvio de fluidos.
<b>Drenagem</b>	Acção de condução de um fluído pelo corpo de um geossintético.
<b>Filtração</b>	Acção de retenção de um solo ou de outras partículas, permitindo a passagem livre do fluído em movimento.
<b>Reforço</b>	Acção de melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica, com a utilização das propriedades mecânicas dos geossintéticos
<b>Protecção</b>	Acção de limitação ou prevenção de danos a elementos de obras geotécnicas.
<b>Controlo da erosão</b>	Acção de prevenção da erosão de solos ou rochas.

Neste trabalho, o controlo de erosão é a função dos geossintéticos em destaque. Esta função aplica-se nas obras destinadas a proteger os taludes, as margens dos rios, as costas marítimas, etc., contra a erosão provocada, por exemplo, pela água, por flutuações do nível de água, ou pelas ondas.

Controlar a erosão é reduzir (não impedir) a gradual perda de material pela acção dos agentes da geodinâmica externa. Os geossintéticos utilizados no controlo da erosão limitam a migração das partículas finas dos solos (sob a acção da percolação), impedindo consequentemente a sua erosão interna, e contribuindo assim para a estabilidade das obras de protecção ou defesa (Vertemati, 2004).

### **3.5 Vantagens da utilização dos geossintéticos no controlo de erosão**

Com a aplicação dos geossintéticos é possível haver soluções económicas e ambientalmente favoráveis, não desprezando a importância da componente estética nas estruturas em causa.

Entre as vantagens dos geossintéticos contam-se o desempenho poder ser equivalente aos produtos tradicionais, mas com redução da espessura, volume e peso. A instalação é simples e rápida, podendo promover soluções alternativas em diversos tipos de obra. Conseguem acomodar-se aos movimentos diferenciais, permitindo aumentar o tempo de vida da estrutura em causa.

Em síntese, os geossintéticos apresentam várias características favoráveis, que os tornam materiais vantajosos, tais como (Shukla & Yin, 2006):

- são não corrosivos;
- têm alta resistência à degradação biológica e química;
- têm alta flexibilidade;

- têm volume reduzido (comparativamente com os produtos tradicionais);
- têm espessura reduzida (comparativamente com os produtos tradicionais);
- são de fácil transporte;
- são de rápida instalação.

Apesar da utilização dos geossintéticos ser vantajosa, não se pode deixar de referir que existem algumas preocupações, entre as quais, a durabilidade, pois por estes materiais serem relativamente recentes, não existe ainda uma experiência acumulada sobre o seu desempenho a longo prazo.

Outros aspectos que podem comprometer o desempenho dos geossintéticos relacionam-se com o manuseamento e armazenamento, porque pequenos danos na estrutura do material podem reduzir seriamente a funcionalidade. (ASTM –American Society for Testing and Materials, 1992).

### **3.6 Geossintéticos no controlo da erosão**

Os geossintéticos utilizados no controlo da erosão podem dividir-se em dois grupos, os quais se distinguem, basicamente, pela maior ou menor durabilidade que um geossintético leva a degradar-se, quando aplicado. O primeiro grupo de produtos é denominado por “produtos de controlo de erosão a curto termo” ou TERMS (*Temporary Erosion and Revegetation Materials*), enquanto que o segundo grupo é designado por “produtos de controlo de erosão a longo termo” ou PERMs (*Permanent Erosion and Revegetation Materials*).

No que se refere aos primeiros, estes exercem a sua função temporariamente, com o objectivo de servir de cobertura da superfície do solo e sementes, contra o impacto da chuva e das acções dos outros agentes naturais até ao crescimento da vegetação. Após o crescimento da vegetação estes produtos têm tendência para a degradação.

Relativamente aos PERMs, estes mantêm-se intactos, mesmo após o crescimento da vegetação (Shukla & Yin, 2006).

Theisen e Richardson (1998, citado em Shukla & Yin, 2006) apresentam uma boa visão geral dos vários sistemas de controlo de erosão a curto e a longo prazo. Estes sistemas oferecem vantagens a nível de custo e um melhoramento dos projectos mais tradicionais.

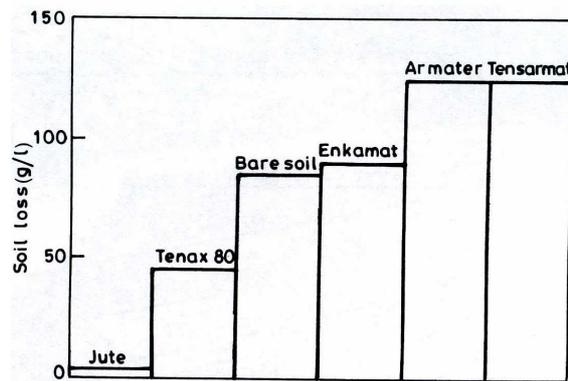
O quadro seguinte mostra os diferentes tipos de sistemas para controlo de erosão a longo e curto termo.

**Quadro 7** – Tipos de sistemas de controlo da erosão a longo e a curto termo (Shukla & Yin, 2006).

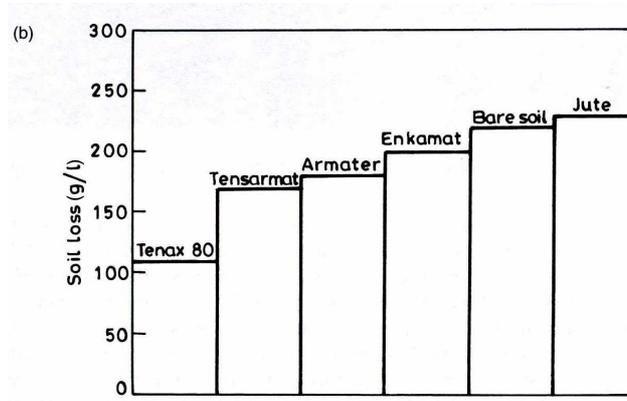
<b>Tipo</b>	<b>Controlo a curto termo</b>	<b>Controlo a longo termo</b>
Redes biaxiais cobertas com palha	+	
Malhas de controlo da erosão (ECM - Woven erosion control meshes).	+	
Mantas de controlo de erosão (ECB – erosion control blankets)	+	
Geocélula (GCS – vegetated geocellular containment)		+
Sistemas com fibras resistentes aos raios U.V (FRS – UV-stabilized fibre roving systems)		+
Manta de reforço de turfa (TRM – Turf reinforcement mats )		+
Mantas de controlo de erosão e revegetação (ECRMs – Erosion control revegetation mats)		+
Geoformas preenchidas com argamassa		+

A escolha apropriada de um sistema de geossintéticos para controlo da erosão do solo depende do clima, do período de tempo que se pretende que permaneçam em serviço (longo ou curto prazo), do grau de protecção requerido pela obra em questão, das condições topográficas e fisiográficas do local e do custo (Rustom e Weggel, 1993, citado em Shukla & Yin, 2006).

Seleccionar os materiais para a protecção, por exemplo de terrenos instáveis de vertentes, depende de muitos factores, como é o caso do comprimento do sopé do talude (*down-slope length*), tipo de solo, tipo de vegetação, condições climáticas locais, ângulo e orientação do talude, etc. (Shukla & Yin, 2006). É importante ter em conta os estudos experimentais, conduzidos por Cancelli *et al.* (1990) para estudar o desempenho dos diversos produtos de controlo de erosão numa vertente 1V:2H formada por um solo areno-siltoso. Neste trabalho foram utilizados diferentes geossintéticos, sendo o seu desempenho avaliado mediante a análise do tipo de chuva (*splash*) e do escoamento da água da chuva. Os resultados obtidos mostraram que relativamente ao tipo de chuva, a geojuta apresentava alta eficiência na retenção do solo (aproximadamente 3 g/l de chuva), no entanto, sob o efeito do escoamento, apresenta o pior resultado na retenção do solo. As figuras 1 e 2 apresentam os resultados destes estudos. Estes resultados sugerem que um geocompósito composto por uma juta e um produto sintético poderá ter maior eficiência, em termos de perda de solo, sob efeito da chuva (Shukla & Yin, 2006).



**Figura 1** – Erodibilidade dos produtos de controlo de erosão, com base no impacte das gotas da chuva (Cancelli *et al.*, 1990 in Shukla & Yin, 2006).



**Figura 2** – Erodibilidade dos produtos de controlo de erosão, com base no fluxo de água (Cancelli *et al.*, 1990 in Shukla & Yin, 2006).

### 3.7 Propriedades relevantes dos geossintéticos no controlo da erosão

Os geossintéticos seleccionados para desempenhar a função de controlo de erosão devem atender a alguns requisitos principais, tais como, a retenção e resistência. Estes materiais devem reter os finos provenientes de solos subjacentes, ou dos materiais erodíveis transportados e, também, resistir às velocidades de escoamento e aos esforços tangenciais provocados pelo fluxo de águas superficiais (Vertemati, 2004).

Existem outros aspectos que devem ser verificados, em função das condições de implantação dos geossintéticos utilizados para o controlo de erosão e das particularidades locais da obra (solicitações previstas), como é o caso da resistência à tracção, do punçoamento, do impacto, etc. (Vertemati, 2004).

