

**NILZA CAROLINA SILVA LEITE  
VICTOR DE FREITAS OLIVEIRA**

**O ESTUDO DO SOLO COM GEOCOMPOSTOS PARA  
APLICAÇÕES EM DRENAGENS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA  
BORGES**

**ANÁPOLIS / GO  
2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

LEITE, NILZA CAROLINA SILVA / OLIVEIRA, VICTOR FREITAS

O estudo do solo com geocompostos para aplicações em drenagens  
69P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                   |                                 |
|-------------------|---------------------------------|
| 1. Geocompostos   |                                 |
| 2. Geossintéticos |                                 |
| 3. Drenagem       | 4. Filtro                       |
| I. ENC/UNI        | II. Bacharel (10 <sup>o</sup> ) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEITE, Nilza Carolina Silva; OLIVEIRA, Victor Freitas. O estudo do solo com geocompostos para aplicações em drenagens. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 69p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

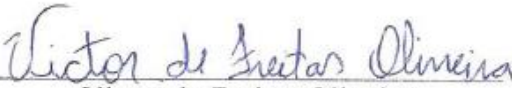
NOME DO AUTOR: Nilza Carolina Silva Leite

Victor de Freitas Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: O estudo do solo com geocompostos para aplicações em drenagens. GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

  
Nilza Carolina Silva Leite  
nilzaleeite@gmail.com

  
Victor de Freitas Oliveira  
victor33freitas@gmail.com

**NILZA CAROLINA SILVA LEITE**  
**VICTOR DE FREITAS OLIVEIRA**

**O ESTUDO DO SOLO COM GEOCOMPOSTOS PARA APLICAÇÕES EM  
DRENAGENS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**



\_\_\_\_\_  
**RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Mestre (UniEvangélica)**  
**(ORIENTADOR)**



\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**



\_\_\_\_\_  
**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 31 de Maio 2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo o dom da vida, pelo o seu sangue na cruz e seu infinito amor. Por ter me dado saúde, força e capacidade para superar todas as dificuldades que permitiu alcançar esta etapa tão importante da minha vida.

A minha mãe, Dulcineia Silva, e minha irmã, Izabela Pereira Silva, eu quero gritar bem alto meu agradecimento e o meu amor incondicional, porque nunca duvidaram das minhas capacidades e sempre apoiando todas as minhas decisões durante esta jornada árdua.

A minha eterna gratidão ao Centro Universitário de Anápolis, UniEvangélica, aos professores e orientadores pela oportunidade, paciência e sabedoria de adquirir conhecimentos de um ensino superior.

Aos meus colegas de classe, especialmente, Caroline Gomes, Flávia Lavinia, Marise Nakao e Patricia Xavier, por ter me proporcionado inúmeros momentos de felicidades. Obrigada por todas as vezes em que estenderam a mão para ajudar quando eu precisava. Esta caminhada não seria com sucesso sem vocês.

A minha dupla, Victor Freitas, o próprio teve companheirismo, paciência e compreensão pela minha pessoa, mesmo com a rotina agitada. Obrigada por ter participado em minha vida como um grande amigo e colega.

Obrigada a todos que não foram citados acima, que contribuíram diretamente ou indiretamente para a conclusão deste curso, do presente trabalho e principalmente para a Nilza em que me tornei.

Nilza Carolina Silva Leite

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer, inicialmente à minha família, minha mãe Roseli e meu pai Geraldo que sempre me incentivaram a estudar, e sempre me ajudaram de todas as formas possíveis diretas e indiretamente, minha madrinha Rosana e meu primo Lucas e meu primo Enauro, meus irmãos Vinícius e Geraldo Junior, agradeço aos momentos de alegria e fraternidade.

Ao professor orientador Rodolfo Rodrigues de Sousa Borges pela dedicação com que se dispôs sempre a ajudar, pelas contribuições que enriqueceram este trabalho, pelas pessoas que me apresentou, pela paciência e confiança e por toda a ajuda em meu trabalho.

A todos os professores do Centro Universitário de Anápolis, UniEvangélica, que ao longo do curso se dedicaram a compartilhar seus conhecimentos e me deram vários conselhos para minha formação.

Ao Eng. André Júnior Martins da empresa Maccaferri que me forneceu vários materiais de pesquisa e me ensinou muito.

A minha namorada Bárbara pelo carinho, apoio e compreensão em todos os momentos, agradecer pelos incentivos e por sempre estar ao meu lado.

À minha dupla Nilza Carolina Silva Leite pela amizade e companheirismo desde o início, pela imensa ajuda no desenvolvimento deste trabalho, pela compreensão e paciência nos momentos difíceis, foi uma ótima parceira a quem sou muito grato!

A todos aos meus parentes por manterem-se presentes apesar da distância.

Agradeço a todos meus amigos da faculdade que sempre tiravam dúvidas e me ajudaram, pelas brincadeiras, e principalmente pelos momentos de felicidade.

Finalmente, agradeço também a todos os demais que estiveram presentes durante esta etapa e me ajudaram de alguma forma e não foram citados.

## RESUMO

Os materiais Geossintéticos são geralmente feitos de plásticos orgânicos poliméricos sintéticos que podem ser usados na engenharia civil para corrigir complicações de geotecnia principalmente onde é exigido no local uma grande resistência no solo, controlar erosões, fazer drenagens, impermeabilizações, separar materiais entre outras diversas funções. É uma tecnologia que gera um grande benefício na sua aplicação, onde será demonstrado em um referencial teórico como pode ser viável a utilização deste material.

Mencionando desde sua origem e aos seus atributos, conjuntamente o desenvolvimento na execução gradualmente. De modo que este conhecimento exposto será analisado geocompostos selecionados pelos os autores, evidenciando as suas características físicas e hidráulicas como também o custo benefício para o engenheiro civil na sua obra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geossintéticos, geotecnia, solos, drenagem, filtro, hidráulica, execução.

## **ABSTRACT**

Geosynthetic materials are generally made from synthetic polymeric synthetic plastics that can be used in civil engineering to correct geotechnical complications mainly where high soil resistance, erosion control, drainage, waterproofing, separation of materials and other functions are required on site. It is a technology that generates a great benefit in its application, where it will be demonstrated in a theoretical reference how can be viable the use of this material.

Mentioning from its origin and its attributes, jointly the development in the execution gradually. So, this exposed knowledge will be analyzed geocomposites selected by the authors, evidencing their physical and hydraulic characteristics as well as the cost benefit to the civil engineer in his work.

**KEY WORDS:** Geosynthetics, geotechnics, soils, drainage, filter, hydraulics, execution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Organização de Filamentos dos Geotêxteis.....	19
Figura 2 -Aplicação de geomembrana em piscicultura.....	20
Figura 3 -Geomembrana destinado a recobrimento de lagoa.....	20
Figura 04 -Aplicabilidade da geogrelha no solo .....	21
Figura 05 -Geogrelha reforçando contenção em solo mole .....	22
Figura 06 - Estrutura dos georredes.....	24
Figura 07 -Armação do geocomposto.....	25
Figura 08 - Erosão interna e sufusão do solo .....	26
Figura 09 -Arranjo de partículas.....	26
Figura 10 -Colmatação em filtros geotêxteis .....	27
Figura 11 - Abertura de filtração .....	29
Figura 12 - Aplicações de geossintéticos como drenos e filtros.....	31
Figura 13 - Sentido do fluxo ao plano.....	32
Figura 14 – Geotêxtil aplicado em dreno-chaminé.....	32
Figura 15 - Geocomposto drenante e geotubo.....	33
Figura 16– Geossintético no revestimento de um túnel.....	34
Figura 17 – Geocomposto em laje de concreto .....	35
Figura 18 – Sistema de drenagem em campo de futebol .....	35
Figura 19 – Falha do sistema drenante do muro de contenção.....	37
Figura 20 – Falha ou inexistência do sistema drenante de rodovia .....	37
Figura 21 – Ruptura de muro de arrimo: falta de drenagem .....	38
Figura 22 – Aplicação trincheira drenante .....	42
Figura 23 – Tubo drenante instalado .....	42
Figura 24 – Abertura da vala drenante.....	43
Figura 25 – Aplicação geocomposto MacDrain 2L.....	47
Figura 26 - Aplicações MacDrain FP 2L.....	48
Figura 27 - Funcionalidade MacDrain FP 2L.....	49
Figura 28 - Rede de fluxo para o muro de 10 metros de altura .....	50
Figura 29 - Esquema de drenagem horizontal com Geotêxtil mais brita.....	53
Figura 30 - Esquema de drenagem com brita.....	53
Figura 31 - Esquema de drenagem horizontal com MacDrean 2L.....	54
Figura 32 - Comparação de custos do sistema horizontal.....	57



Figura 33 - Comparação de custos do sistema vertical..... 59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Obras relevantes no Brasil de 1971 a 2002 .....	14
Quadro 2- Principais polímeros utilizados .....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Capacidade de vazão do MacDrain TD.....	44
Tabela 2– Dados técnicos MacDrain TD.....	44
Tabela 3– Capacidade de vazão.....	45
Tabela 4– Propriedades hidráulicas.....	45
Tabela 5– Propriedades mecânicas.....	45
Tabela 6– Características físicas.....	46
Tabela 7 – Características MacDrain J.....	46
Tabela 8- Capacidade de Drenagem MacDrain 2L.....	51
Tabela 9– Capacidade de Drenagem MacDrain 2L para $i=0,01$ .....	54
Tabela 10 – Custos Totais com uso de brita mais o geotêxtil.....	55
Tabela 11– Custos Totais do Geocomposto MacDrain 2L Horizontal.....	56
Tabela 12-Gastos com materiais.....	58

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	Organização Internacional de Normalização
BR	Brasil
SP	São Paulo
RS	Rio Grande Do Sul
MA	Maranhão
BA	Bahia
MT	Mato Grosso
PA	Pará
RJ	Rio De Janeiro
PET	Poliéster
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	Cloreto de polivilina
CPE	Polietileno Clorado
PA	Poliamida
EPS	Geoexpandidos
UV	Ultra vermelho

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1 <b>Objetivo Geral</b> .....	11
1.2.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	11
1.3 METODOLOGIA .....	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 A ORIGEM DOS GEOSSINTÉTICOS .....	13
2.2 OS PRINCÍPIOS BÁSICOS DA GEOTECNIA .....	15
2.3 ATRIBUTOS .....	16
2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS .....	18
2.4.1 <b>Geotêxteis</b> .....	18
2.4.2 <b>Geomembranas</b> .....	19
2.4.3 <b>Geogrelhas</b> .....	21
2.4.4 <b>Georredes</b> .....	23
2.4.5 <b>Geocompostos</b> .....	24
2.5 CONCEITOS DE FILTRAGEM .....	25
2.6 DRENAGEM COM GEOSSINTÉTICOS .....	28
2.7 CONDICIONANTES PARA O FILTRO GEOTÊXTIL .....	29
2.8 PARÂMETROS DE APLICAÇÕES .....	31
2.9 SUSTENTABILIDADE .....	35
2.10 PRODUTOS QUE NÃO ATENDEM ÀS NORMAS TÉCNICAS .....	36
<b>3 Utilização de Geossintéticos específicos para drenagem</b> .....	<b>39</b>
3.1 APLICAÇÃO EM TRINCHEIRAS .....	39
3.1.1 <b>Definição de trincheiras</b> .....	39
3.1.2 <b>Utilização: Vantagens e Desvantagens</b> .....	40
3.1.3 <b>Manipulação</b> .....	40
3.2 MODELOS DE GEOSSINTÉTICOS E SUAS PROPIEDADES: .....	41
3.2.1 <b>MacDrain TD</b> .....	41
3.2.2 <b>MacDrain J</b> .....	46

3.2.3	<b>MacDrain 2L 20.2</b> .....	47
3.2.4	<b>MacDrain FP 2L 20.2</b> .....	48
3.3	COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM VERTICAL E HORIZONTAL.	49
3.3.1	<b>Vertical</b> .....	49
3.3.2	<b>Horizontal</b> .....	52
3.4	COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE O SISTEMA DE DRENAGEM COM O GEOCOMPOSTO MACDRAIN 2 L E O SISTEMA CONVENCIONAL: .....	55
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

No passado, a população utilizava materiais vegetais formados de fibras resistentes como palhas, bambus e estivas de junco para reforço dos solos, uma prova disso é que foram encontrados na grande muralha da China e em algumas construções do Império Romano. Com o grande desenvolvimento dos polímeros iniciou o surgimento dos Geossintéticos, em obras costeiras foram utilizados geotêxtis como componentes de filtração (VERTEMATTI, 2004).

O progresso do geossintéticos na fase moderna foi evoluindo a cada década. Desde o uso em obras hidráulicas para proteção ante erosiva, como reforço entre elementos empregados em ações viárias. Do mesmo modo para muros de contenção, taludes, recapeamento asfálticos e condições ferroviárias (VERTEMATTI, 2004).

Desde então, a aplicabilidade de geossintéticos para obras de contenção e reforço de fundação vem aumentando gradativamente. No início dos anos 70, foram construídas as primeiras obras de contenção utilizando geotêxtis. (MITCHELL VILLET, 1987, p.85).

Com esta descrição anteriormente, as evoluções foram desenvolvidas por tecnologias e estudos para melhorar o progresso e gerar mais resultados na Engenharia Civil, destacando o ramo da Geotecnia. Ou seja, âmbito que lida com a integração de qualquer natureza com a fundação do projeto. O seu uso como um elemento de reforço vem sendo empregado ao decorrer dos anos visto que no mercado da construção civil, os geossintéticos vem ganhando o seu espaço.

Segundo Palmeira (2004, p.36) “os geossintéticos são materiais que podem ser empregados no solo com a função de reforço, atuando em diferentes áreas que a engenharia abrange.”

O geossintéticos atua na separação de duas camadas de solo que têm distribuições de partículas diferentes. Por exemplo, geotêxteis são usados para evitar que os materiais da base penetrem no solo mole de camadas subjacentes, assim mantendo a espessura da camada de projeto e a integridade da estrada. O geossintético também auxilia na prevenção do “bombeamento” de finos para o interior da camada granular permeável das estradas. (AMAURI 2015, p.06)

Por conseguinte, os geossintéticos tem como uma atribuição em destaque, a drenagem em solos. Esta por toda via, atua como filtração para o controle de erosão em aterros, contenção, áreas de disposição de resíduos, etc. (GOURC, 2008, p.02)

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Justificava-se essa pesquisa, pela importância da aplicação de Geossintéticos para evitar instabilidades na estrutura causadas por fluidos. Com a iniciativa de inserir e demonstrar as vantagens e desvantagens que essa tecnologia proporciona junto com o meio ambiente. Agregando melhorias e economias no processo da construção e também a conscientização aos consumidores quanto a importância de práticas sustentáveis.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste presente trabalho é verificar o funcionamento e as propriedades dos geossintéticos aplicados quanto ao seu uso em construções para drenagem e filtração.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Analisar e conceituar as técnicas de aplicação de geossintéticos, especialmente os geocompostos na sua função de drenagem, debater os seus proveitos e detrimentos, suas vantagens e desvantagens, aferir a capacidade de tração que estes conseguem proporcionar e os custo reais que geram para o engenheiro civil.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada é de caráter bibliográfico dividido em duas etapas. Onde a primeira buscamos informações em fonte literárias científicas: monografias acadêmicas, dissertação de mestrado, artigos e congressos que abordam o tema em questão. Além disso, foi efetuada a segunda parte, a pesquisa exploratória, que através da revisão bibliográfica procurou se verificar a viabilidade da utilização dos materiais da empresa Maccaferri.



