



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

THIAGO JOSÉ MOREIRA SALES

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICO NO CONTROLE DE
EROSÃO**

JOÃO PESSOA

2017

THIAGO JOSÉ MOREIRA SALES

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICO NO CONTROLE DE
EROSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

JOÃO PESSOA

2017

S163e Sales, Thiago José Moreira

Estudo da aplicação de geossintético no controle de erosão ./ Thiago José Moreira Sales. – João Pessoa, 2017.

56f. il.:

Orientadora: Profa. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Erosão 2. Geossintéticos I. Título.

BS/CT/UFPB

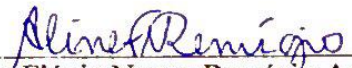
CDU: 2.ed. 632.125(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

THIAGO JOSÉ MOREIRA SALES

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICO NO CONTROLE DE EROSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso em 08/06/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:




Prof.^ª Dr.^ª Aline Flávia Nunes Remígio Antunes (Orientadora)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.^ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Prof.^ª Andrea Brasiliano
Vice - Coordenadora CCGEC
Siape 1549557

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e forças para seguir em frente durante toda a minha caminhada.

À toda a minha família, principalmente aos meus pais Kátia Moreira Medeiros Sales e José Sales Júnior, por todo o apoio e ensinamentos que deram durante toda minha vida.

Agradeço também à minha namorada e aos grandes amigos formados durante a vida universitária, os quais foram essenciais nos momentos mais difíceis da graduação; e aos mais antigos, que me acompanham desde sempre, meus agradecimentos.

Meus agradecimentos a cada professor com quem aprendi algo de novo, desde a escola até a fase de graduação.

Agradeço de forma especial à professora e orientadora Aline Flávia Remígio Antunes Nunes, que me ensinou muito além dos conteúdos acadêmicos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, pessoal e profissional.

RESUMO

O processo erosivo trata-se de um fenômeno natural, que vem se intensificando ao longo dos anos pelas ações antrópicas, e que pode ser classificado de acordo com os seus agentes causadores, que são: vento, chuva, mar e gelo. A acelerada urbanização e as consequentes alterações no meio ambiente, estão diretamente ligadas as constantes erosões no nosso país, que causam inúmeros problemas, e apresentam difíceis soluções com altos custos. Neste estudo, apontam-se os variados tipos de erosão e se analisam soluções para o controle da erosão superficial e sua possível recuperação, com a aplicação de geossintéticos. Esses materiais se destacam por sua versatilidade, atuando nas mais diferentes funções na construção civil, trazendo grandes vantagens na sua aplicação devido a suas características e propriedades. Para o controle de erosão superficial, os geossintéticos, atuam como barreiras retendo os sedimentos causados pelos processos erosivos, ao mesmo tempo que desempenham o papel de filtração/drenagem permitindo o escoamento das águas. Baseado na metodologia proposta por Richardson e Middlebrooks (1991), dimensionou-se uma solução utilizando geotêxtil em um caso hipotético, a fim de mostrar sua facilidade de execução e suas demais vantagens com relação a outros tipos de materias.

Palavras-chave: Erosão, Geossintéticos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Previsão de aumento do nível do mar	16
Figura 2: Formação de sulcos devido a erosão pluvial.....	19
Figura 3: Formação de ravinas devido a erosão pluvial.	20
Figura 4: Formação de voçorocas.....	21
Figura 5: Derretimento de geleiras.	22
Figura 6: Exemplos de Geossintéticos: (a) geotêxteis; (b) geogrelhas; (c) geomembranas; (d) geocompósito de drenagem; (e) geocélulas.	24
Figura 7: Exemplo de geotêxtil não tecido.....	32
Figura 8: Exemplo de geotêxtil tecido.....	32
Figura 9: Instrumentos utilizados na implantação do modelo.....	35
Figura 10: Corte transversal à erosão para a implantação do modelo.	36
Figura 11: Instalação das hastes de madeira e da tela metálica.....	36
Figura 12: Instalação do geotêxtil	37
Figura 13: Vista frontal da voçoroca com o sistema de controle de erosão por barramento.	38
Figura 14: Vista lateral das barreiras para acumulação dos sedimentos gerados a montante.	39
Figura 15: Hastes de madeira instaladas.....	39
Figura 16: Instalação das telas metálicas.....	40
Figura 17: Vista geral da obra executada.	40
Figura 18: Vista geral após a instalação da barreira.....	41
Figura 19: Barreira de sedimento realizada com geotêxtil.....	41
Figura 20: Detalhe da barreira retendo e não permitindo a passagem dos sedimentos. .	42
Figura 21: Exemplo de geomanta.....	43
Figura 22: Registro da situação da encosta antes da obra.	44
Figura 23: Registro da situação da encosta com a obra concluída.	45
Figura 24: Dimensionamento do sistema	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais propriedades dos geossintéticos.	25
Quadro 2: Grupos e geossintéticos utilizados em barreiras de contenção de sedimentos.	46
Quadro 3: Resistência à tração mínima necessária para a aplicação do geotêxtil.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro com os principais tipos de geossintéticos e suas funções.....	24
Tabela 2: Fabricantes de geossintéticos com seus respectivos produtos para controle de erosão superficial disponíveis no mercado nacional	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivo Específico.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Tipos de Erosão	15
3.1.1	Erosão Costeira.....	15
3.1.2	Erosão Pluvial.....	17
3.1.3	Erosão Eólica.....	21
3.1.4	Erosão Glacial.....	22
3.2	Geossintéticos	23
3.2.1	Função e Classificação dos Geossintéticos	23
3.2.2	Propriedades dos Geossintéticos	25
3.2.2.1	Propriedades Físicas.....	27
3.2.2.2	Propriedades Mecânicas.....	27
3.2.2.3	Propriedades Hidráulicas.....	29
3.3	Geossintéticos no controle da erosão.....	29
3.4	Aplicação do geotêxtil no controle da erosão.....	31
3.4.1	Estudos de casos	33
3.5	Aplicação de geomanta no controle da erosão.....	42
4	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EROSÃO UTILIZANDO GEOSSINTÉTICOS	45
4.1	Introdução	45
4.2	Metodologia do dimensionamento.....	47
4.3	Resultados.....	48
4.4	Execução.....	51
4.5	Análise dos resultados	51

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o desenvolvimento industrial e o processo de ocupação nas áreas urbanas e rurais, cresceram de maneira intensa, causando os mais diversos tipos de alterações no meio ambiente, dentre eles destaca-se o processo conhecido como erosão.

A erosão é um processo natural de desagregação de materiais de rochas e do solo, e transporte de seus fragmentos pela chuva, mar, vento ou geleiras (agentes erosivos). Esse fenômeno vem agindo sobre a superfície terrestre desde os seus princípios, e apesar de ser um processo natural, vem sendo acelerado pela ação catalisadora do homem ao longo dos anos. Além disso, existem outros fatores que influenciam diretamente na erosão, como: clima, tipo do solo, utilização do solo, geologia, vegetação e a geomorfologia.

Há uma grande preocupação de como solucionar os problemas causados pela erosão, principalmente, pelo alto grau de dificuldade, pois se o processo erosivo já ocorreu, vários danos certamente já foram causados, além dos elevados custos. Com isso, o melhor procedimento para que não ocorra tal fenômeno, é tomar medidas preventivas relacionadas com qualquer atividade ligada ao uso do solo, em especial, a drenagem e a regularização, contenção e proteção.

Daí a necessidade de buscar materiais não convencionais, que evitassem ou pelo menos retardassem estes efeitos causados pelos processos erosivos. E a partir da década de 80, começa a ganhar força no Brasil, a utilização de produtos poliméricos, que podem ser sintéticos ou naturais, conhecidos como geossintéticos.

Com o passar dos anos a substituição dos materiais convencionais, na engenharia geotécnica, por materiais sintéticos vem se expandindo consideravelmente. Essa expansão se dá principalmente, pelo bom desempenho desses materiais no sistema, facilidade em sua instalação e conseqüentemente melhor trabalhabilidade e diminuição de custos a longo prazo, aumentando também a vida útil e a qualidade das obras.

Com os avanços tecnológicos na indústria dos geossintéticos, é grande a variedade de materiais que auxiliam no controle da erosão. De acordo com Vertematti (2015) esses materiais atuando em sistemas de controle de erosão aumentam a resistência do terreno, conseqüentemente melhora seu desempenho frente à ocorrência de processos erosivos, operando como elementos de suporte ao desenvolvimento e estabelecimento da cobertura vegetal ou como sistemas de proteção efetiva à ação de agentes erosivos, por um determinado período ou de forma permanente.

Além de atuar no controle da erosão, os geossintéticos possuem um campo de aplicação bastante amplo, e à eles também são atribuídas funções como: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização. E são utilizados nas mais diversas obras geotécnicas, como aterros, rodovias, ferrovias, estrutura de contenção e barragens.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Entender todo o processo da erosão, seus principais tipos, causas e consequências, e com isso, estudar a utilização e aplicação dos geossintéticos em obras de controle de erosão superficial, analisando o seu desempenho, e mostrando algumas de suas vantagens em relação aos outros materiais.

2.2 Objetivo Específico

- Realizar um estudo sobre os geossintéticos e avaliar quais os mais indicados para solucionar problemas relacionados à erosão superficial;
- Dimensionar a título de exemplo um sistema hipotético utilizando geossintético para restringir o avanço de sedimentos causados pela erosão superficial, baseado na metodologia proposta por Richardson e Middlebrooks (1991);

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Tipos de Erosão

Segundo Camapum de Carvalho et al. (2006), a palavra erosão origina-se do latim (erodere) e significa “corroer”.

Com relação a classificação das erosões, Camapum de Carvalho et al. (2006) afirma que elas podem se dividir em dois grandes grupos: a erosão natural ou geológica e a erosão antrópica ou acelerada, sendo a geológica causada por fatores naturais, enquanto que a antrópica está relacionada a ação do homem.