Na selecção do geossintético para protecção superficial de taludes, margens de rios e canais deve-se levar em conta uma série de requisitos, incluindo a capacidade de retenção de finos, a estabilidade do material às velocidades de escoamento e forças de corte provocadas pelo fluxo

e a resistência à degradação, entre outros (Vertematti, 2004). Os quadros 8 e 9 apresentam os critérios básicos para a selecção de geomantas utilizadas para protecção, tendo por base a avaliação do desempenho desses materiais *in situ* e em ensaios laboratoriais. As tabelas seguintes indicam valores – limite para propriedades e características relevantes para a função em causa (controlo de erosão), respectivamente, para as geomantas no reforço da vegetação (TRM) e para as geomantas no controlo de erosão e revegetação preenchidas com solo (ECRM) (Carroll *et al.*, 1992 in Vertematti, 2004).

**Quadro 8** – Critério de selecção de geomantas para reforço de vegetação dos TRM (adaptado de Vertematti, 2004).

Propriedade	Normas de referência	Valor-limite
Espessura	ASTM D-1777	>13 mm
Porometria	-----	>95%
Cobertura do solo	-----	>30% e <60%
Rigidez	ASTM D-1388	< 40.000 mg. cm
Resiliência	----	> 80%
Resistência à tracção	ASTM D-1682	>1.9 kN/m
Deformação	ASTM D-1682	< 70%
Estabilidade aos raios U.V.	ASTM D-4355	> 80%
Durabilidade	----	>90%

**Quadro 9** – Critério de selecção de geomantas para controlo de erosão e revegetação dos ECRM (adaptado de Vertematti, 2004).

Propriedade	Normas de referência	Valor-limite
Espessura	ASTM D-1777	> 6 mm
Porometria	-----	> 95%
Cobertura do solo	-----	>50% e <80%
Rigidez	ASTM D-1388	<40.000 mg. cm
Resiliência	----	>80%
Resistência à tracção	ASTM D-1682	>1.4 kN/m
Deformação	ASTM D-1682	< 70%
Estabilidade aos raios U.V.	ASTM D-4355	> 80%
Durabilidade	----	> 60%

### 3.8 Sumário

Em resumo, com base na pesquisa bibliográfica realizada neste capítulo é possível relatar as seguintes conclusões:

- Os geossintéticos são fabricados a partir de polímeros sintéticos (polietileno, polietileno de alta densidade, poliestireno expandido, poliamida, policloreto de vinilo, poliéster e polipropileno). Existem também biogeotêxteis, fabricados de fibras naturais como, por exemplo, juta, sisal, coco, etc;
- Os geossintéticos podem exercer uma ou mais funções, das quais se podem salientar a separação, impermeabilização, drenagem, filtragem, reforço, protecção e controlo de erosão;

- As características que os geossintéticos apresentam (flexibilidade, resistência, volume, espessura, etc.) permitem que se tornem produtos mais vantajosos que os materiais tradicionais;
- A biomanta, a geomanta, o geoacolchoado, o geocolchão, geocontentores e os biogotexteis são os materiais mais usados no controlo de erosão superficial e costeira.
- No controlo de erosão, a escolha de um geossintético depende de alguns factores relacionados com o local, tais como o clima, condições fisiográficas, topografia e custo possível;
- A capacidade de retenção, a estabilidade do material às velocidades de escoamento, a resistência ao corte e a resistência à degradação são algumas das propriedades a levar em consideração quando se deseja utilizar os geossintéticos, como solução, na problemática da erosão superficial e costeira.

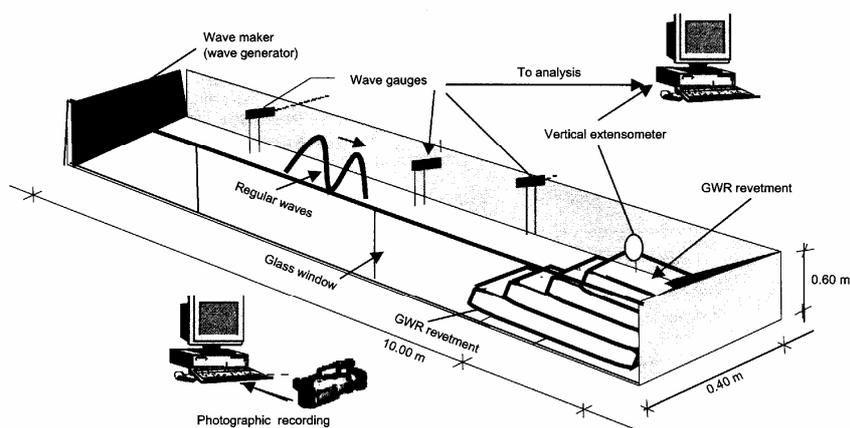
## **4 – GEOSINTÉTICOS NO CONTROLO DA EROSÃO: ESTADO-DE-ARTE**

### **4.1 Controlo de erosão superficial**

Actualmente, no controlo da erosão costeira, os geocontentores são a solução geossintética mais utilizada, como podemos verificar no número de trabalhos recentes resumidos seguidamente.

Os geocontentores são basicamente estruturas flexíveis constituídas de geossintéticos e aplicados predominantemente em projectos de grande escala. Podem-se ver aplicados na protecção de condutas (*pipelines*), na formação de quebra-mares e revestimentos, com o objectivo de providenciar suporte contra deslizamentos e/ou protecção subaquática como barreiras.

Molina & Yasuhara (2005) realizaram uma investigação, em laboratório, modificando a geometria dos geocontentores e utilizando diferentes geossintéticos. O propósito deste estudo foi a criação de uma estrutura de geocontentores modificada, de forma a resistir melhor à acção das ondas, comparativamente com as estruturas convencionais. Nesta investigação utilizou-se um modelo físico, de pequena escala, que consiste num canal (10m de comprimento, 0,40m de largura e 0,60m de profundidade), em ambiente aquático, onde foi construído uma estrutura de quatro camadas de geocontentores, sujeita a várias ondas regulares, tal como mostra a figura 3. A dimensão dos geocontentores (0,45m de base, 0,48m de altura e 0,40m de largura) foi constante durante todos os testes. O ângulo do talude obtido foi de 60°, a altura de ondas utilizado neste modelo variou entre 0,18 e 0,22m e o período entre 2 a 4s.



**Figura 3** – Diagrama esquemático do modelo físico utilizado (Molina e Yasuhara, 2005).

Para a construção dos geocontentores utilizaram-se dois tipos de geossintéticos: um geotêxtil não tecido e um geocompósito (geotêxtil não tecido combinado com um geotêxtil tecido), os quais foram preenchidos com areia de Toyoura ( $d_{50} = 0,175$  mm;  $d_{10} = 0,129$  mm;  $C_u = 1,52$ ; ângulo de resistência à tensão de  $40^\circ$ ).

Na realização dos testes, que ocorreram em duas fases, foram utilizados variados tipos de estruturas de geocontentores (quadro 10). A primeira fase de testes permitiu testar a estabilidade dos vários tipos de estruturas de geocontentores, enquanto a segunda fase testou a influência do solo de fundação (camada de areia com 0,14m de espessura e  $60^\circ$  de inclinação), bem como a adaptabilidade das diferentes estruturas à erosão dessa fundação, na mesma condição regular de onda.

**Quadro 10** – As diferentes estruturas usadas nas duas fases de testes.

Estruturas de geocontentores usados	Fases de teste
Geocontentores de geotêxteis não-tecido.	1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup>
Geocontentores de geocompósito.	1 <sup>a</sup>
Geocontentores de geotêxtil não-tecido modificado por injeção de argamassa nos contactos das camadas, no lado da água.	1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup>
Geocontentores de geotêxteis não-tecido ligados entre si.	1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup>

Os resultados obtidos da primeira fase de testes mostraram que os geocontentores formados por geocompósitos sofreram menores deformações do que os geocontentores formados com geotêxtil não-tecido. As maiores deformações ocorreram, predominantemente, durante a maré baixa, na camada que se encontra ao nível da superfície da água, enquanto que nas outras camadas a deformação foi mínima. As modificações feitas nas estruturas de geocontentores (injeção de argamassa e ligação das várias camadas) reduziram a deformação, comparativamente com as estruturas não modificadas.

Na segunda fase de testes, verificou-se que o geocontentor formado por geotêxteis não-tecidos foi estável quando construído directamente na zona de onda e testado nas mesmas

condições regulares de onda (0,18m de altura e  $T= 4s$ ), tendo colapsado quando sujeito a 10000 ondas, devido ao arraste da fundação. O terceiro grupo de geocontentores, constituído por geotêxtil não-tecido modificado por injeção de argamassa nos contactos das camadas, foi estável sem a fundação de areia e colapsou nas mesmas condições regulares de onda e com o mesmo número de ondas que a estrutura anterior. Por fim, a estrutura constituída por geotêxteis não-tecidos, em que as suas camadas estavam ligadas entre si, permaneceu estável até 36000 ondas nas mesmas condições regulares de onda após o arraste da fundação.