#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O exposto trabalho de conclusão de curso estrutura-se em quatro capítulos, apresentando-se no primeiro as qualidades físicas que os geossintéticos proporcionam para construção civil, além de descrever o quão importante é uma decisão para inserir métodos e técnicas na engenharia. Evidenciando no segundo, o desenvolvimento de variadas técnicas, especificamente geocompostos para suplementar e drenar o solo baseados em vários autores. No terceiro é expor o conhecimento teórico sobre geocomposto específicos com suas funções e aplicabilidade a fim de revelar as vantagens e as desvantagens do assunto abordado. No quarto caracteriza as supostas ações para melhorar o uso e aplicação dos geocompostos na drenagem.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A ORIGEM DOS GEOSSINTÉTICOS

O princípio dos geossintéticos para beneficiar as particularidade dos solos vem desde 3000 a. C. Com a prática de misturar plantas floríferas, solo com palhas, etc., comumente da cultura empregadas pelos cidadãos da Mesopotâmia, China e em outras obras do Império Romano. (VERTEMATTI,2004)

Segundo Vertematti (2004), o nascimento dos materiais sintéticos fabricados pela a indústria têxtil, a mesma pioneira no processo da Revolução Industrial no Brasil, sucedeu devido os seguintes polímeros:

- Poliamida, em 1930, produzido comercialmente em 1940;
- Poliéster, em 1930, produzido comercialmente em 1949;
- Polietileno, em 1949 (baixa resistência), 1954 (alta resistência);
- Polipropileno, em 1954, produzido comercialmente no final dos anos 1950;
- PVC, em 1913, produzido comercialmente em 1934;

Na década de 1960 foi um grande marco no período de crescimento econômico dos países da União Europeia, pelo o fato que os mesmos terem deixado de arrecadar impostos sobre as trocas comerciais realizadas entre si. (VERTEMATTI,2004)

Com isso foi proporcionado o desenvolvimento dos geossintéticos compostos pela tecnologia de manufatura de malhas sintéticas ou seja as georredes que será apresentada posteriormente no presente trabalho.

No momento atual com as tecnologias avançadas para a área da engenharia, já encontra-se uma diversidade de polímeros voltados para serem incorporados à fabricação no mercado dos geossintéticos com propriedades além do esperado, afim de suprir as necessidades modernas da engenharia civil.

Na década de 1950, na Holanda, nas zonas costeiras do mar do Norte se realizou as primeiras aplicação dos geossintéticos para atuar como dreno em escora antierosiva, iniciando com sacos de areia e conseqüentemente introduzindo tecidos de náilon em obras hidráulicas. (VERTEMATTI, 2004)

Já nos países da América do Norte, os vanguardistas foram os pioneiros em aplicar geossintéticos não tecido de fibra em manta asfálticas. O continente Asiático foi além das

expectativas, reforçou os solos moles para receber o aterro, desenvolvendo uma nova classe para os geocompostos como elemento separador entre materiais com características mecânicas e físicas opostas. (VERTEMATTI, 2004)

A partir de 1970 com a instabilidade e incerteza do âmbito Brasileiro socioeconômico, a introdução dos primeiros geossintéticos no território citado ultrapassou as expectativas positivas no progresso do campo de análise científicas, no surgimento de novos produtos na área de engenharia dos solos como a evolução de conhecimento de seus respectivos profissionais. (VERTEMATTI, 2004)

A inauguração dos geossintéticos no solo brasileiro teve como o objetivo amparar os aterros sobre solos de mínima qualidade significativa e em construções rodoviárias, no caso a BR-101. Logo após o sucesso das aplicações, em 1981, as produções desses aceleraram, demonstrado no quadro 01 o crescimento das aplicações. (VERTEMATTI, 2004)

**Quadro 1-Obras relevantes no Brasil de 1971 a 2002**

<b>Aplicações</b>	<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Detalhamento</b>
Aterro sobre solo mole	1971	Angra dos Reis (RJ)	Camada de separação e reforço na BR-101; Rodovia Rio-Santos; DNER
Drenagem profunda	1975	Araraquara (SP)	Drenos longitudinais profundos em silo horizontal enterrado; Ceagesp
Enrocamentos marítimos	1977	Angra dos Reis (RJ)	Contenção de aterro mecânico; terminal de Ilha Grande; Petrobrás
Barragem de terra	1978	Bagé (RS)	Tapete drenante da Barragem de Terra de Sangra Rosa
Diques contínuas de geotêxtil	1980	São Luís (MA)	Aterros hidráulicos para construção de conjuntos habitacionais; DNOS
Revestimento impermeabilizante	1980	Salvador (BA)	Canal do sistema de adução de Pedra do Cavalo
Lastro ferroviário	1981	São Paulo (SP)	Camada separadora entre o lastro e o subleito; Fepasa

<b>Aplicações</b>	<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Detalhamento</b>
Revestimento Impermeabilizante	1983	São Luiz (MA)	Tanque de resíduos industriais; Alcoa
Revestimento Impermeabilizante	1997	Sorocaba (SP)	Tanque de água de incêndio; Copenor
Revestimento Impermeabilizante	2002	Itiquira (MT)	Canais de adução da UHE, de Itiquira
Revestimento Impermeabilizante	2002	Barcarena (PA)	Bacias de deposição de rejeitos da Alunorte

Fonte: VERTEMATTI, José Carlos.2004

Logo na década de 1990, os estudos teóricos já estavam ricos de ensaios e análises científicas, de acontecidos históricos e novas aplicações, originando o surgimento de uma diversidade múltipla de produtos combinados a serem empregados em inúmeras finalidades importantes para o solo. (VERTEMATTI, 2004)

São constados mais de quatrocentos artigos geotécnicos e manipulados em mais de cem aplicações diferentes de acordo com Gardoni e Palmeira (2002). Isso vem beneficiando a atividade acadêmica com o passar do tempo, uma evolução sensível e rica.

Representando hoje em dia nas disciplinas dos cursos superiores de engenharia, conseqüentemente em simpósios e congressos representados crescentemente por brasileiros.

## 2.2 OS PRINCIPIOS BÁSICOS DA GEOTECNIA

Na engenharia Civil, o solo é fundamental e valioso para as obras, além de ter inúmeras finalidades em áreas diferentes da Engenharia. Este é considerado um material heterogêneo, com propriedades excepcionais evidenciando para as suas reações às tensões, referindo à compressão que não são versáteis podendo influenciar o seu desempenho, e anisotrópico, ou seja, suas qualidades e insumo são opostos.

Para solucionar os problemas e desafios apresentados anteriormente, os estudos avançados contribuíram para uma multiplicidade de métodos de investigação de subsolos. No Brasil o habitual é a sondagem, SPT, ou seja é um mecanismos de obter ricas informações para o profissional da área tomar decisões de projeto logo sua execução.

Visto que a Geotecnia é o ramo da Engenharia Civil que examina os solos e as rochas e como enfrentam as ações diárias do homem. Sendo vulnerável ao meio ambiente, tem gerado uma intensa preocupação para esta área em todos os seus aspectos significativos.

Ganhando ênfase no desabamento, desmoronamentos, deslizamentos, prevenção dos lençóis freáticos, administração dos impasses dos lixos.

### 2.3 ATRIBUTOS

Atualmente, os polímeros, ou melhor, as fibras, plásticos, adesivos, coberturas, borrachas e o principal os geossintéticos estão invadindo o nosso cotidiano, para proporcionar uma desenvoltura e qualidade na construção civil.

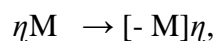
Para uma melhor compreensão a matéria prima dos polímeros em 1933, para nomear moléculas de pesos múltiplos. O termo é de origem grego, composto pelo o recurso de polimerização pois o prefixo poli remete “varias” e meros revela “fragmento”.

De acordo com os relatos de Ferreira Gomes (2001, p. 03), a definição do tema em que está em estudo no presente trabalho é composto por uma adição de terra com produto manufaturado pelo homem, ou seja, um produto que é fabricado a partir de materiais naturais aplicados no solo.

Os artefatos naturais citados acima são idênticos com tecidos e feitos de polímeros, tais como poliéster(PET), polietileno(PE), polipropileno(PP), cloreto de polivilina (PVC), náilon, polietileno clorado (CPE), poliamida (PA). (BRAJA, 2007, p. 165)

Em concordância com Braja (2007), estes polímeros citados são de menor escala em relação a essência de aditivos em sua produção. Por sua vez tem a atribuição melhorias nos processos de fabricação na engenharia geotecnia.

Através de Vertematti (2004, p. 185), “os polímeros são resultados do encadeamento de átomos de carbono, os monômeros que são estruturas de repetição, e de grupo de ponta que são mínimas estruturas que terminam a cadeia geotêxtil, o processo se resume pela equação”:



Onde  $\eta$  é o grau de polimerização,  $M$  é o monômero e  $[- M] \eta$  o polímero resultante.

Os polímeros citados anteriormente, são estruturados continuamente por monômero ou por mais de um. Neste último caso a composição é constante ou alternada, onde os arranjos são não-linear entre os blocos. São classificados através da sua estrutura de cadeia polimérica, em classes lineares, ramificados e em rede. Logo em seguida, no quadro 02, pode-se notar os principais polímeros que compõe os geossintéticos.

**Quadro 2- Principais polímeros utilizados**

<b>Polímero</b>	<b>Sigla</b>	<b>Aplicações</b>
Poliétileno	PE	Geotêxtil, geomembrana, geogrelhas, geotubos, georredes e geocompostos
Poliestireno expandido	EPS	Geoexpandidos
Polipropileno	PP	Geotêxtil, geomembrana, geogrelhas e geocompostos
Polivinil clorado	PVC	Geomembranas, geotubos e geocompostos
Poliéster	PET	Geotêxteis e geogrelhas
Poliestireno	PS	Geocompostos e geoexpandidos
Poliamida	PA	Geotêxtil, geogrelhas e geocompostos

Fonte: VERTEMATTI, José Carlos.2004

Além desses citados anteriormente, alguns geossintéticos também são composto por aditivos, como plastificantes, antioxidante, inibidos do raio ultravioleta (antiUV), entre outros. Eles contem complemento de flexibilidade com aspecto de borracha, podendo ser danificados por volatilização, extração e ataque biológico, destacando para o aquecimento global.

A principal causa da deteriorização de um geossintéticos, é o efeito da fotoxidação, causada pela radiação UV a mais energética, como também tem inúmeras ações prejudiciais aos geossintéticos. Pois causa uma ruptura de ligações dos polímeros que constituem o próprio, recomenda-se anexar com aditivos anti UV, sendo hidrocarboneto líquido o mais usual na confecção.

Diante de todas as virtudes, há enormes alternativas de combinações entre as composições oferecendo diferentes opções de geossintéticos cada uma com a sua especificidade atribuída para o uso no solo, como: proteção, separação, filtração, drenagem, reforço, controle de erosão superficial e impermeabilização.

Para que um polímero tenha boa resistência mecânica é essencial que possua determinadas características, tais como rigidez, durabilidade, elasticidade e resistência química.

Justificando pelo o fato que o peso molecular é primordial para afetar o comportamento mecânico, visto que quanto maior o peso molecular, maior a resistência do material geossintéticos e dificuldades superiores para a produção.

Quanto o proceder mecânico, quanto a estrutura química do polímero são de suma importância, já que, a inclusão de pontes de hidrogênio em moléculas não-polarizadas resultam o crescimento do peso molecular. Mas também quando o material é misturado em ambientes agressivos.

Geralmente quanto mais cristalino o polímero, mais resistente quimicamente ele é, por causa das cadeias poliméricas.

Nota-se que os geossintéticos estão vulneráveis a agressividade química e mecânica, portanto deve-se ter atenção e cautela nas condições e à escolha adequada do polímero atender a cada tipo de aplicação. Embora o geossintéticos não dependem apenas do tipo de matéria-prima utilizada, mas em uma combinação de fatores que o influencia no processo.

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS TÉCNICAS

Conforme a NBR ISO 10318-2:2018, os polímeros pode-se apresentar na forma de manta, estrutura tridimensional, ou tira, utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil.

Os geossintéticos podem ser classificados em abundantes gêneros dependendo do procedimento de fabricação do mesmo. Pois sofreram um grande desenvolvimento que levou ao surgimento de uma diversidade tipo de materiais, como: Geotêxteis, geomembranas, geogrelhas, georredes e geocompostos (BATHURST, 2003).

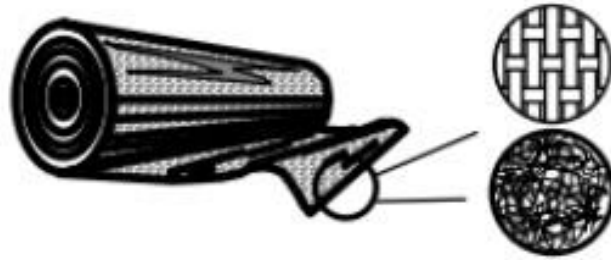
### 2.4.1 Geotêxteis

Para Amauri (2015), os geotêxteis são mantas contínuas de fibras, tecidos, não tecidos, tricotados ou planos. Estas são flexíveis e permeáveis. Devido as propriedades mecânicas e hidráulicas eles podem desenvolver em várias funções em obra geotécnica.

As principais aplicações dos geotêxteis são em filtros, em drenos e como elementos de proteção de geomembranas. Os geotêxteis podem trabalhar diretamente com o solo ou em camadas. Sua utilização é muito comum na construção de aterros sanitários e canais. (DANTAS & AGUIAR, 2004, p.208)

A sua estrutura pode ser do tipo tecido ou não tecido, quando suas fibras não seguem nenhum padrão de organização dos filamentos pois quando são fabricados seguem em agrupamentos aleatoriamente, ou fibras em forma de uma trama, conforme a figura 01 que demonstra estes filamentos. (BATHURST, 2003)

**Figura 1-Organização de Filamentos dos Geotêxteis.**



Fonte: BATHURST, 2003

A sua estrutura podem ser do tipo tecido ou não tecido, quando suas fibras não seguem nenhum padrão de organização dos filamentos pois quando são fabricados seguem em agrupamentos aleatoriamente, ou fibras em forma de uma trama. (BATHURST, 2003)

#### **2.4.2 Geomembranas**

As geomembranas são executadas com polímeros termoplásticos, incluindo, o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno clorado e a poliamida. Podendo ser praticamente barreiras ao líquido ou vapor por conta de realização de ensaios que sucedeu que a sua condutividade hidráulica na faixa de  $10^{-10}$  a  $10^{-13}$  cm/s, porem são consideradas por pouco impermeáveis. (BRAJA, 2007)

Com essa consideração muitas das vezes as geomembranas são reforçadas com tecidos para resultar um obstáculo hidráulico de qualidade. Resultando as resistências aos raios UV e aos ataques químicos, um desempenho importante já que as bordas e margens de lagos ficam expostos a esse tipo de radiação.

Esta é bastante utilizada como bloqueio em sistemas de controle e desvio de fluxo, demonstrado a seguir na figura 02 e figura 03, concedendo a impermeabilização de aterros sanitários, aterros químicos, lagoas de tratamento de chorume e dejetos, barragens, tanques de piscicultura, esterqueiras, entre outros.



**Figura 2 -Aplicação de geomembrana em piscicultura**



Fonte: OLIVEIRA, 2018

**Figura 3 -Geomembrana destinado a recobrimento de lagoa**



Fonte: OLIVEIRA,2018

Destacando a sua principal colocação para o controle de fluxo de líquidos e gases, com as principais aplicações: (OLIVEIRA, 2018)

- Aterros sanitários
- Barragens

- Canais hidráulicos
- Estação de tratamento
- Lagos para vinhoto
- Tanques de reservatórios e piscicultura

É evidente, na circunstância em que o reservatório seja utilizado para o cultivo de plantas ou piscicultura, o material encaminhado para a convecção da geomembrana deve ser atóxico. Considerando que seja estável ao ataque microbiano, evitando a formação de microorganismos. (BRAJA, 2007, p. 103)

Sujeito à variação de possíveis movimentações da terra ou da estrutura, independentemente do material, a geomembrana deve possuir uma elasticidade acima de 300% sob a taxa suficiente para adequar o material a topografia. (BUENO,2004)

Devido a essa instabilidade do solo e a dilatação térmica ao material é recomendada a instalação no período do dia em que o mesmo não fique suspenso em momento algum. Para não ocorrer deformação do material e nenhum reparo para realizar após a instalação.