No entanto, o mais comum é classificar os processos erosivos de acordo com o agente responsável por tal fenômeno, dividindo-se em quatro tipos: erosão costeira (mar), erosão pluvial (chuva), erosão eólica (vento) e erosão glacial (gelo).

3.1.1 Erosão Costeira

Para a grande maioria dos países costeiros, independentemente da sua dimensão, localização geográfica ou do seu nível de desenvolvimento, a erosão costeira é um grave problema. (LANGA, 2003).

O grande aumento da taxa de degradação das zonas costeiras é devido principalmente aos efeitos causados pela erosão costeira.

Segundo Langa (2003) define-se erosão costeira de uma área como o processo de modificação do perfil costeiro resultante da ação de fenômenos hidrodinâmicos e fisiográficos sobre a costa, durante os quais há uma perda ou deslocamento de material sólido (areia e sedimentos coesivos) para fora dessa área em análise.

Esse fenômeno trata-se de um processo natural, que tem como principal agente erosivo o mar, porém assim como os outros tipos de erosão, vem sendo intensificada ao longo dos anos pela ação do homem.

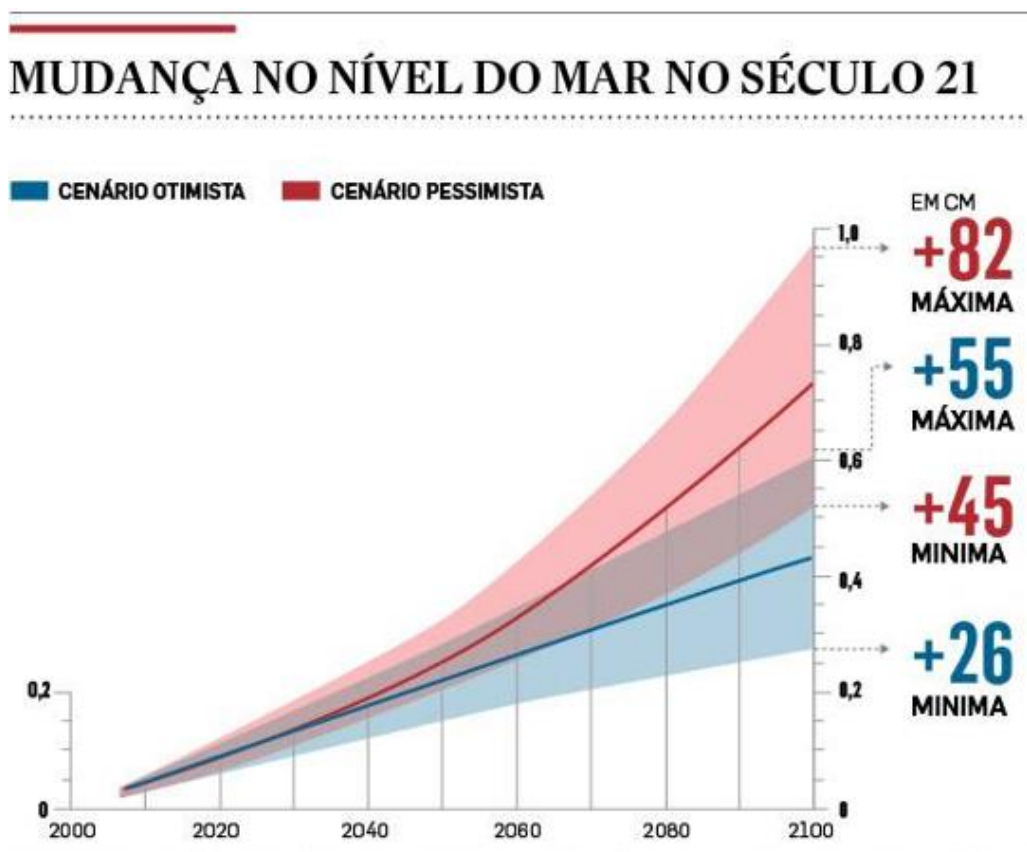
Guimarães (2012) destaca os principais fatores naturais que ocasionam este fenômeno: a força da onda, a subida do nível médio do mar, à deriva litoral, o vento, as tempestades e os movimentos das marés. As ações do homem que contribuem para a intensificação desse processo são: construção de portos e barragens, construções em

zonas dunares, dragagens de mares e rios, além da poluição atmosférica que gera gases do efeito estufa que contribuem para o aquecimento global, causando o derretimento das geleiras, e conseqüentemente, aumentando o nível médio dos oceanos.

De acordo com Langa (2003) umas das conseqüências do aumento da temperatura média do planeta, do efeito estufa e do degelo glacial, será o aumento generalizado do nível do mar, acarretando na ocorrência de ondas de grandes amplitudes que intensificam as correntes marítimas de transporte sólido litoral, aumentando a capacidade erosiva das praias, a degradação das estruturas de defesa costeira e fragiliza o equilíbrio natural da dinâmica das zonas litorais.

Segundo o Jornal Estadão (2013) entre 1901 e 2010 o nível do mar já subiu 19 centímetros e a previsão é de que aumentem entre 26 e 82 centímetros até 2100.

Figura 1: Previsão de aumento do nível do mar



Fonte: JORNAL ESTADÃO, 2013

3.1.2 Erosão Pluvial

De acordo com Volk (2006) a erosão pluvial pode ser dividida em três estágios: desagregação, transporte e deposição. Na etapa da desagregação, ocorre a separação das partículas de solo, tanto pela ação de impacto das gotas, quanto pela ação cisalhante do escoamento originado da chuva. Já no transporte, as partículas são desagregadas tanto pelo salpicamento gerado pelo impacto das gotas da chuva quanto pela enxurrada, que pode ser mais intensa em terrenos inclinados. E por fim, ocorre a deposição do material que foi desgastado e transportado.

Segundo Júnior et al., (2008) um fator que tem grande importância no entendimento da erosão é o tipo de vegetação, pois a infiltração da água das chuvas é favorecida pela cobertura vegetal, amortecendo parte da água que atingiria diretamente o solo, através da interceptação pelas folhas, liberando lentamente a água para a superfície do solo e as raízes que abrem caminho para a água descendente no solo.

Uns dos principais fatores que influenciam diretamente no processo da erosão pluvial são:

- Intensidade da chuva;
- Volume da chuva;
- Velocidade de escoamento;
- Declividade do terreno;
- Presença de vegetação;
- Tipo de solo;

A erosão pluvial irá desenvolver um escoamento que poderá ser de dois tipos: laminar e linear. E o que vai influenciar o tipo de erosão será o fluxo de água que irá escoar sobre o terreno:

Camapum de Carvalho et al., (2006) faz o seguinte comentário sobre a erosão linear:

A erosão superficial ou linear surge do escoamento da água que não se infiltra. Ela está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos do maciço pelo impacto das gotas de chuva, seja das partículas ou agregados arrancados pela força trativa desenvolvida entre a água e o solo. O poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como da espessura da lâmina d'água e, principalmente, da inclinação da vertente do relevo. A formação de

filetes no fluxo superficial amplia o potencial de desprendimento e arraste das partículas de solo, dando, quase sempre, origem aos sulcos que evoluem para ravinas podendo chegar à condição de voçoroca. (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006)

Camapum de Carvalho et al., (2001) faz um breve comentário sobre a erosão laminar:

A erosão laminar é normalmente classificada como a erosão que ocorre de modo uniforme na superfície do solo de uma determinada área, podendo ou não nessa fase, propiciar o aparecimento de sulcos. Este tipo de processo erosivo geralmente não deixa traços visíveis e pode continuar sua ação durante anos, só se deixando notar com o empobrecimento do solo ou com o assoreamento de áreas à jusante. Suas consequências são vistas mais nas zonas rurais, pois além de levar grande parte dos nutrientes, desestabiliza as plantações atingindo a cobertura de suas raízes. (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2001)

Tanto a erosão laminar como a erosão linear estabelecem elevado grau de degradação da superfície terrestre ocasionando transtornos, prejuízos, catástrofes e até mesmo impossibilitando a realização de algumas atividades humanas, como o uso agrícola, construção de barragens, obras de engenharia etc.

De acordo com Boin (2000) o processo erosivo superficial, quando está já em estágio avançado é de difícil contenção. Porém, na fase inicial, é facilmente percebida, permitindo que mecanismos mitigatórios sejam acionados. Já a erosão laminar se desenvolve de forma gradual, não se percebe facilmente, o que a torna muitas vezes mais prejudicial do que a anterior, pois, lentamente, vai transportando a camada fértil dos solos agricultáveis, exaurindo-os por completo.

- Formação de sulcos:

A partir do momento em que a água não consegue mais infiltrar no solo, e passa a se acumular, dá-se início a formação de sulcos ou poças na região. Fatores como declividade, presença de vegetação, tipo do solo, tempo entre uma precipitação e outra e a intensidade da precipitação, influenciam diretamente essa saturação do solo.

Figura 2: Formação de sulcos devido a erosão pluvial.



Fonte: CHAVES, 2012

- Ravinas:

Santos (2015) diz que no momento em que as poças não suportam mais o volume de água, inicia-se um escoamento que dá origem a formação das ravinas, em que ocorre um alargamento e apronfundamento do canal. E à medida que o volume de água se concentram nos canais, vai aumentando sua profundidade, ao mesmo tempo que a velocidade de escoamento vai diminuindo devido o ganho de rugosidade nesta área.

Figura 3: Formação de ravinas devido a erosão pluvial.



Fonte: SOUZA et al., 2014

- Voçorocas:

Segundo Vertematti (2015) as voçorocas representam uma etapa avançada de degradação do terreno, no qual são observados remoções e destacamentos de grande volume do solo da superfície do terreno afetado. Elas podem ter origem em erosões superficiais, internos ou na combinação de ambos.

Figura 4: Formação de voçorocas.