Com os resultados das duas fases, os autores concluíram que a camada crítica que comprometeu a estabilidade da estrutura foi a que estava à cota da superfície da água. As deformações ocorreram quase sempre durante a arremetida baixa da onda devido, possivelmente, às forças de arranque induzidas pela onda que actua directamente na estrutura. Concluíram ainda que a estrutura de geocontentores modificado por ligação das camadas teve maior estabilidade, quando ocorreu a erosão da fundação, podendo vir a ser uma alternativa prática às estruturas revestidas convencionais na protecção costeira.

Gang et al. (2006) investigaram, num laboratório em pequena escala, o efeito das ondas num dique formado por geossacos, em condições regulares de onda, de forma a obter a altura de onda crítica que induz a instabilidade do dique. A estabilidade do dique sob a acção do efeito das ondas foi estudada tendo em conta a inclinação da onda, a inclinação do dique e quatro níveis de água (14 cm, 18 cm, 22 cm e 26 cm).

A escala do modelo foi de 1/35 (figura 4) e resumia-se a um canal de onda (1,3m de profundidade, 0,5m de altura e 35m de comprimento), onde foi construído um dique por geossacos cheios de areia (perfazendo 2 cm de espessura cada) com granulometria inferior à porometria do geotêxtil usado.



**Figura 4** – Dique constituído por geossacos (Gang et al., 2006).

Os testes foram realizados usando diques com diferentes inclinações (40 °, 34°, 30° e 22°), que foram sujeitos à acção de ondas (com duas inclinações diferentes, 3 ° e 4°) que apresentavam alturas variáveis entre os 3,5 cm e os 11,5cm (sendo o período das ondas variável, mesmo para ondas com alturas iguais).

Observou-se que nas profundidades mais baixas de água (4 e 18 cm), para as duas inclinações de onda, os diques não sofreram qualquer deslocamento. Para a profundidade de 22 cm, verificou-se apenas instabilidade no dique com 40° de inclinação (para ondas com 3° de inclinação). Foi na profundidade maior de água (26 cm) que se verificou uma maior instabilidade dos diques, estando o valor da altura de onda crítica situado entre os 9,5 e 10,5 cm para as duas inclinações de onda. No entanto, o dique com 22° (sujeito às ondas com inclinação de 3°) apresenta um valor de altura crítica de onda entre os 8,5 e 9,5 cm.

Os autores concluíram que quanto maior é a profundidade da água mais instável é o dique; e as vertentes com inclinações mais suaves não têm necessariamente de ser a primeira escolha, na construção de um dique deste tipo.

Masuya et al. (2006) estudaram a durabilidade de geotubos, preenchidos com solos excedentes, observando o seu comportamento in situ. A disposição do solo excedente da construção (considerado de baixa qualidade na engenharia civil) tem-se tornado num dos maiores problemas actuais e, por isso, a dragagem desse solo para geocontentores é uma boa solução.

O estudo foi realizado em três locais, com diferentes métodos de protecção de geotubos. Os geossintéticos usados eram de poliéster, daí ter havido a necessidade de protecção contra os raios ultra-violetas.

A monitorização do estudo anterior aconteceu no lago Kasumigaura, lago Inohana e no rio Niyodogawa (Japão). Em cada sítio foram adoptadas diferentes estratégias de protecção: a cobertura de vegetação (lago Kasumigaura), submersão em água (lago Inohana) e cobertura com um lençol (rio Niyodogawa).

No lago Kasumigaura foram aplicados quatro geotubos de grande dimensão de geotêxtil tecido e cheios de solo dragado. Os geossintéticos usados apresentavam diferenças na espessura (0,25 mm, 0,35 mm, 0,50 mm e 0,35mm) e resistência (520 N/cm, 716 N/cm, 1010N/cm e 716 N/cm). Apenas uma secção foi coberta de vegetação, ficando as outras em contacto com a luz solar, tal como mostra a figura 5. A monitorização ocorreu de Maio de 1994 a Agosto de 1995.



**Figura 5** –Local de teste no lago Kasumigaura (Masuya et al. 2006).

No lago Inohana, foram realizados testes em duas condições:

- um dos geotubos estava em contacto directo com a luz solar, enquanto os outros estavam submersos em água;
- três dos geotubos estavam em contacto directo com a luz solar ao contrário do outro que se encontrava submerso em água. A figura 4 mostra a segunda condição de teste.

Na primeira condição de teste foram aplicados quatro geotubos de geotêxtil tecido, cheios de solo dragado. Os geossintéticos usados também apresentavam diferenças na espessura (0,35mm, 0,33 mm, 0,5 mm e 0,5 mm) e resistência (719 N/cm, 764 N/cm, 1010 N/cm e 1010 N/cm).

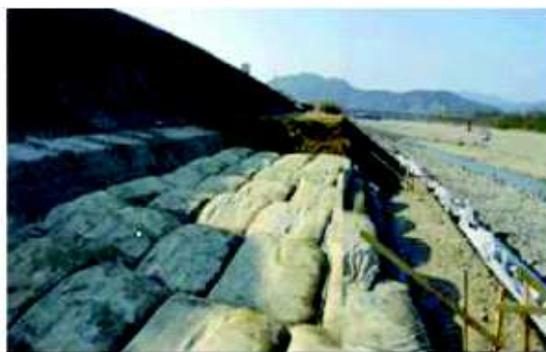
Na segunda condição de teste foram utilizados três geotubos de geotêxtil tecido e um não-tecido, cheios de solo dragado do lago Inohana. Os geotêxteis tecidos apresentavam a mesma espessura (0,5 mm), mas um dos três apresentava resistência diferente (1014 N/cm, 1040 N/cm e 1014 N/cm), enquanto que o geotêxtil não-tecido tinha uma maior espessura (3 mm) e uma resistência mais baixa (186 N/m).

A monitorização da primeira condição de teste ocorreu de Julho de 2004 a Novembro de 2004, enquanto a segunda condição de teste foi de Junho de 2003 a Março de 2005. A figura 6 mostra o local de teste no lago Inohana.



**Figura 6** –Local de teste no lago Inohana (Masuya et al. 2006).

No rio Niyodogawa aplicaram-se dois geotubos de geotêxtil tecido. O solo dragado, utilizado para o enchimento, era pertencente às zonas adjacentes. Os geossintéticos dos dois geotubos tinham a mesma espessura (0,35 mm) e resistência (715 N/cm). Um dos tubos foi coberto com uma manta geotêxtil (figura 7), enquanto o outro foi deixado em contacto directo com a luz solar. A monitorização ocorreu de Novembro de 2003 a Março de 2005.



**Figura 7** – Local de teste no rio Niyodogawa (Masuya et al. 2006).

O quadro 11 mostra os resultados obtidos nos diversos locais, após o período de monitorização.

**Quadro 11** – Quadro resumo dos resultados obtidos nos três locais em teste.

Locais	Secção exposta aos raios U.V.	Secção não exposta
Lago Kasumigaura	10 – 20% resistência inicial	70 % resistência inicial
Lago Inohana	30% resistência inicial	80 – 90% resistência inicial
	60 – 70% resistência inicial	94% resistência inicial
Rio Niyodogawa	10 – 20% resistência inicial	90% resistência inicial

As conclusões relatadas foram as seguintes:

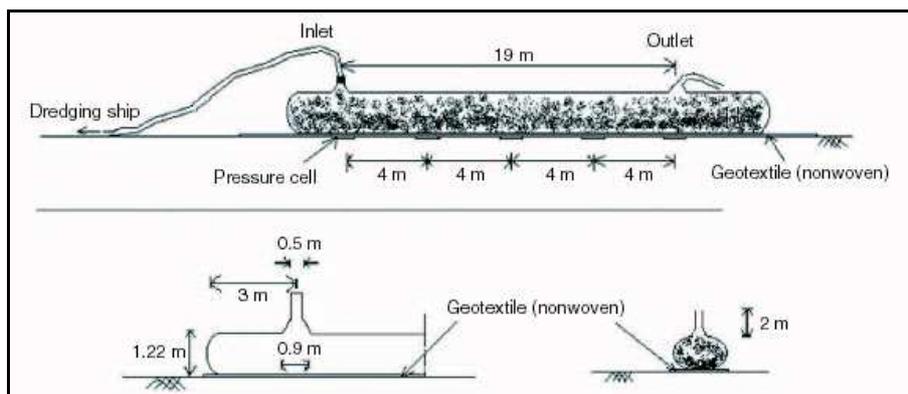
- (1) os geotêxteis dos geotubos com cobertura vegetal foram competentes ao conservarem 70 % da resistência inicial, após 16 meses de aplicação *in situ*;
- (2) o geotêxtil do geotubo, colocado abaixo da linha de água, conservou 90% da resistência inicial, após 21 meses de aplicação no local em causa;
- (3) a cobertura com a manta permitiu que o geotêxtil do geotubo estivesse apto a conservar 90% da resistência inicial, após 16 meses de aplicação *in situ*.

Oh & Shin (2003) investigaram o comportamento dos tubos de geotêxtil tecido, em termos de altura final do tubo, com base nos resultados de dois ensaios de campo, os quais foram comparados com análises teóricas da variação da forma dos geocontentores (Leshchinsky et al. (1996). Os ensaios foram executados com dois tipos de material dragado de Songdo (Baía de Incheon - República da Coreia). As propriedades dos materiais de enchimento são muito importantes no projecto e análise do comportamento dos geocontentores usados.