### 2.4.3 Geogrelhas

Dispõem-se produtos com estrutura em forma de grelha, usualmente as geogrelhas, com função predominante de reforço e apoio, cujas características mecânicas é direcionada à tração podendo ser bidirecional e ortogonal, exposto na figura 04. (BUENO,2004)

**Figura 04 -Aplicabilidade da greogrelha no solo**



Fonte: Bueno,2004.

As propriedades mecânicas ocorrem na parte inferior de dois mecanismos, cisalhamento na interface e o cisalhamento do solo confinado nos orifícios da malha. O primeiro acontece no contato entre o solo e as tiras longitudinais e transversais mobilizando o atrito entre o elemento polimérico e o solo adjacente. (BUENO,2004)

De acordo com Lopes (2010) a mobilização ao cisalhamento entre solos e mantas geocomposto é um fenômeno bidimensional influenciado pela extensibilidade do material. Impulsionando o atrito superficial solo-geogrelha para pequenos deslocamentos e o empuxo passivo nas barras transversais à medida que o deslocamento aumenta.

São executadas a partir de materiais sintéticos de alto módulo e baixa deformação incluídos em um revestimento polimérico de proteção de modo a garantir uma alta estabilidade nas intersecções.

Sendo que há mais de duas décadas a matéria-prima básica tem sido o poliéster de alto módulo (PET), porem com os avanços tecnológicos foram adicionados polímeros avançados e de melhor desempenho especialmente com substâncias alcalinas, como o álcool polivinílico (PVA) e aramida, apresentando uma resistência superior aos agentes químicos do solo.

Para a empresa Maccaferri (2010, p. 02) as aberturas e a rugosidade das geogrelhas interagem com o solo, transmitindo a estes as suas propriedades mecânicas, obtendo assim um reforço a sua função.

Direcionando a sua utilização á estruturas de contenção proporcionalmente a figura 05, aterros sobre solos de baixa suporte, pavimentação entre outros.

**Figura 05 -Geogrelha reforçando contenção em solo mole**



Fonte: SOUSA,2005.

São ligas entrelaçadas com formas retangulares, produzidas com fibras sintéticas e tratadas, possuem dimensões estáveis assegurando que a resistência à tração interna não apresenta mobilização sem deformação excessiva. (SOUSA,2005)

A aplicação estrutural é predominante em obras de reforço de infraestrutura de aterros, pavimentação, estabilidade de taludes, muros de arrimo, controle de erosão e vegetação, condução, filtração e drenagem. Originando os seguintes ganhos: (SOUSA,2005)

- Alta resistência química e mecânica
- Estabilidade e reforço em vias
- Excelente correlação custo e benefício
- Maior resistência à radiação UV
- Modulo de rigidez elevado

Em algumas empresas de confecções de materiais para obras de engenharia, geotecnia e de proteção ambiental, produzem as geogrelhas com filtro. Dispondo além das propriedade mecânicas padrão, a permeabilidade e excelente capacidade de filtração, atuando como um elemento de separação entre solos. (SOUSA,2005)

#### **2.4.4 Georredes**

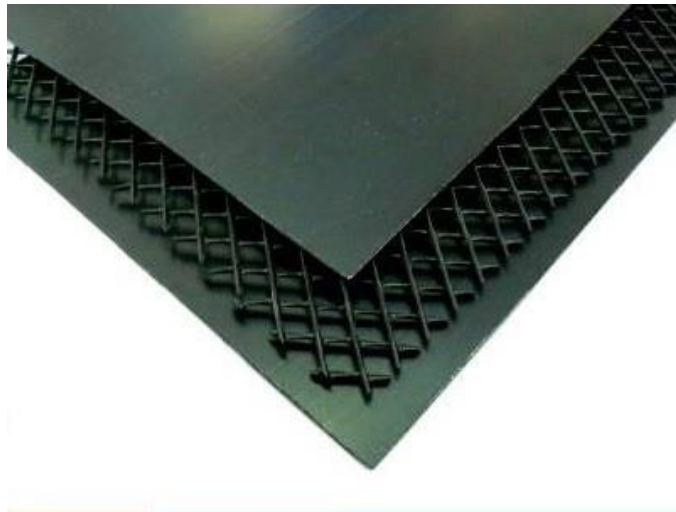
Para aperfeiçoar a aplicabilidade das geogrelhas, foram criados as georredes. Um produto com estrutura em forma de grelha flexível, com função predominante de drenagem e distribuição de cargas, caracterizada pela sobreposição de duas series de fios. (GAIOTO,1997)

A estrutura é formada especificamente para transmitir o fluido de maneira uniforme sob uma grande variedade de condições de campo, ou seja, o seu papel é para atuar semelhante a um dreno, escoando líquidos e gases em obras de engenharia.

Com isso consegue-se propiciar grande vazão apesar de pequena seção transversal, com a estrutura tridimensional com grande volume de vazios e ótima resistência química e mecânica.

Produzida a partir da extrusão de uma malha de PEAD e fios de poliéster de alta tenacidade, com revestimento contra raios UV e resistência deterioração mecânica e química, representada na figura 06 logo abaixo. (GAIOTO,1997)

**Figura 06 - Estrutura dos georredes**



Fonte: VERTEMATTI,2004

Elaborada para ser um material de reforço, de fácil instalação, possui dimensão estáveis que garantem a resistência a tração sem formação excessiva nas seguintes aplicações: (VERTEMATTI,2004)

- Aterros
- Contenções
- Pavimentação
- Rodovias e ferrovias
- Taludes

#### **2.4.5 Geocompostos**

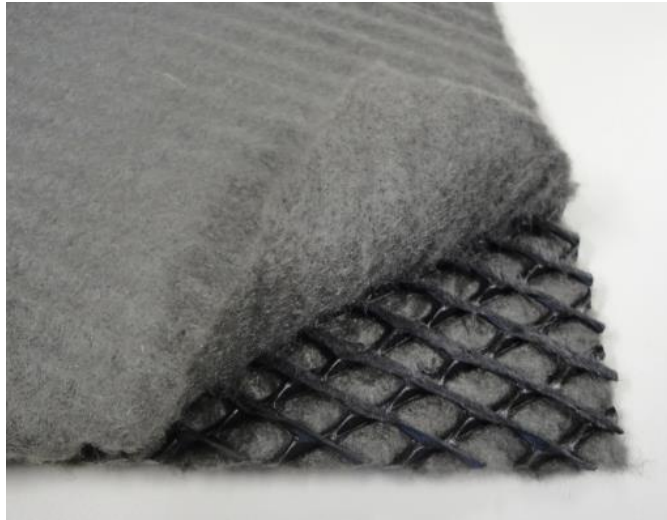
O eixo do contemporâneo trabalho é focalizado nos geossintéticos mais indicados e utilizados em obras de drenagem, conhecidos como geocomposto, este produzido pela união de um ou mais filtros geotêxteis, como georredes, geomanta ou geoespaçador a um núcleo drenante. (VERTEMATTI,2004)

A presença de águas de infiltração e percolação em obras engenheiras, é um vantajoso transtorno para o profissional responsável pela área. Com isso foi necessário criar e prover estas obras eficazes um sistemas drenantes que evitem a presença de águas em pontos que possam comprometer a estrutura.

Esta geomanta é fabricada a partir de filamentos de polipropileno ou poliamida, tendo índice de vazios em torno de 95%. O núcleo é termosoldado a um ou dois geotêxteis não-tecidos

de poliéster em todos os pontos de contato em conformidade com a figura 07. (ZUQUETTE, 1993)

**Figura 07 -Armação do geocomposto**



Fonte: ZUQUETTE, 1993

Com isso, no catálogo Maccaferri (2008), realizou a patente de um Geossintético específico, inserindo no mercado o geossintéticos MacDrain. Sintetizando, são direcionados a obras de drenagem, levando para o comércio as principais aplicações, como:

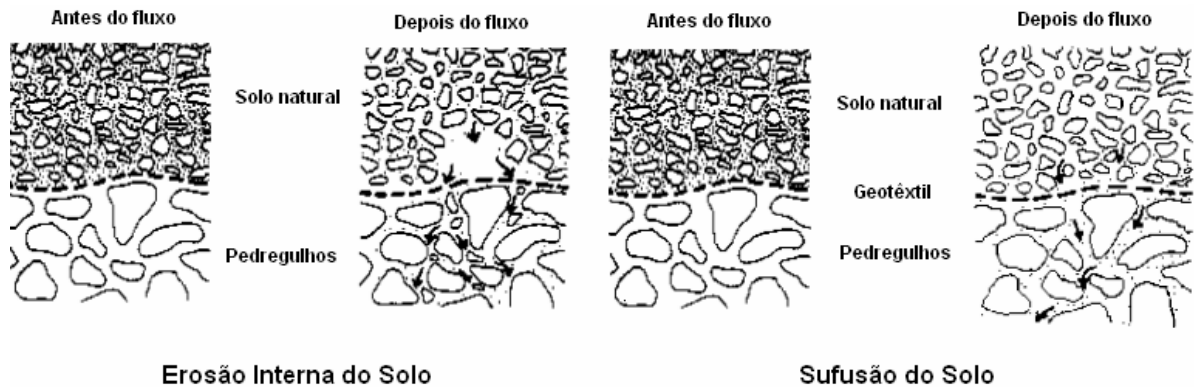
- Drenagem de cortinas, contenções.
- Drenagem superficial de pavimentos
- Rebaixamento do lençol freático
- Sistema de detecção de vazamentos em sistemas de proteção ambiental

## 2.5 CONCEITOS DE FILTRAGEM

A água ao percolar no solo pode gerar forças que quando sob determinado gradiente hidráulico provocam uma instabilidade na estrutura, e lavando algumas partículas do solo, dessa forma pode ocorrer o fenômeno de erosão interna ou também o fenômeno de sufusão (MUÑOZ, 2005).

É denominada erosão interna quando ocorre a perda de partículas do solo de tamanhos variados. Isso faz surgir grandes vazios na estrutura e sufusão na migração do particulado fino pelos canalículos formados pelas partículas com dimensões de tamanho maior em função das condições de fluxo. A figura 08 ilustra estes conceitos.

**Figura 08 - Erosão interna e sufusão do solo**

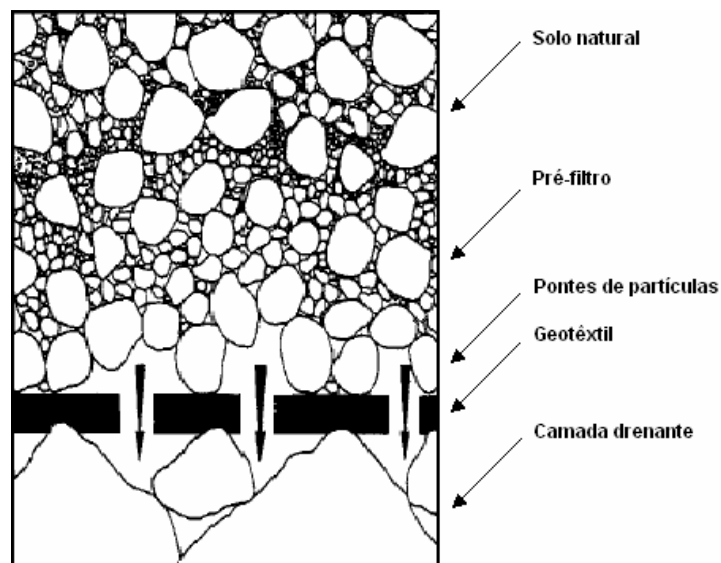


Fonte: JOHN, 1987

As partículas devem ser bloqueadas pelo geotêxtil fazendo assim uma estrutura formada por arcos ou pontes de partículas sobre os poros superficiais do geotêxtil, deste modo vai haver uma boa condição filtrante.

De certa forma, a filtração não é exclusivamente uma função apenas do geotêxtil, o solo a ele adjacente também contribui nesta finalidade, essencialmente quando o fluxo é unidirecional, pois nessa situação há um considerável perda de parte das partículas mais finas do solo quando é aplicado o primeiro fluxo de água, onde a perda é maior relevante no solo de imediato paralelo ao geotêxtil, gerando um ambiente que as partículas com maior espessura impedem a movimentação das partículas finas do solo constituindo dessa forma o pré filtro ilustrado na figura 09. (JONH; MUÑOZ, 2005,p.27)

**Figura 09 -Arranjo de partículas**



Fonte: MUÑOZ,2005

Não se exige a prevenção da migração de todas as partículas do solo quando o solo é retido e sim que o solo a montante do filtro conserve-se imóvel. Outra forma de dizer, é que em algumas partículas pequenas acabam migrando pelo filtro sem que a estrutura do solo seja afetada por essa migração, pois nenhum movimento significativo é causado na massa do solo.

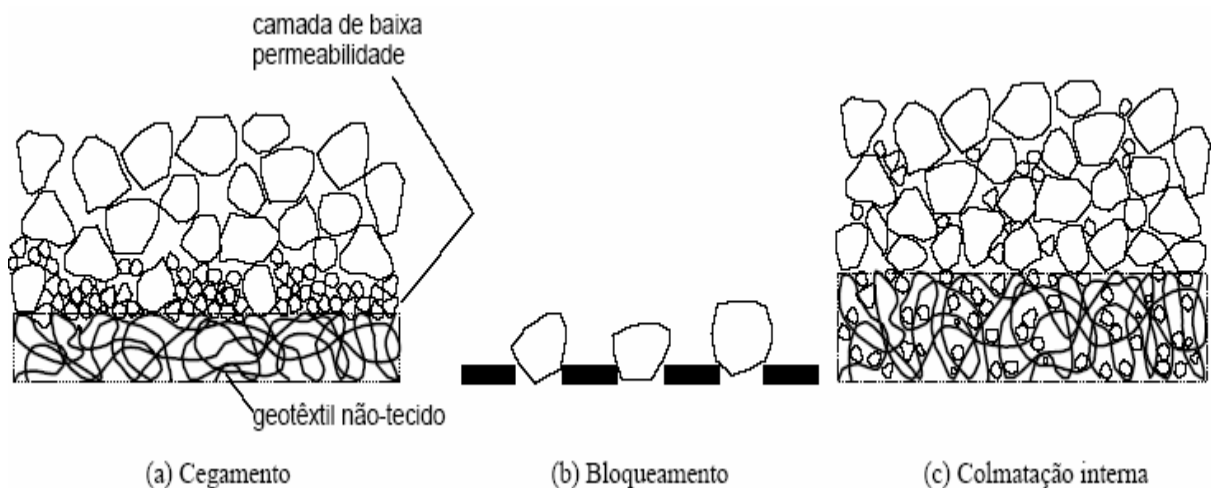
As partículas carregadas ao atravessarem o filtro, o dreno corre risco de ser obstruído se o meio drenante localizado a jusante do filtro não for corretamente dimensionado para que as partículas migradas não danifiquem seu devido funcionamento (GIROUD, 1996 apud MUÑOZ, 2005, p.27).

Todavia, quando uma grande quantidade de partículas carregadas do solo são retidas do solo pelo geotêxtil, pode ocorrer colmatção do filtro que segundo Palmeira (2003), colmatção é um termo geral empregado para caracterizar o mau funcionamento de um filtro causado por uma incompatibilidade entre dimensões das partículas do solo de base e dos poros do filtro.

Na qual resulta em uma severa perda de capacidade de descarga do sistema drenante, aumento de poro-pressão na vizinhança do filtro e alteração das condições inicialmente estabelecidas para o regime de fluxo em filtros geotêxteis a colmatção pode ocorrer por cegamento, bloqueamento superficial ou colmatção interna dos poros, onde na figura 10 demonstra esse conceito.