Fonte: Página do R7,2013

É importante considerar que cada voçoroca tem sua peculiaridade, por isso a dificuldade de generalização de soluções. Os pontos que devem ser contemplados em um projeto de contenção de erosão constam do disciplinamento das águas superficiais, disciplinamento das águas subsuperficiais e estabilização dos taludes da voçoroca. (CARRIJO et al., 2000)

3.1.3 Erosão Eólica

A erosão eólica tem como principal agente erosivo o vento. Segundo Hoffman (2011) esse tipo de fenômeno ocorre em condições de baixa umidade do solo, diminuindo a coesão entre as partículas, facilitando seu desprendimento e transporte pela movimentação do ar. Geralmente ocorrem em regiões de pequenos índices pluviométricos e presença de ventos fortes, com pouca ou praticamente nenhuma vegetação.

Segundo Campos (2014) As principais consequências do processo erosivo causado pelos ventos são: empobrecimento dos solos, morte das plantas, obstrução de estradas e rodovias e problemas de saúde nas pessoas devido à inalação da poeira.

3.1.4 Erosão Glacial

A erosão glacial tem como seu agente erosivo o gelo. De acordo com Ryzhov (2009) esse processo erosivo ocorre de forma semelhante ao fenômeno das erosões pluviais. O gelo exerce grande força contra obstáculos no terreno, dividindo-se em segmentos de rocha que permitem a abrasão da superfície por onde passam permitindo sua corrosão. O degelo da água interfere na coesão das partículas do solo e fragmentos de rocha, aumentando a propensão ao arrasto e transporte desses materiais.

Figura 5: Derretimento de geleiras.



Fonte: FOLHA DE SÃO PAULO, 2016

3.2 Geossintéticos

Com o desenvolvimento da indústria petroquímica e o grande avanço na utilização de produtos plásticos, inicia-se por volta dos anos 50 a chamada Era dos Geossintéticos, ganhando destaque no mercado da engenharia civil no Brasil, recentemente, por pouco mais de três décadas.

Com o passar dos anos a substituição dos materiais convencionais, na engenharia geotécnica, por materiais sintéticos vem se expandindo consideravelmente. Tal expansão se dá pelo bom desempenho desses materiais no sistema, facilidade em sua instalação e conseqüentemente melhor trabalhabilidade e diminuição de custos a longo prazo, aumentando também a vida útil e a qualidade das obras.

Segundo Costa et al., (2015) esses produtos são constituídos por uma grande variedade de materiais e formas, cada um adequado a um determinado uso ou necessidade. Em geotécnica as principais obras que utilizam esses materiais são: aeroportos, ferrovias, rodovias, aterros, estruturas de contenção, reservatórios, canais e barragens.

De acordo com Vertematti (2004) os geossintéticos são produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, industrializados, e que podem ser utilizados em diversas aplicações, sobre variados tipos de solo ou em combinações de solo e rocha como parte de projetos e soluções de engenharia.

3.2.1 Função e Classificação dos Geossintéticos

Por sua versatilidade, os geossintéticos possuem um campo de aplicação bastante amplo, e de acordo com a NBR 12.553, a eles são atribuídas inúmeras funções, tais como: Reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão. Em alguns casos, um determinado tipo de geossintético pode exercer mais de uma função simultaneamente, aumentando ainda mais seu campo de aplicação no mercado.

Com relação a sua classificação, os geossintéticos são divididos em categorias de acordo como ele foi produzido, e também por suas características.

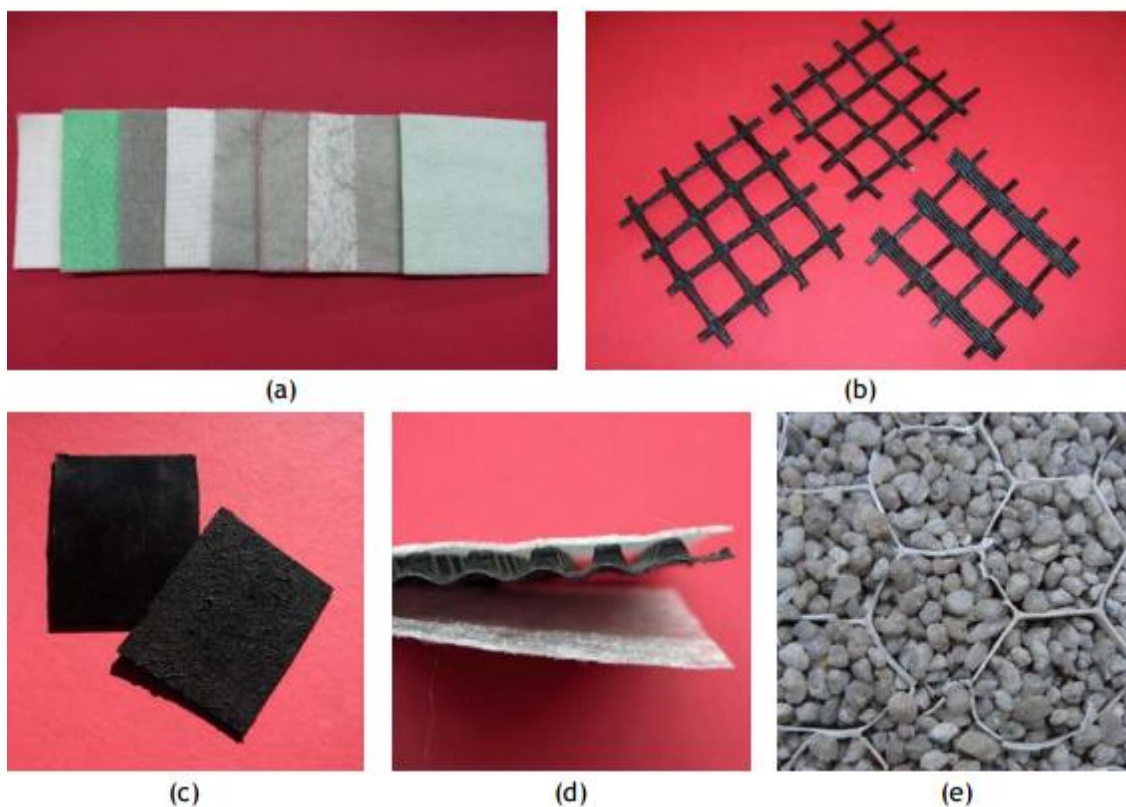
Na tabela abaixo, estão indicados os principais tipos de geossintéticos existentes no mercado, apresentando as principais funções desempenhadas por cada um.

Tabela 1: Quadro com os principais tipos de geossintéticos e suas funções.

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Reforço	Erosão	Impermeabilização
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Geogrelha	✓				✓		
Geomembrana	✓						
Georede		✓		✓			
Geocélula		✓			✓	✓	
Geotubo				✓			
Geocomposto argiloso							✓
Geofibra					✓		

Fonte: BUENO & VILAR, 2004

Figura 6: Exemplos de Geossintéticos: (a) geotêxteis; (b) geogrelhas; (c) geomembranas; (d) geocompósito de drenagem; (e) geocélulas.



Fonte: CARNEIRO, 2009

Dentre esses geossintéticos, não há um tipo que seja considerado superior ao outro, o que realmente conta na hora de escolher qual utilizar, são as propriedades e

características que melhor se enquadram no tipo de estrutura onde a aplicação será realizada.

3.2.2 Propriedades dos Geossintéticos

As propriedades dos geossintéticos determinam como será o seu comportamento. Analisando-se suas propriedades, sejam elas físicas, mecânicas ou hidráulicas, tem-se um conhecimento de qual é seu melhor uso para que na hora da execução, seu desempenho seja eficiente.

Esse tipo de material assim como qualquer produto industrializado, deve obedecer a um exigente controle de qualidade de produção. De acordo com Vertematti (2004), é recomendado que ensaios de recebimento sejam realizados para que se confirme que o produto entregue na obra possua as características técnicas especificadas pelo projetista. Segundo as normas e com a literatura existente sobre o assunto, essas propriedades dos geossintéticos devem ser analisadas de acordo com ensaios pré-estabelecidos.

O quadro 1 apresenta as principais propriedades dos geossintéticos e as normas a elas relacionadas. Como não existem normas brasileiras para todos estes ensaios, muitas vezes deve-se recorrer as normas internacionais que mais se adequem naquela situação.

Quadro 1: Principais propriedades dos geossintéticos.

Ensaio realizado em geotêxteis e produtos correlatos		
Propriedades	Norma	Observações
Físicas		
Massa por unidade de área	NBR 12568, ISSO 9864, ASTM D 3776;	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Espessura nominal	NBR 12569, ISSO 9863, ASTM D5199	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Porosidade	-	Determinação analítica
Compressibilidade	-	Tensões usuais, de 10 a 200 kPa
Resistência à tração: - Faixa larga	NBR 12824, ATM D 4595, ISSO 10319	Verificar dimensão de corpos de prova para cada ensaio, de acordo com norma

- Faixa restrita ou grab - Elementos de geogrelha - Multidirecional	ATM D 4632 GG1 e GG4 ASTM D 5716	
Resistência ao puncionamento - Estático (CBR) - Dinâmico (queda do cone)	NBR 13359, ISO 12236 NBR 14971, ISSO 133433, EN 918	Pistão com diâmetro de 50mm Cone de 500g, altura de queda de 500mm
Resistência a propagação de rasgo	ATM D 4533	-
Resistência a estouro	ASTM D 3786	-
Fluência sob tração	ISO 13431, ASTM D 5262	-
Hidráulicas		
Permissividade	ISO 11058	-
Transmissividade	ISO 12958	-
Filtração: - Abertura de filtração - Abertura aparente	ISO 12956 AFNOR G 38 087; ASTM D 4751	Peneiramento úmido de solo bem graduado Peneiramento a seco com esferas de vidro
Desempenho		
Resistência a tração confinada	-	Não há norma específica ainda. Interesse maior para geotêxteis não-tecidos
Fluência confinada	-	Não há norma específica ainda.
Resistências de interface: - arranchamento - cisalhamento direto - plano inclinado	ISO 13427 e ASTM D 5321	Não há norma específica ainda Procedimento de mecânica dos solos
Resistência a abrasão	ISO 13427	-
Filtração de longa duração	ASTM D 5101	-
Danos de instalação	ISO 10722, ASTM D 5818	-