Os geotubos usados eram constituídos por uma camada de geotêxtil tecido (de poliéster) com 196 KN/m de resistência à tracção, 5,9 g/m<sup>2</sup> de massa por unidade de área, 10-50% de extensão e com coeficiente de permeabilidade de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-4</sup> cm/s. Cada tubo circular tem 25 m de comprimento e um diâmetro de 8 m.

Os solos usados para este estudo eram de natureza arenosa (D<sub>10</sub>= 0,09mm, C<sub>u</sub> = 4,67%, C<sub>c</sub> = 1,06%) e argilosa (W<sub>n</sub>= 68%, LL=38%, IP=6) que de acordo com o Sistema de Classificação Unificada do Solo, foram classificadas de SP e OL ou ML, respectivamente.

Os ensaios de campo foram conduzidos com os dois tipos de solo de enchimento, sendo este realizado no local da experimentação. Os solos foram hidraulicamente bombeados para dentro dos geotubos. Durante o enchimento dos tubos, a pressão e a velocidade de bombeamento foram variáveis para determinar os valores óptimos. A figura 8 mostra esquematicamente o ensaio de campo.



**Figura 8** – Diagrama esquemático do modelo de ensaio de campo (Oh & Shin, 2003).

Foram ainda executados ensaios de sedimentação (de acordo com o método da USACE – US Army Corps of Engineers – 1987) para determinar as características de sedimentação da argila siltosa com diferentes teores de água (233%, 400% e 900%), sendo estes resultados comparados com os resultados obtidos nos ensaios anteriormente referidos (em larga escala), assumindo uma velocidade de sedimentação aproximada.

Com base nas observações, verificou-se que o tempo de bombagem para preencher o tubo com areia dragada foi inferior a 1 hora e a altura final foi atingida em apenas um período de bombagem, enquanto que no caso do geotubo enchido com material argiloso, o tempo de bombagem foi superior a 10 horas e a altura final foi atingida após três períodos de bombeamento. O quadro 12 mostra as variações das alturas, ao longo do tempo, após o enchimento hidráulico.

**Quadro 12** – Variações das alturas dos geotubos após o enchimento hidráulico.

Areia dragada		Argila siltosa dragada	
Tempo (h)	Altura do geotubo (cm)	Tempo (h)	Altura do geotubo (cm)
0	122	0	120
2	92	24	98
24	74	168	66
> 24	68	840	61,5
		> 840	59,5

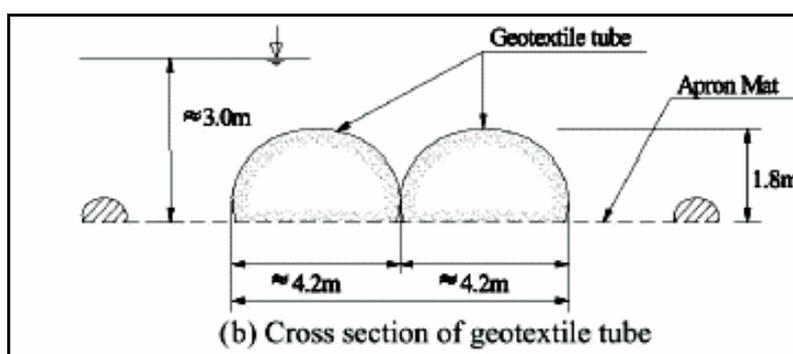
Na comparação entre os resultados teóricos e experimentais, os autores verificaram que, para geotubos preenchidos com areia, o valor experimental obtido (razão da diferença de alturas iniciais e altura final após o enchimento), foi significativamente mais pequeno do que o calculado da redução de volume aproximado, devido ao desvio existente entre a teoria e o real comportamento do tubo. No caso do geotubo preenchido com material argilo – siltoso, esse desvio é mais pronunciado, uma vez que também se levou em conta a comparação entre o valor aproximado das velocidades de sedimentação e a sedimentação ocorrida. Os testes de sedimentação mostraram que o tempo de sedimentação e a velocidade são afectadas pela concentração de lama e conteúdo argiloso.

Concluiu-se que a duração do período de drenagem e consolidação depende do tipo de material usado para enchimento. A redução de volume do geotubo verificada experimentalmente (após o enchimento completo dos geotubos) afastou-se do valor teórico calculado, sendo a complexidade do fenómeno (queda em altura e a variação da forma do geotubo) a razão para esse desvio. Trata-se, segundo os autores, de um fenómeno que está dependente de muitos factores, como a densidade, o teor de água inicial, a resistência à tensão do geotêxtil e a interacção solo – geotêxtil. As variações da forma e consolidação do geotubo, cheio com materiais muito finos, são altamente afectados pelos processos de sedimentação e consolidação (por gravidade), podendo concluir-se que o comportamento do geotubo é dependente destes dois processos.

Noutro estudo realizado por Oh & Shin (2006), os autores relatam o procedimento de construção de um geotubo de geotêxtil tecido para prevenção da erosão da praia Young-Jin (costa Este da Coreia) e os resultados das medições “in situ” (monitorização em campo) da altura efectiva do geotubo, tensão vertical na base do geotubo, variação da linha da costa e profundidade da água perto da área costeira em causa.

Os geotubos foram preenchidos com areia dragada do local ( $D_{10}= 0,50$ ;  $C_u = 1,90$ ;  $C_c = 0,84$ ), que de acordo com o Sistema de Classificação Unificada do Solo (USCS) é uma areia SP. Cada geotubo (cheio) tinha 50m de comprimento e 1,8m de diâmetro.

A instalação resumiu-se à colocação de oito geotubos na enseada de Young-Jin, de Sul para Norte, dois – a – dois, formando quatro pares de tubos gémeos. Os geotubos foram instalados a 3 m de profundidade (90-100 m de distância da linha de costa) e instalados sobre uma manta de tecido que os protege do desgaste. Estes pares de tubos foram espaçados 20m e cobriram 240m ao longo da linha de costa da praia. A figura 9 mostra um diagrama esquemático de um corte transversal de um par desses geotubos.

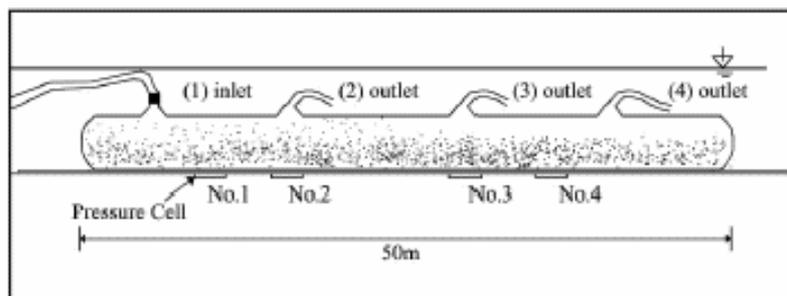


**Figura 9** – Diagrama esquemático dos tubos geotêxteis na praia Young-Jin (Oh & Shin, 2006).

Com a ajuda de um navio que continha todo o equipamento necessário para a dragagem, o solo usado para o enchimento foi hidráulicamente bombeado para os geotubos com a máxima capacidade de bombeamento ( $500\text{m}^3/\text{h}$ ). Antes e durante o enchimento, a pressão de bombeamento, velocidade e a proporção da lama varia ao longo do tempo, para determinar o valor óptimo.

A altura efectiva e a pressão vertical da base do tubo foram monitorizadas por células de pressão a vários intervalos de tempo durante o processo de enchimento. A variação da linha

de costa e a profundidade da área “offshore” foram também monitorizadas. A figura 10 mostra os pontos de medição de pressão vertical ao longo de um dos geotubos.



**Figura 10** – Diagrama com os pontos de medição de pressão vertical ao longo de um geotubo (Oh & Shin, 2006).

Depois dos quatro geotubos gêmeos serem instalados com sucesso, a variação da linha de costa e a profundidade da água perto da costa foi monitorizada durante um ano.

A partir das monitorizações feitas durante a construção, os autores observaram que, durante o enchimento, a pressão vertical e a altura efectiva incrementaram. O assentamento e drenagem ocorreram muito rapidamente. A construção do geotubo demorou menos de 1 hora e a altura final do geotubo foi concluída depois de quatro fases de dragagem e enchimento.

Observou-se também que, na monitorização após a construção, não havia presença de qualquer organismo, na superfície dos geotubos, nocivo à ecologia adjacente; a variação da linha da costa, com o decorrer do tempo foi estendida para dentro do mar durante os primeiros 3 meses, sendo reerodida posteriormente pelas ondas tidais (marés) e por causas geométricas; a profundidade da água decresceu perto da costa, com o passar do tempo, e a areia foi gradualmente acumulada à volta da área coberta pelos geotubos.

Concluiu-se, a partir das observações feitas no processo de enchimento, que a sedimentação e drenagem ocorreram de forma rápida, levando somente 1 hora para que o geotubo atingisse a altura final e em apenas quatro passos de dragagem. Também se concluiu que estes geotubos foram uma solução ambientalmente sustentável para a ecologia presente, porque não se verificou o aparecimento de organismos nocivos. A linha de costa no decorrer dos primeiros três meses avançou no sentido do mar. Tal situação deveu-se ao curto período de adsorção da onda e à diminuição da migração do solo que se encontrava no fundo. Contudo, depois dos primeiros três meses, houve uma reerosão da linha de costa devido ao efeito das marés e da configuração/forma do fundo do mar, embora a magnitude dessa reerosão fosse relativamente pequena comparada com a extensão da linha de costa. A altura da água perto da costa decresceu, com o passar do tempo, e a areia foi gradualmente acumulada à volta das áreas cobertas pelos geotubos.