O cegamento concordando com Giroud e Almeida (2000) ou blinding do filtro ,figura 10.a, acontece quando as partículas mais finas do solo são carregadas, migrando por seus vazios até serem retidas sobre a superfície do filtro. O que causa a formação de uma camada de baixa permeabilidade denominada cake, a qual pode levar a uma redução significativa da permeabilidade global do sistema solo/filtro.

**Figura 10 -Colmatção em filtros geotêxteis**



Fonte: Palmeira, 2003



Já o bloqueamento superficial ou *blocking*, figura 10.b, acontece quando partículas individuais do solo fecham a entrada dos poros do geotêxtil.

A colmatção interna ou *clogging*, figura 10.c, é causada pelo fechamento dos poros e dos canais de fluxo no interior da camada de geotêxtil advindo da intrusão de partículas de solo, precipitação de substâncias ou proliferação de bactérias, por exemplo. As partículas de solo retidas no interior do geotêxtil podem estar acumuladas de duas maneiras distintas, uniformemente dispersas no espaço de poro do geotêxtil ou aglutinadas ao redor das fibras. (GIROUD; ALMEIDA, 2000, p.29)

Em solos que apresentam severa tendência ao carreamento de partículas finas, cabe ao projetista avaliar as vantagens ou não da retenção dessas partículas. Muñoz(2005), baseando-se em ensaios realizados para filtros granulares, propõe considerar que uma combinação solo/filtro estável ocorre quando uma quantidade menor que 2,5 kg/m<sup>2</sup> das partículas do solo de base é carreada.

## 2.6 DRENAGEM COM GEOSSINTÉTICOS

Segundo a NP ISO 10318, drenagem possui a função de recolher e movimentar águas pluviais, águas freáticas entre outros fluidos por meio de geotêxtil ou semelhantes.(ABNT 2013)

Quando os Geossintéticos são colocados de forma que permitam a passagem de água ou gás ordenada ao longo de seu plano sem que o solo se perca pois segundo Lopes, (2010) a drenagem consiste na separação e faz que somente o fluido tenha livre circulação em seu plano.

De acordo com Freitas (2003) existem duas necessidades básicas para o real funcionamento dos geocompostos de filtração:

- Deve ser mantida uma capacidade drenante que sua eficiência hidráulica permita uma adequada quantidade de fluxo e com isso reduzir a carga hidráulica no solo;
- Devem ser retidas as partículas do solo provenientes de carregamentos pelo fluido a percolar, com isso será assegurada a estabilidade do solo protegido.
- O material a ser utilizado devem atender à essas necessidades, o de dreno, e o de filtro fazendo com que o material dreno/filtrante apresente um coeficiente de permeabilidade relativamente alto, e promover a capacidade drenante.

A função principal desses geossintéticos segundo Lopes (2010), é de assegurar a saída de fluidos com a menor perda de carga possível e evitar que partículas sólidas entrem na corrente do fluxo dos géossintéticos por tempo indefinido.

O dimensionamento de espessura e compressibilidade deve ser previsto em projeto para assegurar que não ocorra a passagem de partículas sólidas sem que sejam retidas ou que ocorra colmatção

## 2.7 CONDICIONANTES PARA O FILTRO GEOTÊXTIL

Um filtro em engenharia geotécnica deve ter aberturas pequenas o suficiente para reter o solo e, ao mesmo tempo, deve ser permeável o bastante para permitir que a água passe livremente através dele (GIROUD, 1996 apud ALMEIDA, 2000, p.29).

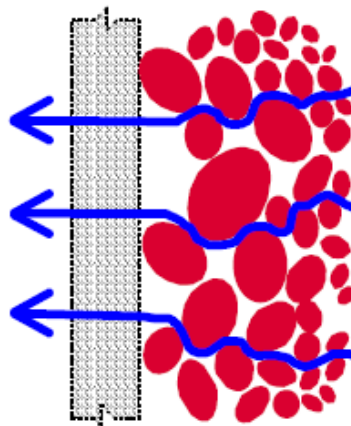
Isto significa que o filtro deve obedecer a um critério de retenção e a um critério de permeabilidade, ambos contraditórios tendo em vista que a permeabilidade do filtro aumenta com o aumento do tamanho de poros. Mesmo assim, é possível encontrar um filtro que atenda a ambos os critérios.

Critérios de retenção disponíveis estabelecem que:

$$OS \leq n D_s$$

Onde OS é segundo Palmeira (2018) a abertura de filtração do geotêxtil, n é um número que depende do critério utilizado e  $D_s$  é um diâmetro representativo do tamanho dos grãos do solo. O fluxo do fluido passando pelos grãos no sentido do geossintético mostra que o diâmetro dos grãos mais próximos do geotêxtil são maiores como demonstrado na figura 11.

**Figura 11 - Abertura de filtração**



Fonte: PALMEIRA, 2018

Durante a vivencia do projeto o filtro precisa estar consideravelmente mais permeável que o solo de sua vizinhança por isso critérios de permeabilidade para geotêxteis estabelecem que: (PALMEIRA, 2018)

$$kG \geq N k_s$$

Onde  $kG$  é o coeficiente de permeabilidade do geotêxtil,  $N$  é um número que depende das características do projeto geralmente variando entre 10 e 100 e  $k_s$  é o coeficiente de permeabilidade do solo (PALMEIRA,2002).

Para que um filtro de geotêxtil possa reter satisfatoriamente um solo, algumas condições são requeridas (GIROUD apud ALMEIDA, 2000, p.30):

- O solo deve estar em contato íntimo com o filtro de geotêxtil, não havendo espaço aberto entre o solo e o geotêxtil onde as partículas possam se mover ou acumular.
- Solo deve ter uma distribuição de tamanho de partículas contínua ,solo bem graduado, e estar no estado denso, o que assegura uma interunião. As aberturas do filtro de geotêxtil devem ser apropriadas.

Uma forma usual de verificar a compatibilidade entre solo e geotêxtil e avaliar o potencial de colmatção do filtro do geotêxtil é a utilização de um ensaio denominado Razão entre Gradientes. A razão entre gradientes (GR), segundo a definição da ASTM D 4491 (ASTM apud ALMEIDA, 2000, p.29) é dada por:

$$G = i_{35}/i_{12}$$

Em que o  $GR$  é a razão entre gradientes,  $i_{35}$  é o gradiente hidráulico no trecho de solo e  $i_{12}$  é o gradiente hidráulico no trecho compreendendo inferiores de uma amostra do solo e o geotêxtil. (ASTM apud ALMEIDA, 2000, p.29)

Valores elevados de  $GR$  podem indicar colmatção do sistema. Já valores muito baixos indicam a ocorrência de mecanismo de piping, este fenomeno em conformidade a Riedel (2009), é a erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando tubos vazios que provocam colapsos e escorregamentos laterais do terreno.

Acontece principalmente em solos vermelhos, derivados de rochas básicas e metabásicas, aponta para uma estreita associação com a influência dos óxidos de ferro pedogênicos na mudança da micro e macroporosidade.

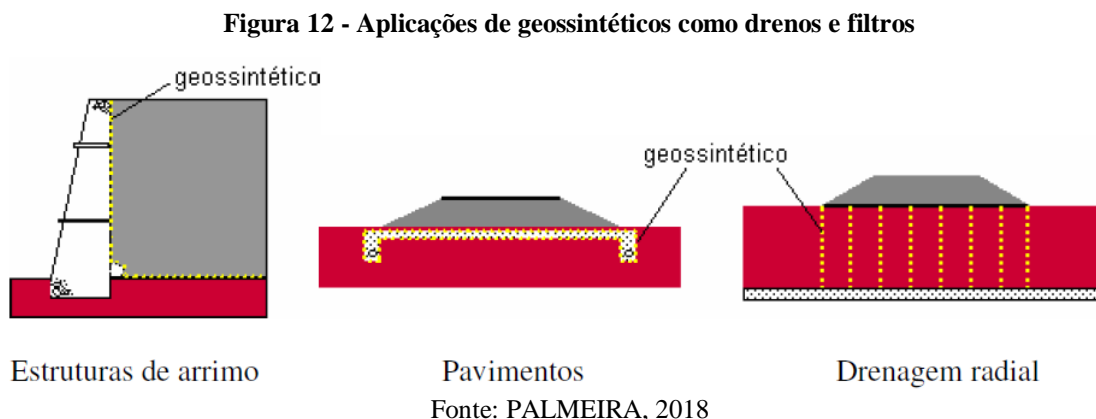
Pois em solos argilosos derivados de metabásicas, abundantes em óxidos de ferro, os índices de granulometria com argila dispersa em H<sub>2</sub>O não mostram a verdadeira distribuição granulométrica.

Os parâmetros susceptíveis de intervir sobre a retenção de partículas (GOURC apud ALMEIDA, 2000, p.33) são:

- A espessura, sendo que a retenção para um geotêxtil espesso pode ocorrer dentro da matriz de fibras, colmatação interna, e na interface para os geotêxteis finos.
- A porcentagem de vazios, caracterizado pela porosidade para um geotêxtil não tecido e pela porcentagem de área de vazios para os tecidos;
- A porometria, dimensão e uniformidade dos diâmetros de poros;
- Assim, a concepção de um filtro sintético requer o conhecimento das condições de bloqueio das partículas pelo meio fibroso, a qual depende da espessura e da distribuição do tamanho de poros.

## 2.8 PARÂMETROS DE APLICAÇÕES

Os Geossintéticos para drenagem e filtração são feitos de materiais geotêxteis, georredes e geocompostos, onde podem ser usados em obras como contenção, aterros, controle de erosão, áreas de disposição de resíduos, etc como são mostrados na figura 12 algumas aplicações. (PALMEIRA, 2018)



Os requisitos hidráulicos de um dreno podem ser atendidos por um geossintéticos específico que deixam o fluxo livre de fluidos ao longo ou normal ao seu plano como mostrado na figura 13.

**Figura 13 - Sentido do fluxo ao plano**



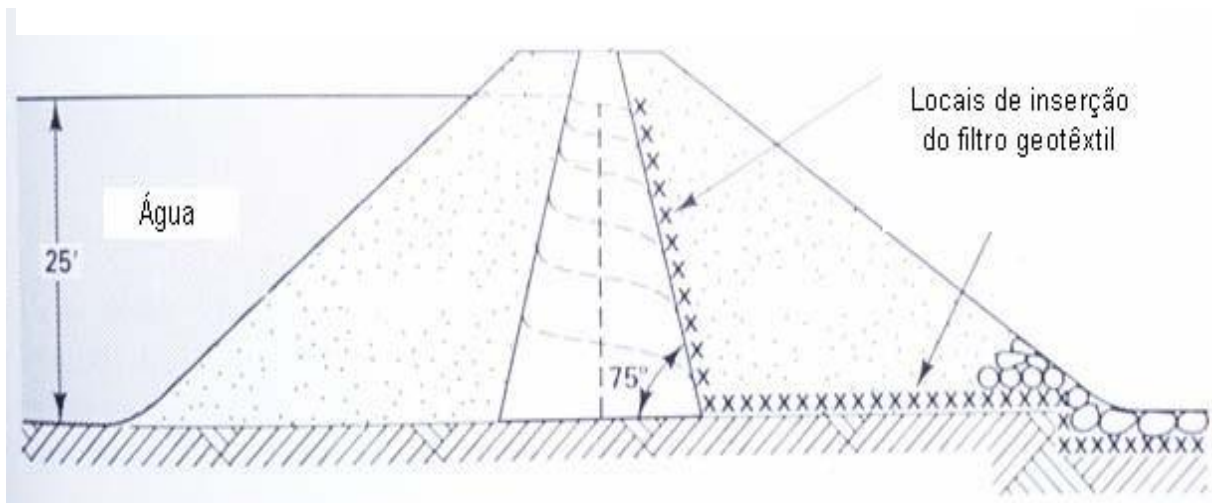
Fonte: PALMEIRA, 2018

Considerando as condições de capacidade de fluxo, existem duas categorias a serem consideradas, nas quais determinam o tipo de obra na qual será aplicado o material: o fluxo gravitacional, direcionado pela inclinação do posicionamento do geotêxtil, e o fluxo sob pressão, no qual a água será conduzida de locais de elevada pressão para locais de baixa pressão, independentemente da orientação do geotêxtil. (SILVA, 2007).

A drenagem gravitacional é verificada nos seguintes casos (SILVA, 2007) :

- Drenos-chaminés em barragens;
- Abaixo de geomembranas para condução de água ou gás;
- Interceptadores de fluxo, como drenos espinha-de-peixe;
- Dissipadores de poro-pressão, atrás de paredes de contenção segue a figura 14;

**Figura 14 – Geotêxtil aplicado em dreno-chaminé**

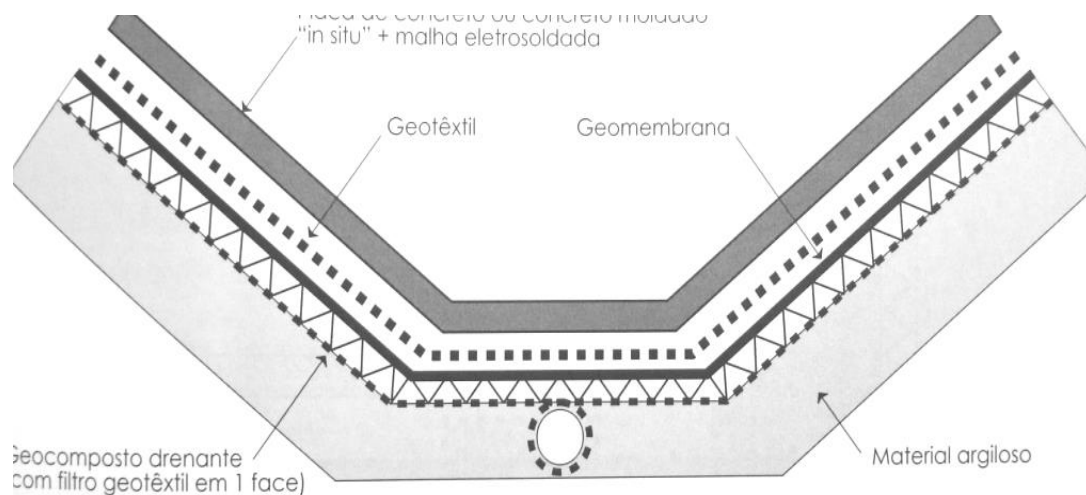


Fonte: Aguiar & Vertematti, 2004

Na maioria dos casos, os geocompostos drenantes filtram, captam e concentram as águas drenadas do solo. No entanto, por serem estruturas esbeltas, não podem não ser capazes de conduzir toda a água acumulada ao longo dos drenos, cujos comprimentos podem atingir dezenas ou centenas de metros.

Assim, é usual associar-se um geotubo à extremidade do geocomposto drenante para acumular e conduzir as águas do dreno até o local do desemboque onde é visivamente na a seguir na figura 15 .

**Figura 15 - Geocomposto drenante e geotubo**



Fonte: Aguiar & Vertematti, 2004

Nesta figura ilustra a utilização de um dreno sintético, aplicado em faixas, entre os revestimentos primário e secundário de um túnel, com o objetivo de controlar as infiltrações das águas que percolam pelo maciço e surgem pela face de concreto.

Segundo Aguiar & Vertematti (2004) a diversidade dos problemas de engenharia e dos condicionantes de projeto pode requerer que, em situações específicas, haja produtos manufaturados diversos à disposição que possam atender às necessidades particulares das obras.

Nesse sentido, o fato de se poder contar com produtos fabricados a partir de matérias-primas diferentes, com propriedades físicas, mecânicas e químicas distintas, constitui uma grande vantagem técnica, pois em cada situação específica um produto pode fornecer as características exigidas pelo projeto.