Fonte: BUENO, 2009

3.2.2.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas mais importantes para a aplicação desse tipo de material são: gramatura, espessura nominal e porcentagem de área aberta. Tem-se a seguir as descrições dessas propriedades, conforme Bueno & Vilar (2004):

- Gramatura é a relação de massa por unidade de área da manta, expressa em g/m². Ela deve ser entendida como um índice de caracterização e ser utilizada como elemento de comparação entre geossintéticos com mesmo processo de fabricação, pois dependendo desse processo, o geossintético pode apresentar propriedades hidráulicas e mecânicas muito diferentes;

- A espessura é expressa em milímetros e é determinada a partir da medição em milímetros entre duas placas rígidas que comprimem um corpo de prova, com uma força de 2kPa. A norma da ABNT NBR ISO 9863-1 de 2013, comenta sobre a determinação da espessura de geotêxteis. Os ensaios utilizam as normas norte-americanas ASTM D 5199/01 e ASTM D 6525/00 como parâmetro de execução;

- A porcentagem de área aberta equivale aos espaços vazios resultantes do processo de fabricação.

$$n_{GT} = \left(1 - \frac{\mu_A}{t_{GT} * p_f * p_w} \right) * 100\%$$

Onde:

n_{GT} : porosidade;

μ_A : gramatura;

t_{GT} : espessura nominal;

p_f : massa específica da fibra ou filamento que constitui o geossintético;

p_w = massa específica da água;

3.2.2.2 Propriedades Mecânicas

De acordo com Bueno & Vilar (2004), as propriedades mecânicas expressam relações entre a carga imposta ao material e as deformações que ele sofre, além de

fornecer dados utilizados no dimensionamento de projetos. As principais propriedades são brevemente comentadas a seguir:

- **Compressibilidade:** Obtida através da medição da espessura do geossintético através de diferentes tipos de carregamento em corpos de prova, utilizando normalmente tensões de 10, 20, 50, 100 e 200 kPa;
- **Resistência à tração:** A pressão causada entre o contato das partículas de solo sobre o geossintético, causam uma tensão de tração lateral sobre o material. É, então, recomendado que seja estimada a máxima deformação que esse material sintético sofrerá. A norma da ABNT, NBR ISO 10319 de 2013 (Geotêxteis - Determinação da resistência à tração não confinada - Ensaio de tração de faixa larga - Método de ensaio) determina as condições de aplicação do ensaio de tração através da aplicação de uma força crescente num corpo de prova, até que ocorra sua ruptura;
- **Resistência à punção:** Quando submetidos a esforços de compressão causados pelo contato com grãos isolados, o material geossintético pode sofrer perfurações. A norma da ABNT, NBR ISO 12236 de 2013 explicita as recomendações sobre o ensaio para determinar a resistência ao puncionamento tipo CBR. Esse ensaio é realizado a partir da aplicação de pressões em corpos de prova através de um cilindro metálico, que tenta perfurar o material ensaiado. Essa é uma importante propriedade em relação à instalação do geossintético no canteiro de obras, uma vez que esse material deve resistir ao processo de aplicação intacto, de forma a garantir suas características técnicas de utilização;
- **Resistência ao rasgo:** Durante a instalação ou manuseio do geossintético, pode haver a ocorrência de um corte que pode se propagar e causar a perda da integridade física desse material. O ensaio de propagação do rasgo trapezoidal mede a resistência à propagação de um rasgo pelas fibras do geotêxtil e materiais correlatos;
- **Resistência ao estouro:** Há a possibilidade, em situações particulares, que o geossintético penetre nos espaços entre as partículas granulares onde foi aplicado e assuma uma forma esférica.

O ensaio de resistência ao estouro fornece, então, um índice de classificação qualitativa dos geossintéticos em relação a esse tipo de deformação.

- **Fluência em tração:** Os geossintéticos, quando submetidos a esforços de cisalhamento, tração ou compressão, por longos períodos de tempo, podem vir a fluir

ou escoar. Esse fenômeno dependerá da magnitude do esforço e também da temperatura ao qual ele estará submetido. O ensaio em que se analisa esse tipo de fenômeno tem como resultado curvas que relacionam carga e deformação para um tempo determinado, além de uma curva de fluência, a partir da qual se pode estabelecer tempos de ruptura para os tipos de carregamento (VERTEMATTI, 2004).

3.2.2.3 Propriedades Hidráulicas

Com relação as propriedades hidráulicas, os ensaios mais utilizados são os destinados á determinação do coeficiente de permeabilidade, que indica a facilidade que o fluido tem para percolar, e a determinação da abertura de filtração. As principais propriedades são brevemente comentadas a seguir:

- Permissividade: A permissividade é um parâmetro que relaciona a permeabilidade do geossintético e a sua espessura. No procedimento do ensaio necessário para determinar essa propriedade, são realizadas leituras de diferentes cargas de fluido, num determinado tempo, que passam por um corpo de prova com dimensões normatizadas (MACCAFERRI, 2008);
- Transmissividade: Este parâmetro se traduz no produto entre a permeabilidade do geossintético e a sua espessura sobre uma determinada tensão normal de confinamento, ou seja, é a quantidade de água que passa por um corpo de prova em um intervalo de tempo sobre uma carga normal e um gradiente hidráulico específico (NORTÈNE, 2012);
- Abertura de Filtração: Pode ser definida como a abertura do geotêxtil equivalente ao maior diâmetro do agregado granular que por ele pode passar, como afirma Muñoz (2005). Esse é o índice mais utilizado para definir o potencial de filtração e para o dimensionamento de filtros.

3.3 Geossintéticos no controle da erosão

O fenômeno natural conhecido como erosão é caracterizado pela desagregação, transporte e deposição de partículas de rochas ou solo, que pode ser mais intensificada ou

retardada devido as características do solo e pelos agentes erosivos (chuva, mar, vento e gelo). Entretanto, esse processo vem acelerando cada vez mais, graças a influência direta das ações antrópicas.

No Brasil, esses problemas erosivos vêm se intensificando bastante, principalmente devido ao desmatamento desordenado, o grande crescimento das áreas urbanas, e as execuções sem os devidos cuidados de obras de infra-estrutura. Diante desse cenário, controlar e identificar esse processo erosivo é de fundamental importância para evitar futuros problemas, que na maioria das vezes, são de difícil solução e de alto custo econômico, além das consequências sociais que possa acarretar.

Segundo Marques (2004) a implantação de sistema de drenagem e a regularização e proteção superficial das áreas de taludes são as medidas de prevenção que normalmente estão ligadas a este processo.

Uma alternativa bastante utilizada que consegue proporcionar uma proteção temporária e até de longo prazo no controle da erosão é o plantio de vegetação. As áreas que não são protegidas por uma cobertura vegetal são um agravante no processo erosivo, pois em dias de chuva, as gotas da chuva atingem o solo em altas velocidades desagregando as partículas desse solo. A vegetação faz com que dissipe a energia dessas gotas, diminuindo os impactos causados por elas no contato com o solo. (MARQUES, 2004).

Segundo Costa (2015) com o desenvolvimento da indústria de geossintéticos, é crescente o número de produtos que podem ser utilizados no controle e prevenção de processos erosivos. Atualmente, há uma vasta diversidade de produtos que possuem a capacidade de limitar o movimento de partículas do solo. Esses produtos proporcionam proteção e promovem a germinação de sementes que darão origem a cobertura vegetal que atuará como agente de controle de erosão.

Tratando-se do controle de erosão, os geossintéticos podem ser classificados em dois grandes grupos de materiais: os temporários e os permanentes.

Vertematti (2015) define estes dois grupos de geossintéticos da seguinte maneira:

Os materiais temporários correspondem a produtos total ou parcialmente degradáveis que proporcionam o controle de erosões e facilitam o desenvolvimento da vegetação, e são utilizados em locais onde a vegetação, após a degradação do produto, poderá prover por si só, suficiente proteção contra a erosão. Exemplos desses materiais: Georredes, geogrelhas, e fibras torcidas ou mantas de baixa resistência. Já os considerados permanentes podem

ser subdivididos em produtos constituídos por materiais não degradáveis que atuam como camada protetora do terreno e reforço da vegetação e em materiais, também não degradáveis, associados a sistemas semiflexíveis articulados ou armados. Como exemplos, tem-se: Geomantas, geotêxteis, geocélulas e geofôrmas.

O Brasil possui aproximadamente vinte empresas fabricantes dos mais diferentes tipos de geossintéticos. Porém, uma das grandes dificuldades relacionada ao seu uso, é o baixo número de profissionais capacitados para executar obras com a implantação destes materiais.

A tabela a seguir apresenta os produtos aplicados a controle de erosão e seus respectivos fabricantes.

Tabela 2: Fabricantes de geossintéticos com seus respectivos produtos para controle de erosão superficial disponíveis no mercado nacional

FABRICANTE	DESIGNAÇÃO	PRODUTOS
TDM BRASIL	A	Geomanta e biomanta
MACCAFERRI	B	Geomanta e biomanta
MEXICHEM BIDIM	C	Manta e geocélula
ROMA	D	Tela (grama armada)
PROPEX	E	Manta
DEFLOR BIOENGENHARIA	F	Telas biodegradáveis

Fonte: BEZERRA; COSTA, 2012.