## 4.2 Controlo da erosão superficial

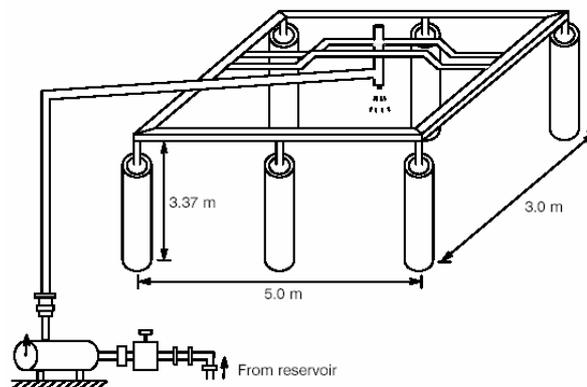
Ogboke et al (1998) realizaram um trabalho laboratorial preliminar, com vista a estudar a eficiência de dois biogeotêxteis comparativamente com um geossintético (fibras sintéticas), na prevenção da erosão de taludes. Os resultados foram interpretados em termos do parâmetro  $V_m$ , que consiste na razão entre as quantidades de solo perdido num talude protegido e solo perdido num talude desprotegido.

Neste estudo foram utilizados dois geotêxteis tecido feitos de fibras naturais (biogeotêxteis), *Malvaceae e Pendunculata*, e um geocolchoado (*geomat*) de fibras de polipropileno. Os materiais usados tinham 3,25 m de comprimento e 1,20 m de largura. A dimensão das aberturas para os biogeotêxteis foi de 10 mm x 10 mm, enquanto que para o geocolchoado de polipropileno foi muito inferior.

O solo utilizado neste trabalho (segundo a ASTM D 422-63 para partículas de solo  $> 75 \mu\text{m}$  e ASTM D 1140-54 para partículas de solo  $< 75 \mu\text{m}$ ) apresentava 17% de silte, 54 % de areia fina, 27 % de areia média e 2 % de areia grosseira.

Nos testes laboratoriais realizados foi utilizado um aparelho de simulação da chuva que foi usado em taludes protegidos e desprotegidos, considerando várias inclinações ( $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ). Os testes realizados sem geossintéticos serviram para determinar a quantidade de solo perdido nas vertentes não protegidas (para as inclinações referidas), necessário para o cálculo do  $V_m$ .

A chuva foi simulada usando um sistema de um chuveiro. O simulador foi planeado para simular chuvas uniformes, com intensidades de fluxo conhecidas. A intensidade de fluxo do simulador foi calibrada de forma a se atingir 264 mm/hora (com um coeficiente de uniformidade de 0,68), dentro da área de teste. A embocadura do chuveiro foi colocada a 3,20m sobre a superfície do solo, como mostra a Figura 11. Para cada geossintético, a vertente foi inclinada numa inclinação fixa, sendo o geossintético desenrolado à volta da superfície do solo e ancorado com pregos de metal. O escoamento foi colectado usando um funil de metal e a velocidade de escoamento foi medida em intervalos de 60 minutos.



**Figura 11** – Diagrama esquemático do simulador de chuva (Ogboke et al 1998).

Os quadros seguintes apresentam os resultados dos ensaios realizados neste trabalho.

**Quadro 13** – Propriedades físicas dos materiais de controlo de erosão (adaptado de Ogbobe et al., 1998).

Propriedades físicas	Tipo		
	Malvaceae	Penduculata	Polipropileno
Absorção de água (%) (ASTM D 2402)	229,8	231,5	0
Espessura dos filamentos/fibras (mm) (ASTM D 580-78)	3	2,5	0,9
Extensão (m)	2,25	2,25	2,25
Massa por unidade de área (g/m <sup>2</sup> )	390	450	247
Percentagem de área aberta (%) (Christopher and Holtz 1985)	14	14	16
Espessura (mm)	12,5	11,3	18,1

**Quadro 14** – Resultados da velocidade de escoamento para as diferentes inclinações, quando aplicados os três tipos de geossintéticos (segundo Ogbobe et al., 1998) .

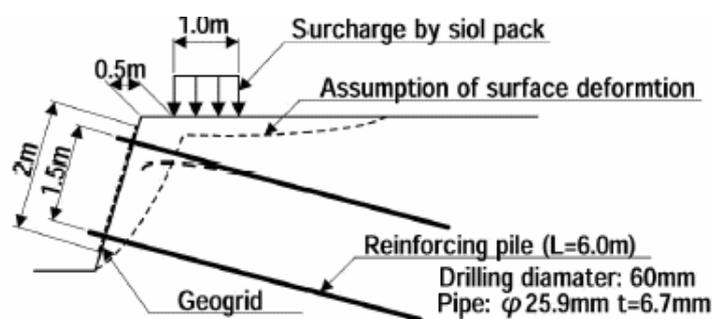
Inclinação	Malvaceae	Penduculata	Polipropileno
	Vel. Escoamento (m/s)	Vel. Escoamento (m/s)	Vel. Escoamento (m/s)
10°	0,057	0,051	0,062
15°	0,066	0,056	0,074
20°	0,071	0,063	0,086
30°	0,094	0,080	0,110
45°	0,123	0,060	0,140

**Quadro 15** – Resultados de  $V_m$  para as diferentes inclinações, quando aplicados os três tipos de geossintéticos (segundo Ogbobe et al., 1998).

Inclinação	Malvaceae	Penduculata	Polipropileno
	$V_m$	$V_m$	$V_m$
10°	0,48	0,24	0,16
15°	0,66	0,44	0,22
20°	0,68	0,46	0,24
30°	0,73	0,48	0,26
45°	0,75	0,49	0,28

Os autores concluíram que os geotexteis de fibras de *Penduculata* e *Malvaceae* tinham maior absorção de água quando comparadas com o geocolchoado de fibras de polipropileno. Tal situação pôde justificar os baixos valores de velocidades de escoamento verificadas nos geotêxteis biodegradáveis, comparativamente com o produto sintético que possuía velocidades superiores. Concluíram, também, que o geocolchoado de polipropileno foi mais eficiente na prevenção da perda de solo, pois apresentou valores de  $V_m$  mais baixos.

Watanabe et al. (2006) investigaram, em campo, o uso de geogrelha na protecção de uma superfície de sopé de uma vertente reforçada com 8 pregagens de aço, separadas por intervalos de 1,5m na horizontal e 1,5 m na direcção do talude (1,5m x 1,5m). A vertente era constituída por solo silto – arenoso, apresentando uma inclinação de 1V:0,3H e 2 m de altura. A figura 12 mostra as localizações e as características das pregagens.



**Figura 12** – Esquema da vertente com as estacas e suas características (Watanabe et al., 2006).

Aplicou-se uma geogrelha de poliéster altamente resistente (44 kN/m de resistência à tracção, 500g/m<sup>2</sup> de massa surfácica), de dimensão 2,0m x 2,0m, sobre o talude. Na geogrelha, foram instalados 32 extensómetros, em direcções ortogonais.

Executou-se um ensaio de carga, junto à crista da vertente (figura 13), em várias fases, sendo a carga aplicada mediante a utilização de solo empacotado, de modo a atingir-se 30kPa de pressão, tendo-se observado que o talude sofreu deformação ao ser carregado.



**Figura 13** – Talude carregado com solo empacotado (Watanabe et al., 2006).

Perante a carga aplicada, verificou-se que a geogrelha sofreu uma maior deformação por tracção na zona central. O valor dessa deformação aumentou em cada fase de carregamento e manteve-se estável, ou decresceu, quando a carga se manteve constante. Nas áreas junto às cabeças das pregagens, as deformações por compressão foram dominantes. As deformações compressivas e de tracção na geogrelha dependeram das deformações ocorridas no talude e evidenciadas pelos deslocamentos observados nas cabeças das pregagens.

Estes resultados indicam que a geogrelha pode ser usada como protecção da superfície do talude contra roturas superficiais e localizadas, uma vez que esta foi suficientemente flexível para se conformar com a deformação da superfície do talude, mantendo a sua integridade.

Pinzani & Sauli (2006) estudaram a eficiência, a longo prazo, da aplicação de geoacolchoados no controlo da erosão. Para isso realizaram estudos em 9 locais diferentes, executados entre 1982 e 2002, na Alemanha e em Itália. Os materiais foram observados durante longos períodos de tempo, que em alguns casos chegou a ser superior a vinte anos.

Os geoacolchoados eram constituídos por poliamida sintética (resistente à luz), com uma espessura de 10 a 20 mm e com aberturas da ordem dos 90-95%.