Há inúmeras utilizações de geossintéticos na drenagem de fluidos em obras geotécnicas, destacando-se as seguintes (AGUIAR E VERTEMATTI,2004):

- Drenagem profunda e subsuperficial de rodovias;
- Drenagem agrícola;
- Cortinas drenantes de edifícios;

- Revestimentos de margens de canais e reservatórios;
- Jardins suspensos;
- Aterros e obras de terra em geral;
- Estruturas de contenção;
- Túneis;
- Aterros sanitários;
- Lagoas de efluentes industriais e de dejetos animais;
- Campos esportivos;
- Terraços;
- Recomposição de taludes rompidos;

Na figura 16 ilustra a utilização de um dreno sintético, aplicado em faixas, entre os revestimentos primário e secundário de um túnel, com o objetivo de controlar as infiltrações que percolam pela estrutura.

**Figura 16– Geossintético no revestimento de um túnel**



Fonte: SILVA 2007

A execução de um sistema de drenagem utilizando geocomposto drenante em uma laje de cobertura, mostrada na figura 16, foi necessária para evitar possíveis infiltrações na estrutura e eliminar a sobrecarga ocasionada pelo acúmulo de água no solo constituinte do jardim localizado sobre a laje.

**Figura 17 – Geocomposto em laje de concreto**



Fonte: Maccaferri 2008

A Figura 18 mostra outra aplicação de geossintéticos em um sistema de drenagem. Neste caso, utilizou-se sistema de drenagem pluvial subterrânea do gramado de um campo de futebol.

**Figura 18 – Sistema de drenagem em campo de futebol**



Fonte: Maccaferri 2008

## 2.9 SUSTENTABILIDADE

A carga elétrica consumida é significativo no custo de fabricação de qualquer outro produto. Porém é destacado para a produção de materiais direcionados à área de construção



civil, pelo o motivo que a grande parte destes são compostos por plásticos, apresentando um consumo mínimo e significativo de energia em relação aos outros compostos como o metal, aço e alumínio de acordo com Palmeira (2018),.

Manifestando assim uma sustentabilidade conveniente e coerente devido á menor utilização de equipamentos e de água e a aptidão de execução, ocasionando os seus efeitos em obras cujas construções provoquem menos impactos ambientais que as aplicações de engenharia convencionais.

De acordo com a ideia de Palmeira (2018), as obras que utilizam ferramentas não convencionais ou com baixa tecnologia padrão, conduzindo a sustentabilidade junto com a aplicação do geocomposto, proporcionando um efeito satisfatório e favorável tanto para a obra do tipo de pavimentação em solos fracos tanto para o meio ambiente.

## 2.10 PRODUTOS QUE NÃO ATENDEM ÀS NORMAS TÉCNICAS

Atualmente o PSQ (Programa Setorial da Qualidade de Geotêxteis Não tecidos) avalia se os geotêxteis não tecidos disponibilizados no mercado que apresentam adequada marcação na embalagem e no produto dos que estão de acordo com NBR ISO 10320. (ABNT,2013)

Além disso, avalia se as especificações nominais dos fabricantes quanto à gramatura e à resistência à tração faixa larga são atendidas respectivamente a NBR ISO 9864 NBR ISO 10319. (ABNT, 2013)

Os geotêxteis não tecidos produzidos para uso em obras de geotecnia devem apresentar características técnicas adequadas para que cumpram suas funções. Conforme descrito anteriormente, as principais são reforço, filtração, drenagem, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial.

Algumas das principais atribuições dos geotêxteis não tecidos estão relacionadas à gramatura á resistência à tração faixa larga, cujos valores são calculados e especificados para uso em obras específicas.

Quanto aos problemas ocasionados pelo uso de produtos que não atendem às normas técnicas, há uma preocupação do setor de que os produtos entregues nas obras apresentem a marcação na embalagem e no produto, para orientar seu uso nas obras e evitar que um produto sem a correta identificação seja utilizado indevidamente e possa comprometer o desempenho da obra.

A mesma preocupação aplica-se às especificações técnicas de gramatura e resistência à tração faixa larga. Ou seja, um geotêxtil não tecido que eventualmente não atenda às especificações nominais do fabricante, colocará em risco o desempenho da obra de acordo com o Órgão de Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia Ltda (2017).

Nas Figuras 19 - 21 apresentam-se patologias em obras de engenharia ocasionadas pela ausência ou baixa qualidade de geotêxteis não tecidos e/ou outros geossintéticos:

**Figura 19 – Falha do sistema drenante do muro de contenção**



Fonte: Órgão de Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia (2017).

**Figura 20 – Falha ou inexistência do sistema drenante de rodovia**



Fonte: Órgão de Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia (2017).

**Figura 21 – Ruptura de muro de arrimo: falta de drenagem**



Fonte: Órgão de Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia (2017).

Com a devida cautela de manter produtos com nível de qualidade de acordo com as normas e\ou com a aplicação de geocompostos drenantes, estes problemas poderiam ser evitados.

Os problemas decorrente nas estruturas enterradas ou submetidas a empuxo de terra se tornam possíveis pela possibilidade desses casos haver solicitações por parte da presença da água no solo.

Portanto, há a necessidade de prever um sistema de drenagem eficaz, e em certos casos por não possuir espaço ou tempo para providenciar um sistema de drenagem grande e demorado, o geocomposto é uma das soluções mais efetivas para resolver e facilitar este problema em uma obra como descreve o Manual Técnico da Maccaferri (2010).

Em uma estrutura de contenção ou de uma estrutura enterrada conforme a Maccaferri (2019), quando a presença de nível d'água é constante pode levar a um aumento excessivo das tensões horizontais sobre essas estruturas e a um conseqüente aumento de sua robustez durante a fase de projeto.

### 3 UTILIZAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS ESPECÍFICOS PARA DRENAGEM

#### 3.1 APLICAÇÃO EM TRINCHEIRAS

##### 3.1.1 Definição de trincheiras

A partir da Primeira Guerra Mundial surgiu o termo trincheira, a construção subterrânea com fins militares atribuída à defesa e ataque, com profundidade suficiente para abrigar um soldado militar em pé, os mesmos passaram a cavar trincheiras com cerca de dois metros e trinta centímetros de largura por dois metros de profundidade. (SOUSA, 2005)

A sua função na Engenharia Militar estava destinada a proteger os combatentes em qualquer situação da luta, constituída com um parapeito e um paradorso. Construídas de forma aberta e subterrânea mas nem sempre em linha reta, pois poderiam ser mortas por um mesmo disparo. (SONDHAUS, 1997)

Aplicando este método pretérito na Engenharia Civil no século XX, o propósito da trincheira é similar. Nesta área, é aplicado para abater descargas de pico de um escoamento superficial e promover a recarga do aquífero, e também realizar o tratamento do escoamento pela infiltração no solo.

São formadas por valetas revestidas por diversos tipos de material granular. Para envolver o material, coloca-se uma manta geotêxtil entre a trincheira e a superfície e então é recoberto por uma camada de seixos, para impedir a entrada de material fino na estrutura protegendo o lençol freático. (SILVA, 2005).

As trincheiras de infiltração podem ser instaladas em múltiplos locais, tais como estacionamentos, centros comerciais, jardins, ao longo de vias públicas e podem ser usadas conjuntamente com poços de infiltração, valetas, bacias de retenção, entre outras opções. (CASTRO, 2007, p.393).

Para a implantação, Tucci e Marques (2001, p.115) citam as seguintes limitações técnicas:

- Não podem ser instaladas em aterros ou em terrenos de grande declividade;
- O solo suporte deve apresentar taxas mínimas de infiltração de 12 mm/h em solo natural e de 8 mm/h para solos saturados.
- Profundidade mínima do lençol freático e da camada impermeável de 1,20m. 17
- São apropriadas para pequenas áreas de drenagem, com lotes individuais ou quarteirões.

### 3.1.2 Utilização: Vantagens e Desvantagens

A fim de minimizar os crescentes problemas de drenagem urbana, tenta-se fazer com que a água das chuvas seja interceptada, retardando o tempo de sua chegada na rede de drenagem e, conseqüentemente, diminuindo a vazão de pico.

Boas alternativas de controle do escoamento superficial são as chamadas estruturas compensatórias de drenagem, como as trincheiras de infiltração.

Segundo Souza (2005), as trincheiras de infiltração apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

- Boa integração com o meio urbano;
- Controle da poluição das águas pluviais, influenciando na recuperação e preservação do meio ambiente;
- Fácil construção;
- Ganho financeiro com a redução das dimensões da rede drenagem a jusante;
- Melhoria da qualidade da água de origem pluvial;
- Preocupação com manutenção frequente;
- Redução do escoamento superficial;
- Redução do risco de inundação;
- Restrições de eficiência em áreas de fortes declividades;
- Riscos de poluição do lençol freático;

### 3.1.3 Manipulação

Segundo Shaver (1986), trincheiras de infiltração são projetadas para capturar um volume de escoamento para que o risco de estouro tendo o resultado de outra tempestade seja mínimo. Este período de tempo, especificado como tempo de armazenamento é normalmente dado na literatura como de 72 horas.

Uma estrutura de pavimento ou ferrovia pode perder resistência pela água em seu interior, por fluxo ascendente ou adjacente a ela. A remoção dessa água pode melhorar o desempenho da ferrovia ou pavimento a longo prazo da estrada.

Os drenos de vala tradicionais à beira das estradas e ferrovias que utilizam drenos de brita podem agora ser substituídos com a alternativa moderna: o geocomposto drenante MacDrain e outros.

Estes geocompostos atuam como sistemas drenantes prontos reduzindo a escavação, volume de material de escavação e dispensam o uso de recursos naturais, sendo mais econômicos e duráveis.

De acordo com o manual Maccferri (2008) destes geocompostos, a seleção do drenante depende de:

- A capacidade drenante necessária;
- Os materiais com os quais estará em contato;
- Posição de dreno dentro do pavimento;

O motivo é simples pois os drenos tem a função como uma canaleta do tipo “vala”, ou seja, quando o lençol freático estiver próximos da superfície a camada drenante horizontal sob a rodovia pode remover potencialmente a água das camadas da fundação do pavimento, preservando assim a vida útil do mesmo.

O preenchimento com qualquer tipo de brita, embora reduza o volume de água que possa ser armazenado na trincheira, acaba proporcionando mais segurança e propicia maior estabilidade do talude, com isso o risco de erosão é reduzido.

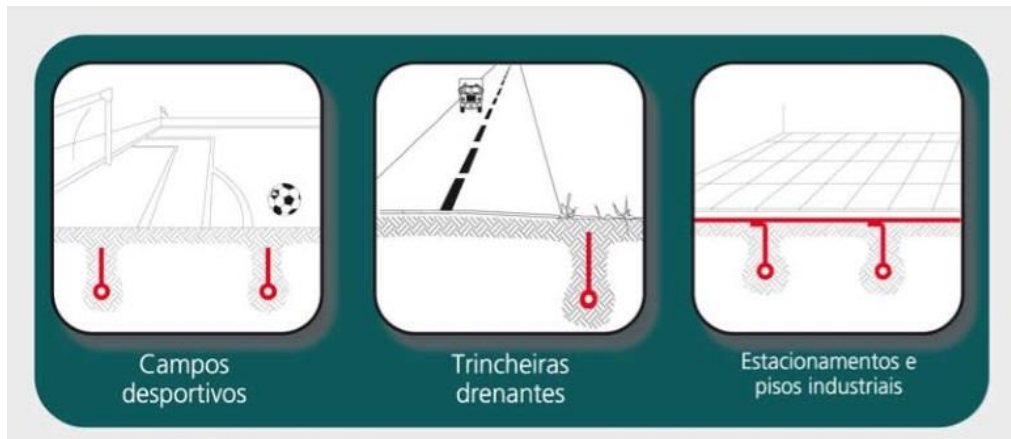
Segundo Dean (2005), ao considerar o material de preenchimento usado na trincheira, o volume de armazenamento eficaz pode ser calculado multiplicando o volume de armazenamento da trincheira pela porosidade do material usado para preencher a trincheira.

## 3.2 MODELOS DE GEOSSINTÉTICOS E SUAS PROPIEDADES:

### 3.2.1 MacDrain TD

Um dos geossintéticos analisado no presente trabalho foi desenvolvido para ser aplicado em obras viárias, pátios, estacionamentos, etc. Este dreno sintético é capaz de captar, conduzir e escoar o excesso de água provenientes da chuva, sistemas de irrigação, rebaixar o lençol freático, demonstrado na figura 22 abaixo.

**Figura 22 – Aplicação trincheira drenante**

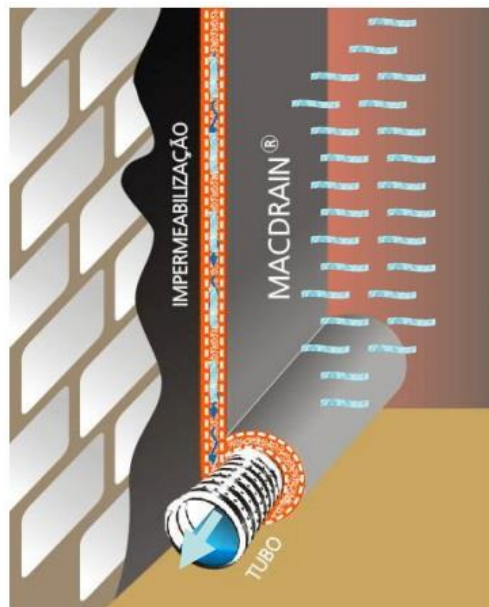


Fonte: MACCAFERRI, 2008

Conforme o relatório técnico Maccaferri (2007, p.02) a dimensão é a seguinte, segundo a figura 23:

O elemento drenante analisado em questão é constituído por uma geomanta tridimensional com espessura de 10 mm, fabricada a partir de filamentos de polipropileno, tendo um índice de vazios em torno de 95%, entre dois geotêxteis não tecido de poliéster em todos os pontos de contato. Por ser especialmente desenvolvido para formação de trincheiras drenantes, os geotêxteis do MacDrain TD sobressaem além do núcleo formando uma bolsa para envolver um tubo dreno de até 6". (MACCAFERRI,2007, p. 02).

**Figura 23 – Tubo drenante instalado**



Fonte: MACCAFERRI, 2008

Sua instalação é extremamente simples e prática, pois já traz incorporada uma bolsa com guia para acondicionamento do tubo dreno. É necessário somente a abertura da vala exposto adiante na imagem 24, posicionamento do dreno e o reaterro para a construção do sistema drenante.

**Figura 24 – Abertura da vala drenante**



Fonte: MACCAFERRI, 2008

Características do sistema, seguindo o catálogo maccaferri (2009):

- Alta capacidade de vazão, superior a requerida pelo sistema convencional.
- Reaterro com o próprio material da escavação;
- Simplicidade e rapidez na instalação;
- 

Para se obter a capacidade de vazão do elemento analisado na presente esfera é necessário determinar a tensão a que este estará submetido. Adota-se, a favor da segurança, um valor aproximado para o coeficiente de empuxo no repouso  $K_0 = 0.40$ , obtendo assim a tensão horizontal efetiva. (MACCAFERRI,2009):

$$P = \gamma \times h \times K_0 = 18 \times 1.40 \times 0.4 \cong 10.00 \text{ kPa}$$

Utilizando a ficha técnica do MacDrain TD (MACCAFERRI, 2009, p.03) na tabela 1 tem-se os seguintes valores para o gradiente hidráulico igual a 1.



**Tabela 1- Capacidade de vazão do MacDrain TD**

<b>Pressão (kPa)</b>	<b>Vazão (l/s.m)</b>
10	2,84
20	2,17
50	1,35
100	0,41

Fonte: Maccaferri, 2009

Verificando o dado obtido com os dados da tabela 1, obtêm-se, para P = 10.00 kPa, uma capacidade de vazão de 2,84 l/s.m. Pelas normas, tem-se que aplicar os seguintes fatores de redução para o geocompostos: (MACCAFERRI, 2009)

**Tabela 2– Dados técnicos MacDrain TD**

<b>Dados</b>	<b>Valores</b>
Intrusão do Solo (FRIN)	1.05
Fluência (FRCR)	1.20
Colmotação Química (FRCC)	1.10
Colmotação Biológica (FRBC)	1.15

Fonte: Maccaferri, 2009

Sendo assim:

$$Q_{Adm} = \frac{q}{FRIN \times FRCR \times FRCC \times FRBC} = 1.78 \text{ l/sm}$$

A vazão encontrada de 1.78 l/s.m representa a vazão admissível para a trincheira. Se a tubulação utilizada para os drenos cegos é de aproximadamente 12.00 l/s, isso quer dizer que o geossintético poderá absorver água ao longo de uma trincheira de aproximadamente 7.00 metros. (MACCAFERRI, 2009)

A partir das informações comentadas anteriormente se verifica a total viabilidade técnica na aplicação do MacDrain TD em substituição a uma trincheira em dreno cego, cuja capacidade drenante é bastante reduzido. O tempo que leva para a água alcançar o tubo, que devido ao fenômeno de difusão causa um grande retardo no abastecimento da trincheira.