3.4 Aplicação do geotêxtil no controle da erosão

De acordo com a IGS os geotêxteis são mantas contínuas permeáveis e flexíveis de fibras ou filamentos, e com relação a seu processo de fabricação podem ser de tecidos ou não tecidos, tricotados ou costurados. Devido a suas propriedades, esse material possui uma ampla variedade de aplicações, tais como separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões.

Baltazar (2008) diferencia os geotêxteis tecidos e não tecidos da seguinte maneira:

Os geotêxteis tecidos são compostos por dois conjuntos, habitualmente perpendiculares, de componentes paralelos entrelaçados, formando uma

estrutura planar, com poucos milímetros de espessura e uma distribuição de poros relativamente regular. Já os geotêxteis não tecidos são fabricados dispondo os componentes aleatoriamente numa trama solta, ligeiramente mais espessa do que o produto final. Os componentes são posteriormente ligados, obtendo-se uma estrutura planar com uma distribuição aleatória de poros.

Figura 7: Exemplo de geotêxtil não tecido.



Fonte: GUIMARÃES, 2015

Figura 8: Exemplo de geotêxtil tecido.



Fonte: GUIMARÃES, 2015

Farias (2005) destaca que os cuidados no momento da construção dependerão do tipo de aplicação e das condições específicas do local, e destaca os principais procedimentos para a instalação de geotêxteis:

- na preparação da superfície de suporte do sistema de controle de erosão deve-se fazer a regularização com enchimentos de possíveis depressões e proceder-se a remoção de materiais que possam danificar o geotêxtil;
- verificar sobreposições e costuras dos geotêxteis e espaçamento entre os pinos de fixação. A colocação do geotêxtil deve ser efetuada de tal forma que o mesmo não fique sob tensão com possibilidade de ocorrência de danos à sua instalação;
- deve-se estudar o ângulo de inclinação do talude para a devida estabilidade do sistema;
- evitar a formação de rugas no geotêxtil;
- deve-se prover as devidas ancoragens;

Outra importante função que merece destaque, é a de reforço de solo em superfícies erodidas.

Segundo Vertematti (2011) este tipo de geossintético para reforço de solo é aplicado em sucessivas camadas, envelopando o material granular, garantindo reforço ao solo e dispensando o uso das pesadas estruturas de arrimo. O material utilizado pode ser o próprio solo local e o revestimento da face da estrutura pode ser feita por: vegetação, alvenaria comum, concreto projetado ou muro de blocos articulados.

3.4.1 Estudos de casos

Farias (2005) detalha dois casos de aplicação com geotêxtil no controle de voçorocas, e que irão desempenhar basicamente as mesmas funções: Contenção do solo erodido, ou sujeito a possíveis processos erosivos, e também a de filtração/drenagem, permitindo a passagem das águas de infiltração.

O primeiro caso foi realizado na cidade de Anápolis, e associou muro de arrimo em solo reforçado com as barreiras de sedimentos com geotêxtil. Inicialmente, a fim de conter

possíveis ramificações de erosão, construiu-se muros de arrimo reforçado, e posteriormente executou-se a sequência de barragens ao longo do terreno, com os devidos sistemas de drenagem para eventuais transbordamentos. Com o acúmulo de material contido em um dos barramentos, alguns sedimentos ainda passariam pela barreira, e seriam retidos no barramento seguinte e assim sucessivamente, fazendo com que a declividade da voçoroca diminuísse, além de permitir a ascensão do seu fundo.

Farias (2005) ressalta que as barragens de assoreamento ao longo da voçoroca foram dimensionadas atendendo certas exigências como: aos critérios de estabilidade quanto ao tombamento, deslizamento, capacidade de carga da fundação e a estabilidade global do sistema de controle de erosão, além de análises em relação a drenagem das barragens e estudo prévio do lençol freático para possíveis execuções de trincheiras drenantes.

Algumas considerações feitas por Farias (2005) sobre o modelo implantado em Anápolis:

- Durante os ensaios prévios de infiltração, os geotêxteis tiveram um bom desempenho, logo não necessitaria a escolha de um geotêxtil mais denso e conseqüentemente mais caro para aplicação no modelo, porém teria que atender ao requisito fundamental, que é o de resistência mecânica;
- Não foi preciso realizar uma análise de estabilidade, devido as dimensões da erosão não apresentarem taludes que pudessem comprometer a obra;
- Foi previsto a utilização de telas metálicas, hastes de madeira e geotêxtil, a fim de simular os ensaios realizados em laboratório, e também a instalação de um barramento com a utilização do geotêxtil em gabião. O resultado não foi o esperado, devido a uma programação de utilização da retroescavadeira para a conclusão da obra e um evento chuvoso, que ocorreu no último dia da instalação do modelo, e comprometeu o sistema construído, principalmente em função do comprometimento das ombreiras da erosão com os barramentos. Mesmo com o comprometimento do sistema implantado em campo, foi possível constatar a grande quantidade de sedimentos produzidos à montante da erosão e a funcionalidade deste tipo de estrutura para recuperação de processos erosivos de pequeno a médio porte, pois com apenas uma chuva, não muito intensa, houve grande retenção de sedimentos pelas barreiras instaladas;
- Foram construídos três barramentos com espaçamento de 20 metros entre eles em função da baixa declividade do talvegue da erosão;

- O primeiro barramento a retenção de sedimentos atingiu a altura aproximada de 1,0 metro, com largura de 4,0 metros e volume próximo de 5 m³ de sedimentos;
- Os instrumentos utilizados foram: tela metálica galvanizada utilizada para construção de cercas, geotêxtil, nível de mangueira e grampos;

Figura 9: Instrumentos utilizados na implantação do modelo.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 10: Corte transversal à erosão para a implantação do modelo.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 11: Instalação das hastes de madeira e da tela metálica.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 12: Instalação do geotêxtil



Fonte: FARIAS, 2005

O outro estudo foi realizado no município do Prata-MG, também uma aplicação de “*silt fences*”, estrutura que será utilizada para um controle temporário de produção de sedimentos, mas se bem adaptada, pode se tornar uma solução permanente. Primeiramente, se teve a preocupação com a estabilidade do barramento, devido a produção de sedimentos a montante, logo executaram em alturas compatíveis com o esforço resistente da estrutura.

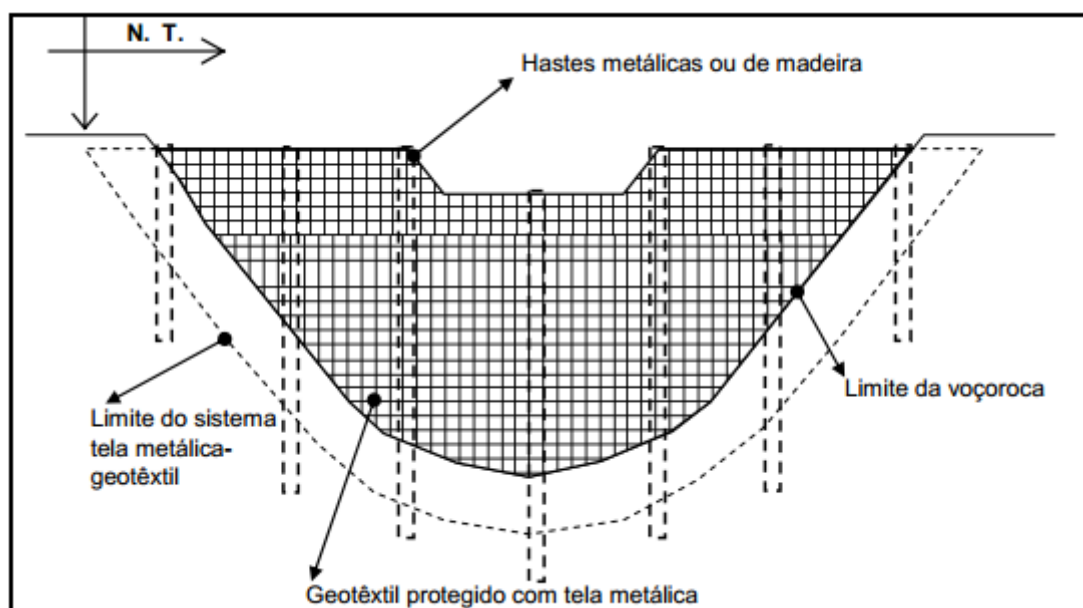
Tem a mesma idéia da outra aplicação citada por Farias (2005), a tela metálica e o geotêxtil são colocados numa determinada altura das hastes, de forma que o sedimento produzido a montante possa ser acumulado no primeiro barramento, e o excedente passe para o barramento seguinte e assim sucessivamente.

Achou-se necessário colocar o geotêxtil na face de jusante ou pedras no pé do barramento de jusante, pois a quantidade de material que eventualmente passe pelo barramento, poderá provocar um afundamento do solo no pé da estrutura a jusante. Outra observação importante foi com relação à fixação do geotêxtil, para que o fluxo não provocasse o seu arranque. Essa fixação pode ser feita com arame recozido ou galvanizado na tela metálica e com pinos metálicos na base da erosão.

E por fim, com a intenção de aumentar a estabilidade global do sistema, aumentou-se a altura dos barramentos e acrescentou-se novos barramentos a jusante.