Na Alemanha, os locais onde se realizaram os estudos estão todos localizados na área de Estugarda. Os locais escolhidos foram três e situam-se em Korb (estudo conduzido de 1982 a 1983), Rhemstal (estudo conduzido em 1985) e Weinstadt (estudo conduzido em 1985). Estes trabalhos foram influenciados por uma bacia de armazenagem construída para o transporte e regulação da água da chuva. O geoacolchoado foi fixo ao longo dos taludes, em condição seca e molhada. As observações efectuadas nos locais revelaram que as intervenções tiveram sucesso, devido à vasta manta de vegetação estável que aí se desenvolveu. Observou-se que, após 20 anos da aplicação, os materiais aplicados ainda se encontravam em boas condições.

Em Itália, utilizaram-se diferentes modelos de geoacolchoado de poliamida. Os locais examinados foram 6, sendo que três situavam-se no Nordeste de Itália (Curso de água Manzanella – Udina e Rio Dese – Treviso.), um no centro de Itália (Roma) e dois no Sul (Curso de água Farinella -Palermo).

Em Udine a intervenção ocorreu em 2002 e consistiu na aplicação de um geoacolchoado de poliamida, previamente preenchido de lascas de rochas, com uma faixa de betume. A observação ocorreu em 2003, após uma cheia em que a vegetação ainda não se tinha desenvolvido totalmente, mas em que já havia uma marcada interacção entre as raízes e o geoacolchoado. Outra inspecção, em 2005, revelou um acentuado e vasto manto de vegetação, que comprovou a existência de boas condições para o desenvolvimento da vegetação.

Em 1988, ocorreu a examinação em Treviso. O geoacolchoado foi preenchido com areia ou cascalho e betume no local. Durante a inspecção, duas situações diferentes foram encontradas: havia áreas em que o geoacolchoado mostrava uma boa eficiência na interacção com a vegetação e áreas onde o geoacolchoado estava quase totalmente ausente, em que só foram encontrados pequenos pedaços espalhados. Segundo os autores, a causa veio do mau trabalho de manutenção levado pelo equipamento utilizado.

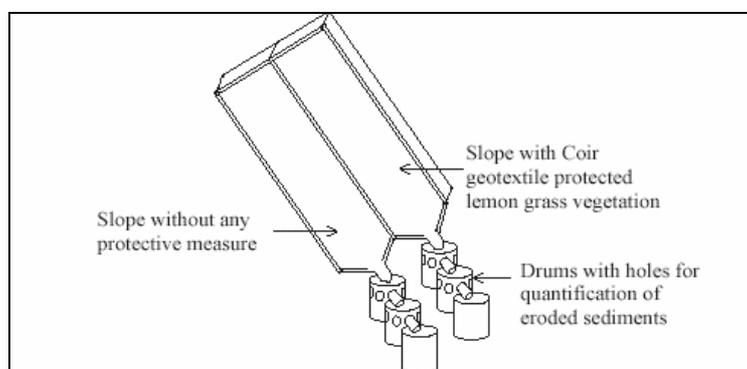
A intervenção, realizada no curso de água – Farinella, é anterior a 1988. O curso de água apresenta uma secção regular (fundo com 2 m de extensão; margens com inclinações de 35° e com alturas entre 2 e 3m.). O dimensionamento consistiu numa camada de um geoacolchoado asfaltado no leito e uma camada de geoacolchoado preenchido com solo nas margens. Ambos foram fixos no solo com pregos de ferro. Durante a observação, em Novembro de 2003, verificou-se que a intervenção tinha sido eficaz, já que havia uma boa manta de vegetação nas margens. No que diz respeito ao leito, havia áreas de armazenamento onde o geoacolchoado estava coberto com 5-10 cm de solo, e áreas de intenso fluxo de água, onde foi particularmente evidente a eficiência do geoacolchoado, na prevenção dos efeitos erosivos.

Segundo os autores, o estudo presente, mesmo que limitado, proporcionou a confirmação da eficiência, a longo prazo, dos materiais observados, ou seja, o uso destes materiais é tecnicamente válido para este tipo de projecto, no controlo de erosão.

Leckha (2004) relatou um estudo experimental, de grande escala, realizado in situ, numa vertente íngreme bastante erodida, em Attappady – região do Kerala (Índia), com o objectivo de estudar a aplicação de um biogeotêxtil de fibras de coco, no controlo da erosão em vertentes. Analisaram-se as vantagens da utilização de um biogeotêxtil, a partir de um estudo paramétrico, em que os parâmetros em estudo foram, entre outros, a quantidade de solo lixiviado, teor em água volúmico, matéria orgânica, resistência à tracção e crescimento da vegetação.

A área total utilizada neste estudo foi de 1600m<sup>2</sup>, com uma inclinação de 26°. Desta, uma área aproximadamente de 1360m<sup>2</sup> serviu para 6 estudos piloto. Estes estudos piloto estavam dispostos dois – a – dois, perfazendo 3 pares (cada um tinha 22 x 1.8 m<sup>2</sup> de dimensão e uma inclinação de 26°). Em cada par de estudos piloto, havia um que tinha a vertente protegida e outro que tinha a vertente desprovida de qualquer protecção.

Vinte centímetros de alvenaria limitaram o muro que foi construído, no topo de cada caso piloto, com o objectivo de evitar a entrada de fragmentos para a zona de controlo, bem como providenciar a drenagem. A base de caso estudo piloto embocou em colectores especializados que permitiram conduzir o escoamento. A figura 14 mostra um esquema de um par de estudos piloto.



**Figura 14** – Esquema de um estudo piloto com os três colectores (Lecka, 2004).

O biogeotêxtil usado para proteger as vertentes foi fabricado a partir de fibras de coco (40-45% de lenhina; 32-43% de celulose; 2,75-4% de pectina e 1,44% de freixo). O comprimento das fibras variou de 10 a 200 mm e o diâmetro foi cerca de 0,3 mm. A abertura de malha era de 6 x 10,5 mm, com 0,7 kg/m<sup>2</sup> de densidade e uma resistência à tracção de 18 kN/m.

A área total foi limpa de toda a vegetação e regularizada. A zona utilizada pelos estudos piloto foi modelada e, posteriormente, semeada. Seguidamente o biogeotêxtil foi ancorado no topo dos taludes, enquanto que, no pé de cada talude, foi fixo com grampos. Os terrenos, após a

instalação do biogeoatextil, foram, de seguida, novamente semeados, cobertos com solo nativo e regados.

A colocação da rede de fibras de coco nos taludes semeados foi feita antes do período de pós-moção (23-26 de Setembro). O solo foi monitorizado para um ano hidrológico, de Fevereiro de 1998 a Janeiro de 1999 (começou com o período de pré-moção).

A erosão foi monitorizada nos estudos piloto, no período entre Fevereiro e Maio de 1998. Para cada estudo piloto, existiam três colectores dispostos em cascata, como mostra a figura 15. A execução destes estudos piloto foi feita de maneira que o escoamento se desse no sentido dos colectores. A água e os materiais detríticos, resultantes da erosão da vertente de cada estudo piloto, foram escoados para o primeiro colector. A maior parte dos sedimentos ficou depositada no primeiro colector. O excesso de água com sedimentos suspensos, do primeiro colector, escoou para o segundo colector, e do segundo para o terceiro. Em cada fase de fluxo, o terceiro colector ficou cheio e 11 amostras foram recolhidas. O procedimento repetiu-se várias vezes e quando o primeiro colector encheu, foram colhidas amostras de todos os colectores.



**Figura 15** – Disposição dos colectores para recolha de escoamento e sedimentos (Lecka, 2004).

Relativamente ao primeiro parâmetro em estudo, a quantidade de solo lixiviado, o quadro 16 apresenta os resultados obtidos da monitorização, com base nas amostras recolhidas.

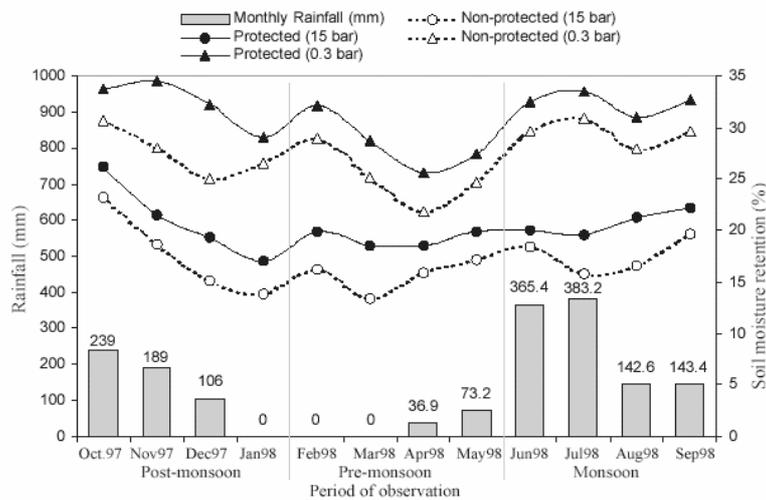
**Quadro 16** – Relação entre a percentagem da redução da perda de solo e a percentagem da queda de chuva (segundo Lecka, 2004).

<b>Período de monitorização</b>	<b>% redução da perda de solo</b>
Pré-moção (6% de queda da chuva)	99,63
Moção (56% da queda da chuva)	95,67
Pós-moção (38% da queda da chuva)	78

A percentagem de perda anual de solo, segundo os autores, para uma vertente protegida foi 95% menor do que para uma vertente não protegida (para 184,6 cm de chuva).