### 3.2.2 Mac Drain TD 20.2

O MacDrain TD 20.2 é um geocomposto para drenagem leve e flexível, cujo núcleo drenante é formado por uma geomanta tridimensional, fabricada com filamentos de polipropileno entre dois geotêxteis não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato, exceto na região destinada à inserção do tubo perfurado. (MACCAFERRI, 2008)

A trincheira de infiltração proposta juntamente com o pavimento semipermeável contém um tubo de drenagem ligado à rede de drenagem urbana para que o excesso de água seja conduzido para a trincheira de infiltração, sendo escoada para o solo e não para a rede de drenagem urbana. As tabelas 3 – 6 anexadas em seguida revela, os atributos do dreno.

**Tabela 3– Capacidade de vazão**

ASTM D 4716	Drenagem Horizontal										Drenagem Vertical	
	i = 0,01		i = 0,02		i = 0,03		i = 0,10		i = 0,50		i = 1,00	
Pressão	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m	l/s.m	l/h.m
10 kPa	0,64	2340	0,70	2556	0,77	2772	1,26	4536	2,17	7848	2,84	10224
20 kPa	0,23	828	0,29	1080	0,33	1224	0,74	2700	1,54	5544	2,17	7848
50 kPa	0,11	432	0,14	540	0,17	648	0,41	1476	0,85	3096	1,35	4860
100 kPa	0,04	144	0,05	180	0,06	216	0,12	432	0,26	936	0,41	1512
200 kPa	0,02	72	0,02	72	0,02	108	0,04	144	0,08	324	0,13	468

Fonte: Maccaferri, 2009

**Tabela 4– Propriedades hidráulicas**

Propriedade hidráulicas	Geocomposto	Geotêxtil
Abertura de filtração (mm)	--	0,145
Permissividade ( $s^{-1}$ )	--	1,51
Permeabilidade (cm/s)	--	$1,1 \times 10^{-1}$

Fonte: Maccaferri, 2009

**Tabela 5– Propriedades mecânicas**

Propriedades mecânicas	Geocomposto		Geotêxtil	
	Direção Longitudinal	Direção Transversal	Direção Longitudinal	Direção Transversal
Resistência a tração (kN/m)	14,21	8,57	5,26	2,92
Deformação na ruptura (%)	33,23	37,33	37,38	36,26
Puncionamento (N)	--		602,50	

Fonte: Maccaferri, 2009

**Tabela 6– Características físicas**

<b>Características Físicas</b>	<b>Geocomposto</b>	<b>Geotêxtil</b>
Espessura (mm)	11,0	0,7
Gramatura ( $g/m^{-1}$ )	700	100

Fonte: Maccaferri, 2009

Assim, este modelo poderia ser adotado em cidades que têm seus sistemas de drenagem urbana saturados, fazendo com que a água que seria destinada à rede de escoada para a trincheira de infiltração. É fundamental o investimento em novas técnicas para controle do escoamento superficial para não onerar ainda mais os sistemas convencionais de drenagem.

### 3.2.3 MacDrain J

Com a revolução e o desenvolvimento nos sistemas de drenagem em jardins, campos desportivos, floreiras, telhado verdes e jardins suspensos tem uma grande variedade de geossintéticos no mercado. Este dreno sintético é capaz de captar, conduzir e escoar o excesso de água proveniente de chuvas, sistemas de irrigação.

Apresentando máxima eficiência e rapidez, como também grandes vantagens técnicas, construtivas e econômicas em relação aos sistemas estudados acima no presente trabalho. Este dreno é aplicado com simplicidade e praticidade pois ele é instalado entre a estrutura e a cobertura com solo vegetal.

Devido a sua pequena espessura e baixo peso, permite a diminuição da altura da floreira e a redução da sobrecarga na estrutura. Outras características de suma importância é a sua elevada capacidade de vazão, reduzindo a sobrecarga na estrutura e minimizando o saturamento do solo vegetal. (MACCAFERRI, 2008)

O contemporâneo trabalho exposto selecionou nas variedades de drenantes, o material fornecido pela empresa Maccaferri, o tal do MacDrain J. A tabela 7 vem demonstrando abaixo as suas informações técnicas de acordo com o informativo do mesmo.

**Tabela 7 – Características MacDrain J**

<b>Largura (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Diâmetro médio (cm)</b>	<b>Peso (kg)</b>
1	10	0,40	5
2	30	0,70	30

Fonte: Maccaferri, 2008

Como referenciado anteriormente sobre as variações de materiais, tem-se o modelo J 20.2. O mesmo é para drenagem leve e flexível, cujo núcleo drenante é formado por uma geomanta tridimensional com filamentos de polipropileno um geotêxtil não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato. (MACCAFERRI, 2008)

### 3.2.4 MacDrain 2L 20.2

O tipo de geocomposto analisado a seguir é o MacDrain 2L 20.2, um material para drenagem leve e flexível, cujo núcleo drenante é formado por uma geomanta tridimensional, fabricada com filamentos de polipropileno e termosoldada entre dois geotêxteis não-tecido de poliéster em todos os pontos de contato. (MACCAFERRI, 2009)

Os geotêxteis sobressaem 100 mm além do núcleo nas laterais para garantir uma perfeita continuidade do sistema nas juntas e permitir a execução das sobreposições. Na figura 25 demonstra um desenho do geocomposto aplicado: (MACCAFERRI, 2009)

**Figura 25 – Aplicação geocomposto MacDrain 2L**



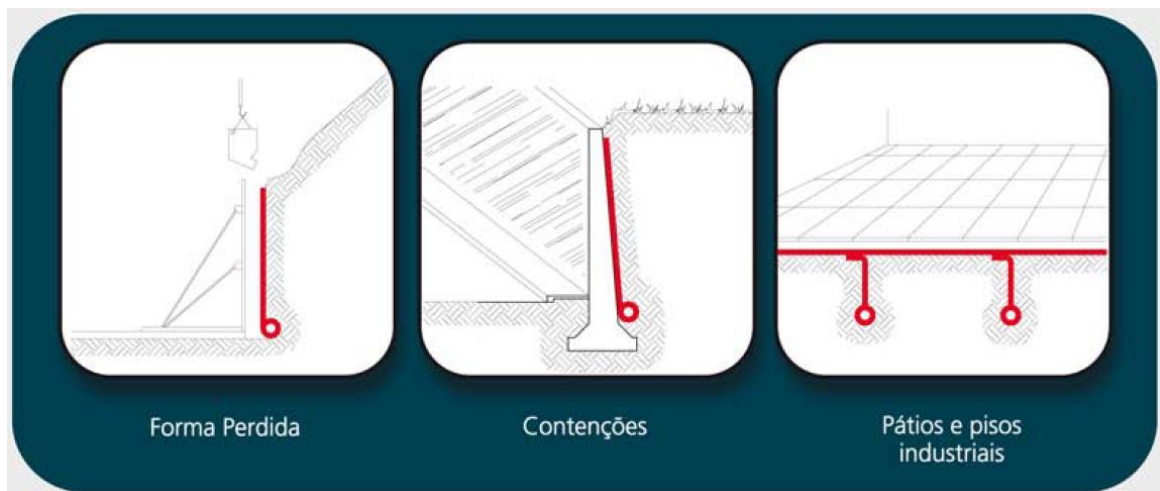
Fonte: MACCAFERRI, 2009

### 3.2.5 MacDrain FP 2L 20.2

Existe para algumas ocasiões, o MacDrain FP 2L 20.2 que é um geocomposto com as mesmas características anteriores, porém o núcleo é termosoldado entre dois geotêxteis não-tecidos em todos os pontos de contato, sendo um dos geotêxteis de poliéster e o outro laminado de polipropileno. (MACCAFERRI,2009)

Este serve para aplicação em construções onde o espaço pode ser limitado pela proximidade de estruturas vizinhas e são necessário a utilização de fôrmas, pois esse tipo de geocomposto além de assegurar excelente drenagem, também pode atuar como fôrma perdida, permitindo concretagem diretamente contra sua superfície, economizando formas e espaço, demonstrado na figura 26.

**Figura 26 - Aplicações MacDrain FP 2L**

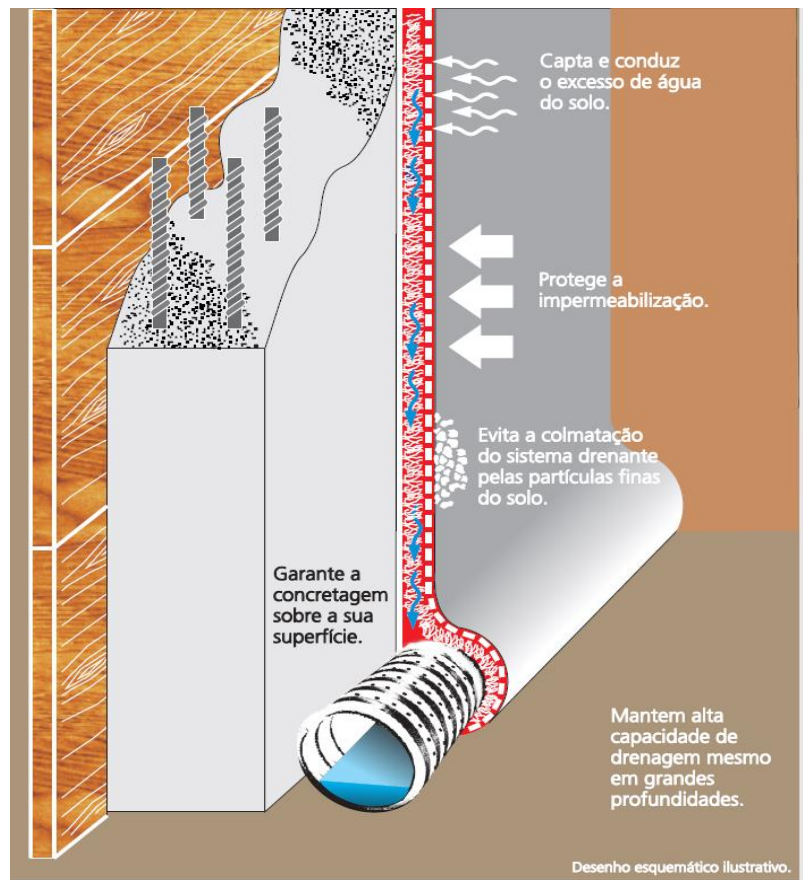


Fonte: MACCAFERRI,2009

Uma de suas faces é praticamente impermeável, evitando a colmatação de seu núcleo pela nata do cimento, evita também o carreamento de partículas de solo deixando o seu sistema drenante funcionando.

A presença do MacDrain FP entre estruturas vizinhas cria um colchão separador que desvincula as mesmas, minimizando a transmissão de vibrações, ruídos e empuxo hidrostático. Na figura 27 exibe um desenho do geocomposto aplicado e demonstra alguma de suas vantagens. (MACCAFERRI,2009)

**Figura 27 - Funcionalidade MacDrain FP 2L**



Fonte:MACCAFERRI,2009

### 3.3 COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM VERTICAL E HORIZONTAL

#### 3.3.1 Vertical

Quando ocorre uma situação de drenagem crítica onde o aterro é constituído por solo altamente permeável, o sistema de drenagem ao ser construído com o geocomposto drenante pode abranger várias exigências técnicas relacionadas à vazão, resistência, e compressão se comparado por um projeto de drenagem convencional.

Foi elaborado de acordo com os calculos do Prof. Dr. Pérsio de Almeida juntamente com a empresa MACCAFERRI um exemplo para a avaliação da eficiência do geocompostos, onde se calcula a capacidade de captar o fluxo de águas que percolará através de um aterro contido por uma estrutura de 10 m de altura. (MACCAFERRI, 2009)

Assim, determina-se o fator de forma desta rede, definido como a relação entre equipotenciais e linhas de fluxo ( $N_f / N_q$ ), aplicado à fórmula abaixo determina a referida vazão: (MACCAFERRI, 2009)

$$Q = k \times h \times \frac{(N_f)}{(N_q)}$$

Onde:

$k$  = coeficiente de permeabilidade do solo =  $10^{-3}$  cm/s;

$h$  = altura da estrutura = 10 m;

$N_f$  = número canais de fluxo = 6;

$N_q$  = número de perdas de carga unitária = 8;

Portanto, tem-se como vazão resultante:

$$Q = 10^{-5} \times 10 \times (6/8)$$

$$Q = 0,000075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,075 \text{ (l/s) /m}$$

Para se obter a capacidade de vazão que escoará pelo Geotêxtil é necessário determinar a tensão a que este estará submetido. Adota-se, a favor da segurança, um valor aproximado para o coeficiente de empuxo no repouso  $K_0 = 0.5$ , equivalente a um solo com ângulo de atrito de 30 graus. (MACCAFERRI, 2009)

O peso específico é de  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , se assumido que o peso específico adotado para o solo seja o saturado e o peso específico submerso deve ser  $10 \text{ kN/m}^3$ , obtendo assim a tensão horizontal efetiva  $P$ :

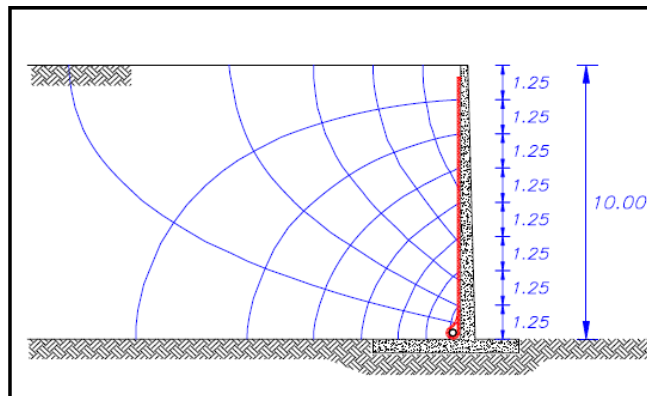
$$P = \gamma \times h \times K_0$$

$$P = 10 \times 10 \times 0,5$$

$$P = 50 \text{ kPa}$$

Utiliza-se uma rede de fluxo, especialmente traçada para este caso, que determina de forma simplificada e com boa precisão a vazão máxima que percola pelo solo. Na figura 28 é a disposição e o número das linhas de fluxo e equipotenciais que formam a rede de fluxo. (MACCAFERRI, 2009)

**Figura 28 - Rede de fluxo para o muro de 10 metros de altura**



Fonte: MACCAFERRI, 2009

A tabela 8 a seguir, mostra os valores obtidos através do Geossintético MacDrain 2L que estão especificados na sua ficha técnica, para o gradiente hidráulico  $i$  igual a 1 (MACCAFERRI, 2009):

**Tabela 8- Capacidade de Drenagem MacDrain 2L**

ASTM D 4716	Drenagem Vertical	
Pressão	$i = 1,00$	
	l / s.m	l / h.m
10 kPa	2,84	10224
20 kPa	2,17	7848
50 kPa	1,35	4860
100 kPa	0,41	1512
200 kPa	0,13	468

Fonte: MACCAFERRI,2009

Em concordância com o catalogo tecnico da Maccaferri, (2009) obteve para  $P=50\text{kPa}$  uma capacidade de vazão de 1,35 l/s.m. Pelas normas, tem-se ainda que aplicar os seguintes fatores de redução para o geocomposto MacDrain:

FRIN = 1,30 (Intrusão do solo);

FRCR = 1,40 (Fluência – CREEP);

FRCC = 1,20 (Colmatação química);

FRBC = 1,15 (Colmatação biológica).