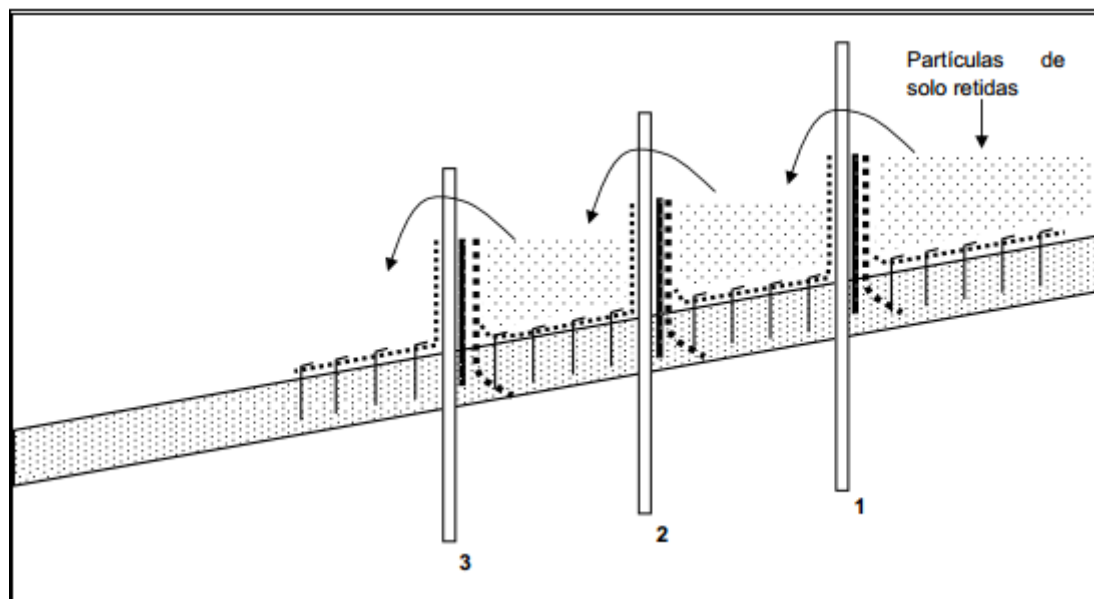
Dentre as grandes vantagens que esse sistema apresenta, pode-se destacar: simplicidade de execução, baixo custo e possibilidade de se obter estruturas compatíveis com a carga de sedimentos a ser contida, permitindo a execução em etapas de acordo com a produção de sedimentos à montante.

Figura 13: Vista frontal da voçoroca com o sistema de controle de erosão por barramento.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 14: Vista lateral das barreiras para acumulação dos sedimentos gerados a montante.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 15: Hastes de madeira instaladas.



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 16: Instalação das telas metálicas



Fonte: FARIAS, 2005

Figura 17: Vista geral da obra executada.



Fonte: FARIAS, 2005

Outro caso também de aplicação com geotêxtil em barreira de sedimentos, ocorreu na duplicação da rodovia Eng. Constâncio Cintra, porém com outro tipo de execução, sem uma sequência de barragens de assoreamento ao longo do terreno, como no talude hipotético. Nessa obra a função da barreira era simplesmente proteger os rios e vias durante a obra de duplicação, não havendo uma recuperação no talude, com mudança de declividade, entre outras coisas.

Figura 18: Vista geral após a instalação da barreira.



Fonte: BIDIM, 2011

Figura 19: Barreira de sedimento realizada com geotêxtil.



Fonte: BIDIM, 2011

Figura 20: Detalhe da barreira retendo e não permitindo a passagem dos sedimentos.



Fonte: BIDIM, 2011

A barreira foi instalada nas laterais da pista para evitar que a argila viesse para a estrada em dias de chuva, deixando a mesma escorregadia. Também teve a função de evitar que a água com argila fosse para os córregos e rios da região causando assoreamento.

A solução foi um sucesso, os rios permaneceram limpos mesmo em períodos de chuvas muito fortes e a estrada também ficou livre de lama, que a deixaria escorregadia aumentando a possibilidade de acidentes. Essa solução pode ser adotada em todas as obras com movimentação de terra, preservando os rios, principalmente pela água que está se tornando a cada dia, um bem mais precioso.

3.5 Aplicação de geomanta no controle da erosão

A Geomanta é um material polimérico permeável de estrutura tridimensional ou bidimensional. Esse produto pode ser utilizado no revestimento de solos, tanto para reforçar, como para proteger a vegetação da ação de intempéries em áreas suscetíveis à erosão.

Os campos de aplicação que podem ser aplicados a geomanta são:

- Taludes;
- Áreas planas de aterros e cortes de rodovias e ferrovias;

- Taludes de canais, rios e lagoas;
- Taludes de pilhas de minérios;
- Coberturas de aterros sanitários e industriais, entre outros.

Santos (2015) faz os seguintes comentários sobre as geomantas:

As geomantas constituem um método de proteção de talude baseado na cobertura superficial, assim como o concreto projetado. Sua intenção é gerar uma cobertura capaz de reduzir o impacto das gotas de chuva e o desprendimento de partículas durante o escoamento. Ao contrário do concreto projetado, as geomantas não impermeabilizam o maciço e formam um revestimento flexível. (SANTOS, 2015)

Tais mantas sintéticas são aplicadas fornecendo proteção ao solo desprovido de cobertura vegetal. Juntamente com a geomanta é lançado um coquetel de sementes que ao se desenvolverem reforçam a proteção já oferecida pela manta, tornando a cobertura ainda mais efetiva no combate a erosão. (SANTOS, 2015)

Esse tipo de geomanta é considerada do tipo temporário, e segundo Maccaferri (2013), não é indicada para taludes de inclinação muito acentuadas, pois a chuva pode deixar a geomanta muito pesada, podendo assim, desestabilizá-la. Para esse tipo de situação, é mais viável utilizar uma rede para manter o material estável.

Figura 21: Exemplo de geomanta.



Fonte: BEZERRA et al., 2012

Vertematti (2004) afirma que há dois tipos de aplicação das geomantas no solo. Na primeira, as geomantas tem função de reforçar a cobertura vegetal, ela é aplicada na superfície e depois semeada e preenchida com o solo vegetal. Na segunda, a geomanta é aplicada já preenchida com o solo, quando a vegetação cresce vai se solidarizando ao material polimérico, oferecendo ao sistema resistência ao fluxo e retenção do solo.

O grupo Maccaferri (2016) realizou uma aplicação de geomanta, em El Salvador, Antigo Cuscatlan, que sofreu um grande processo de erosão devido à ação das chuvas na região e ameaçavam a circulação da via. Inicialmente, houve uma tentativa de proteger a erosão com concreto, mas isso não foi suficiente devido à baixa resistência do concreto aplicado. Diante disso, a solução encontrada foi aplicar o revestimento em malha dupla torção associado à uma geomanta para controlar a erosão da encosta. Para instalação, foi utilizado tanto ancoragens primárias como secundárias e escavação em cada 50 centímetros de ancoragem para colocar grampos de 3/8 " que servem para fixação.

Figura 22: Registro da situação da encosta antes da obra.



Fonte: MACAFERRI, 2016

Figura 23: Registro da situação da encosta com a obra concluída.



Fonte: MACAFERRI, 2016

4 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE EROSÃO UTILIZANDO GEOSINTÉTICOS

4.1 Introdução

Um sistema de controle de erosão será dimensionado utilizando um tipo de geossintético. O estudo será realizado em um talude hipotético erodido, de terreno liso e pouco vegetado, que possui as seguintes características:

- Coeficiente de escoamento superficial 0,5;
- Inclinação média de 8%;
- Extensão total de 100 m;
- A precipitação pluviométrica na região (período de retorno de 8 anos) é de 120 mm/h.
- O dimensionamento deverá ser realizado para três eventos de precipitação antes da manutenção/limpeza do sistema;
- Coeficiente de redução para danos de instalação $f_{mr} = 1,20$.

Será proposto neste trabalho a aplicação de geossintético como barreira de contenção e controle de sedimentos, também conhecidos como *silt fences*. Segundo Vertematti (2015) esses tipos de aplicação, na maioria das vezes, são construídos com geotêxteis tecido, geofôrmas e também os *biologs* (degradáveis), elementos tubulares que, adequadamente dispostos, possibilitarão conformar diques e estruturas para a retenção de sedimentos.

A tabela 1 apresenta os grupos e geossintéticos utilizados em barreiras de contenção de sedimentos.

Quadro 2: Grupos e geossintéticos utilizados em barreiras de contenção de sedimentos.

Grupos e geossintéticos utilizados em barreiras de contenção de sedimentos		
Grupo	Geossintéticos	Características
Temporários	<i>Biologs</i>	Elementos cilíndricos compostos por materiais degradáveis (palha, fibras etc.), dispostos na horizontal e escorados em estacas cravadas no terreno, formando diques de retenção.
Permanentes	<i>Geotêxteis tecidos</i>	Geotêxteis instalados na vertical e escorados em paliçadas (estacas) cravadas no terreno, formando cortinas para a retenção dos sedimentos. Solução conhecida como <i>silt fence</i> .
	<i>Fôrmas têxteis lineares</i>	Bolsas cilíndricas (forma de tubos) fabricadas com geotêxteis, que confinam solo ou argamassa em seu interior, que dispostas na horizontal e escoradas ou não em estacas, formam diques para retenção de sedimentos.

Fonte: VERTEMATTI, 2015

Neste trabalho será realizado o dimensionamento para geotêxtil.

Vertematti (2015) ainda afirma que este tipo de solução com barreiras é aplicado quando se deseja impedir o avanço dos sedimentos desprendidos da superfície erodida e proteger o terreno e obras localizadas a jusante, como estradas, corpos d'água, edificações etc. Elas podem ser construídas em um ou mais níveis, dependendo da área a proteger e quantidade de sedimentos a reter.

4.2 Metodologia do dimensionamento

A metodologia utilizada no dimensionamento deste trabalho foi toda baseada no método de dimensionamento para barreiras de contenção de sedimentos, proposto por Richardson e Middlebrooks (1991), que focavam no quanto de material que seria retido pela barreira de contenção. Este método se aplica a terrenos lisos e com pouca ou quase nenhuma plantação.

Vertemati (2015) destaca o processo de cálculo apresentado por Koerner (1999), detalhado nas etapas a seguir:

Etapa 1: O primeiro passo é o cálculo do comprimento máximo do talude ($L_{MÁX}$) por barreira de proteção, que é realizado perante a equação (1) mostrada abaixo:

$$L_{MÁX} = 36,2e^{-11,1\alpha} \quad (1)$$

Onde, $L_{MÁX}$ é o comprimento do talude (em metros) e o α é a inclinação do talude, medida em termos da razão da altura vertical versus o comprimento horizontal.

Etapa 2: Calcula-se da vazão de escoamento superficial para a área estudada. Dessa forma, admite-se que a vazão é calculada perante a equação (2) mostrada abaixo:

$$Q = C \times I \times A \times 10^{-3} \quad (2)$$

Onde, Q é a vazão de escoamento superficial (em m^3/h), o C é o coeficiente de escoamento superficial, o I é a precipitação (em mm/h) e o A é a área de contribuição (em m^2).

Etapa 3: Calcula-se a altura da barreira de contenção para um único evento de precipitação, seguido da devida adequação da quantidade de eventos de precipitação do nosso caso. O cálculo segue conforme a equação (3) mostrada abaixo:

$$H = \sqrt{2 \alpha Q t} \quad (3)$$

Onde, H é a altura da barreira de contenção (em metros), t é a duração do evento de precipitação (em horas) e Q a vazão de escoamento superficial (em m³/h).

Etapa 4: Nesta etapa será definido o espaçamento das estacas. Para a definição do espaçamento das estacas, normalmente utilizam-se entre 1,8 e 2,5 m (SHEA, 1994), e recomenda-se que o espaçamento seja menor que três vezes a altura da barreira.

Etapa 5: Nesta etapa será definido o tipo/material da estaca, após o dimensionamento do momento máximo atuante na estaca, obtido a partir do gráfico 1.

Etapa 6: Por fim, será definido a especificação do geotêxtil, após determinar a resistência a tração para o geotêxtil, a partir do gráfico 2.

4.3 Resultados

Dimensionou-se uma barreira de contenção de sedimentos utilizando geossintético, para uma análise do seu comportamento. Os cálculos encontram-se a seguir:

Etapa 1: Pela equação (1), tem-se que:

$$L_{MÁX} = 36,2e^{-11,1\alpha}$$

$$L_{MÁX} = 36,2e^{-11,1 \times 0,08} = 14,90 \text{ m}$$

Como a extensão total é de 100 m, adota-se o comprimento máximo igual a 12,50 metros, e estima-se que serão necessárias 8 barreiras para contenção total.

Etapa 2: Pela equação (2), tem-se que:

$$Q = C \times I \times A \times 10^{-3}$$

$$Q = 0,50 \times 120 \times 12,50 \times 10^{-3} = 0,750 \text{ m}^3/\text{s}$$

Etapa 3: Pela equação (3), tem-se que:

$$H = \sqrt{2 \alpha Q t}$$

$$H = \sqrt{2 \times 0,08 \times 0,750 \times 1,00} = 0,346 \text{ m} \times \text{Qtd Eventos} =$$

$$H = 0,346 \times 3 = 1,038 \text{ m}$$

Logo, adota-se uma altura de 1,040 m.

Etapa 4: Adota-se o espaçamento entre as estacas de 2,0 m.

Etapa 5: Nesta etapa define-se o tipo/material da estaca. O momento máximo atuante na estaca é obtém-se a partir do gráfico 1, admitindo-se o espaçamento de 2,0 m e considerando a altura da barreira de 0,90 m, encontra-se um $M_{\text{máx}} = 30 \text{ kN.m}$. Com isso, de acordo com o gráfico X, estacas de madeiras com dimensão 100x100 mm adequam-se ao sistema.

Etapa 6: Por fim, define-se a especificação do geotêxtil. Do gráfico 2, admite-se a resistência de tração requerida para o geotêxtil (T_{req}), obtém-se relacionando a altura da barreira com o espaçamento entre as estacas. Logo, tem-se $T_{\text{req}} = 25 \text{ kN/m}$. Assim, considerando o fator de redução para danos de instalação de 1,20, a tração útil define-se pela seguinte equação (4):

$$T_{\text{ult}} = T_{\text{req}} \times \text{fmr} \quad (4)$$

$$T_{\text{ult}} = 25 \times 1,20$$

$$T_{\text{ult}} = 30 \text{ kN/m}$$

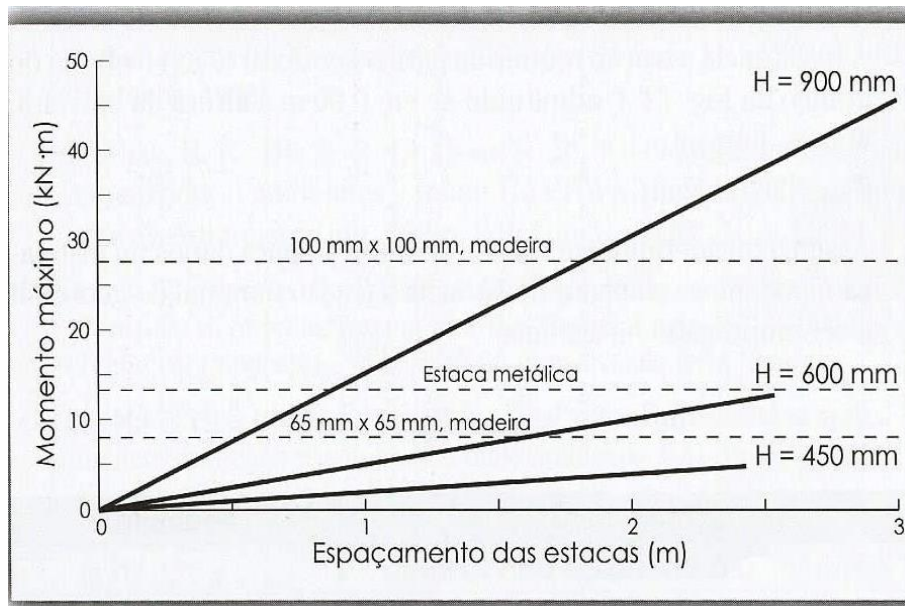
Quadro 3: Resistência à tração mínima necessária para a aplicação do geotêxtil.

Propriedade	Requisito
Resistência à tração de banda larga	$T_{\text{ult}} \geq 30 \text{ kN/m}$

Fonte: PRÓPRIA, 2017

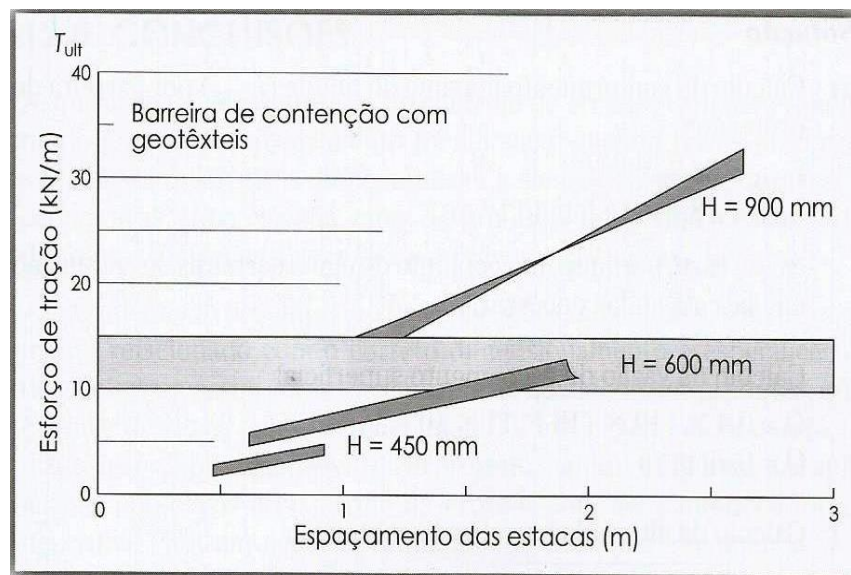
Logo, o geotêxtil para ser aplicado na barreira de contenção de sedimentos para o talude em questão, deve apresentar uma resistência à tração igual ou superior a 30 kN/m.

Gráfico 1: Dimensionamento do momento máximo



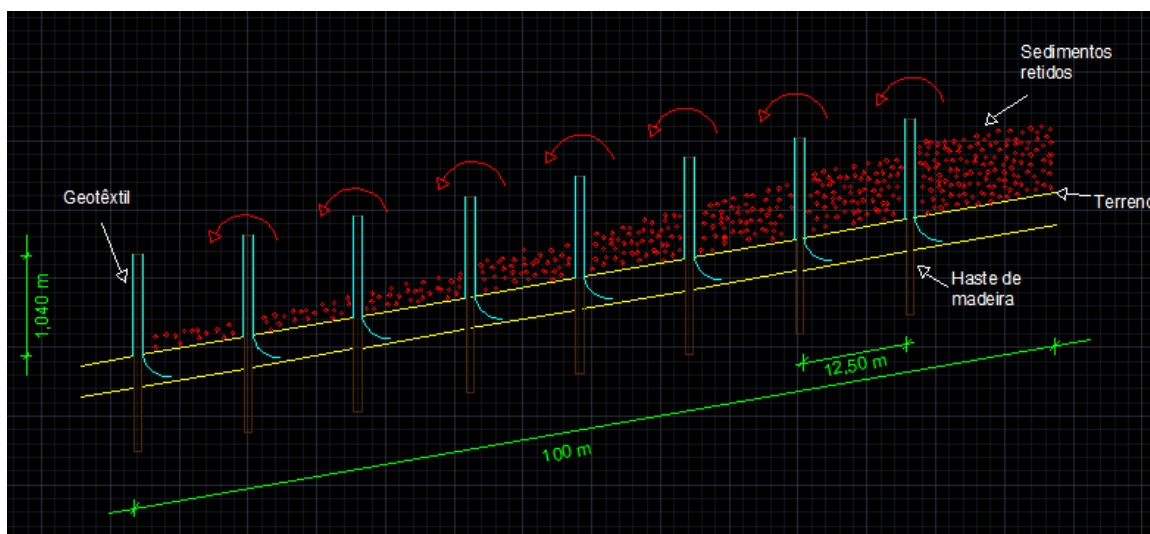
Fonte: RICHARDSON E MIDDLEBROOKS, 1991

Gráfico 2: Especificação do geotêxtil



Fonte: RICHARDSON E MIDDLEBROOKS, 1991

Figura 24: Dimensionamento do sistema



Fonte: PRÓPRIA, 2017

4.4 Execução

Ao realizar-se o dimensionamento, a fim de conhecer o número de barreiras que serão implantadas ao longo do terreno, a distância entre elas, o tipo de material das hastes, a altura dessas hastes a partir do nível do terreno, a resistência necessária para um determinado geotêxtil suportar os sedimentos, deformando de forma elevada sem se degradar, pode-se dar início a etapa de execução.