Para determinar o teor em água volúmico, foram colectadas amostras de campo, em diferentes profundidades (30, 60 e 90 cm), periodicamente (todos os meses), desde o começo da monitorização. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na figura 16. Para o período

de pré-moção (período seco), houve um incremento de 13% no teor em água volúmico, para o valor de sucção mais baixo (0,3 bar) e um incremento de 22% para o valor de sucção mais alto (15 bar), nas zonas protegidas com o biogeotêxtil.



**Figura 16** – Comparação da retenção de humidade em taludes protegidos e não protegidos (Lecka, 2004).

A susceptibilidade dos solos à erosão depende em grande parte da agregação dos solos estabilizados. A agregação das partículas varia em função da maior ou menor presença de matéria orgânica e outras intervenções de cimentação do solo (Lecka, 2004). Com o objectivo de determinar a matéria orgânica presente, foram recolhidas amostras, periodicamente, das vertentes não protegidas e protegidas.

Das amostras recolhidas verificou-se que, num período inicial, a quantidade de matéria orgânica presente nas vertentes protegidas foi inferior às vertentes desprotegidas. Num período mais avançado (pré-moção), existiu um gradual incremento nas vertentes protegidas e desprotegidas. Na monção, ocorreu um drástico decréscimo do conteúdo orgânico em ambos os tipos de vertentes (embora a matéria orgânica tenha continuado a ser superior nas vertentes protegidas), devido possivelmente à lixiviação do solo resultante das chuvas da época. O período de monção revelou-se assim a estação mais crítica na perda de nutrientes.

A degradação dos biogeotêxteis é um processo inevitável e resulta da acção de microorganismos do solo, bem como da exposição contínua à luz do sol e água da chuva (Lecka, 2004). Neste estudo, a biodegradação das fibras de coco foi estudada, com base no parâmetro resistência à tracção de amostras de geotêxtil de fibras de coco, colhidas periodicamente. A figura 17 apresenta uma das vertentes protegidas com o geotêxtil de fibras de coco, após um mês de colocação.



**Figura 17** – Uma das vertentes protegidas com o geotêxtil de fibras de coco, após um mês de colocação (Lecka, 2004).

Em termos da resistência à tracção, observou-se, passados sete meses, que as fibras conseguiram reter 22% da resistência que tinham inicialmente.

Por fim, relativamente ao crescimento da vegetação, verificou-se que este foi substancialmente maior nas vertentes protegidas, comparativamente com as vertentes não protegidas dos estudos piloto. Observou-se que, passados dezasseis meses, o crescimento vegetativo nas vertentes protegidas foi 21% maior do que nas vertentes desprotegidas e ao fim de 6 meses de colocação do biogeotêxtil já havia um desenvolvimento considerável da vegetação.

Concluiu-se que o biogeotêxtil constituído por fibras de coco provou ser vantajoso para o controlo da erosão do solo em vertentes naturais. A vegetação em associação com a rede de fibras de coco permitiu reduzir substancialmente a erosão do solo, sendo a perda anual de solo, para a vertente protegida, cerca de 95% inferior à perda anual de solo para uma vertente não protegida. Com a instalação do biogeotêxtil nas vertentes a proteger houve um melhoramento nos seguintes parâmetros: matéria orgânica, teor em água volúmico e crescimento vegetativo.

Também se pôde concluir que a resistência à tracção, no fim de sete meses (22% dos 18kN/m iniciais), não foi um resultado preocupante, já que se tinha observado que a vegetação estava bem desenvolvida, num sistema de raízes bem definido, ao fim de 6 meses de colocação do biogeotêxtil.

A descrição de estudos realizados, feita anteriormente, apresentou três trabalhos de campo e um laboratorial. O trabalho laboratorial resumiu-se a um trabalho preliminar de comparação entre geotêxteis de fibras naturais e um geossintético de fibras sintéticas, na prevenção da erosão de taludes. Como é um trabalho preliminar, serve de complemento a trabalhos desta mesma temática. Os outros estudos referiram-se a casos de campo de pequena e grande escala. Um dizia respeito à aplicação de geocolchoados, no controlo da erosão, enquanto que os outros dois tratam do controlo de erosão em vertentes e taludes, com o auxílio de uma geogrelha e um geotêxtil de fibra de coco.

## 5 - CASOS DE OBRA

### Caso 1

Em Cobatão, São Paulo – Brasil (1982), pretendeu-se construir um aterro hidráulico arenoso, sobre solos moles (lamas), para receber um conjunto habitacional. No processo de construção dos diques de contenção do aterro hidráulico, as máquinas utilizadas afundaram-se no aterro, impossibilitando a construção da obra ([www.igsbrasil.org](http://www.igsbrasil.org), consultado em 2.04.2007). A solução adoptada foi a utilização de 4000 m de geotubos (1,60m de altura e 20 m de comprimento), feitos de geotêxtil não-tecido, costurados mecanicamente e preenchidos com material local. As figuras 18 e 19 apresentam a fase de preenchimento dos geotubos com o solo local e a fase final quando o geotubo contém o aterro, respectivamente ([www.igsbrasil.org](http://www.igsbrasil.org) consultado em 2.04.2007).



**Figura 18** – Geotubos na fase de preenchimento ([www.igsbrasil.org.br](http://www.igsbrasil.org.br), consultado em 2.04.2007).



**Figura 19** – Geotubos já preenchidos, contendo o aterro ([www.igsbrasil.org.br](http://www.igsbrasil.org.br), consultado em 2.04.2007).

### Caso 2

Shukla & Yin (2006) relataram 3 locais (Digha, Arcuttipur e Valuka), na Índia, bastante vulneráveis às forças erosivas da chuva e vento, particularmente durante a época das chuvas,

onde se aplicaram biogeotêxteis de juta em superfícies de solo expostas. Os exemplos referidos seguidamente comprovam que o biogeotêxtil de fibras de juta quando aplicado numa superfície de solo exposta, como os microterraços, reduz a energia dinâmica dos salpicos da chuva, diminui a intensidade do escoamento, previne o destacamento e migrações das partículas de solo e, por último, ajuda no rápido crescimento da vegetação.

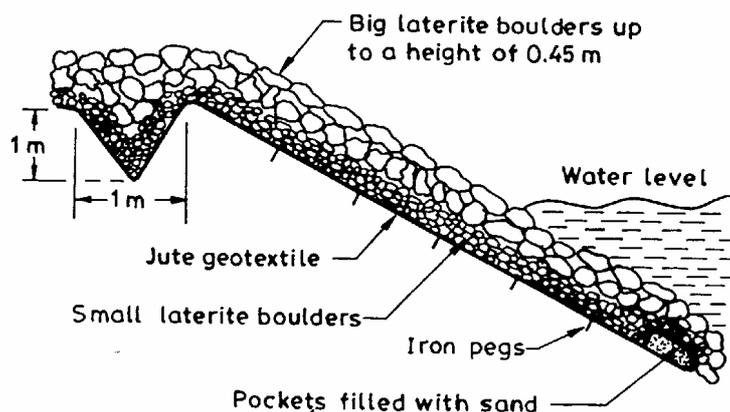
- Estabilização de uma duna, em Digha, Midnapur, de 5000 m<sup>2</sup>, com 500 g/m<sup>2</sup> de biogeotêxtil, pelo Departamento das Florestas (Governo oeste de Bengala), em 1988. Ao fim de 6 meses verificou-se uma percentagem de 80% de cobertura vegetal.
- Controlo da erosão da superfície de um solo, de 10 000 m<sup>2</sup>, com 300 e 400 g/m<sup>2</sup> de biogeotêxtil, em Acuttipur, Assam, em 1995. Observou-se uma redução de perda de solo elevada, que em percentagem correspondia a valores entre os 93 e 97%.
- Reflorestação e controlo de erosão (2000m<sup>2</sup>) com 25 g/m<sup>2</sup> de biogeotextil, em Hiji e Porapara, pelo Departamento das florestas de Midnapore, Governo de oeste de Bengala, Índia, em Agosto de 1997. Observou-se o crescimento das árvores na área tratada, sem sinais que indicassem erosão.

### Caso 3

As Autoridades de Segurança Portuária de Kolkata usaram um biogeotêxtil de fibras de juta, como revestimento, para a protecção das margens dos rios, na Ilha Nayachor, Haldia (Índia), durante o ano de 1992 (Shukla & Yin, 2006).

Segundo os mesmos autores, o local erodido foi primeiramente preparado para adoptar a forma de um talude uniforme (1:1). O biogeotêxtil utilizado foi desenrolado, ao longo do talude do aterro começando no topo da margem, onde foi ancorado numa vala de 1m x 1m. No talude o biogeotêxtil foi pregado, usando 10 pregos de ferro de grande dimensão. A superfície inferior do biogeotêxtil continha múltiplas bolsas que foram cheias de areia, para ancorar o geotêxtil e protegê-lo da erosão provocada pelas correntes de inversão e refluxos de água.