Com isso a vazão admissível para o sistema, utilizando o MacDrain 2L, resulta:

$$Q_{adm} = \frac{Q}{(FRIN \times FRCR \times FRCC \times FRBC)} = \frac{1,35}{2,51} = 0,54 \text{ ( l / s ) / m}$$

Comparando a vazão obtida através do traçado da rede de fluxo com a capacidade de vazão admissível do geocomposto analisado, obtém-se: (MACCAFERRI, 2009)

$$\text{Comparativo de capacidade de vazão} = \frac{0,54}{0,075} = 7,2$$

O geocomposto, depois de aplicado, apresenta uma capacidade de vazão 7,2 vezes maior do que a vazão que o solo pode conduzir, satisfazendo a todas as exigências técnicas impostas pelas condições locais, substituindo com eficiência um sistema de drenagem convencional.(MACCAFERRI,2009)



### 3.3.2 Horizontal

A drenagem horizontal se faz necessária em áreas verdes destinadas ao esporte e lazer. Em tais casos, deve haver água suficiente para o crescimento da vegetação, porém, esta não deve se apresentar em excesso, pois prejudicaria a prática da atividade à qual se destina tal área e ainda causaria a redução do oxigênio nas raízes, provocando danos à vegetação.

O cálculo a seguir com a metodologia e cálculos revisados pelo Prof. Dr. Benedito de Souza Bueno (2008, p.02) demonstra a drenagem com brita mais um geotêxtil convencional, e em seguida um exemplo de aplicação do geossintético analisado Mac-Drain2L. (MACCAFERRI, 2008)

Será determinada a espessura  $c$  do colchão drenante, necessária para escoar as águas de uma precipitação de uma precipitação de uma chuva torrencial de curta duração de 30 minutos. (MACCAFERRI, 2008)

$$Q = 0,03 \text{ (l/s)/m}^2$$

Para isso serão utilizados os seguintes dados:

$k = 10^{-2}$  = coeficiente de permeabilidade da brita 1 [m/s]

$b = 0,20$  = espessura do solo de cobertura [m]

De acordo com a Lei de Darcy é possível determinar a máxima vazão do colchão drenante, denominado  $Q_{max}$ , para uma faixa de um metro, através da seguinte equação(MACCAFERRI, 2009):

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{k}{E} \times 4 \times c^2$$

Com base na precipitação, determina-se a vazão que o dreno deverá suportar, denominado  $Q_{dreno}$ , também para uma faixa de um metro:

$$Q_{dreno} = q \times E$$

$$Q_{dreno} = 0,03 \text{ (l/s)/m}^2 \times 5m$$

$$Q_{dreno} = 0,15 \text{ (l/s)/m}$$

Considerando buscar uma permeabilidade mais elevada, determina-se a espessura do colchão drenante através da seguinte igualdade:

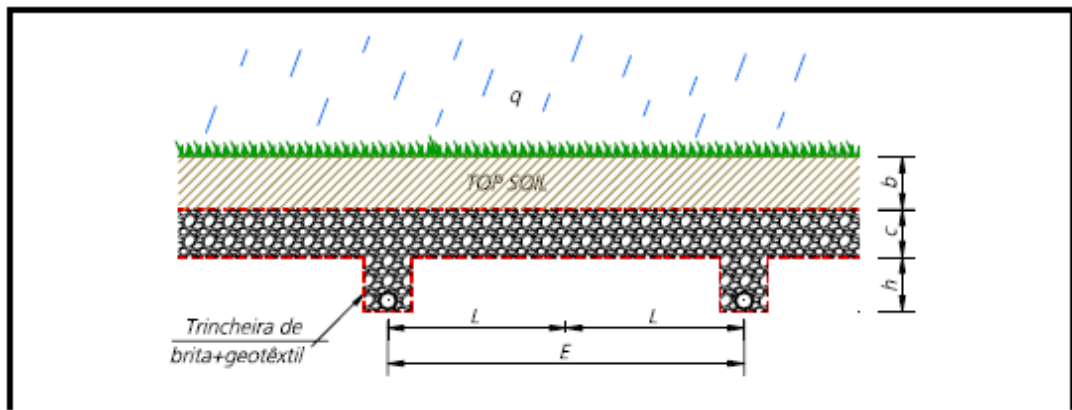
$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{dreno}}$$

$$c = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{q}{k}} = \frac{5}{2} \sqrt{\left(\frac{0,00003}{10^{-2}}\right)} = 0,14 \text{ m}$$

Assim, o colchão drenante em brita necessitará ter, para escoar a vazão de 0,15(l/s)/m, uma espessura de, aproximadamente 14 cm, que na prática resulta na aplicação de uma camada de agregado de 20cm. (MACCAFERRI,2008)

Em drenagem horizontal, consiste a aplicação do dreno sobre uma superfície regular com a finalidade de captar e escoar rapidamente a precipitação pluviométrica que é comparado e mostrando a eficiência em relação ao sistema convencional que utiliza brita e geotêxtil de acordo com o modelo da figura 29. (MACCAFERRI, 2008)

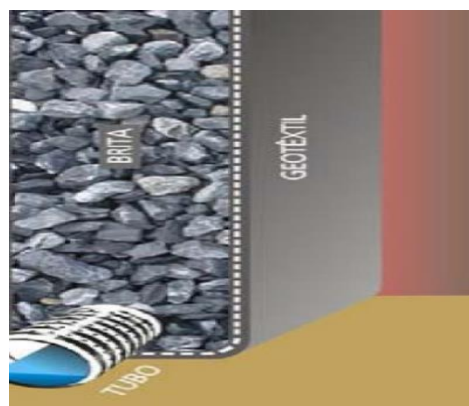
**Figura 29 - Esquema de drenagem horizontal com Geotêxtil mais brita**



Fonte: MACCAFERRI, 2008

Fixado um espaçamento entre tubos de  $E=5,00\text{m}$ , mostrado na figura 30: (MACCAFERRI, 2008)

**Figura 30 - Esquema de drenagem com brita**

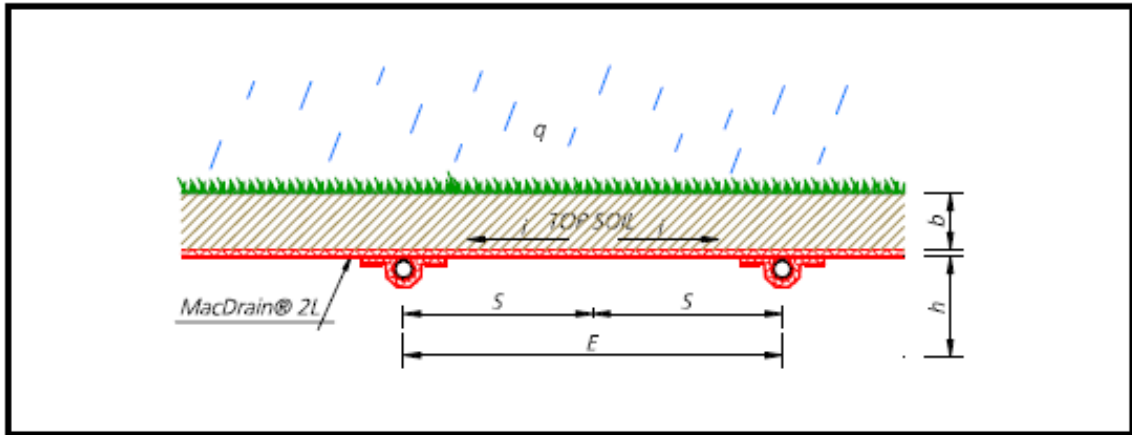


Fonte: MACCAFERRI, 2008

Posteriormente o cálculo de drenagem com o geocomposto analisado, MacDrain 2L, capacidade de vazão deste geocomposto são necessários apenas dois parâmetros, o gradiente

hidráulico  $i$ , na direção do fluxo, que neste caso é igual a 0,01 e a tensão vertical aplicada pelo solo sobre o geocomposto P como mostra a figura 31 (MACCAFERRI, 2008):

**Figura 31 - Esquema de drenagem horizontal com MacDrean 2L**



Fonte:MACCAFERRI,2008

Com tais valores e com os dados obtidos na sua ficha técnica mostrada na tabela 9, calcula-se a vazão (MACCAFERRI, 2008):

**Tabela 9– Capacidade de Drenagem MacDrain 2L para  $i=0,01$**

ASTM D 4716	Drenagem Vertical	
	$i = 0,01$	
Pressão	l / s.m	l / h.m
10 kPa	0,64	2340
20 kPa	0,23	828
50 kPa	0,11	432
100 kPa	0,04	144
200 kPa	0,02	72

Fonte: MACCAFERRI, 2009

Considerando que o solo sobre o MacDrain possui um peso específico de  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  e uma espessura de 0,20m, obtém-se a tensão vertical de 3,6kPa. Extrapolada da tabela acima, a favor da segurança, toma-se a vazão  $Q=0,30(\text{l/s})/\text{m}$  para tal tensão.(MACCAFERRI,2008)

Pela norma, aplica-se os seguintes fatores de redução para Geocomposto MacDrain. (MACCAFERRI, 2008):

FRIN = 1,10 (Intrusão do solo);

FRCR = 1,20 (Fluência – CREEP);

FRCC = 1,20 (Colmatação Química);

FRBC = 1,15 (Colmatação Biológica);

Com isso obtém-se a vazão admissível para o sistema utilizando

$$Q_{adm} = \frac{Q}{(FRIN \times FRCR \times FRCC \times FRBC)} = \frac{0,30}{1,82} = 0,17 \text{ (l/s) / m}$$

O geocomposto analisado MacDrain 2L, depois de aplicado, apresenta uma capacidade de vazão similar à do colchão de brita, 13% maior, porém se comparada com a vazão precipitada, que deve ser drenada, pode ser considerada duas vezes maior pois, como esclarecido anteriormente a vazão será direcionada para os dois tubos drenos. (MACCAFERRI, 2009)

Portanto, o dreno construído com o geocomposto, satisfaz a todas as exigências técnicas impostas pelas condições locais, substituindo com eficiência o sistema de drenagem convencional.

### 3.4 COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE O SISTEMA DE DRENAGEM COM O GEOCOMPOSTO MACDRAIN 2 L E O SISTEMA CONVENCIONAL:

A seguir o comparativo do custo total mais os benefícios e despesas indiretas entre a brita mais o geotêxtil convencional, tabela 10 em relação ao geocomposto analisado MacDrain 2L na posição horizontal, tabela 11 onde já é calculado também o BDI que é benefícios e despesas indiretas que devem ser levado em considerações para verificações de custos onde que para essa apuração se utiliza o valor de 30% em cima do custo total. (MACCAFERRI, 2009)

**Tabela 10 – Custos Totais com uso de brita mais o geotêxtil**

<b>Materiais</b>	<b>Quant. para 1m.l.</b>	<b>Custo Unitário R\$</b>	<b>Custo Total R\$ / m</b>
Brita n.1	3,30 m <sup>3</sup>	42,00 / m <sup>3</sup>	138,60 / m
Geotêxtil não-tecido 200g/m <sup>2</sup>	21,00 m <sup>2</sup>	2,95 / m <sup>2</sup>	61,95 / m
Tubo-dreno Ø 100 mm	1,00 m	2,50 / m	2,50 / m
Tábua 1" × 12" (5 reapr.)	0,30 m <sup>2</sup>	3,22 / m <sup>2</sup>	0,97 / m
Pedreiro (+ leis sociais)	1,43 h	8,10 / h	11,58 / m
Ajudante geral (+ leis sociais)	4,39 h	5,86 / h	25,73 / m
<b>Custo total por metro linear</b>	-	-	<b>241,33 / m</b>
<b>Custo total + B.D.I (30%)</b>	-	-	<b>313,73 / m</b>

Fonte: MACCAFERRI,2009

Tabela 11– Custos Totais do Geocomposto MacDrain 2L Horizontal

<b>Materiais</b>	<b>Quant. para 1m.l.</b>	<b>Custo Unitário R\$</b>	<b>Custo Total R\$ / m</b>
Geocomposto MacDrain 2L	10,00 m <sup>2</sup>	15,00	150,00 / m
Brita n.1	n.a.	n.a.	n.a.
Geotêxtil não-tecido 300g/m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.	n.a.
Tubo-dreno Ø 100 mm	1,00 m	2,50 / m	2,50 / m
Pedreiro (+ leis sociais)	n.a.	n.a.	n.a.
Ajudante geral (+ leis sociais)	1,60 h	5,86 / h	9,38 / m
<b>Custo total por metro linear</b>	-	-	<b>161,88 / m</b>
<b>Custo total + B.D.I (30%)</b>	-	-	<b>210,45 / m</b>

Fonte: MACCAFERRI, 2009

Constatando os gastos para cada tipo de execução, onde já é considerado 10% de perdas referente às irregularidades ocorridas durante a execução, 5% de perdas referente às sobreposições e Cortes. (MACCAFERRI, 2009)

Neste comparativo foram empregados os preços dos insumos para a Região de São Paulo. (MACCAFERRI, 2009)

Para a encontrar a diferença de custo para o sistema vertical foi calculado o custo total mais 30% de BDI inclusos dos dois sistemas da seguinte forma :

$$Diferença\ de\ Custo = DC$$

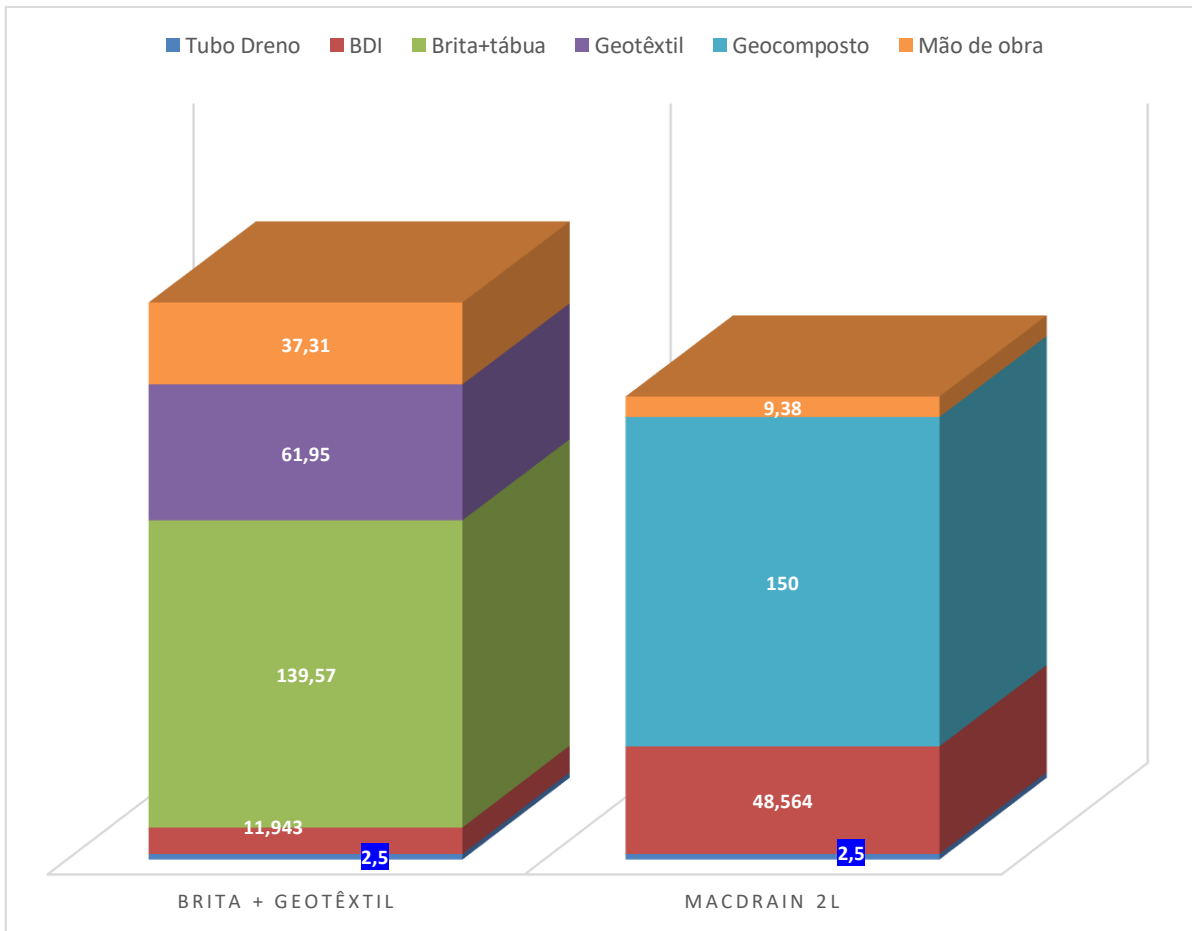
$$DC = Custo\ Total(Brita + Geotêxtil) - Custo\ Total(MacDrain\ 2L)$$

$$DC = 313,73 - 210,45$$

$$DC = 103,28$$

A diferença foi de R\$ 103, 28 por metro de aplicação, utilizando o geossintético analisado MacDrain 2L, a economia pode ser em média 32, 9% menor em relação ao geotêxtil convencional mais a brita onde é demonstrado na figura 32 um gráfico que exibe melhor essa diferença comparando os itens .