A execução para este tipo de solução é bastante simples de ser realizada. As barreiras de contenção foram construídas com o geotêxtil apoiado em várias estacas de madeira que ficam cravadas no terreno, conformando verdadeiros obstáculos que têm por objetivo a retenção dos sedimentos, resultado dos processos erosivos superficial, e também a função de filtração/drenagem, permitindo o escoamento da água.

4.5 Análise dos resultados

Realizou-se todo o dimensionamento do sistema, e os resultados atenderam às expectativas desejadas, que foram: conter os sedimentos causados pela erosão e permitir o escoamento das águas.

O geotêxtil escolhido para reter os sedimentos, deformando-se, mas suportando a deposição dos materiais, sem sofrer danos consideráveis, e com uma resistência à tração

superior ou igual a 30 kN/m, foi o geotêxtil não tecido Bidim RT-31, que atende a todos os parâmetros exigidos para ter um bom desempenho e trabalhabilidade, de acordo com o catálogo de especificações do fabricante.

A resistência à tração é um dos parâmetros mais importantes de serem analisados, porém, é fundamental, verificar também os parâmetros de abertura de filtração e espessura do geossintético que será utilizado, assim como verificar as características do solo erodido, como por exemplo, a sua granulometria. Pois, se por exemplo, o geotêxtil escolhido atende a resistência à tração exigida, mas possui uma abertura de filtração superior a granulometria do solo erodido, os sedimentos não ficariam retidos na barreira com o geossintético, e o material não serviria para ser aplicado no sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inúmeras possibilidades de aplicação dos geossintéticos e o desenvolvimento constante por parte dos fabricantes, torna-os uma opção extremamente viável para solução dos diversos problemas enfrentados na construção civil.

Tratando-se de um sistema real, o dimensionamento deve ser realizado de maneira bem mais otimizada, realizando amplas pesquisas de campo, análises das características do solo, e vários ensaios em laboratórios como: utilização de simuladores hidráulicos para analisar o geotêxtil como material de filtração, ensaios para avaliar a permeabilidade dos geotêxteis, ensaios para verificar a granulometria das partículas passantes pelo geotêxtil, ensaios para determinação da vazão, além de estimativas de volume de escoamentos superficial e volumes de sedimentos, para assim, verificar se há uma compatibilidade entre as propriedades do geotêxtil e o solo, e assim selecionar o tipo de material mais adequado para aquela situação, tanto pelas suas propriedades quanto pela questão econômica, e se necessário, aliar este material a outros de forma a aproveitar melhor suas vantagens e compensar suas imperfeições.

Com relação ao controle de erosão, a aplicação de geossintéticos apresenta várias vantagens. Pode-se destacar aquelas que estão relacionadas a facilidade de execução, a segurança, ao meio ambiente e também aos custos. Estes produtos quando comparados a outras soluções de controle da erosão, apresentam menor impacto ambiental, pois não serão necessárias à exploração de jazidas como ocorre em outros tipos de soluções, curto período de execução, pouco número de trabalhadores, além de viabilizar, tanto do ponto de vista construtivo como econômico, obras em locais de difícil acesso e sem dificuldades com transporte devido às distâncias acentuadas até as jazidas.

Ainda que os geossintéticos se apresentem como solução viável no controle de erosão ou em outro tipo de situação, além dos ensaios em laboratório, é de fundamental importância um estudo prévio de viabilidade econômica, de estabilidade e bom funcionamento do sistema a ser implementado, de forma a assegurar o emprego do material mais adequado e avaliar as demais opções.

Um dos pontos negativos que se pode destacar é com relação a falta de normas brasileiras para algumas soluções de engenharia, sendo necessário a procura por normas internacionais, para analisar a que mais se adapta para tal situação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Geossintéticos – Portal IGS Brasil. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/>>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

BALTAZAR, Paula Maria Roças. **Interfaces Solo-Geossintético em Corte em Plano Inclinado.** 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

BEZERRA, V. M. N.; COSTA, C. M. L.. **Análise da especificação de geossintéticos disponíveis no mercado nacional para controle de erosão em taludes.** In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 8, 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: Connepi, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/5502/2208>>. Acesso em: 30 de abril de 2017.

BIDIM. UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTIL BIDIM PARA CONTENÇÃO DE EROSÃO NA FAZENDA. 2008. Disponível em: <<http://www.bidim.com.br/casosdeobra/-utilizacao-de-geotextil-bidim-para-contencao-de-erosao-na-fazenda-mandala-sao-francisco-xavier-sp/>>. Acesso em: 13 maio 2017.

BIDIM. UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTIL BIDIM PARA PROTEÇÃO, BARREIRA DE SEDIMENTOS NA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA ENG. CONSTÂNCIO CINTRA. 2011. Disponível em: <<http://www.bidim.com.br/casosdeobra/-utilizacao-de-geotextil-bidim-para-protecao-barreira-de-sedimentos-na-duplicacao-da-rodovia-eng-constancio-cintra-em-itabira-sp/>>. Acesso em: 12 maio 2017.

BOIN, M.N. **Chuvvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada.** 2000. 264f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto Geográfico de Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, 2000.

CAMAPUM de CARVALHO, J.C., et al.. **Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro**. Editora FINATEC, 2006.

CAMPOS, Camila Jorge Moretti de. **AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE PELO MÉTODO INDERBITZEN EM SOLO NÃO SATURADO DA REGIÃO DE BAURU SP**. 2014. 154 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Unesp Universidade Estadual Paulista, Bauru - São Paulo, 2014.

CARNEIRO, José Ricardo da Cunha. **DURABILIDADE DE MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS EM ESTRUTURAS DE CARÁCTER AMBIENTAL – A IMPORTÂNCIA DA INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS**. 2009. 534 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Porto, 2009.

CARRIJO, B. Rodrigues; BACCARO, C. A. Dalvedove. **Análise Sobre a Erosão Hídrica na Área Urbana de Uberlândia (MG)**. Caminhos da Geografia – Revista On Line. Instituto de Geografia (UFU), 2000.

CARVALHO, José Camapum de; LIMA, Marisaides Cruz; MORTARI, Diógenes. **Considerações Sobre Prevenção e Controle de Voçorocas**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 03 a 06 de maio de 2001.

FARIAS, Rideci de Jesus da Costa. **UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÕES**. 2005. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Derretimento de geleira na Antártida pode elevar oceanos em até 2 metros**. 2016. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2016/05/1772850-derretimento-de-geleira-na-antartida-pode-elevar-oceanos-em-ate-2-metros.shtml>> Acesso em: 04 de maio de 2017.

GUIMARÃES, Bernardo Filipe Costa. **Erosão Costeira e Produção de Blocos para Obras de Proteção com Enrocamento**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2012.

GUIMARÃES, Thiago de Castro (Org.). **Geossintético e suas aplicações**. 2015. Disponível em: <<https://engmais.wordpress.com/>>. Acesso em: 10 maio 2017.

HOFFMAN, P.C.; SHAVER, R.D. **Grain quality**: A dairy cow's perspective. In: WISCONSIN CROP MANAGEMENT CONFERENCE, 2011, Madison, Wisconsin. Proceedings... Madison, Wisconsin: University of WisconsinExtension, 2011. p.51-73.

JORNAL ESTADÃO. **Concentração de CO2 na atmosfera é a maior em 800 mil anos, diz IPCC**. 2013. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,concentracao-de-co2-na-atmosfera-e-a-maior-em-800-mil-anos-diz-ipcc,1079435>> Acesso em: 30 de abril de 2017

LANGA, J. **Erosão Costeira na Cidade de Maputo**. Causas. Considerações sobre Intervenções de Defesa, Dissertação de Mestrado, FEUP, MEA, Porto, 2003

MACAFERRI (El Salvador). **Proteção de talude Santa Elena**. 2016. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/aplicacoes/control-de-erosao/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

PINESE JÚNIOR, José Fernando et al. MONITORAMENTO DE EROSÃO LAMINAR EM DIFERENTES USOS DA TERRA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 2, n. 20, p.157-175, 09 maio 2017.

SANTOS, Luana Maria dos. **Erosão em taludes de corte - métodos de proteção e estabilização**. 2015. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015.

VERTEMATTI, José Carlos, Curso Básico de Geotêxteis. ABINT. São Paulo, Brasil, 2001.

SOUZA, Henrique. **Manejo e conservação de solos**. 2014. Disponível em: <<http://blogdaengenhariacotidiana.blogspot.com.br/2014/03/manejo-e-conservacao-de-solos.html>>. Acesso em: 01 de maio de 2017

SOUZA, Natália da Costa et al. Análise da associação entre características topográficas e tipos de ocorrência de processos erosivos ao longo de linha férrea - estudo de caso: malha Paulista - all (SP). **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.947-969, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702014000400052>.

PINESE JÚNIOR, José Fernando et al. MONITORAMENTO DE EROSÃO LAMINAR EM DIFERENTES USOS DA TERRA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 2, n. 20, p.157-175, Dez. 2008.

VERTEMATTI, José Carlos, **Curso Básico de Geotêxteis**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2001.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

VOLK, L.B.S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (149 p.) Setembro, 2006.