Após a colocação do biogeotêxtil, foram dispostos, sobre o mesmo, pequenos blocos de laterito, com o objectivo de providenciar um efeito de protecção. No topo destes blocos de laterito, foram colocados mais blocos da mesma rocha, mas de dimensão superior (15-20 kg) e com uma elevação de 0,45m, como mostra a figura 20. Toda a operação foi feita em maré baixa (Shukla & Yin, 2006).



**Figura 20** – Diagrama da margem protegida do rio na Ilha Nayachor (Sivaramakrishnan, 1994).

Passado um período de 8 meses, observou-se uma grande quantidade de sedimento, com 600 mm de elevação. Esta observação foi indicativa da eficiência do geotêxtil de fibras de juta, na protecção das vertentes (Shukla & Yin, 2006).

#### Caso 4

Lee et al (1996) conduziram, no campo, uma experimentação em grande escala, de uma nova técnica denominada “cobertura verde”, no sudoeste da Tailândia. Utilizaram um geotêxtil, para protecção de uma grande vertente, constituída essencialmente por argilitos. O total de área de superfície da vertente tratada com esta técnica foi cerca de 630 m<sup>2</sup>.

O primeiro passo consistiu em cortar a vertente natural, de forma a obter-se um talude com banquetas (*multistage*), em que cada uma tem determinado ângulo de inclinação e uma altura baixa. Este processo começou no topo da vertente natural que foi gradualmente trabalhada na direcção da base.

Em cada fase de talude cortado, foi limpa a superfície do talude, removendo rochas soltas ou pedaços de rocha fragmentada. A superfície limpa foi de seguida asfaltada (asfalto RC-70), com o propósito da prevenção da entrada de água nos argilitos e providenciar a adesão entre os argilitos e a cobertura geotêxtil. Posteriormente, foram instaladas faixas de drenagem, na superfície do talude.

Por fim, o talude tratado foi coberto com o geotêxtil (1 m de largura com 10 cm de sobreposição com o geotêxtil da banquetta seguinte) e preso com pregos de aço.

Ao mesmo tempo que ocorreram estes trabalhos, a escavação continuou na formação da banquetta seguinte. Para evitar a erosão da superfície dos taludes, pela água das chuvas, nenhuma escavação foi feita em dias de chuva. A construção dos taludes projectados começou em Janeiro de 1992 e terminou em Março de 1992.

Foram Monitorizados os taludes tratados, no sentido de observar modificações nas inclinações dos taludes ou movimentos. Com base nas observações e medições feitas, os taludes não

mostraram quaisquer sinais de movimentos e erosão significativos que pusessem em causa a estabilidade.

## **6- CONCLUSÃO**

A erosão superficial e costeira é uma problemática actual no nosso país. Quando o Homem permite que haja desflorestação descontrolada, construção de habitações em encostas, técnicas agrícolas inadequadas e ocupação do solo sem ordenamento, contribui para intensificar este problema. Por tudo isto e porque a erosão é um processo inevitável, só resta controlar o seu efeito, quando necessário.

Controlar a erosão é reduzir, não impedir por completo, a gradual perda de material pela acção dos agentes da geodinâmica externa. A escassez de matérias-primas usadas nos métodos tradicionais e as limitações financeiras em alguns projectos fizeram com que se tornasse imprescindível inovar, adoptando produtos mais versáteis, económicos, ambientalmente favoráveis e que podem ser combinados com outros materiais. Esses produtos são os geossintéticos.

Neste trabalho estudou-se a aplicação de geossintéticos no controlo da erosão costeira e superficial.

No que se refere à erosão costeira, verificou-se que os geocontentores (geossacos e geotubos) são a solução mais usada. Na utilização de geossacos, deve ter-se em conta a altura da água e o número de camadas de geossacos empilhadas, já que alturas de água significativas tendem a deixar a estrutura instável, principalmente junto ao topo. Constatou-se, também, que os geossacos constituídos por geocompósitos (geotêxtil tecido e geotêxtil não-tecido) são resistentes à deformação, perante o impacto das ondas. No emprego de geotubos, deve ter-se em consideração o tipo de solo de preenchimento e a resistência mecânica dos geossintéticos.

No caso do tipo de solo de preenchimento, viu-se que quanto mais argiloso for o solo mais demorada é a instalação do geotubo (período de bombagem), o que implica um maior custo e dependência do efeito das marés.

No caso da resistência mecânica dos geossintéticos, comprovou-se que os geotêxteis que compõem os geotubos tendem a conservar mais a sua resistência quando se encontram submersos. No entanto, se estes tiverem que ficar emersos convém que sejam protegidos, visto que os geotêxteis, usualmente usados nestas estruturas, tendem a degradar-se quando sujeitos aos raios ultra-violeta.

Em síntese, estas duas soluções para o controlo de erosão costeira revelaram serem eficazes para reduzir a erosão da linha de costa, podendo, em alguns casos, haver acumulação de areia e redução da altura da água.

Relativamente à erosão superficial, viu-se que os biogeotêxteis, os geocolchoados e as geogrelhas são muito usados para controlar a erosão em vertentes e taludes, embora no caso

da geogrelha ela seja também utilizada para reforçar o solo, contra as deformações, pelo menos até ao desenvolvimento da vegetação. Os geossintéticos podem ser usados com um carácter permanente (longo prazo) ou temporário (curto prazo), na estabilização de um talude/vertente até ao crescimento da vegetação como barreira natural.

Os biogeo têxteis, de um modo geral, têm uma maior capacidade de absorção de água, comparativamente com os materiais de fibras sintéticas, o que é benéfico do ponto de vista do desenvolvimento da vegetação. Por outro lado, tal situação permite reduzir as velocidades de escoamento que tendem a instabilizar os taludes e vertentes.

Verificou-se, por fim, que os geoacolchoados podem ser duráveis por períodos superiores a vinte anos (nas condições consideradas), sugerindo deste modo a sua eficácia como geossintético de longa duração.

Lisboa, LNEC, Maio de 2007

VISTOS



Madalena Barroso  
Investigadora Auxiliar

AUTORIA



Catarina Barrela  
Estagiária



Filipe Telmo Jeremias  
Chefe do Núcleo de Geologia de Engenharia

Director do Departamento de Geotecnia



**Carlos Pina**

## 7 – BIBLIOGRAFIA

Gang, L., YiMing, S., ChaoRong, Z., HuiPing, S. (2006). *Experiment on stability of dike piled with flat geotube*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Milpress, Rotterdam.

Masuya, Y., Mori, H., Takahashi, I., Takada, N., Kohashi, H., Kudo, Y., Nakashima, K., Hirota, O., Honna, H., (2006). *Duration of the geosynthetic container in actual sites*; Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Milpress, Rotterdam.

Pinzani, G., Sauli, G., (2006). *Long Term efficiency of erosion control geomats*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Milpress, Rotterdam.

Shukla, S., & Yin, J. (2006). *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. Londres: Taylor & Francis Group.

Shin, E. & Oh, Y. (2006). *Application of submerged geotextile tubes for erosion prevention in east coast of Korea*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Milpress, Rotterdam.

Watanabe, K., Kumada, T., Ogata, T., Alfaro, M. C. (2006). *Use of geogrid for surface protection of a reinforced steep slope*. Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds), Milpress, Rotterdam.

Molina, J. & Yasuhara, K. (2005). *Stability of modified geotextile wrap-around revetments for coastal protection*. Geosynthetic International, volume 12, nº 5.

Neves, L., Lopes, M., Gomes, F., Pinto, F., (2005) *Aplicação de Geossintéticos em Sistemas de Controlo de Erosão Dunar*. Porto: 1º Seminário Português sobre geossintéticos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 25-34 pp.

LeKha, K., (2004). *Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes – A case study*. Geotextiles and Geomembranes, nº 22.

Vertemati, J. C. (2004). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. São Paulo: Edgard Blücher. Brasil.

Shin, E. & Oh, Y. (2003), *Analysis of geotextile tube behaviour by large-sacle field model tests*. Geosynthetic Internacional, volume 10, nº4.

Silva, F. (2003) *Apontamentos da cadeira de geomorfologia*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

I.G.S. (2000). *Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols* (4ª ed.). Easley: International Geosynthetic Society.

Ogbobe, O., Essien, K., Adebayo, A.. (1998). *A study of biodegradable geotextiles used for erosion control*. Geosynthetics International, Vol. 5, No. 5.

Koerner, R. M. (1997). *Designing with Geosynthetics* (4ª ed.). New Jersey: Prentice Hall.

Carvalho, A. (1996). *Geologia: morfogénese e sedimentogénese*. Lisboa: Universidade Aberta.

Lopes, M. G. D. (1994). *Geotêxteis : Principais Funções e Aplicações*. Relatório 268/94 – Núcleo de Geotecnia Rodoviária, Departamento de Vias de Comunicação. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Folques, J. (1987). *Notas sobre Erosão Superficial*. Informação Técnica. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Komar, P. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.

Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura, (1968), 7º volume. Editorial Verbo Lisboa.

**Endereços da internet:**

[www.pwmag.com](http://www.pwmag.com)

[www.flash-sfx.cz/img/usr](http://www.flash-sfx.cz/img/usr)

[www.img.alibaba.com/photo/](http://www.img.alibaba.com/photo/)

[www.igsbrasil.org](http://www.igsbrasil.org)