**Figura 32 - Comparação de custos do sistema horizontal**



No método convencional emprega-se uma tábua que se eleva a cada etapa de compactação do aterro, enquanto com o geocomposto MacDrain 2L é necessário somente que um ajudante o fixe à estrutura deixando a execução do aterro independente da drenagem fazendo esse esquema ser mais eficiente e econômico. (MACCAFERRI, 2009)

Agora na tabela 12 os custos diretos e indiretos de materiais usados e o custo total para o metro quadrado entre a brita mais o geotêxtil convencional, e os custos do geocomposto analisado MacDrain 2L na posição vertical com o acréscimo de 30% de benefícios e despesas indiretas em cima do custo total .

**Tabela 12-Gastos com materiais**

Materiais	Custo Unitário R\$	Brita + Geotêxtil		MacDrain 2L	
		Quant. para 1m <sup>2</sup>	Custo Total R\$ / m <sup>2</sup>	Quant. para 1m <sup>2</sup>	Custo Total R\$ / m <sup>2</sup>
Geocomposto MacDrain 2L	15,00 /m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.	1,00 m <sup>2</sup>	15,00 / m <sup>2</sup>
Brita n.1	42,00 /m <sup>2</sup>	0,22 m <sup>3</sup>	9,24 /m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.
Geotêxtil não-tecido 200g/m <sup>2</sup>	2,95 /m <sup>2</sup>	1,05 m <sup>2</sup>	3,10 /m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.
Tubo-dreno Ø 100mm	2,50 /m	0,40 m	1,00 /m <sup>2</sup>	0,40 m	1,00 /m <sup>2</sup>
Escavação e remoção de solo (mec.)	4,50 /m	0,50 m <sup>3</sup>	2,25 /m <sup>2</sup>	0,20 m <sup>3</sup>	0,90 /m <sup>2</sup>
Pedreiros (Leis sociais inclusas)	8,10 /h	0,10 h	0,81 /m <sup>2</sup>	n.a.	n.a.
Ajudante Geral (Leis sociais inclusas)	5,86 /h	0,85 h	5,00 /m <sup>2</sup>	0,08/h	0,47 /m <sup>2</sup>
Custo Total por metro linear	-	-	21,40 /m <sup>2</sup>	-	17,37 /m <sup>2</sup>
<b>Custo Total + B.D.I (30%)</b>	-	-	<b>27,82 /m<sup>2</sup></b>	-	<b>22,58 /m<sup>2</sup></b>

Fonte: MACCAFERRI, 2009

Analisando a tabela com os valores do custo total com 30% de BDI se obtém a diferença dos custos como mostra o cálculo abaixo.

$$Diferença de Custo = DC$$

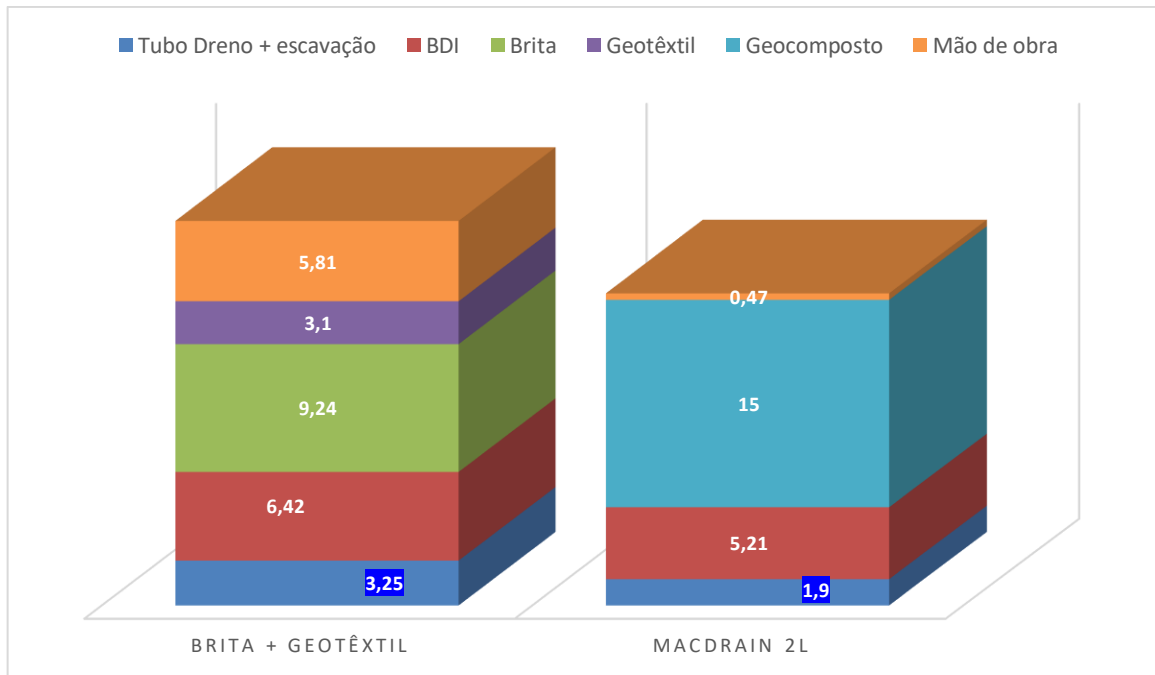
$$DC = Custo Total(Brita + Geotêxtil) - Custo Total(MacDrain 2L)$$

$$DC = 27,82 - 22,58$$

$$DC = 5,24$$

A diferença nesse caso foi apenas de R\$ 5, 24 por metro quadrado aplicado, utilizando o geossintético analisado MacDrain 2L, a economia nesse caso foi de 18,8% a menos em relação ao geotêxtil convencional mais a brita mostrado na figura 33 onde é demonstrado de forma mais clara essa diferença.

**Figura 33 - Comparação de custos do sistema vertical**



O custo direto não é muito diferente, mas já é uma opção de controle de gastos, principalmente pelo fato da eficiência e facilidade da execução da obra gerando economia de tempo e custo, de uma maneira indireta pois fica sendo necessária poucas operações para a implantação do sistema de drenagem horizontal .



## 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho acadêmico possibilitou uma análise ampla, através de estudos teóricos, no contemporâneo tema a utilização de drenantes no domínio da geotecnia.

Referindo aos antepassados a evolução de polímeros significou poderosamente no âmbito da construção civil. Realçando na parte hidráulica deste, tendo o papel de atuação como drenante quando aplicados diretamente e indiretamente nos solos. Ficando evidente que o mercado consumidor consta uma variedade de produtos geotêxteis.

Desde então este é exposto para o uso desse material e expandir no país por conta da sua grande variedade de aplicação e características mecânicas que se tornaram fundamentais para o reforço dos solos e assim resolvendo vários problemas como de controle de permeabilidade.

As propriedades desse materiais geotêxteis devem ser específicas, tanto física tanto química. Assim o filtro drenante que deve possuir aberturas com espessuras definidas para reter o solo e proporcionar ao mesmo tempo que a água escoe, onde sua orientação é de suma importância no projeto para ser utilizado um geossintético próprio pra cada objetivo.

Em obras construtivas tanto horizontais quanto verticais as membranas geossintéticas estabelecem o seu papel impermeabilizante. Com a modernização na zona urbana é habitual a elaboração de trincheiras, telhados verdes e contenções, dessa maneira assentando estes artefatos polímeros, a duração de cada é significativa em comparação ao uso comum de demais geocompostos.

Com o projeto considerado, concluímos que uma boa alternativa para solucionar problemas de impermeabilidade é o uso de geossintéticos, aumentando sua eficiência no controle do solo.

Desta maneira podemos perceber que o projeto tem uma influência tanto no custo total, quanto no custo global da construção e também em facilitar a execução durante a evolução da obra aplicando tecnologias com polímeros.

## REFERÊNCIAS

Aguiar, P. R. & Dantas, J. C. (2004). **Aplicações em drenagens. Manual Brasileiro de Geossintéticos**, Dantas, J. C. (ed), Edgard Blucher, São Paulo.

Aguiar, P. R. & Vertematti, J. C. (2004). **Aplicações em drenagens. Manual Brasileiro de Geossintéticos**, Vertematti, J. C. (ed.), Edgard Blücher, São Paulo, pp. 225-240.

ALLEN T.M.. BATHURST R.J., 2003. **Prediction of reinforced loads in reinforced. Washington State Department of Transportation**, Report WA-RD

ALMEIDA, Maria Gardoni. **Estudo do comportamento dreno-filtrante de Geossintéticos sob compressão**. 2000. 336p. Tese de Doutorado em geotecnia. Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2000.

ALMEIDA, Pérsio Barros - Depto. de Geotecnia e Transportes- **Informe Técnico MACCAFERRI**, Sistema de Drenagem Vertical, FEC - UNICAMP - Campinas 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318: Geossintéticos Parte 1: Termos e definições**. 2013.

BUENO, Benedito de Souza. Matérias Primas. In: VERTEMATTI, José Carlos. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2004.

CASTRO, C. E. M. **Inundações urbanas**. – Porto Alegre: ABRH/RHAMA. 2007. 393p.

COSTA, Amauri Harvey da. **Versatilidade dos geossintéticos aplicada à engenharia**.2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/22322229.pdf>>. Acesso em: Novembro 2018.

DAS, Braja. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson, 2007.

DEAN, V. C. G. R. 2009. 170 p. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005. ENGEPOL, Geossintéticos Ltda. **Manual técnico de Geossintéticos** . 4. ed. Barueri - SP: [s.n.], [20--]. 81 p.

FREITAS, Raquel Almeida Santos. **Comportamento de Geotêxteis como Filtro em Resíduos Fosfógeno e Lama vermelha** . 2003. 122 p. Tese de Mestrado (Mestre em Ciências em Engenharia Civil)- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, São José dos Campos, 2003.

Gardoni, M. G. A. & Palmeira, E.M. (2002). **Desempenho de drenos geotêxteis em condições de serviço. Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, ABMS, São Paulo. INFORMAÇÕES BÁSICAS. **Geofoco**. Disponível em: <<http://geofoco.com.br/geossinteticos/geomembrana/>>. Acesso em Setembro de 2018.

JOHN, N. W. M., 1987, **Geotextiles**, Blackie and Son Ltda. Glasgow and London, 347.

LOPES, Mônica Aleixo; GAIOTO, Nélio. **Estabilidade de uma barragem de terra para contenção de rejeito, construída em etapas, condicionada pelas juntas de construção**. 1997. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

LOPES, M.P.; LOPES, M.L. **A durabilidade dos Geossintéticos**. 1ª ed. Rua dr. Roberto Frias - Porto. Norprint, 2010.

MACCAFERRI. **Catalago Técnico**. Belo Horizonte: Ieca, 2009.

MACCAFERRI. **Drenante Verde**. Rio de Janeiro: Ieca, 2008.

MACCAFERRI. **Ficha Técnica MacDrain® FP 2L 20**. 2009.

MACCAFERRI. **Informativo de Instalação**. Curitiba: Ieca, 2007.

MACCAFERRI. **Manual Instalação Trincheira Drenante**. Rio de Janeiro: Ieca, 2008.

MACCAFERRI. **Sistema de Drenagem Horizontal com o Geocomposto MacDrain®**. São Paulo, 2009.

MACCAFERRI. **Sistema De Drenagem Vertical com o Geocomposto MacDrain®**. São Paulo, 2009.

MACCAFERRI. **Manual Técnico. Critérios Gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos**, 2010.

MACCAFERRI. **CATALAGO: GEOCOMPOSTO**. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/solucoes/trincheiras-drenantes/>>. Acesso em: 23 abr. 20019.

Mitchell, J.K. e Villet, W.C.B (1987) **Reinforcement of earth slopes and embankments**. NCHRP Rep.No.290, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

MUÑOZ, Catarina Silveira. **Desempenho de geotêxteis na filtração de solos internamente instáveis**. 2005. 119 p. Tese de Mestrado (Mestre em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infra- Estrutura Aeronáutica)- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

O QUE SÃO GEORREDES. **Geofoco**. Disponível em: < <http://geofoco.com.br/o-que-sao-georredes/>>. Acesso em Setembro de 2018.

PALMEIRA, Ennio Marques. **Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. P. 368.

SHAVER, N. O. **Curso: Tecnologias Alternativas em Drenagem Urbana**. Escola de Engenharia – UFMG. 1986.

SILVA, Cássio André. **Ensaio de transmissibilidade em Geocompostos para drenagem**. 2007. 123 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)- Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, Marco. **Engenharia Drenante**. Florianópolis: Ghous, 2005.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (IGS NEWS). *GOURC, J.P.; PALMEIRA, E.M. Geossintéticos em Drenagem e Filtração*. Tradução : Marianna J.A. Mendes, Engenheira Civil, com mestrado em Geotecnia pela Universidade de Brasília. Disponível em: <<https://www.geosyntheticssociety.org/wpcontent/plugins/resources/document/s/Drainage%20and%20Filtration/Portuguese.pdf>>. Acesso em 29/11/2018

SONDHAUS, Lawrence. **A primeira guerra mundial**. Indianopolis: Kindle, 1997.

SOUSA, C. F. **Estudo da Aderência e Interação Solo-Geossintético**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília, DF, 2005.

SOUSA, Rainer Gonçalves. **A vida nas trincheiras**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/historiag/a-vida-nas-trincheiras.htm>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SOUZA, Benedito Bueno - Chefe do Lab. de Geossintéticos - **Informe Técnico MACCAFERRI**, Sistema de Drenagem Horizontal, USP - São Carlos 2009.

SOUZA, C. F. **Mecanismos técnicoinstitucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. 2005. 174p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. 2005.

TECNOLOGIA E QUALIDADE DE SISTEMAS EM ENGENHARIA LTDA. **Programa Setorial de Qualidade de Geotexteis Não tecidos**. São Paulo, 2017.

TUCCI; MARQUES. **Relatorio Tecnico Drenante**. Sao Paulo: Khos, 2001.

VERTEMATTI, José Carlos. **Geossintéticos em estruturas de contenção e taludes íngremes**. Aplicações de geossintéticos em geotecnia e meio ambiente, São Paulo, 2004.

VERTEMATTI, José Carlos. **Manual brasileiro de geossintéticos** . 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2004.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos, SP, 1993. 2v. Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP.