

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO**

JULIANA FURTADO MELO

**ESTUDO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM
MUROS DE ARRIMO UTILIZANDO
GEOSSINTÉTICOS**

**VITÓRIA
2021**

JULIANA FURTADO MELO

ESTUDO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM
MUROS DE ARRIMO UTILIZANDO
GEOSSINTÉTICOS

Projeto de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Karla Maria Wingler Rebelo.

VITÓRIA
2021

JULIANA FURTADO MELO

ESTUDO DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO EM MUROS DE ARRIMO UTILIZANDO GEOSSINTÉTICOS

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Karla Maria Wingler Rebelo.

Prof.^a Dr.^a Karla Maria Wingler Rebelo
Orientadora

Prof. Dr. Patrício José Moreira Pires
Avaliador interno

Prof. Dr. Milton Paulino da Costa Junior
Avaliador interno

À minha fortaleza, minha família.

À tia Rosa e tia Vavá.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, por tanto amor e misericórdia. Por ser meu refúgio e suporte durante toda a graduação, sobretudo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à Nossa Senhora pela interceção a Deus.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Karla Maria Wingler Rebelo, por toda ajuda, atenção, paciência e suporte. Certamente um grande exemplo de profissional dedicada e excelente no que faz.

Muito obrigada aos meus pais pelo suporte, compreensão e incentivo de sempre, parte essencial para que eu chegasse até aqui.

Às minhas avós, meus exemplos de fé e amor, muito obrigada pelas orações e carinho de sempre.

À minha irmã e aos meus amigos, obrigada por serem meu auxílio e distração em todos os momentos.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que estiveram comigo durante esta caminhada, deixando a jornada mais agradável.

RESUMO

MELO, J. F. **Estudo do sistema de filtração em muros de arrimo utilizando geossintéticos**. 2021. 80p. Projeto de Graduação. Engenharia Civil – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Sistemas drenantes são essenciais para a garantia da eficiência e estabilidade de muros de arrimo. Para os muros de arrimo de gabiões, apesar de altamente permeáveis, deve-se considerar, também, a estabilidade do maciço de solo protegido, assim um sistema filtrante associado a estas estruturas de contenção exerce papel importantíssimo para a continuidade da drenagem e, portanto, da segurança. Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da utilização de geossintéticos do tipo geotêxtil, como elementos filtrantes de um muro gabião hipotético. O dimensionamento foi realizado utilizando três diferentes tipos de solos, previamente estudados e caracterizados em duas pesquisas realizadas nos anos de 2017 e 2019, nas dependências do Laboratório de Solos da Universidade Federal do Espírito Santo. Os geossintéticos verificados foram extraídos de três linhas comerciais de geotêxteis não-tecidos. Utilizou-se o Dimensionamento Convencional e foram verificados os critérios de retenção e de permeabilidade, por meio dos parâmetros estabelecidos pelo Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG) e da Lei de Darcy. Os resultados obtidos indicaram que os geotêxteis não-tecidos estudados apresentam-se como uma ótima alternativa de aplicação como elementos filtrantes, podendo ser utilizados como complemento e/ou substituintes dos filtros tradicionais.

Palavras-chave: geossintéticos, geotêxteis, filtração, muros de contenção, muro gabião, dimensionamento.

ABSTRACT

MELO, J. F. **Study of the filtration system in retaining walls using geosynthetics.** 2021. 80p. Graduation project. Civil engineering – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Drainage systems are essential to ensure the efficiency and stability of retaining walls. For the gabion retaining walls, although highly permeable, must also be considered the stability of the protected soil mass, so a filtering system associated with these containment structures plays an extremely important role for the continuity of drainage and, therefore security. The present work aimed to study the feasibility of using geosynthetics of the geotextile type, as filter elements of a hypothetical gabion wall. The sizing was carried out using three different types of soils, previously studied and characterized in two surveys carried out in the years 2017 and 2019, in the premises of the Soil Laboratory of the Federal University of Espírito Santo. The verified geosynthetics were extracted from three commercial lines of non-textile geotextiles. Conventional Sizing was used and the criteria for retention and permeability were verified, through parameters established by the French Committee on Geotextiles and Geomembranes and Darcy's Law. The results obtained indicated that the studied non-textile geotextiles present themselves as a great alternative of application as filter elements, and can be used as a complement or substitute for traditional filters.

Key words: geosynthetics, geotextiles, filtration, retaining walls, gabion wall, sizing.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ampliação de um geotêxtil tecido.....	25
Figura 2 – Ampliação de um geotêxtil não-tecido.....	26
Figura 3 – Processo de filtração utilizando geotêxtil.....	28
Figura 4 – Esquema do peneiramento por via úmida.....	31
Figura 5 – Esquema do peneiramento hidrodinâmico.....	31
Figura 6 – Esquema do peneiramento à seco.....	32
Figura 7 – Representação do fluxo normal ao plano do geotêxtil.....	33
Figura 8 – Esquema do ensaio de permeabilidade normal sem confinamento à carga constante e à carga variável.....	34
Figura 9 – Representação do fluxo na direção do plano do geotêxtil.....	34
Figura 10 – Esquema do ensaio de permeabilidade planar.....	35
Figura 11 – Representação de um auto-filtro em um muro gabião.....	37
Figura 12 – Ampliação da representação de uma rede de arcos em um muro gabião.....	37
Figura 13 – Fenômeno de sufusão do solo.....	38
Figura 14 – Muro de arrimo por flexão (à esquerda) e por gravidade (à direita).....	40
Figura 15 – Diferentes tipos de elementos modulares de um gabião.....	42
Figura 16 – Representação da seção transversal de um muro gabião.....	43
Figura 17 – Representação da colmatação por bloqueamento.....	51
Figura 18 – Representação da colmatação por cegamento.....	52
Figura 19 – Representação da colmatação interna propriamente dita.....	52
Figura 20 – Representação da curva de distribuição dos poros de um determinado geotêxtil e a obtenção de P.....	54
Figura 21 – Curva granulométrica dos solos S01, S02 e S03.....	59
Figura 22 – Perfil transversal do muro gabião.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos e Aplicação dos Geossintéticos.....	20
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens de certos polímeros.....	22
Tabela 3 – Coeficientes para o critério de retenção do CFGG (1986).....	47
Tabela 4 – Coeficientes para o critério de permeabilidade CFGG (1986).....	48
Tabela 5 – Fatores de redução para a Lei de Darcy.....	50
Tabela 6 – Características e métodos de ensaios para produtos geotêxteis em estruturas de contenção.....	53
Tabela 7 – Resumo de informações teóricas dos solos.....	56
Tabela 8 – Resultado dos ensaios de caracterização dos solos.....	58
Tabela 9 – Frações granulométricas dos solos.....	58
Tabela 10 – Diâmetros equivalentes dos solos.....	59
Tabela 11 – Especificações técnicas dos geotêxteis SOLO GEO®.....	61
Tabela 12 – Especificações técnicas dos geotêxteis MACTEX® H.2.....	62
Tabela 13 – Especificações técnicas dos geotêxteis Bidim RT.....	63
Tabela 14 – Verificação da auto-estabilidade dos solos.....	64
Tabela 15 – Fator granulométrico.....	64
Tabela 16 – Fator de adensamento, hidráulico e de função.....	65
Tabela 17 – Verificação do Critério de Retenção.....	67
Tabela 18 – Valores de permeabilidade dos solos e dos fatores variáveis.....	68
Tabela 19 – S01: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG.....	69
Tabela 20 – S02: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG.....	70
Tabela 21 – S03: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG.....	71
Tabela 22 – Vazão através dos solos.....	72
Tabela 23 – Fatores de redução do critério da Lei de Darcy.....	72

Tabela 24 – S01: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy.....	73
Tabela 25 – S02: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy.....	74
Tabela 26 – S03: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLA	- DESCRIÇÃO
ABINT	- Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	- Association Française de Normalization
AOS	- Apparent Opening Size (O_{95})
ASTM	- American Society for Testing Materials
Cc	- Coeficiente de Curvatura
CFGG	- Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas
Cu	- Coeficiente de Uniformidade
D _{10s}	- Diâmetro em que 10% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{15s}	- Diâmetro em que 15% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{30s}	- Diâmetro em que 30% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{35s}	- Diâmetro em que 35% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{50s}	- Diâmetro em que 50% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{60s}	- Diâmetro em que 60% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
D _{85s}	- Diâmetro em que 85% do solo, em peso, tem diâmetros inferiores
GBR	- Barreira geossintética
GBR-B	- Barreira geossintética betuminosa (geomembrana betuminosa)
GBR-C	- Barreira geossintética argilosa (forro geossintético argiloso)
GBR-P	- Barreira geossintética polimérica (geomembrana)
GCE	- Geocélula
GCO	- Geocomposto
GGR	- Geogrelha

GMA	- Geomanta
GNT	- Georrede
GP	- Geotubo
GSP	- Geoespaçador
GST	- Geotira
GTX (ou GT)	- Geotêxtil
GTX-K	- Geotêxtil tricotado
GTX-NW	- Geotêxtil não-tecido
GTX-NWa	- Geotêxtil não-tecido agulhado
GTX-NWr	- Geotêxtil não-tecido resinado
GTX-NWt	- Geotêxtil não-tecido termoligado
GTX-W	- Geotêxtil tecido
IGS	- International Geosynthetics Society
O ₉₅	- Abertura de Filtração Aparente
SUCS	- Sistema Unificado de Classificação dos Solos
UFES	- Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	- DESCRIÇÃO
AE	- Solo da jazida da área de empréstimo
C ₁	- Fator granulométrico
C ₂	- Fator de adensamento
C ₃	- Fator hidráulico
C ₄	- Fator de função
IP	- Índice de plasticidade
JP6	- Solo da jazida JP6
LL	- Limite de liquidez
LP	- Limite de plasticidade
S00	- Solo natural
S01	- Solo S00 renomeado
S02	- Solo AE renomeado
S03	- Solo JP6 renomeado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.2	OBJETIVO.....	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	GEOSSINTÉTICOS.....	19
2.1.1	Definição.....	19
2.1.2	Constituição.....	21
2.1.3	Tipos.....	23
2.1.4	Geotêxteis.....	25
2.1.5	Mecanismo de filtração utilizando geotêxteis.....	27
2.1.6	Propriedades relevantes dos geossintéticos em sistemas de filtração.....	29
2.1.7	O processo de filtração.....	36
2.1.8	Influência do meio.....	38
2.2	MUROS DE ARRIMO.....	40
2.2.1	Definição.....	40
2.2.2	Muro gabião.....	41
2.3	DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE FILTROS GEOTÊXTEIS.....	44
2.3.1	Dimensionamento Convencional.....	45
2.3.2	Dimensionamento Racional.....	53
3	MATERIAIS E MÉTODO DO DIMENSIONAMENTO.....	56
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	56

3.1.1	Solos.....	56
3.1.2	Muro gabião.....	59
3.1.3	Geotêxteis.....	60
3.2	DIMENSIONAMENTO - MÉTODO CONVENCIONAL.....	63
3.2.1	Verificação da auto-estabilidade do solo.....	63
3.2.2	Verificação do Critério de Retenção.....	64
3.2.3	Verificação do Critério de Permeabilidade.....	68
3.2.4	Especificação do geossintético.....	75
4	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Estruturas que promovem a estabilização de maciços de solos são de extrema importância para a sociedade como um todo. Segundo Barros (2015), “muros de arrimo, são estruturas consideradas entre as mais antigas da história da construção e que acompanham a civilização humana desde as primeiras construções”. Estas são estruturas volumétricas projetadas para estabilizar encostas, resistindo à empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e outros esforços externos. Muro gabião é um tipo de muro de arrimo muito utilizado e bastante eficiente, se bem especificado.

A ação da água em excesso no solo, principalmente se analisado nos locais onde há influência à vida humana, requer bastante atenção. A água que infiltra no solo pode elevar o nível do lençol freático, reduzindo as tensões efetivas de solos saturados e, conseqüentemente, a resistência do solo. Além disso, pode acontecer de a água nem chegar a atingir o lençol freático, mas criar um acréscimo de peso no solo superficial, reduzindo, também a resistência ao cisalhamento e a estabilidade. Portanto, o fluxo de água exerce forças sobre as partículas do solo que influenciam no estado de tensões do maciço como um todo. Por isto, a importância dos sistemas de drenagem em conjunto com os sistemas de filtração em muros de arrimo.

Filtros geossintéticos instalados na interface do maciço de solo com o gabião podem ser utilizados em substituição aos tradicionais filtros de agregados naturais, permitindo a livre passagem dos fluidos e impedindo o carreamento de partículas finas do solo, restando-as de maneira eficaz e evitando, desta forma, a redução ou perda da resistência do solo protegido por saturação ou por meio do fenômeno de “piping”; além de prevenir a colmatação do meio drenante. Esta substituição, em relação aos filtros naturais, pode ocorrer devido a garantia de segurança deste tipo de filtro sintético, por conta da homogeneidade de suas propriedades em toda extensão da obra, além da facilidade de aplicação e transporte, resultando em menor tempo de execução e em um bom custo benefício.

Na atualidade, vê-se cada vez mais frequentes eventos climáticos extremos, tais como grandes enxurradas. “Estes eventos têm exigido da comunidade científica e gestores, medidas preventivas para diminuir seus impactos em níveis de meio ambiente e econômico” (THEISEN et al., 2009). Desta forma, a escolha dos elementos que compõem as soluções estruturadoras de taludes, devem ser pautadas nas boas práticas de engenharia, que prezam pela técnica, eficiência e durabilidade, tratando o problema como um todo, desde a execução do retaludamento, através da construção do muro de arrimo propriamente dito, até a drenagem adequada do fluido em percolação.

Assim, sistemas filtrantes eficientes em obras de muros de arrimo são partes essenciais para a garantia da estabilidade de tais intervenções civis. Neste trabalho, realizou-se o dimensionamento de um sistema filtrante com uso de geossintéticos em um muro de arrimo hipotético do tipo gabião.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho possui como objetivo principal realizar o dimensionamento de um sistema de filtração de um muro de arrimo hipotético, do tipo gabião, utilizando como solução geotécnica para tal função, os geossintéticos. O dimensionamento em questão teve como condições de contorno e solicitações, dados pressupostos e fictícios da execução de um muro de arrimo, e parâmetros de solos da região do Espírito Santo. Portanto, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Analisar se os geossintéticos propostos apresentam os requisitos mínimos técnicos e de segurança para serem empregados num sistema de filtração de uma obra de muro de arrimo;
- Comparar diferentes critérios de permeabilidade, nas propriedades hidráulicas dos geossintéticos utilizados como filtros;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está subdividido em 3 capítulos, além da conclusão. No primeiro capítulo, é realizada a introdução bem como a definição dos objetivos desta pesquisa.

Já no segundo capítulo, é realizada uma revisão geral a respeito dos principais assuntos abordados ao longo do trabalho, contendo definições e propriedades relevantes, de modo a criar uma base teórica. Além disso, são apresentados dois diferentes métodos de dimensionamento que costumam ser adotados para sistemas filtrantes utilizando geossintéticos.

Já no terceiro capítulo é realizado o dimensionamento do sistema de filtração propriamente dito, através do método de dimensionamento adotado, além da apresentação dos materiais utilizados e da exposição dos resultados obtidos. Por fim, no capítulo de conclusão é feita a análise geral quanto aos resultados obtidos através do dimensionamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOSSINTÉTICOS

2.1.1 Definição

Desde os tempos mais remotos busca-se associar materiais ao solo com a finalidade de aprimorar suas características. De acordo com Koerner (1998), os geossintéticos aparecem na história da humanidade desde as primeiras tentativas de construção de reforços de solos, utilizados para estabilização de solos pantanosos, através do uso de troncos de árvores e pequenos arbustos. Tais aplicações datam de 3.000 a.C.

A produção dos geossintéticos, como conhecidos na atualidade, iniciou recentemente na engenharia geotécnica: após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento da indústria petroquímica. Mas, segundo John (1987), a primeira aplicação dos geossintéticos na era moderna, data de 1926, ocorrido nos Estados Unidos, com o emprego de geotêxteis no reforço de pavimentos de estradas da Carolina do Sul. No Brasil, relata-se que a utilização deste material iniciou na década de 1970, sendo os geotêxteis os primeiros a serem utilizados, aplicados como elementos filtrantes em sistemas de drenagem. Entretanto, pouco se sabe sobre estas primeiras obras. De acordo com Palmeira (2018), foi a partir da década de 1990, que a utilização dos geossintéticos tornou-se maior, apresentando-se em crescimento desde então.

A Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), define os geossintéticos como “elementos planos, que são produzidos a partir de polímeros sintéticos ou naturais, e utilizados em combinação com solo, rocha e/ou outros materiais geotécnicos como parte integral de um projeto, estrutura ou sistema em engenharia civil”.

Já a NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2018) define este recurso da engenharia geotécnica como:

“o termo genérico que descreve um produto em que ao menos um de seus componentes é produzido a partir de um polímero sintético ou natural, se apresentando na forma de manta, tira, ou estrutura tridimensional. Utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil”.

Os geossintéticos apresentam diversas funções e aplicações, podendo, inclusive, desenvolver mais de uma função ao mesmo tempo. Algumas das funções dos geossintéticos são: filtração, drenagem, separação, reforço, proteção, impermeabilização e controle de processos de erosão superficial. Para exercer as numerosas funções, existem, também, diferentes tipos de geossintéticos, que são listados no item 2.1.3 deste trabalho.

Para o correto dimensionamento de uma obra utilizando geossintéticos, e para que haja um bom desempenho dos mesmos, é de extrema importância identificar e determinar a função primária a ser exercida e as demais funções (funções secundárias), caso existam e/ou sejam necessárias. A Tabela 1 apresenta algumas das principais aplicações dos vários tipos de geossintéticos disponíveis no mercado da construção civil. Neste trabalho, há a avaliação de geossintéticos do tipo geotêxtil, com a função de filtração.

Tabela 1 – Tipos e aplicação dos geossintéticos

Geossintético	Aplicação						
	Reforço	Filtração	Drenagem	Proteção	Separação	Impermeabilização	Controle de erosão
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Geogrelha	✓						
Geomembrana					✓	✓	
Geocomposto	✓		✓			✓	
Geoespaçador			✓				
Geotira	✓						
Georrede			✓				
Geotubo			✓				
Geomanta						✓	✓
Geocélula	✓						✓

Fonte: Adaptado de Koerner (1998).

Atualmente, devido às várias vantagens dos geossintéticos, eles têm sido cada vez mais utilizados em obras geotécnicas, tanto como complemento de materiais naturais, quanto como substituintes dos mesmos, quando possível. Entretanto, quando o geossintético substitui um material natural, deve haver, obviamente, a equivalência das aplicações e funções desempenhadas, nos quesitos técnicos de resistência, durabilidade, permeabilidade e capacidade de deformação.

Conforme indicado pela IGS Brasil, se comparado aos métodos tradicionais, os geossintéticos são muito versáteis e apresentam diversas vantagens: facilidade de manuseio; bom custo-benefício, com custo competitivo aos métodos comumente utilizados (métodos tradicionais); redução de espessura e sobrecarga, resultando em estruturas mais esbeltas; rapidez na execução das obras, devido à facilidade de instalação; garantia de qualidade e segurança, por serem produtos industrializados e produzidos sob um processo controlado, em melhoria contínua e com propriedades específicas para as mais diversas necessidades; além de, sob uma certa ótica, serem produtos com menos impactos ambientais, afinal, alguns geossintéticos são produtos constituídos ou semi-constituídos de polímeros sintéticos, evitando, na função de filtração, por exemplo, a utilização de agregados naturais; dentre várias outros benefícios.

De acordo com VIDAL (2011) “os geossintéticos se bem especificados, fabricados e instalados corretamente, terão bom desempenho, desde que tenha sido feita a correta identificação da função que este irá desempenhar na aplicação projetada”.

2.1.2 Constituição

Conforme o item 2.1.1 deste trabalho, sabe-se que geossintéticos são constituídos, ao menos, de um polímero natural ou sintético. A constituição polimérica dos geossintéticos, em conjunto com outros fatores, como o meio no qual ele está inserido, influenciam diretamente no comportamento do material, bem como nas possíveis reações que podem sofrer: “a natureza química dos polímeros tem implicações na sua estrutura formada, tanto no que se refere à constituição, quanto à configuração e conformação” (TRENTINI E VIDAL, 2006).

Polímeros são macromoléculas de natureza orgânica e alto peso molecular. Eles são formados através da combinação de unidades de baixo peso molecular, os monômeros. Monômero é a unidade básica dos polímeros, que pode juntar-se entre si (e a grupos de ponta) em unidades de repetição por meio da polimerização. Esta reação química de junção dos monômeros ocorre por meio da pressão ou da temperatura.

Algo que influencia substancialmente no comportamento dos polímeros é o peso molecular, ou seja, o produto do peso molecular do monômero base pelo grau de polimerização (quantidade de vezes que o monômero se repete numa cadeia molecular). De acordo com Sieira (2003), o aumento do peso molecular gera um aumento da resistência à tração, ao impacto e ao calor, acarretando desta forma, na diminuição da fluência do material. Vários tipos de polímeros podem ser utilizados na fabricação dos geossintéticos, dentre os mais empregados estão o polietileno, o polipropileno, o poliéster e a poliamida.

Segundo a classificação térmica, os polímeros são divididos em termoplásticos, ou seja, naqueles que resistem à fusão de aquecimento e resfriamento, sendo moldáveis, maleáveis e recicláveis; ou em termofixos ou termorrígidos, que não resistem ao aquecimento e se quebram. FREITAS (2003), diz que:

“Os polímeros mais utilizados na fabricação de geotêxteis são os do grupo dos termoplásticos, por reunirem características adequadas ao processo de fabricação do geotêxtil, uma vez que são capazes de sofrer amolecimento (reaquecimento) e endurecimento sob a ação do calor ou resfriamento, respectivamente, visto que o processo pode ser repetido, sem que haja comprometimento do material. Dentre os termoplásticos, destacam-se o polietileno, a poliamida (nylon), o poliéster (polietileno tereftalato) e o polipropileno”.

Na Tabela 2 há algumas das principais vantagens e desvantagens dos polímeros citados.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens de certos polímeros

Polímero base	Vantagens	Desvantagens
Polipropileno Polietileno	Inatividade química em soluções ácidas e básicas; Baixo custo.	Baixo módulo elástico; Elevada deformação sob carga constante (fluência).
Poliéster	Elevado módulo elástico; Baixa deformação sob carga constante (fluência); Custo relativamente baixo.	Perda das características mecânicas sob a ação de soluções básicas.
Poliamida	Elevado módulo elástico; Alta resistência à abrasão.	Perda das características mecânicas por permanência prolongada em água; Custo elevado.

Fonte: Sieira (2003).

A fim de melhorar as propriedades dos geossintéticos são acrescentados aditivos em

suas composições. “Estes aditivos são utilizados para melhorar as propriedades do produto final ou facilitar as operações de transformação, podendo exercer papéis de lubrificantes, estabilizantes e plastificantes” (ROCHA, 1983). Aditivos plastificantes, por exemplo, aumentam a flexibilidade; os antioxidantes impedem a oxidação na presença de ozônio; já os inibidores de raio UV evitam a foto-oxidação sobre o geossintético (o polipropileno (PP), por exemplo, pouco resistente aos raios ultravioletas, deve ter a adição do negro de fumo em sua composição, pois, o polipropileno degrada-se depressa, quando exposto à luz solar).

Portanto, a durabilidade de um geossintético, atributo de manter suas propriedades e integridade durante a vida útil, está diretamente relacionada à sensibilidade do polímero apresentar mudanças, quando estiver inserido nas condições de uso. “Deve-se valer, em relação à avaliação dos riscos resultantes de eventuais reações químicas, que podem afetar características mecânicas ou a capacidade filtrante/drenante do geossintético” (DELMA VIDAL *et al.*, 1991). Então, é de fundamental importância conhecer a constituição polimérica e o ambiente de aplicação do material para o dimensionamento dos geossintéticos.

2.1.3 Tipos

Atualmente, no mercado da engenharia geotécnica, existem diversos tipos de geossintéticos disponíveis. Cada um com características mais adequadas para realizar determinada função (ou mais de uma função), conforme a Tabela 1. A NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2018) lista e define os principais tipos de geossintéticos, conforme abaixo:

- Geotêxtil [GTX ou GT]: será tratado no item 2.1.4 do trabalho.
- Barreira geossintética [GBR]: Material geossintético de baixa permeabilidade, utilizado com a finalidade de reduzir ou prevenir a percolação de fluidos através da estrutura. Dividida em:
 - Barreira geossintética polimérica (geomembrana) [GBR-P]: Estrutura constituída de materiais geossintéticos, produzida industrialmente em forma de lâmina, na qual a função barreira é

essencialmente desempenhada por polímeros.

- Barreira geossintética argilosa (forro geossintético argiloso) [GBR-C]: Estrutura constituída de materiais geossintéticos, produzida industrialmente em forma de lâmina, na qual a função barreira é essencialmente desempenhada pela argila.
- Barreira geossintética betuminosa (geomembrana betuminosa) [GBR-B]: Estrutura constituída de materiais geossintéticos, produzida industrialmente em forma de lâmina, na qual a função barreira é essencialmente desempenhada pelo betume.
- Geocomposto [GCO]: Material fabricado e montado usando pelo menos um produto geossintético entre os componentes.
- Geotira [GST]: Material polimérico na forma de uma tira, com largura não superior a 200 mm.
- Geoespaçador [GSP]: Estrutura polimérica tridimensional com espaços de ar que se interconectam.
- Georrede [GNT]: Geossintético constituído por conjuntos de elementos paralelos superpostos e completamente conectados a outros elementos similares a vários ângulos.
- Geotubo [GP]: Produto de formato tubular com função drenante.
- Geomanta [GMA]: Produto com estrutura tridimensional permeável, feita de monofilamentos poliméricos e/ou outros elementos (sintéticos ou naturais), interligados mecanicamente e/ou termicamente, e/ou quimicamente, e/ou outra forma.
- Geocélula [GCE]: Fibra tridimensional, permeável, polimérica (sintética ou natural), ou estrutura celular semelhante, feita de ligadas de geossintéticos.

- Geogrelha [GGR]: Estrutura polimérica plana, constituída por uma malha aberta e regular de elementos de tração completamente conectados, que podem ser unidos por extrusão, solda ou “interlooping” ou entrelaçamento, e cujas aberturas são maiores que os elementos constituintes.

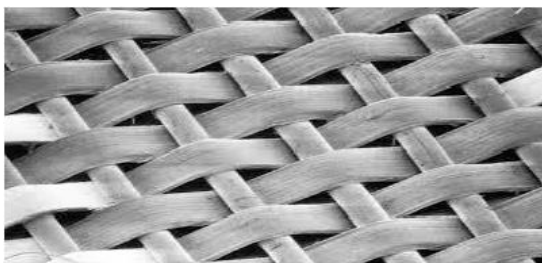
2.1.4 Geotêxteis

Com a função de filtração, o tipo de geossintético comumente utilizado é o geotêxtil. De acordo com NBR 10318-1 (ABNT, 2018), geotêxtil [GTX ou GT] é um “material plano, permeável, polimérico (sintético ou natural) podendo ser não tecido, tricotado ou tecido, utilizado em contato com o solo e/ou outros materiais em aplicações da engenharia geotécnica e civil”.

Assim, a depender da técnica utilizada na fabricação deste tipo de geossintético, determina-se, então, sua estrutura e, assim, sua classificação em três diferentes tipos: tecido, não-tecido e agulhado.

Geotêxteis tecidos [GTX-W], representados pela Figura 1, são aqueles fabricados a partir de um processo de tecelagem em teares, em que os fios seguem direções preferenciais e ordenadas nas duas direções, geralmente em um ângulo de 90° entre eles, denominadas de trama (sentido transversal) e urdume (sentido longitudinal). De acordo com Paterniani (1991), eles possuem uma espessura muito fina (menor que 1 mm).

Figura 1 – Ampliação de um geotêxtil tecido



Fonte: IGS Brasil (2000).

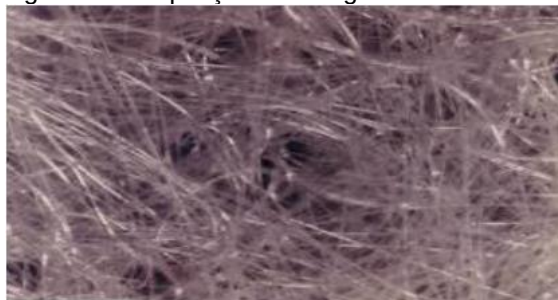
Os geotêxteis não-tecidos [GTX-NW] são produzidos por meio de uma distribuição desordenada, sem direção preferencial, de fibras cortadas ou filamentos contínuos, ou ainda, monofilamentos contínuos. O material é lançado sobre uma esteira rolante

e, segundo Freitas (2003), a espessura do produto fica condicionado à velocidade de avanço da esteira. Após tal processo, o material segue para outra esteira, onde é realizado a interligação das fibras que pode ser por agulhagem (processo mecânico), resinagem (processo químico) ou calandragem (processo térmico), originando:

- Geotêxteis não-tecidos agulhados [GTX-NWa]: obtidos por processo de penetração, em toda sua espessura, de várias agulhas de pontas curvas. “Neste processo pretende-se obter um maior entrelaçamento dos fios, e a manta resultante apresenta espessura maior que a do geotêxtil tecido” (FREITAS, 2003).
- Geotêxteis não-tecidos resinados [GTX-NWr]: após a agulhagem, geralmente, há uma nova ligação através da introdução de uma resina acrílica por aspersão, imersão ou molhagem. Em seguida faz-se a cura em um forno ou através de um rolo quente.
- Geotêxteis não-tecidos termoligado [GTX-NWt]: estes são constituídos pelo processo de fusão parcial de suas fibras nos pontos de contato. De acordo com FREITAS (2013), “o material resultante tende a ser relativamente mais fino do que o geotêxtil do processo de agulhagem”.

Uma constatação importante é que, segundo Freitas (2003), os geotêxteis não-tecidos são os mais indicados na função de filtração, por apresentarem uma estrutura muito mais complexa do que os geotêxteis tecidos. Afinal, os não-tecidos não atuam como uma simples interface, mas como um meio tridimensional, apresentando a espessura como um parâmetro adicional em seu desempenho. Desta forma, a escolha de um geotêxtil não-tecido fino é realizada quando se busca uma situação com alta permeabilidade, enquanto que a escolha de um geotêxtil não tecido grosso ocorre quando a função principal requerida de sua aplicação é a retenção do solo.

Figura 2 – Ampliação de um geotêxtil não-tecido



Fonte: IGS Brasil (2000).

Já os geotêxteis tricotados [GTX-K] são fabricados a partir do entrelaçamento dos fios por tricotamento. Para obter um produto final com alta resistência e reduzido alongamento, pode-se associar o tricotamento à tecelagem. Segundo Freitas (2003), a tecelagem é feita na urdina (fibras são alinhadas na direção do processo de fabricação) para alcançar uma alta resistência unidirecional, em que feixes de multifilamentos de alta resistência são aplicados sobre uma base tricotada deformável.

É evidente que a estrutura do geotêxtil intervém diretamente na reação da função a qual é aplicado, ou seja, em seu desempenho, em função do seu tipo, espessura, dimensão dos vazios e resistência. No dimensionamento deste trabalho, será realizada a verificação de geotêxteis não-tecidos.

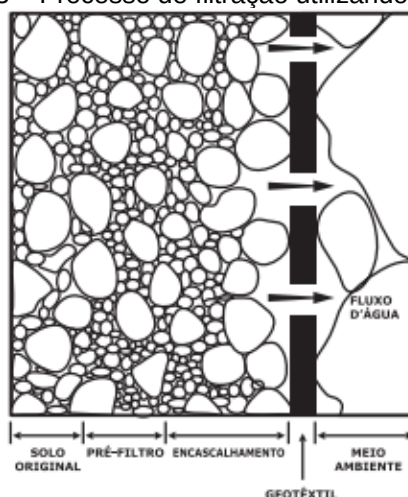
2.1.5 Mecanismo de filtração utilizando geotêxteis

Tradicionalmente, em situações que requerem a função de filtração costuma-se utilizar os filtros naturais, constituídos de materiais granulares, tais como areias e britas. Entretanto, com o advento e popularização dos geossintéticos, a utilização destes vem se expandindo, principalmente devido à equivalência de funções e, a partir disto, devido às vantagens desempenhadas por tais materiais sintéticos nesta aplicação específica de filtração, se comparado aos demais métodos, conforme descrito por REBELO (2020):

- Facilidade de instalação;
- Custo competitivo em situações em que os materiais granulares disponíveis não cumprem as especificações de projeto, são escassos ou têm seu uso restringido por razões ambientais;
- Menor espessura do filtro, se comparado aos filtros granulares (conforme descrito no item 2.1);
- Produto industrial com características controladas e regulares (conforme descrito no item 2.1);
- Continuidade da estrutura filtrante ou drenante, mesmo no caso de ocorrência de recalques;
- Redução do peso, proporcionando menores sobrecargas nas estruturas de obras civis e ambientais.

A filtração consiste na retenção de solo ou partículas sólidas com a passagem do fluido em movimento. Utilizados com a função de filtração, os geossintéticos devem, então, garantir a capacidade de passagem do fluido, e realizar a retenção de partículas de solo presentes no fluido, para até a granulometria a qual foram dimensionados, conforme a Figura 3. Para isto, o filtro deve ser mais permeável que o solo protegido, com o intuito de garantir a continuidade do fluxo nas direções corretas, além de dever possuir aberturas de poros suficientemente pequenas, com a finalidade de reter certas partículas em passagem. “Portanto, para um filtro ser considerado com um bom funcionamento precisa reter o solo de base a ser protegido sem impedir a passagem livre do líquido, mantendo suas características ao longo da vida útil da obra” (KOERNER, 1999).

Figura 3 – Processo de filtração utilizando geotêxtil



Fonte: Barros (2002).

Muros de arrimo devem, obrigatoriamente, possuir sistemas drenantes associados ao seu tardo, ou serem auto-drenantes, como o caso dos gabiões, para que não ocorra o rompimento dos mesmos devido à sobrecarga causada pela pressão hidrostática da água ou devido à diminuição da resistência do solo à montante (solo protegido). Assim, segundo Vertematti (2004), evita-se que o muro torne-se uma barragem, ou seja, assuma uma função para a qual não foi projetado. Quando bem dimensionados, os filtros associados aos drenos promovem, portanto, a garantia da destinação final do fluido em percolação.

2.1.6 Propriedades relevantes dos geossintéticos em sistemas de filtração

Como qualquer material, os diferentes tipos de geossintéticos possuem propriedades, definidas através de ensaios (tanto de caracterização, quanto de desempenho) realizados em campo e em laboratório, que são utilizadas no processo de dimensionamento de suas aplicações.

No dimensionamento de geossintéticos para a filtração, apesar da fundamental importância das propriedades mecânicas e de durabilidade/desempenho, primordialmente, destacam-se algumas propriedades físicas e hidráulicas.

As propriedades físicas são aquelas intrínsecas ao material, ou seja, independem das condições de uso e são determinadas por meio de ensaios de caracterização. Destas propriedades, destacam-se:

- Massa por unidade de área ou Gramatura [M_A]: é a relação entre a massa (g) e a área (m^2) de um corpo de prova de geometria regular de um geotêxtil, cujo ensaio é normatizado pela NBR ISO 9864 (ABNT, 2013). Consoante Sieira (2003), tal propriedade é um indicador da uniformidade e da qualidade de um geossintético. Os valores usuais desta grandeza situam-se entre 100 e 300g/ m^2 para os geotêxteis tecidos, 100 e 600g/ m^2 para os geotêxteis não tecidos e entre 200 e 1000g/ m^2 para as geogrelhas (ISO 9864/88, NBR 12568/92).
- Espessura nominal [t_G]: é a medida entre as superfícies superior e inferior do geossintético, quando submetido a uma pressão vertical de 2 kPa, aplicada em uma área de 25 cm^2 , por placas rígidas e paralelas durante 5 segundos. É denotada em milímetros (mm) e normatizada pela NBR ISO 9863-1 (ABNT, 2003) e pela D5199 (ASTM, 2012).
- Densidade relativa dos polímeros ou Porosidade [η_{GT}]: é a propriedade que expressa a relação entre o volume de poros e o volume total de uma amostra do elemento filtrante (geotêxtil), expressa em porcentagem, conforme a equação 1 abaixo:

$$\eta_{GT} = 1 - \frac{M_A}{t_{GT} \cdot \rho_f \cdot \gamma_w} \quad (1)$$

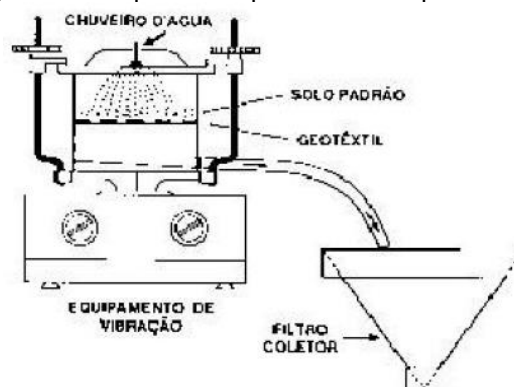
Sendo: M_A = gramatura; t_{GT} = espessura nominal do geotêxtil; ρ_f = massa específica do filamento ou fibra que compõe o geotêxtil; e γ_w = massa específica da água.

As propriedades hidráulicas são aquelas que afetam diretamente a atuação e performance do geossintético utilizado como filtro, por isso tamanha importância neste contexto. São elas:

- Abertura de Filtração Aparente ou Diâmetro de Filtração [O_{95}]: consiste, segundo Vidal (2002) e Vertematti (2004), no diâmetro equivalente da maior partícula que é capaz de atravessar o geotêxtil. Há vários procedimentos para obtê-la, tais como o ensaio de peneiramento por via úmida, ensaio de peneiramento hidrodinâmico e o ensaio de peneiramento a seco. De acordo com Vertematti (2004), em todos os ensaios padronizados, o material que passa através do geotêxtil segue, posteriormente, para um ensaio de granulometria conjunta. Sendo o diâmetro correspondente a 95% da porcentagem que passa, ou seja, a dimensão das partículas para as quais 95% em massa do solo apresentam dimensão inferior a elas, a abertura de filtração (O_{95}).

O procedimento do ensaio de peneiramento por via úmida, conforme a Figura 4, segundo Rebelo (2020), ocorre através do lançamento de um fluxo de água, sob pressão, em uma amostra de solo inserida em cima da amostra do geotêxtil a ser ensaiada. Este geotêxtil, por sua vez, se apoia numa peneira presa a um agitador que impõe movimentos verticais e horizontais ao conjunto. Obtendo-se, então, o D_w , que é a dado a partir da relação entre a fração do solo que consegue atravessar o geotêxtil (que segue para o filtro coletor) e a fração que fica retida.

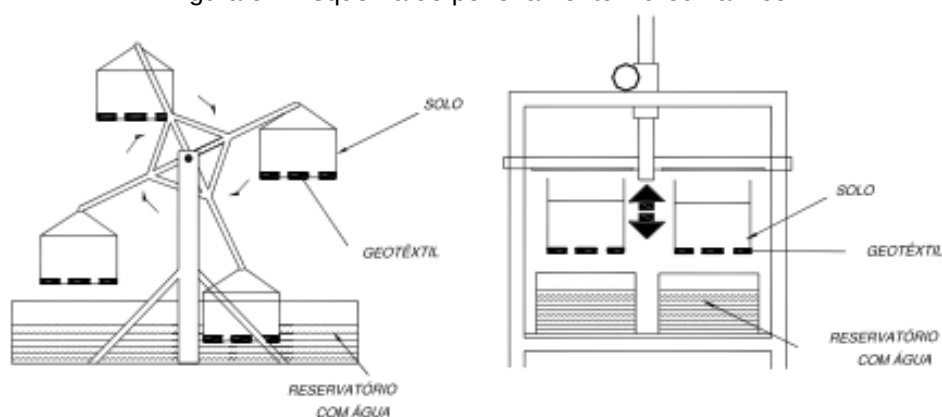
Figura 4 – Esquema do peneiramento por via úmida



Fonte: Vidal (2002).

Já o ensaio de peneiramento hidrodinâmico, desenvolvido pelo Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG), possui, de acordo com Rebelo (2020), uma configuração semelhante a uma roda gigante constituída de vários baldes metálicos, conforme a Figura 5. Estes baldes apresentam o aspecto de peneiras, em cuja base (no fundo das peneiras) são fixados os geotêxteis, com um solo bem graduado sobre os mesmos. Este sistema gira por um período de 24 horas ininterruptamente, sendo cada uma das peneiras imersas em um tanque cheio de água, que promove a inundação do balde que contém o solo, mas sem haver o transbordamento. Ao emergir do tanque, a água contida na peneira é drenada através do geotêxtil e do balde, carreando as partículas finas do solo que se sedimentam no tanque. Ao final do ensaio, o material depositado no tanque (material passante através do geotêxtil), é submetido ao ensaio de granulometria conjunta. A partir curva granulométrica do solo que atravessa a peneira, obtém-se o O₉₅.

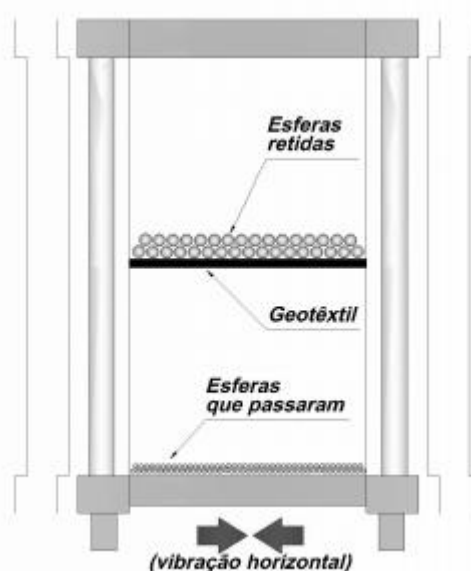
Figura 5 – Esquema do peneiramento hidrodinâmico



Fonte: Vidal (2002).

De outra forma, peneiramento a seco (Figura 6), normatizado pela D4751 (ASTM, 1999), ocorre por meio da realização de um peneiramento de contas de vidro de granulometria uniforme sobre o geotêxtil durante um período de 10 minutos. Realiza-se, então, o procedimento por sucessivos peneiramentos com diâmetros cada vez maiores, até que somente 5% ou menos passe através do material (ou que 95% de um diâmetro de contas tenha sua passagem impedida pelo geotêxtil). Então, é determinado a AOS (“Apparent Opennig Size”) ou O_{95} . Entretanto, há alguns contrapontos com relação a este método, como: a geração de eletricidade estática entre as contas e o geotêxtil, fazendo-as ficarem retidas junto ao material; e a movimentação dos fios (alargamento momentâneo entre os fios) do geotêxtil, permitindo a passagem das contas por entre eles.

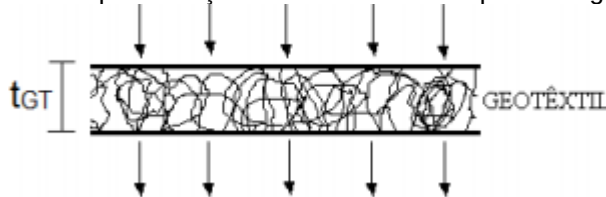
Figura 6 – Esquema do peneiramento à seco



Fonte: Vidal (2002).

- Permeabilidade normal ao plano [k_n] e Permissividade [ψ]: a permeabilidade representa a facilidade com que determinado fluxo atravessa um meio poroso (Figura 7). Como a passagem de um fluido através do elemento filtrante (geotêxtil) é semelhante à passagem através de filtro granulares naturais, a determinação da permeabilidade normal ao plano é semelhante em ambos os casos, podendo ser feito com carga constante e carga variável, mas sem confinamento.

Figura 7 – Representação do fluxo normal ao plano do geotêxtil



Fonte: Ortiz (2012).

Sabe-se que a permeabilidade não é uma propriedade conveniente para comparar o funcionamento de geossintéticos diferentes, já que pode não haver proporcionalidade entre o gradiente hidráulico e a velocidade do fluxo. De acordo com Vertematti (2004), a permeabilidade na direção normal ao plano do geossintético costuma ser elevada, o que conduz ao estudo do fluxo num corpo de prova isolado em regime de fluxo turbulento. Entretanto, esta não é a situação típica da maior parte dos casos e algumas adaptações foram criadas para driblar esta situação, dentre as quais há a norma proposta pelo ISO 11058 (1999).

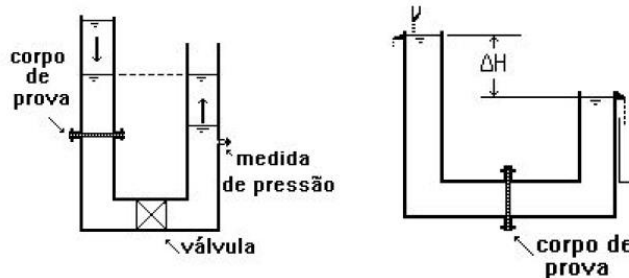
Atualmente, tem-se a norma brasileira NBR ISO 11058 (ABNT, 2013), que é baseada na norma anteriormente citada. O comportamento do geotêxtil aplicado como elemento filtrante, função do gradiente hidráulico, independe se o regime é turbulento ou laminar. Além disso, tem-se que, como a permeabilidade pode variar com a espessura dos geossintéticos, dada a tensão normal que a atua sobre ele - já que os geossintéticos usados como filtros (geotêxteis) são compressíveis - cada espessura terá uma condutividade hidráulica diferente para cargas hidráulicas e áreas de drenagem iguais (quanto maior a tensão, menor a espessura do material e menor a permeabilidade, por exemplo). Assim, para não depender da espessura, utiliza-se a permissividade, que correlaciona o coeficiente de condutividade hidráulica normal (k_n) e a espessura nominal do geossintético (t_{GT}), para representar a condutividade hidráulica, conforme a equação 2:

$$\psi = \frac{k_n}{t_{GT}} \quad (2)$$

Sendo: ψ = permissividade (s^{-1}); k_n = coeficiente de permeabilidade normal ao plano do geossintético (cm/s); e t_{GT} = espessura do geotêxtil (cm).

O ensaio para obtenção da permeabilidade normal é semelhante ao ensaio de permeabilidade em solos, e resulta em curvas de velocidade nominal (v) em função do gradiente hidráulico (H).

Figura 8 – Esquema do ensaio de permeabilidade normal sem confinamento à carga constante e à carga variável



Fonte: Vidal (2002).

- Permeabilidade planar [k_p] e Transmissividade [θ]: a permeabilidade planar (K_p) do geossintético, expressa em cm/s, ocorre quando há a passagem do fluido através de seu corpo conforme a Figura 9. É uma propriedade inerente aos geotêxteis não-tecidos.

Figura 9 – Representação do fluxo na direção do plano do geotêxtil



Fonte: Ortiz (2012).

Da mesma forma que a permeabilidade normal, a permeabilidade planar, ou seja, o volume de fluido capaz de atravessar o corpo do geossintético, varia em função da espessura dele, que por sua vez, varia em função das tensões normais sofridas. Assim, costuma-se expressar a permeabilidade planar através do parâmetro transmissividade (θ), que relaciona o coeficiente de condutividade hidráulica planar pela sua espessura, sob determinada tensão de confinamento, conforme a equação 3:

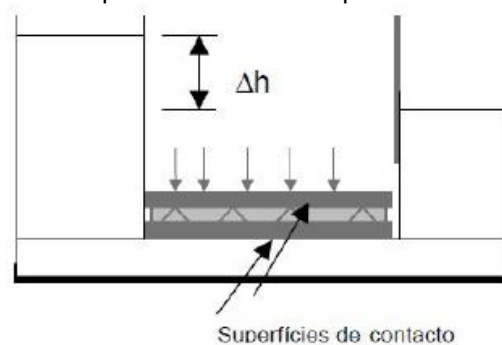
$$\theta = k_p \cdot t_{GT} \quad (3)$$

Sendo: θ = transmissividade (cm^2/s); K_p = coeficiente de permeabilidade planar do geossintético (cm/s); e t_{GT} = espessura do geossintético (m).

O ensaio para determinação desta propriedade (Figura 10) é normatizado pela NBR ISO 12958 (ABNT, 2013). Em sua configuração, o geossintético é colocado dentro de uma calha, entre duas superfícies de contato, que podem ser flexíveis ou rígidas. Em seguida, aplicam-se tensões normais ao corpo de prova, geralmente entre 20 e 200 kPa (esse limite foi estabelecido, pois há estudos que mostram uma variação sensível até este nível de tensão. Acima dele, há apenas uma pequena redução nos valores de permeabilidade), e gradientes hidráulicos de 0,1 a 1,0. A água que passa pelo plano do geossintético é coletada, durante um tempo determinado, de onde se pode calcular a permeabilidade planar e, conseqüentemente, a transmissividade do geossintético para cada nível de tensão e gradiente hidráulico aplicado. Como resultado, obtém-se por curvas de transmissividade (t) versus tensão normal (s) para cada gradiente hidráulico (i).

Tal ensaio pode ser realizado conforme as condições de campo, tanto no que diz respeito aos valores de tensão normal quanto aos gradientes hidráulicos. Além disto, a norma também prevê a influência da rigidez da superfície de contato nos resultados dos ensaios. Desta forma, a superfície contato pode ser constituída de concreto, geossintético ou uma superfície padrão para simular a penetração do solo.

Figura 10 – Esquema do ensaio de permeabilidade planar



Fonte: Vidal (2002).

- Aptidão à embebição: é uma propriedade que expressa a facilidade com que a água consegue penetrar no geossintético, mais especificamente no geotêxtil. Ela está relacionada a diversos fatores como: tensão superficial entre a água, o geotêxtil e o ar, além de correlacionar a porosidade do geotêxtil, a área específica das fibras e o estado da superfície das fibras. Pelos motivos citados anteriormente,

segundo Freitas (2003), “a água, sob um baixo gradiente pode não conseguir molhar e transpor a estrutura do geotêxtil. Sendo os geotêxteis agulhados, os mais susceptíveis a esta dificuldade”.

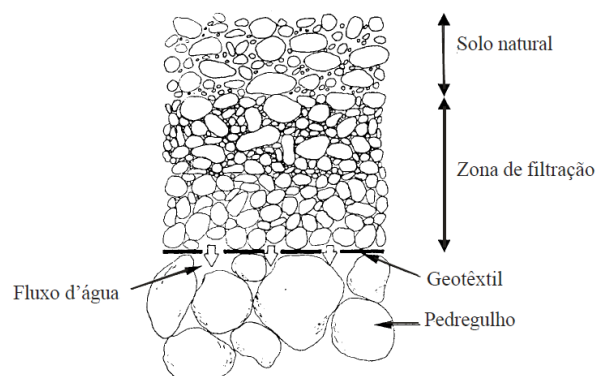
2.1.7 O processo de filtração

No processo de filtração de um muro gabião utilizando geotêxtil, a atuação de um gradiente hidráulico sob o solo protegido mais o geotêxtil gera um fluxo d'água que, também, influencia um rearranjo de partículas, e pode originar dois fenômenos: o processo de auto-filtração e/ou a formação de uma rede de arcos.

O processo de formação de um auto-filtro (ou filtro natural), representado pela Figura 11, ocorre quando, na presença de um fluxo unidirecional, há a propagação da ação da filtração para o solo adjacente. Sendo, de acordo com Rebelo (2020), um fenômeno comum para solos bem graduados e em fluxos no sentido e direção da gravidade. No início do processo, ocorre, segundo Freitas (2003), a passagem das partículas de solo de menor diâmetro por meio do filtro natural formado na interface solo-geossintético, enquanto isso, há a retenção de partículas maiores que chegam à interface, a medida em que o diâmetro dos poros do geossintéticos vai se tornando menor que o diâmetro das partículas. As partículas maiores também vão retraindo as menores que, por sua vez, retêm as que são ainda menores, até que nenhuma partícula consiga passar por esta estrutura formada, havendo a estabilização da estrutura. De acordo com Koerner (1998), o conjunto formado por solo, pré-filtro e filtro estável (geotêxtil), representa o comportamento ideal de um sistema filtrante.

A condição mais desfavorável para formação de um pré-filtro se dá quando há a presença de um fluxo reverso em curtos períodos de tempo, pois, para períodos longos existe a possibilidade de formação de um pré-filtro, ainda que pouco eficiente.

Figura 11 – Representação de um auto-filtro em um muro gabião

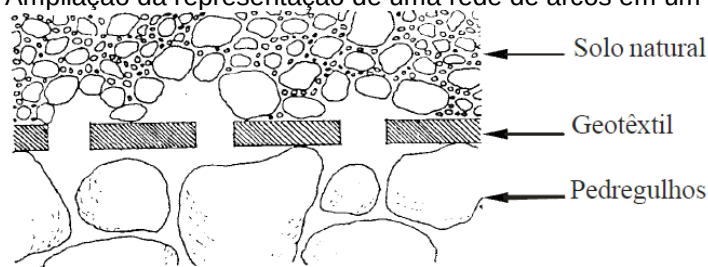


Fonte: Freitas (2003).

Já a formação de uma rede de arcos, representada pela Figura 12, ocorre quando há a filtração de meios porosos com partículas de solo de tamanho uniforme e fluxo no sentido e direção da gravidade. Certas partículas de diâmetros menores, são carregadas através do filtro sintético, deixando entre eles vazios (não há a formação do pré-filtro) e, de acordo com FREITAS (2003), as partículas vizinhas tendem, então, a redistribuir as tensões verticais, posicionando-se em forma de arcos que atrapalham a passagem das partículas com diâmetros menores que ficam acima deles. Portanto, a formação deste fenômeno é função do sentido do fluxo, do tipo de solo e do diâmetro da abertura do geossintético. Ainda de acordo com FREITAS (2003), há quatro propriedades do geossintético tipo geotêxtil capazes de alterar a formação da rede de arcos, acelerando-a:

- baixa permeabilidade, que reduz as forças de percolação sobre a partícula;
- baixa porosidade, que impede o carregamento excessivo de partículas;
- grande espessura, que aumenta a área de molhagem do fluido, buscando um decréscimo das forças de percolação sobre as partículas do solo;
- superfície com muitas fibras livres em contato com o solo.

Figura 12 – Ampliação da representação de uma rede de arcos em um muro gabião



Fonte: Freitas (2003).

2.1.8 Influência do meio

No tópico anterior, 2.1.7, ficou evidente que as características do meio ambiente, tais como propriedades do solo protegido (como a granulometria) e sentido do fluxo, influenciam diretamente no comportamento da filtração. O pré-filtro, por exemplo, é formado quando o solo protegido é bem graduado e quando o sentido do fluxo segue a direção da gravidade. Por outro lado, dependendo das características do meio, pode haver problemas no funcionamento do filtro, “ocorrendo o carreamento de partículas, como possibilidade de ‘piping’, colmatagem ou perda de carga elevada” (REBELO, 2020).

- Filtração de um meio poroso:

“Para solos de granulometria uniforme, o comportamento do fluxo está associado ao tamanho das partículas e à direção do fluxo” (REBELO, 2020), podendo formar redes de arcos no caso favorável, ou causar uma perda contínua de partículas do solo, caso a direção do fluxo seja inversa a da gravidade.

Já para solos de granulometria aberta, pode ocorrer a passagem das partículas mais finas do solo através do filtro, em um processo denominado de sufusão, representada na Figura 13, que pode ser positivo ou não.



Fonte: John (1987).

Então, no dimensionamento, a depender da situação, deve-se decidir se haverá a retenção ou a passagem de partículas finas do solo. Se a passagem das partículas pelo filtro gerar a desestabilização do solo protegido, estas partículas, então, deverão

ser retidas. Por outro lado, se a retenção das partículas pelo filtro, causar a redução da condutividade hidráulica na interface com o filtro, poderá haver uma redução da velocidade do fluxo, que deve ser analisado se é algo positivo, ou se é negativo por impor um crescimento excessivo das poropressões no solo protegido. Hutten (2007) divide, o mecanismo de filtração em:

- Mecanismo de superfície: o diâmetro das partículas de solo é superior ao dos poros e, assim, as partículas não podem passar através do filtro. Somente passam as partículas menores. Este mecanismo é comum em materiais com aberturas uniformes em diâmetro, como os geotêxteis tecidos.
- Mecanismo de profundidade: ocorre em filtros e materiais espessos comparados ao diâmetro dos poros, e em materiais com os diâmetros dos poros variáveis. As partículas penetram nos poros até atingirem um ponto de estrangulamento. Neste ponto, o diâmetro se torna menor do que a partícula, onde a partícula fica presa.
- Mecanismo de superfície (“cake”): há a captura de partículas na superfície ou perto da superfície do geotêxtil. Estas partículas se dispõem formando uma camada fina.

- Filtração de partículas em suspensão:

O processo de filtração de partículas em suspensão é um problema crítico, pois, quando as partículas do solo encontram o filtro, elas tendem a se depositar na superfície do filtro e entupir seus poros, ou seja, colmatá-lo, causando, assim, uma perda de carga no sistema. Segundo REBELO (2020), o este fenômeno “geralmente acontece na etapa da execução do filtro (contato geotêxtil/solo) e com solo com partículas muito finas”.

“O comportamento de um sistema de filtração de partículas em suspensão pode variar de acordo com o tipo de material. No caso de solo granular, as partículas retidas podem formar uma camada de material ainda permeável, em um fenômeno equivalente ao aumento da espessura do filtro; já para o solo coesivo, o problema da colmatção passa a ter enorme importância” (URASHIMA et al, 1999).

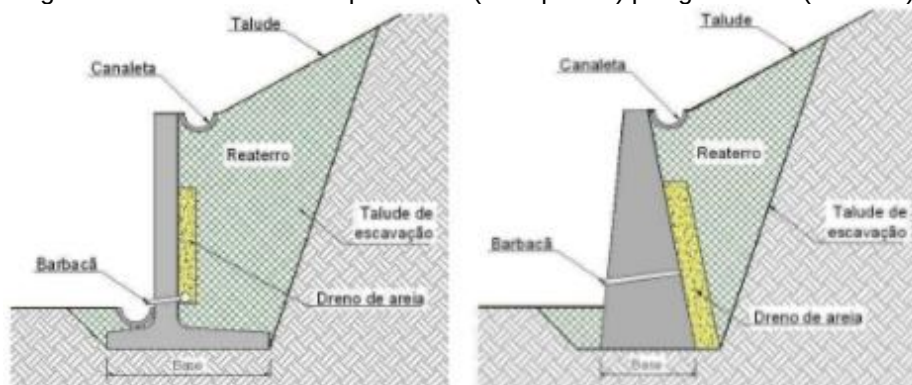
Assim, como solução deste problema apresentado, deve-se fazer a lavagem do filtro ou, em última opção, a troca.

2.2 MUROS DE ARRIMO

2.2.1 Definição

Muros de arrimo são estruturas de contenção de parede vertical ou quase vertical, que possuem a função de promover a estabilidade contra a ruptura de maciços de solo. Tais estruturas devem combater empuxos e tensões originados da modificação da estabilidade do maciço, que podem levá-lo ao escorregamento, causados pelo seu peso próprio ou por solicitações externas devido, por exemplo, à cortes, aterros ou escavações. Comumente, os muros de arrimo estão apoiados sobre fundação rasa ou profunda, e podem ser classificados em dois tipos básicos: muros de gravidade e muros de flexão, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Muro de arrimo por flexão (à esquerda) por gravidade (à direita)



Fonte: Berlato (2016).

Muros de arrimo por gravidade, são aquelas estruturas que utilizam seu próprio peso para combater e resistir aos esforços solicitantes, ou seja, a estabilidade frente ao empuxo causado pelo solo contido é gerada por seu peso próprio. Tais muros costumam ter geometria trapezoidal, para driblar o tombamento por rotação em torno de sua base. Além disto, esta deve possuir um atrito suficiente para assegurar a estabilidade da obra. Estas estruturas, geralmente são dimensionadas e indicadas em função da sobrecarga sobre o muro, da altura do desnível, das condições da fundação e do custo.

São exemplos de muros de arrimo por gravidade: muros gabiões, muros de sacos de solo-cimento, muros de pedra seca sem rejunte, muros de alvenaria de pedra com rejunte, muros de concreto ciclópico e muros de solo-pneu.

A depender do material utilizado na construção dos muros de arrimo por gravidade, pode-se classificá-las em rígidas ou flexíveis. As rígidas, como indicado pelo próprio nome, possuem deformação limitada, portanto, devem ter bom terreno de fundação (para minimizar movimentações por recalques ou assentamentos) e sistema de drenagem e filtração eficientes. Já as estruturas flexíveis, até certos limites, podem se adaptar junto as movimentações do terreno, sem perda de eficiência ou estabilidade, de acordo com Barros (2015).

Os muros de arrimo por flexão são aqueles mais indicados para desníveis superiores a 5 metros, segundo Gerscovich (2010). Eles, geralmente, são de concreto armado ou de concreto protendido, e apresentam seção transversal com formato de 'T' invertido ou 'L', recebendo uma camada de reaterro em sua base, que garante uma estabilidade adicional.

2.2.2 Muro gabião

Muro gabião, tipo de muro hipotético utilizado no dimensionamento deste trabalho, conforme indicado no item anterior é um muro de arrimo por gravidade do tipo flexível. Ele é composto por caixas (ou gaiolas) superpostas em fiadas, formadas por malhas de arame galvanizado, preenchidas em seu interior com material britado de granulometria superior às aberturas de suas malhas, conforme representação da Figura 16. Todas as gaiolas são unidas entre si por meio de amarração com arames do mesmo material da malha das gaiolas, formando uma estrutura monolítica.

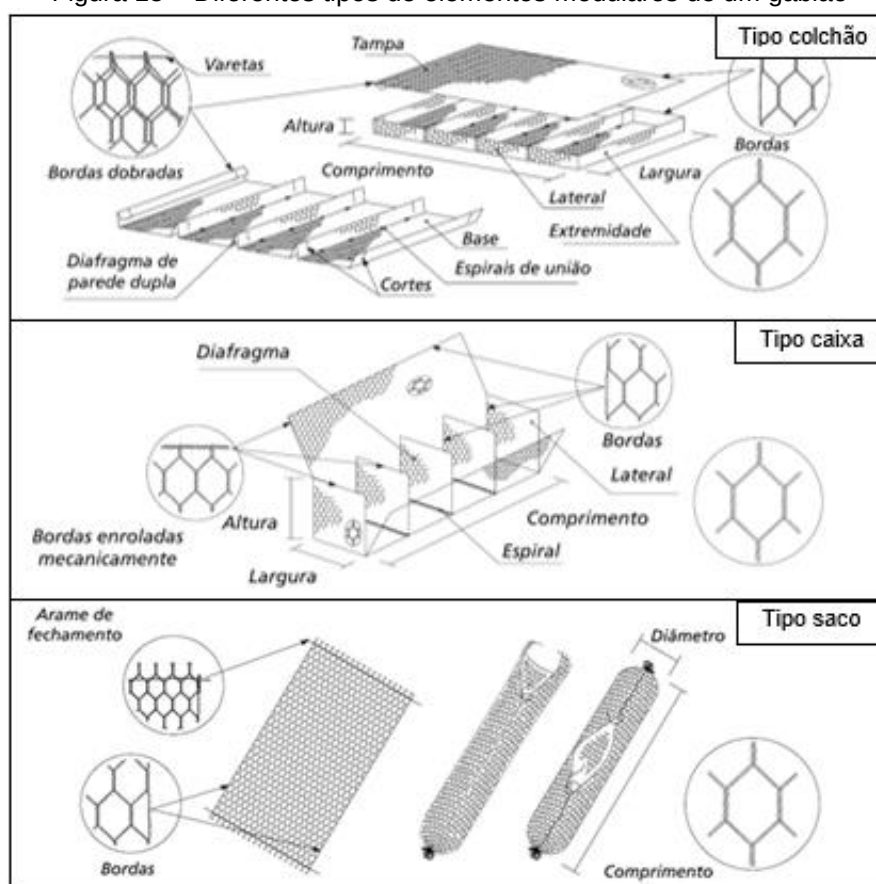
A malha metálica que forma as gaiolas do muro, possui alta resistência e, quando apresenta dupla torção, estabelece uma resistência adicional por este motivo. Além disso, a malha pode receber uma galvanização dupla e até uma camada de PVC para criar uma elevada proteção contra intempéries e ambientes agressivos, caso seja necessário.

Os muros de gabiões são considerados estruturas resistentes, práticas, versáteis, duráveis (principalmente nos casos em que o arame das malhas recebe proteção extra), permeáveis e flexíveis (possibilitando a acomodação, em caso de

movimentações, sem se romperem; dispensando fundações profundas, na maioria dos casos; e, em caso de colapso, permitindo a deformação e visualização/acompanhamento antecipado da situação, evitando acidentes graves em muitos casos).

Em função dos elementos modulares (gaiolas) que os compõem, são divididos em três diferentes tipos (Figura 15): gabião tipo colchão, que possui forma de paralelepípedo (grande área e pequena espessura), e é recomendado para ser utilizado em obras que exigem a dissipação de energia da água, ou seja, quando deve-se vencer alturas elevadas em pequenas distâncias; tipo caixa, que apresenta forma de prisma retangular, e é comumente usado em obras de contenção, barragens e canalizações; e tipo saco, que apresenta formato cilíndrico, e é usado em situações de solos com baixa capacidade de suporte e em obras rápidas e emergenciais, devido à facilidade de instalação.

Figura 15 – Diferentes tipos de elementos modulares de um gabião

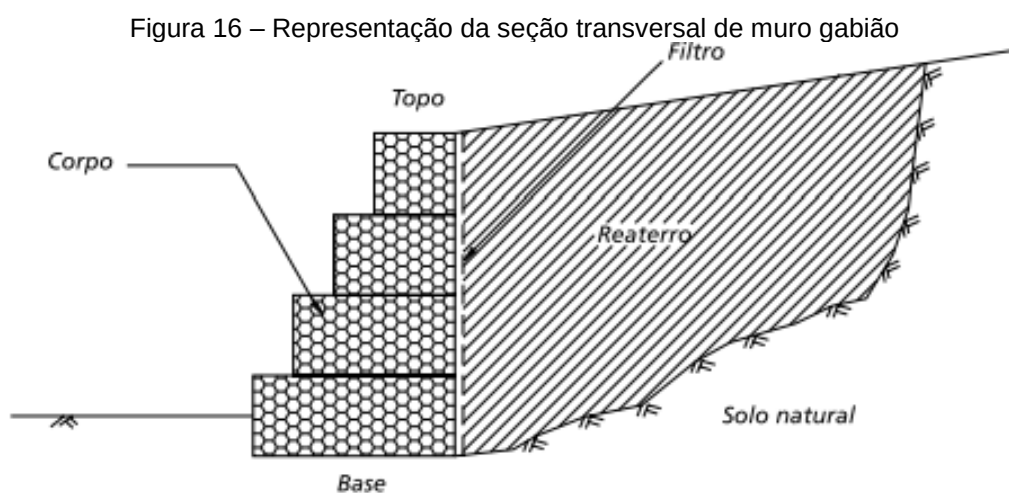


Fonte: Adaptado de Barros (2015).

Apesar dos gabiões serem estruturas altamente permeáveis e consideradas autodrenantes, evidencia-se a importância da manutenção da estabilidade do maciço de solo protegido. Por isso, reforça-se a necessidade de um sistema filtrante eficaz junto ao tardo do muro gabião para impedir o carreamento de partículas deste solo através do fluxo, que podem causar erosões e, segundo Barros (2015), evoluir para o abatimento e ruptura do aterro.

Nos casos que em além da drenagem superficial, há a necessidade da implantação de um sistema de drenagem profunda no maciço de solo com, por exemplo, o uso drenos sub-horizontais ou trincheiras drenantes, ou seja, quando a percolação de fluidos for uma causa importante, se não a principal, da instabilidade do maciço protegido, os filtros geotêxteis podem ser utilizados, também, em conjunto com esses drenos coletores e condutores. Estes, se adequadamente dimensionados e instalados, exercem satisfatoriamente a função de filtração e drenagem do fluido.

Barros (2015) evidencia o cuidado com o geotêxtil durante o manuseio e instalação no tardo do muro gabião: durante a instalação, para manter a continuidade do filtro geotêxtil, é importante prever uma sobreposição mínima de 30 cm no final de cada pano de geotêxtil ou realizar a costura entre os painéis de geotêxtil, com o equipamento adequado. Devendo-se fixar os panos, com arames de amarração, em dois pontos a cada metro na aresta superior ou posterior da gaiola do gabião. Além disso, não deve haver sujeiras, raízes, galhos e agregados pontiagudos, já que estes podem comprometer o desempenho de tais filtros.



Fonte: Barros (2016).

2.3 DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE FILTROS GEOTÊXTEIS

“Um filtro deve garantir a sua funcionalidade durante toda a vida útil da obra, sem que ocorra erosão interna (solo passando pelo filtro), sem retenção da água (permeabilidade adequada) e sem que ocorra a sua colmatção (entupimento causado pelas partículas finas do solo)” (REBELO, 2020). Assim, para o dimensionamento de filtros utilizando geossintéticos, os critérios de projeto são utilizados para atender as seguintes recomendações:

- Apresentar eficiência hidráulica, ou seja, os geossintéticos devem ter poros que permitam a passagem adequada do fluxo;
- Capacidade de retenção, a fim de que os geossintéticos possuam diâmetro de poros que permitam a retenção das partículas sem muita perda de material;
- Durabilidade e eficiência durante toda a vida útil do projeto.

Vertematti (2004), diz que “o dimensionamento do geossintético é a somatória de suas propriedades requeridas, desde sua aplicação até o final da vida útil da obra”. Há diversos métodos de dimensionamento de filtros, tais como o dimensionamento convencional (sendo este o mais utilizado) e o dimensionamento racional. Esses métodos de dimensionamento, tem por objetivo comparar e verificar as características do solo protegido com as propriedades do elemento filtrante (geotêxtil), levando em consideração as condições do meio ao qual estão inseridos e estabelecendo os critérios mínimos que devem ser atendidos pelos geotêxteis. Portanto, deve-se avaliar informações do solo protegido e de propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas (em alguns casos) dos geotêxteis, bem como das condições de instalação da obra.

Ainda de acordo com Vertematti (2004), nos casos em que certas propriedades de aplicação, sobrevivência e/ou vida útil de geossintéticos a serem dimensionados como filtros, não têm seus parâmetros contemplados por estudos disponíveis na literatura, deve-se então realizar ensaios complementares de desempenho em campo e/ou

laboratório simulando as condições de impostas na obra. Isto é confirmado por WILLIAMS E LUETTICH, 1990:

(...) outra abordagem sobre a questão é a realização de ensaios de filtração do sistema solo/geotêxtil, com o objetivo de avaliar a importância e o significado de fenômenos e propriedades envolvidas que não são adequadamente contempladas nas considerações de projeto”.

2.3.1 Dimensionamento Convencional

No dimensionamento convencional, para especificar o geossintético, deve-se verificar três critérios básicos de projeto listados na literatura. São eles: critério de retenção, critério de permeabilidade e critério de durabilidade, além de analisar os requisitos anti-colmatação. Contudo, há pesquisadores que utilizam apenas os critérios de retenção e permeabilidade no dimensionamento dos filtros geotêxteis, por afirmarem que eles são os mais importantes e que abrangem, diretamente e indiretamente, todos os demais critérios (esta metodologia foi adotado no dimensionamento realizado neste trabalho).

Os critérios listados, apesar de conservadores, podem apresentar certas limitações ao não considerarem, em geral, “mudanças nas propriedades do solo na interface solo/geotêxtil, efeitos da estrutura do solo e do geossintético, compressibilidade e porometria do geotêxtil” (FREITAS, 2003). Estas fragilidades são minimizadas (ou compensadas) através da adoção de fatores de segurança altos nos próprios critérios dos projetos.

a) Critério de retenção:

O critério de retenção tem por objetivo garantir que o geossintético possua dimensões que consigam reter as partículas maiores do solo protegido sob a ação do fluxo, ou de compressões estáticas ou dinâmicas, assegurando a manutenção da sua estrutura e sem haver o desenvolvimento de erosão interna.

Para a ocorrência do pré-filtro, por exemplo, deve-se atender ao critério de retenção. Afinal, “o maior diâmetro do solo a ser retido deve ser superior à abertura de filtração do geotêxtil, ou a abertura de filtração do geotêxtil deve ser inferior ao maior diâmetro do solo a ser retido” (REBELO, 2020).

Existem diversos critérios, baseados, em geral, na granulometria do solo, nos gradientes hidráulicos e no sentido do fluxo do fluido, para que o dimensionamento dos geossintéticos do tipo geotêxtil atenda o critério de retenção.

Antes da adoção de algum dos critérios, Vertematti (2004) recomenda verificar se o solo possui uma granulometria em que é capaz de formar o pré-filtro estável por si só, ou seja, verificar se o solo é auto estável/auto filtrante. Assim, Chen *et al.* (1981) *apud* Vertematti (2004) estabelecem o seguinte critério:

$$D_{50s} > \frac{D_{85s}}{5}; D_{35s} > \frac{D_{50s}}{5}; D_{15s} > \frac{D_{35s}}{5} \quad (4)$$

Sendo:

D_{15s} = diâmetro equivalente do solo tal que 15% em peso de todas as partículas são inferiores a ele;

D_{35s} = diâmetro equivalente do solo tal que 35% em peso de todas as partículas são inferiores a ele;

D_{50s} = diâmetro equivalente do solo tal que 50% em peso de todas as partículas são inferiores a ele;

D_{85s} = diâmetro equivalente do solo tal que 85% em peso de todas as partículas são inferiores a ele.

Após a verificação da possibilidade de ocorrência de solo auto estável, prossegue-se para o dimensionamento do filtro propriamente dito, adotando um dos critérios disponíveis. Obtendo-se assim, para qualquer um dos critérios, o diâmetro de filtração ou abertura de filtração do geossintético [O_n] a ser utilizado.

O critério do Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG, 1986), um dos mais utilizados (e o que foi utilizado no dimensionamento desta pesquisa), propõe que a abertura de filtração do geotêxtil deve-se calculada pela seguinte equação (5):

$$O_{95} < C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot D_{85s} \quad (5)$$

Sendo: O_{95} = abertura de filtração do geotêxtil; D_{85s} = diâmetro equivalente do solo tal que 85% em peso de todas as partículas são inferiores a ele; C_1 = fator granulométrico; C_2 = fator de adensamento; C_3 = fator hidráulico; e C_4 = fator de função.

Os valores dos fatores (ou coeficientes) C_1 , C_2 , C_3 e C_4 são listados na Tabela 3, variando em relação às características da aplicação do geossintético.

Tabela 3 – Coeficientes para o critério de retenção do CFGG (1986)

Coeficiente	Valor	Aplicação
C_1	1,00	Solos bem graduados e contínuos
	0,80	Solos uniformes e contínuos
C_2	1,25	Solos densos e confinados
	0,80	Solos fofos e desconfinados
C_3	1,00	Gradiente hidráulico, $i < 5$
	0,80	Gradiente hidráulico, $5 < i < 20$
	0,60	Gradiente hidráulico, $20 < i < 40$
C_4	1,00	Uso somente para filtração
	0,30	Uso para filtração e drenagem

Fonte: CFGG (1986).

b) Critério de permeabilidade

Os filtros sintéticos devem, obviamente, permitir a passagem do líquido. Desta forma, o critério de permeabilidade visa garantir que o geossintético empregado como filtro possua permeabilidade superior à permeabilidade do solo protegido, além de impedir a perda de carga do fluxo, ainda que as partículas finas em suspensão no fluxo estejam passando pelo sistema de filtração.

O critério de permeabilidade, exige que a permeabilidade inicial do elemento filtrante (geotêxtil) deve ser no mínimo igual à permeabilidade do solo para evitar qualquer perda de carga. Já a permeabilidade normal ao plano do geotêxtil é função de um fator de segurança:

$$K_n > y \cdot K_{\text{solo}} \quad (6)$$

Sendo: K_n = permeabilidade normal ao plano do geotêxtil (m/s); K_{solo} = permeabilidade do solo (m/s); e y = fator segurança, variável para cada critério (fator adimensional).

O valor do fator de segurança varia de acordo com o critério adotado, que, bem como o critério de retenção, também existem diversos na literatura. Nesta pesquisa utilizou-se o critério Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas e da Lei de Darcy.

Segundo o critério Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG, 1986), o valor de y (fator adimensional), é:

$$y = t_{GT} \cdot 10^n \quad (7)$$

Sendo: t_{GT} = espessura nominal do geotêxtil (m); e n = fator variável (adimensional).

O valor do fator (ou coeficiente) variável 'n' é listado na Tabela 4, variando em relação às características da aplicação do geossintético.

Tabela 4 – Coeficientes para o critério de permeabilidade do CFGG (1986)	
Coeficiente	Aplicação
$n = 3$	Situações com baixos valores de gradientes hidráulicos, e solos abertos e limpos, tipicamente arenosos.
$n = 4$	Baixos gradientes hidráulicos, mas com solos de baixa permeabilidade, silto-argilosos.
$n = 5$	Situações com elevados valores de gradientes hidráulicos e obras de grande responsabilidade.

Fonte: CFGG (1986).

Conforme dito anteriormente, para verificação do critério de permeabilidade, pode-se também utilizar a Lei de Darcy, conforme a equação 8:

$$\frac{Q}{A} = V = k_n \cdot i \quad (8)$$

Sendo: Q = vazão (m^3/s); A = área da seção do geotêxtil (m^2); V = velocidade média de percolação (m/s); i = gradiente hidráulico; e k_n = permeabilidade normal ao plano do geotêxtil (m/s).

Considerando o fluxo que passa através do solo protegido pelo filtro geotêxtil, a equação da vazão, por metro linear de muro, pode ser reescrita utilizando os conceitos de redes de fluxo do solo:

$$Q_{\text{SOLO}} = k_{\text{SOLO}} \cdot H \cdot (n_f / n_d) \quad (9)$$

Sendo: H = máxima carga hidráulica; n_f = número de canais de fluxo; n_d = número de faixas de perdas de carga unitária.

Pelo fato dos geotêxteis filtrantes, serem elementos porosos e semelhante aos filtros granulares, a Lei de Darcy também é válida. Então a vazão através do geotêxtil, por metro linear de muro, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$Q_{\text{GT}} = K_{\text{nGT}} \cdot (H / t_{\text{GT}}) \cdot A \quad (10)$$

Além disto, a água que percola no solo também deve passar pelo geossintético, no processo de filtração, desta forma:

$$Q_{\text{GT}} = Q_{\text{SOLO}} \quad (11)$$

Portanto:

$$k_{\text{nGT (cálculo)}} = Q_{\text{SOLO}} \cdot t_{\text{GT}} / (H \cdot A) \quad (12)$$

Assim, deve ser feita a seguinte verificação:

$$k_{\text{nGT(laboratório)}} > k_{\text{nGT(cálculo)}} \cdot \text{FR} \quad (13)$$

Sendo: $k_{\text{nGT(laboratório)}}$ = permeabilidade de laboratório normal ao plano do geotêxtil; $k_{\text{nGT(cálculo)}}$ = permeabilidade de cálculo normal ao plano do geotêxtil; FR = fator de redução.

O valor do coeficiente de permeabilidade de laboratório normal ao plano do geotêxtil, $k_{\text{nGT(laboratório)}}$, a ser verificado é àquele fornecido pelos fabricantes. Já o fator de

redução final, é obtido multiplicando os valores dos fatores estabelecidos por Koerner (1998) para cada ‘situação problema’ apresentada nas linhas da Tabela 5. A seleção dos valores entre o intervalo apresentado em cada linha da segunda coluna da Tabela 5 deve ser feita de acordo com nível de conservadorismo, que é maior quanto maior for o valor selecionado do intervalo, resultando em um fator de redução final maior.

Tabela 5 – Fatores de redução para a Lei de Darcy

FR_{fl} (fluência)	1,5 a 2,0
FR_{di} (danos de instalação)	1,0 a 1,2
FR_{col solo} (colmatação pelo solo)	2,0 a 4,0
FR_{col q} (colmatação química)	1,0 a 1,2
FR_{col b} (colmatação biológica)	1,0 a 1,3

Fonte: Koerner (1998).

Este fator de redução final, FR, na realidade, está aumentando a permeabilidade, de cálculo, normal ao plano do geotêxtil, $k_{nGT(cálculo)}$, ou seja, funcionando como um fator de segurança.

c) Requisitos anti-colmatação

A colmatação do geossintético é a diminuição da área transversal dos espaços vazios disponíveis ao fluido percolante. É um processo que ocorre ao longo do tempo da vida útil do material e que pode comprometer a eficiência de um sistema drenante como um todo. A colmatação pode ser verificada em uma ou mais partes do sistema drenante, ou seja: no material filtrante (filtro natural ou filtro sintético); no material propriamente dito (solo protegido); e nas aberturas da parede do tubo de dreno e/ou no interior desse tubo, caso exista. Segundo, MENDONÇA (2000) “a colmatação pode ocorrer no material protegido, na região próxima ao sistema drenante, em função das novas condições geradas pela implantação do sistema”.

Portanto, a colmatação tem enorme capacidade de afetar a passagem do fluxo, reduzindo o espaço de filtração e, desta forma, limitando a funcionalidade do geossintético. Para solucionar e/ou reduzir esta problemática, estudiosos, como Luettich *et al.* (1992), recomendam que: para geotêxteis não tecidos, deve-se usar os

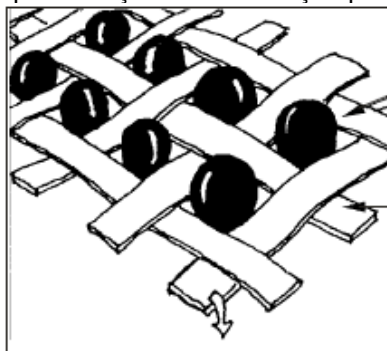
geotêxteis com alta porosidade, e para geotêxteis tecidos, sugere-se o uso dos que possuem uma maior porcentagem de área aberta. Além disto, eles destacam a importância da realização de ensaios de desempenho, para verificação de possíveis comprometimentos por colmatção.

Um fator importante acerca dos critérios de dimensionamento e da possibilidade de colmatção foi descrito por JOHN (1987):

“(...) de maneira geral, a possibilidade de uma colmatção branda já é aguardada e não preocupa, tendo em vista que o critério de permeabilidade para escolha do geotêxtil é bastante seguro. Para dar uma medida do grau de cautela presente num critério de permeabilidade, 75% dos poros de geotêxtil podem mostrar-se colmatados sem que isto ocasione dificuldade para o seu funcionamento”.

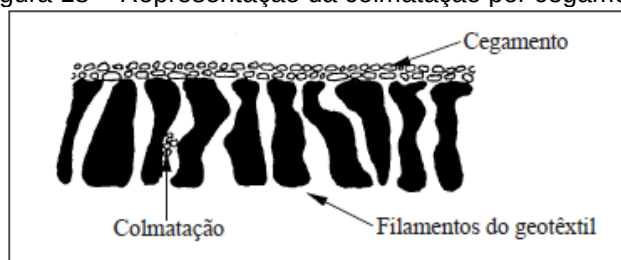
A colmatção, de acordo com Freitas (2013) pode ter causas físicas, químicas e microbiológicas. As causas físicas costumam ser originadas devido à ação de um gradiente hidráulico sob o sistema solo/geotêxtil, que gera um fluxo unidirecional e este, por sua vez, induz a um rearranjo da estrutura do solo e contribui com o carreamento de partículas sólidas oriundas do solo protegido. Estas partículas podem ser provenientes ou não da desintegração do solo, ou ainda de partículas em suspensão do fluido percolante que atravessa o geotêxtil. Há três formas de colmatção física: bloqueamento (Figura 17), cegamento (Figura 18), e colmatção propriamente dita (Figura 19).

Figura 17 – Representação da colmatção por bloqueamento



Fonte: Rollin e Lombard (1988).

Figura 18 – Representação da colmatação por cegamento



Fonte: John (1987).

Figura 19 – Representação da colmatação interna propriamente dita



Fonte: John (1987).

A colmatação de origem química ocorre quando há carbonatos e sulfatos dissolvidos no fluido percolante, que podem desenvolver precipitados em forma de cristais de sais, e estes podem ocupar os poros do filtro, diminuindo a capacidade filtrante. Já as causas microbiológicas ocorrem quando há a presença, por exemplo, de atividade microbiana, como bactérias fermentativas e de redução, que geram a redução dos vazios por meio da multiplicação delas e dos elementos que elas podem secretar.

d) Critério de sobrevivência

Um sistema filtrante eficaz é aquele capaz de manter suas propriedades em níveis desejados ao longo de sua vida útil. A IGSR Brasil, através da Recomendação 002-1 (IGSR, 2014), indica as características relevantes que os produtos geotêxteis aplicados como filtros em estruturas de contenção devem apresentar, com base nos requisitos e métodos dos ensaios aconselhados, conforme a Tabela 6. Entretanto, a instituição não estabelece quais são os valores limites a serem atingidos. Estas características devem ser ensaiadas e verificadas pelos fabricantes e disponibilizadas aos projetistas por meio dos catálogos de especificações técnicas dos produtos.

Tabela 6 – Características e métodos de ensaios para produtos geotêxteis em estruturas de contenção

Características	Norma
Resistência à tração	NBR ISO 10319
Alongamento na carga máxima	NBR ISO 10319
Resistência à tração de emendas	NBR ISO 10321
Puncionamento estático (punção CBR)	NBR ISO 12236
Abertura de filtração característica	NBR ISO 12956
Permeabilidade normal ao plano	NBR ISO 11058

Fonte: Adaptado de IGSR (2014).

e) Especificação do geossintético

O geossintético do tipo geotêxtil, no caso do dimensionamento realizado neste trabalho, que será especificado para a função de filtração deve atender simultaneamente, os critérios de retenção e de permeabilidade. Além disso, deve-se atentar às condições do meio de aplicação do geotêxtil, para definir qual o material de constituinte mais adequado dentre os disponibilizados pelos fabricantes. Verificada as condições técnicas, é importante realizar a análise da viabilidade financeira, buscando o material com o melhor custo benefício.

2.3.2 Dimensionamento Racional

O método de dimensionamento racional é baseado em análises probabilísticas, e foi proposto por Urashima (1996), que baseou-se no estudo probabilístico desenvolvido por Silveira (1965), “na curva de distribuição dos poros do geossintético filtrante e na determinação da distância média entre confrontos” (REBELO, 2020). Neste método é verificado o nível de confiança de retenção de uma determinada partícula com potencial de atravessar toda a espessura do geossintético a ser aplicado como filtro. Em que para isto, é necessário conhecer, somente, a curva de distribuição dos poros do geossintético, a espessura do filtro e a distância média entre confrontos das partículas no geossintético. Por isso é um método considerado promissor.

Pontos de confronto são os pontos de estrangulamento, ou seja, regiões onde há a restrição da passagem às partículas ao atravessar o conjunto de fibras ou filamentos entrelaçados do geotêxtil. As partículas ao passarem pelo geotêxtil, encontram os vários pontos de estrangulamento, mas apesar não ‘escolherem’ uma trajetória reta,

elas 'optam' pela trajetória com menos restrições. Portanto, se conseguirem, as partículas podem ultrapassar todas as barreiras ou ficarem retidas num ponto de confronto, dependendo do diâmetro das partículas e do diâmetro de filtração do geotêxtil. Desta forma, há uma curva de distribuição de confrontos e uma curva de distribuição das aberturas de filtração.

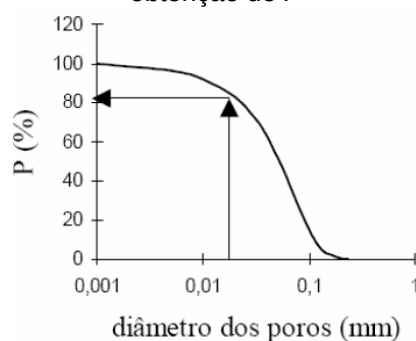
Este critério enfoca a espessura do filtro geotêxtil (t_{GT}), em que a probabilidade de um partícula atravessá-lo totalmente, é nula, dentro de um determinado nível de confiança (P) pré-estabelecido. Expresso através da equação 14:

$$t_{GT} = [\log(1 - P') / \log P] \cdot s \quad (14)$$

Em que: t_{GT} = espessura do geotêxtil; P' = nível de confiança de retenção da partícula; P = probabilidade de uma partícula de diâmetro d' encontrar, em um confronto, um vazio de diâmetro d , sendo $d' > d$; e s = distância entre confrontos.

Assim, com a espessura do filtro, a curva de distribuição dos poros, a distância média entre confrontos e o diâmetro das partículas a serem retidas, calcula-se, também, a probabilidade da partícula encontrar num confronto, um vazio de diâmetro maior que o seu, conforme a Figura 20. Ou pode-se, também, realizar o caminho inverso, ou seja, definir um nível de confiança e, com ele, obter as características requeridas do geotêxtil.

Figura 20 – Representação da curva de distribuição dos poros de um determinado geotêxtil e a obtenção de P



Fonte: Urashima (2002).

A curva de distribuição dos poros de um geotêxtil, não é um parâmetro fácil de se obter, dado os formatos variados e irregulares dos mesmos. Portanto, a obtenção

desta é feita por meio de análise de imagens (mais conservador) ou métodos experimentais, conforme o modelo teórico proposto por Gourc (1982) e utilizado por Urashima (2002), em que a probabilidade acumulada, P , de uma partícula encontrar um poro de diâmetro d maior que o diâmetro da partícula d' é representada pela curva de distribuição dos poros e como a equação 15:

$$P = \exp \left[- \left(\frac{\eta \cdot \pi \cdot d^2}{4} + \frac{\lambda \cdot d}{2} \right) / \eta_{GT} \right] \quad (15)$$

Onde: d = diâmetro do poro; λ = perímetro da fibra por unidade de seção; η = número de fibras por unidade de seção; η_{GT} = porosidade do filtro; e d_f = diâmetro da fibra.

3 MATERIAIS E MÉTODO DO DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo foi realizado o dimensionamento do sistema de filtração utilizando geossintético, do tipo geotêxtil, de um muro gabião hipotético, em que três tipos de solo foram analisados. Todos estes provenientes do estado do Espírito Santo e que já foram objetos de estudos dos pesquisadores Yago Guidini da Cunha e Elaine Cristina Furieri, realizadas nas dependências do Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Quanto ao método do dimensionamento do elemento filtrante, foi utilizado o Método Convencional e os critérios do Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG, 1986) e da Lei de Darcy (quanto à permeabilidade).

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Solos

Por questões de padronização, optou-se por alterar a nomenclatura original, atribuída por Cunha (2017) e Furieri (2019), dos solos utilizados no dimensionamento, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo de informações teóricas dos solos

Solo	Pesquisador responsável	Nomenclatura original (estabelecida pelo pesquisador responsável)	Local de origem
S01	Cunha (2017)	S00	Santa Maria de Jetibá (ES)
S02	Furieri (2019)	AE	Anchieta (ES)
S03	Furieri (2019)	JP6	Iconha (ES)

Fonte: Autora (2021).

O solo intitulado de S01, foi objeto de estudo da pesquisa ‘Avaliação da resistência mecânica de misturas convencionais e alternativas utilizadas em barreiras impermeabilizantes’, do projeto de graduação do pesquisador Yago Guidini da Cunha. No trabalho de Cunha (2017), o solo S01 era denominado S00. Apresentando-se como um solo tropical, proveniente da região de Santa Maria de Jetibá - ES e

comumente utilizado como aterro para base de rodovias.

Já os solos intitulados de S02 e S03, foram estudados na dissertação de mestrado da pesquisadora Elaine Cristina Furieri, 'Avaliação em laboratório e em campo por meio de simulador linear de tráfego móvel de solos estabilizados com coproduto KR, Cimento Portland e Blindasolo®'. O solo S02, intitulado por Furieri (2019) como 'AE' (área de empréstimo), foi extraído de uma jazida localizada no Km 368, da BR-101 Sul, no município de Anchieta – ES. Já o solo S03, denominado 'JP6', por Furieri (2019), foi extraído de uma jazida do Km 373, também da BR 101 – Sul, no município de Iconha – ES.

Segundo Cunha (2017), as amostras do solo S01 foram coletadas através de amostras deformadas e transportadas até as dependências do laboratório, onde foram preparadas e verificou-se a umidade higroscópica, conforme os procedimentos determinados pela norma NBR 6457 (ABNT, 2016). Quanto aos solos S02 e S03, não se tem informação sobre a forma de coleta da amostragem (se por meio de amostra deformada ou indeformada).

Em relação aos ensaios de caracterização físico-química, a análise granulométrica foi realizada conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016) para o solo S01, e conforme a NBR 7181 (ABNT, 2018), para os solos S02 e S03, diferença ocorrida devido às alterações da norma entre o período de tempo da realização dos dois estudos. Já os Limites de Atterberg foram determinados de acordo com as normas NBR 6459 (ABNT, 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016), para os três solos. E para determinação da massa específica real dos solos, para S01 utilizou-se a norma NBR 6458 (ABNT, 2016) pela aplicação de vácuo, e para S01 e S02, utilizou-se a norma NBR 6508 (ABNT, 1984), que atualmente está cancelada. A Tabela 8 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização dos solos.

Tabela 8 – Resultado dos ensaios de caracterização dos solos

Resumo dos resultados	Unidade	S01	S02	S03
ρ_s	g/cm ³	2,75	2,65	2,65
Limite de liquidez (LL)	%	NL	49,00	26,00
Limite de plasticidade (LP)	%	NP	24,80	15,10
Índice de plasticidade (IP)	%	-	24,20	10,90
Classificação Unificada	-	SM	CL	SC

Fonte: Autora (2021).

Por meio dos ensaios de caracterização realizados por Cunha (2017), o solo S01, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), foi classificado como uma areia siltosa (SM), com percentual de finos menor que 30, não líquido e não plástico. Já dos ensaios de Furieri (2019), por meio do sistema unificado, classificou-se o solo S02 como uma argila de baixa compressibilidade (CL), predominando argila com alto limite de liquidez, muito plástico e com grande variação de volume. Enquanto o solo S03, foi classificado como uma areia argilosa (SC), ou seja, um solo arenoso com presença de pedregulhos e argila, com plasticidade média.

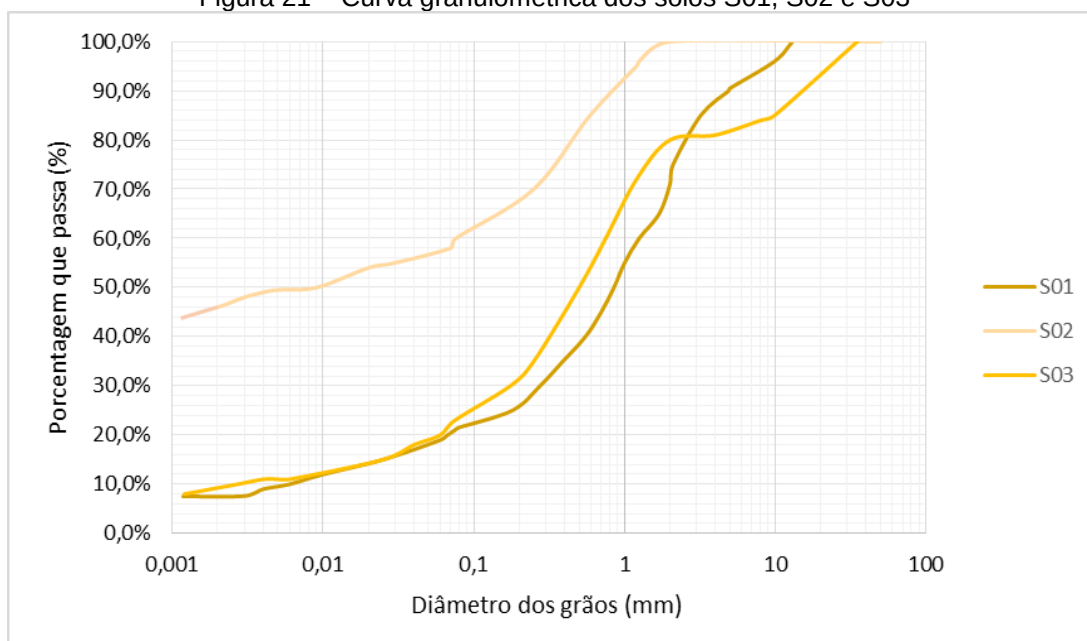
A Tabela 9 apresenta as frações granulométricas dos três solos, conforme os limites estabelecidos pela NBR 6502 (ABNT, 1995). Na Figura 21, apresenta-se a curva granulométrica dos solos S01, S02 e S03. Já na Tabela 10, há os valores dos diâmetros equivalentes, aproximados, dos três solos, obtidos através das curvas granulométricas.

Tabela 9 – Frações granulométricas dos solos

Fração granulométrica	Unidade	S01	S02	S03
Argila ($\Phi < 0,002$ mm)	%	6,45	46,40	9,00
Silte ($0,002$ mm $< \Phi < 0,06$ mm)	%	13,39	11,60	10,00
Areia fina ($0,06$ mm $< \Phi < 0,2$ mm)	%	9,06	11,00	13,36
Areia média ($0,2$ mm $< \Phi < 0,6$ mm)	%	13,10	17,00	21,64
Areia grossa ($0,6$ mm $< \Phi < 2$ mm)	%	33,10	14,00	25,00
Pedregulho (2 mm $< \Phi < 15$ mm)	%	24,90	0,00	21,00

Fonte: Autora (2021).

Figura 21 – Curva granulométrica dos solos S01, S02 e S03



Fonte: Adaptado de Cunha (2017) e Furieri (2019).

Tabela 10 – Diametros equivalentes dos solos

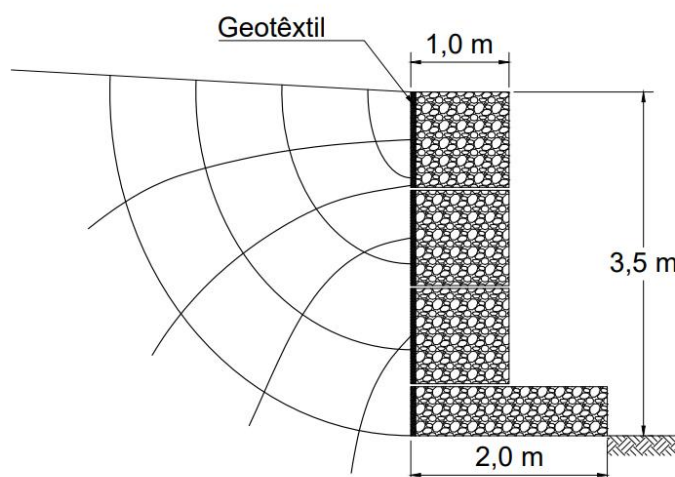
Diâmetro equivalente (mm)	S01	S02	S03
D_{10s} (mm)	0,006	0	0,0027
D_{15s} (mm)	0,025	0	0,025
D_{30s} (mm)	0,275	0	0,175
D_{35s} (mm)	0,39	0	0,25
D_{50s} (mm)	0,85	0,0091	0,5
D_{60s} (mm)	1,25	0,076	0,75
D_{85s} (mm)	3,2	0,59	9,9

Fonte: Autora (2021).

3.1.2 Muro gabião

O perfil transversal do muro gabião hipotético é apresentado na Figura 22. O muro gabião é do tipo caixa e apresenta formato transversal de 'L', possuindo 1 metro de espessura no topo e 2 metros em sua base. Devendo conter um maciço de solo de 3,5 metros, cuja rede de fluxo (hipotética) também é representada na Figura 22. No tardoz do muro gabião, um geotêxtil é utilizado como elemento de filtração. O muro fictício será implantado nas margens de uma rodovia.

Figura 22 – Perfil transversal do muro gabião



Fonte: Rebelo (2020).

3.1.3 Geotêxteis

Para a realização do dimensionamento, foram analisadas três diferentes linhas comerciais de geossintéticos do tipo geotêxtil-não tecido 100% poliéster, e indicadas para a função de filtração. Cujas especificações técnicas físicas, hidráulicas e mecânicas, fornecidas pelos fabricantes, estão contidas nas Tabelas 11, 12 e 13.

Na Tabela 11 há as características dos geotêxteis não-tecidos agulhados, de granulometria 130 g/m² à 600 g/cm², da linha SOLO GEO®, produzidos pela marca Total Solo LTDA. Todos compostos, integralmente, pelo polímero poliéster.

Já a Tabela 12, apresenta os geotêxteis não tecidos produzidos com fibras cortadas de poliéster, agulhadas e consolidadas termicamente por calandragem; de granulometria 130 g/m² à 600 g/cm², da linha MACTEX® H.2, do fabricante MACCAFERRI.

A Tabela 13 apresenta os geotêxteis não-tecidos, com granulometria 130, 250 e 600 g/cm², fabricados por agulhamento de filamentos contínuos de poliéster; da linha Bidim RT, fabricados pela Bidim® Mexichem. A limitação dos dados, se comparado às demais linhas de geotêxteis, se deu, pois, o fabricante não disponibilizou as espessuras das outras granulometrias, fator indispensável para o dimensionamento dos filtros.

Tabela 11 – Especificações técnicas dos geotêxteis SOLO GEO®

Total Solo Soluções em Geotecnia - Solo GEO®												
Propriedades		Norma	Unidade	SG07	SG08	SG09	SG10	SG 14	SG 16	SG 21	SG 26	SG06
Físicas	Espessura	ABNT ISO 9863	mm	1,30	1,50	1,60	1,60	1,80	2,20	2,60	3,00	3,80
	Gramatura	ABNT ISO 9864	g/m²	130	150	180	200	250	300	400	500	600
	Cor	-	-	-								
	Matéria prima	-	-	100% poliéster								
	Ponto de fusão	-	°C	-								
Hidráulicas	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	2,90	2,10	2,50	2,30	2,10	1,60	1,40	1,20	1,00
	Permeabilidade normal	ASTM D 4491	cm/s	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	Abertura de filtração (O₉₅)	AFNOR G 38017	mm	0,165	0,150	0,14	0,135	0,115	0,11	0,09	0,07	0,060
Mecânicas	Resistência à tração em faixa larga (transversal)	ABNT NBR 12824	kN/m	7	8	9	10	14	16	21	26	31
	Alongamento		%	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50
	Resistência à tração em faixa larga (longitudinal)	ABNT NBR 12824	kN/m	6	7	8	8	12	14	18	22	26
	Alongamento		%	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50
	Resistência à punção (CBR)	ABNT NBR 13359	kN	1,10	1,30	1,60	2,20	2,20	3,40	4,60	5,10	6,50

Fonte: Adaptado de Total Solo (2021).

Tabela 12 – Especificações técnicas dos geotêxteis MACTEX® H.2

MACCAFERRI - MACTEX® H.2													
Propriedades		Norma	Unidade	H 26.2	H 30.2	H 36.2	H 40.2	H 50.2	H 60.2	H 70.2	H 80.2	H 90.2	PH 100.2
Físicas	Espessura	ABNT ISO 9863-1	mm	1,10	1,20	1,25	1,30	1,50	1,90	2,20	2,60	3,50	3,80
	Gramatura	ABNT ISO 9864	g/m²	130	150	180	200	250	300	350	400	500	600
	Cor	-	-	Preto									
	Matéria prima	-	-	100% poliéster									
	Ponto de fusão	-	°C	230 a 249									
Hidráulicas	Permissividade	ABNT ISO 11058	s ⁻¹	2,00	1,70	1,60	1,50	1,20	1,00	0,90	0,80	0,60	0,50
	Permeabilidade normal	ABNT ISO 11058	cm/s	0,26	0,23	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,10
	Abertura de filtração (O ₉₅)	ASTM D4751	mm	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
Mecânicas	Resistência à tração em faixa larga (transversal)	-	kN/m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alongamento		%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Resistência à tração em faixa larga (longitudinal)	ABNT NBR 10319	kN/m	7	8	9	10	14	16	18	21	26	31
	Alongamento		%	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Resistência à punção (CBR)	ABNT ISO 12236	kN	1,10	1,20	1,40	1,50	2,20	2,50	2,90	3,20	4,00	5,00

Fonte: Adaptado de MACCAFERRI (2021).

Tabela 13 – Especificações técnicas dos geotêxteis Bidim RT

Bidim® Mexichem - Bidim RT						
Propriedades		Norma	Unidade	RT 07	RT 14	RT 31
Físicas	Espessura	-	mm	0,80	1,80	3,60
	Gramatura	-	g/m ²	130	250	600
	Cor					
	Matéria prima	-	-	100% poliéster		
	Ponto de fusão	-	°C	260		
Hidráulicas	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	2,50	1,60	0,80
	Permeabilidade normal	ABNT ISO 11058	cm/s	0,40	0,30	0,20
	Abertura de filtração (O₉₅)	ASTM D 4751	mm	0,212	0,180	0,125
Mecânicas	Resistência à tração faixa larga (transversal)	ABNT ISO 10319	kN/m	6	12	29
	Alongamento		%	> 50	> 50	> 50
	Resistência à tração faixa larga (longitudinal)	ABNT ISO 10319	kN/m	7	14	31
	Alongamento		%	> 50	> 50	> 50
	Resistência à punção (CBR)	ABNT ISO 12236	kN	1,10	2,30	5,20

Fonte: Adaptado de Bidim® (2012).

3.2 DIMENSIONAMENTO – MÉTODO CONVENCIONAL

3.2.1 Verificação da auto-estabilidade do solo

Na Tabela 14 há a verificação da auto-estabilidade dos solos quanto à formação do pré-filtro natural, pelo critério de Chen *et al.* (1981) *apud* Vertematti (2004), conforme a equação 4. Sendo possível perceber que para o solos S01 e S03, nem todas as verificações das inequações do critério foram atendidas; já para o solo S02 nenhuma verificação foi atendida. Portanto, na verificação dos critérios seguintes optou-se por um conservadorismo maior, pois, nenhum dos solos apresentou a graduação que permitiria a formação do pré-filtro natural, condição favorável ao bom funcionamento da filtração. É importante evidenciar que o conservadorismo deve levar em conta, também, a análise dos custos, afinal, quanto maior conservadorismo, maiores os gastos com o material adotado para a filtração.

Tabela 14 – Verificação da auto-estabilidade dos solos

Solo	$D_{50s} > \frac{D_{85s}}{5}$	Verificação	$D_{35s} > \frac{D_{50s}}{5}$	Verificação	$D_{15s} > \frac{D_{35s}}{5}$	Verificação
S01	0,850 > 0,640	OK	0,390 > 0,170	OK	0,025 > 0,078	Incorreto
S02	0,009 > 0,118	Incorreto	0,000 > 0,002	Incorreto	0,000 > 0,000	Incorreto
S03	0,500 > 1,960	Incorreto	0,250 > 0,100	OK	0,025 > 0,050	Incorreto

Fonte: Autora (2021).

3.2.2 Verificação do Critério de Retenção

O Critério de Retenção foi verificado por meio do Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG, 1986), conforme o item 3.1 deste trabalho.

A Tabela 15, com base na distribuição granulométrica e no Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), apresenta os valores do fator granulométrico, C_1 . S01 e S03 foram classificados como solos granulares mal graduados, pois, apresentam percentual passante na peneira de número 4 maior que 50%, mas na peneira 200 maior que 5%, além disso, apesar de possuírem Coeficiente de Uniformidade maior que 6 ($C_u > 6$), não possuem o Coeficiente de Curvatura (C_c) entre 1 e 3, portanto, não se encaixam na faixa de 'areias bem graduadas'. O solo S02, argiloso de baixa compressibilidade, com percentual passante na peneira de número 200 de 60%, também foi definido como mal graduado. Além disso, cabe ressaltar que embora neste tipo de solo (S02) não se use a classificação em relação à graduação (do intervalo de valores de Coeficiente de Uniformidade e de Curvatura), adotou-se este termo em relação ao comportamento esperado em relação ao fator granulométrico (C_1).

Tabela 15 – Fator granulométrico

Solo	Tipo	C_u	C_c	Classificação	C_1
S01	Granular (% de finos menor que 50%)	205	9,92	Solo mal graduado	0,8
S02	Fino (% de finos maior que 50%)	-	-	Solo mal graduado	0,8
S03	Granular (% de finos menor que 50%)	278	15,12	Solo mal graduado	0,8

Fonte: Autora (2021).

Por meio da Tabela 3, conforme as condições de contorno do sistema filtrante do muro

de gabião em questão (caracterizado no item 4.1.2), foram definidos os valores dos fatores (ou coeficientes) C_1 , C_2 , C_3 e C_4 , e apresentados na Tabela 16.

O valor escolhido para o fator de adensamento, C_2 , dos solos S01, S02 e S03, foi de 1,25 (conforme a segunda coluna da Tabela 16). Afinal, como as boas práticas de execução de um muro gabião, recomendam o processo da compactação, em camadas, do maciço de solo protegido, os três solos analisados foram considerados densos e confinados.

Na terceira coluna da Tabela 16 apresenta-se os valores definidos para o fator hidráulico, C_3 . Este varia de acordo com o gradiente hidráulico, i , presente no solo em função do fluxo em percolação. O gradiente hidráulico é o mesmo para os três solos, pois, depende das características do muro de arrimo e, conforme a equação 16, foi calculado considerando a situação mais crítica, ou seja, para a maior carga hidráulica possível por metro de percolação, resultando em um valor menor do que 5, por isso C_3 foi definido como igual a 1:

$$i = \frac{h}{L} = \frac{3,5}{1} = 3,5 < 5 \quad (16)$$

Onde: h = carga hidráulica dissipada na percolação (m) e L = distância percorrida na percolação (m).

Já na quarta coluna da Tabela 16 há o o fator de função, C_4 , que foi assim definido, pois neste dimensionamento o geotêxtil é aplicado com função principal e única de filtração.

Tabela 16 – Fator de adensamento, hidráulico e de função

Solo	C_2	C_3	C_4
S01	1,25	1	1
S02	1,25	1	1
S03	1,25	1	1

Fonte: Autora (2021).

A verificação do Critério de Retenção, propriamente dito, dos três solos estudados está contida na Tabela 17. Sendo possível perceber que a Abertura de Filtração

Aparente (O_{95}) de todas as gramaturas de geotêxteis, dos três fabricantes analisados, foram consideradas adequadas quanto ao Critério de Retenção, ou seja, a inequação (5) foi verificada e pode-se dizer que os poros dos geotêxteis apresentam dimensões suficientes para a retenção de partículas de solos com as características de S01, S02 e S03.

Tabela 17 – Verificação do Critério de Retenção

Geotêxtil			Solo S01		Solo S02		Solo S03	
Fabricante	Identificação	O ₉₅ (mm)	C ₁ . C ₂ . C ₃ . C ₄ .D _{85s} (mm)	Verificação	C ₁ . C ₂ . C ₃ . C ₄ .D _{85s} (mm)	Verificação	C ₁ . C ₂ . C ₃ . C ₄ .D _{85s} (mm)	Verificação
Total Solo	SG07	0,165	3,2	Adequado	0,59	Adequado	9,9	Adequado
	SG08	0,150		Adequado		Adequado		Adequado
	SG09	0,140		Adequado		Adequado		Adequado
	SG10	0,135		Adequado		Adequado		Adequado
	SG14	0,115		Adequado		Adequado		Adequado
	SG16	0,110		Adequado		Adequado		Adequado
	SG21	0,090		Adequado		Adequado		Adequado
	SG26	0,070		Adequado		Adequado		Adequado
	SG06	0,060		Adequado		Adequado		Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 30.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 36.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 40.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 50.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 60.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 70.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 80.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	H 90.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
	PH 100.2	0,075		Adequado		Adequado		Adequado
Bidim	RT 07	0,212		Adequado		Adequado		Adequado
	RT 14	0,180		Adequado		Adequado		Adequado
	RT 31	0,125		Adequado		Adequado		Adequado

Fonte: Autora (2021).

3.2.3 Verificação do Critério de Permeabilidade

O Critério de Permeabilidade foi verificado quanto aos critérios do Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas (CFGG, 1986) e da Lei de Darcy. Para verificá-los, na Tabela 18, há os valores de permeabilidade dos três solos, que pelo fato de não terem sido ensaiados quanto a permeabilidade durante seus estudos primários, receberam valores típicos baseados na literatura corrente, em função de suas características.

Iniciando pelo critério do CFGG (1986), também na Tabela 18, verifica-se, os valores dos fatores variáveis (n), escolhidos entre os disponibilizados na Tabela 4 do item 3.1 deste trabalho. Sendo igual a 3 para S01, solo tipicamente arenoso, e igual a 4 para S02 (solo argiloso) e S03, este apesar de ter sido classificado por meio do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) como uma areia argilosa, apresenta uma baixa permeabilidade, enquadrando-se nas características de $n=4$.

Tabela 18– Valores de permeabilidade dos solos e dos fatores variáveis

Solo	K_{SOLO} (m/s)	n
S01	1,00E-05	3
S02	1,00E-08	4
S03	1,00E-07	4

Fonte: Autora (2021).

Os resultados da verificação do critério do CFGG (1986), estão descritos nas Tabelas 19, 20 e 21, para os solos S01, S02 e S03, respectivamente, e levando em consideração a espessura e permeabilidade planar fornecidas pelos fabricantes dos geotêxteis. Constatando que, através do critério em questão, todos os geotêxteis, dos três fabricantes, possuem permeabilidade suficiente para garantir a continuidade do fluxo.

Tabela 19 – S01: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG

Solo S01						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{n GT}	y	y . K_{S01}	Verificação (k_{n GT} > y . K_{S01})
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	1,30	1,30E-05	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	1,50	1,50E-05	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	1,60	1,60E-05	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	1,60	1,60E-05	Adequado
	SG 14	0,0018	4,00E-03	1,80	1,80E-05	Adequado
	SG 16	0,0022	4,00E-03	2,20	2,20E-05	Adequado
	SG 21	0,0026	4,00E-03	2,60	2,60E-05	Adequado
	SG 26	0,0030	4,00E-03	3,00	3,00E-05	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	3,80	3,80E-05	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	1,10	1,10E-05	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	1,20	1,20E-05	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	1,25	1,25E-05	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	1,30	1,30E-05	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	1,50	1,50E-05	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	1,90	1,90E-05	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	2,20	2,20E-05	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	2,60	2,60E-05	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	3,50	3,50E-05	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	3,80	3,80E-05	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	0,80	8,00E-06	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	1,80	1,80E-05	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	3,60	3,60E-05	Adequado

Fonte: Autora (2021).

Tabela 20 – S02: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG

Solo S02						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{n GT}	y	y . K_{S02}	Verificação (k_{n GT} > y . K_{S02})
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	13	1,30E-07	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	15	1,50E-07	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	16	1,60E-07	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	16	1,60E-07	Adequado
	SG 14	0,0018	4,00E-03	18	1,80E-07	Adequado
	SG 16	0,0022	4,00E-03	22	2,20E-07	Adequado
	SG 21	0,0026	4,00E-03	26	2,60E-07	Adequado
	SG 26	0,0030	4,00E-03	30	3,00E-07	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	38	3,80E-07	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	11	1,10E-07	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	12	1,20E-07	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	12,5	1,25E-07	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	13	1,30E-07	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	15	1,50E-07	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	19	1,90E-07	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	22	2,20E-07	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	26	2,60E-07	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	35	3,50E-07	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	38	3,80E-07	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	8	8,00E-08	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	18	1,80E-07	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	36	3,60E-07	Adequado

Fonte: Autora (2021)

Tabela 21 – S03: Verificação do critério de Permeabilidade pelo CFGG

Solo S03						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{n GT}	y	y . K_{S03}	Verificação (k_{n GT} > y . K_{S03})
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	13	1,30E-06	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	15	1,50E-06	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	16	1,60E-06	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	16	1,60E-06	Adequado
	SG 14	0,0018	4,00E-03	18	1,80E-06	Adequado
	SG 16	0,0022	4,00E-03	22	2,20E-06	Adequado
	SG 21	0,0026	4,00E-03	26	2,60E-06	Adequado
	SG 26	0,0030	4,00E-03	30	3,00E-06	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	38	3,80E-06	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	11	1,10E-06	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	12	1,20E-06	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	12,5	1,25E-06	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	13	1,30E-06	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	15	1,50E-06	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	19	1,90E-06	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	22	2,20E-06	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	26	2,60E-06	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	35	3,50E-06	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	38	3,80E-06	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	8	8,00E-07	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	18	1,80E-06	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	36	3,60E-06	Adequado

Fonte: Autora (2021).

Agora, adotando a verificação da permeabilidade por meio do critério da Lei de Darcy, faz-se necessário, inicialmente, calcular a vazão em percolação, por metro linear de muro, através dos três diferentes solos por meio dos conceitos de redes de fluxos conforme a equação 9. Da Figura 22, vê-se que o perfil transversal do muro gabião apresenta 4 canais de fluxo e 5 faixas de perdas de carga unitária. Os valores da vazão, obtidos para os três solos são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 – Vazão através dos solos

Solo	Q_{SOLO} (m³/s)
S01	2,80E-05
S02	2,80E-08
S03	2,80E-07

Fonte: Autora (2021).

Obtidos por meio dos valores da vazão através dos três solos, nas Tabela 24, 25 e 26, têm-se os valores dos coeficientes de permeabilidade de projeto dos geotêxteis por metro linear de muro, considerando a máxima carga hidráulica possível. Há, também nas tabelas em questão, a verificação do Critério de Permeabilidade através da Lei de Darcy, utilizando os coeficientes de permeabilidade dos geotêxteis fornecidos pelos fabricantes (de laboratório) e contidos nas especificações técnicas (Tabelas 11, 12 e 13), mostrando que houve a aprovação de todos dos geotêxteis, para S01, S02 e S03.

Na Tabela 23 (cujos dados foram extraídos da Tabela 5) estão contidos os valores dos fatores de redução adotados por conservadorismo, ou seja, para cada linha da Tabela 5, selecionou-se o maior valor do intervalo, obtendo, desta forma, o maior fator de redução final, FR, possível. Há um conservadorismo maior por esta metodologia, pois, como o coeficiente de permeabilidade de laboratório dos geotêxteis, $K_{\text{NGT (LAB.)}}$, deve ser maior que o coeficiente de permeabilidade funcional, $(K_{\text{NGT (PROJ.)}} \cdot \text{FR})$, aumentando ' $K_{\text{NGT (PROJ.)}} \cdot \text{FR}$ ' exige-se um ' $K_{\text{NGT (LAB.)}}$ maior'.

Tabela 23 – Fatores de redução do critério da Lei de Darcy

FR_{fl} (fluência)	2
FR_{di} (danos de instalação)	1,2
FR_{col solo} (colmatação pelo solo)	4
FR_{col q} (colmatação química)	1,2
FR_{col b} (colmatação biológica)	1,3
FR =	14,976

Fonte: Autora (2021).

Tabela 24 – S01: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy

Solo S01						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{nGT} (LAB.)	k_{nGT}(PROJETO)	k_{nGT}(PROJETO) . FR	Verificação (K _{nGT} (LAB.) > k _{nGT} (PROJ.) . FR)
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	2,97E-09	4,45E-08	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	3,43E-09	5,13E-08	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	3,66E-09	5,48E-08	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	3,66E-09	5,48E-08	Adequado
	SG14	0,0018	4,00E-03	4,11E-09	6,16E-08	Adequado
	SG16	0,0022	4,00E-03	5,03E-09	7,53E-08	Adequado
	SG21	0,0026	4,00E-03	5,94E-09	8,90E-08	Adequado
	SG26	0,0030	4,00E-03	6,86E-09	1,03E-07	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	8,69E-09	1,30E-07	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	2,51E-09	3,77E-08	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	2,74E-09	4,11E-08	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	2,86E-09	4,28E-08	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	2,97E-09	4,45E-08	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	3,43E-09	5,13E-08	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	4,34E-09	6,50E-08	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	5,03E-09	7,53E-08	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	5,94E-09	8,90E-08	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	8,00E-09	1,20E-07	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	8,69E-09	1,30E-07	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	1,83E-09	2,74E-08	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	4,11E-09	6,16E-08	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	8,23E-09	1,23E-07	Adequado

Fonte: Autora (2021).

Tabela 25 – S02: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy

Solo S02						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{n GT} (LAB.)	k_{nGT}(PROJETO)	k_{nGT}(PROJETO) . FR	Verificação (K _{nGT} (LAB.) > k _{nGT} (PROJ.) . FR)
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	2,97E-12	4,45E-11	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	3,43E-12	5,13E-11	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	3,66E-12	5,48E-11	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	3,66E-12	5,48E-11	Adequado
	SG14	0,0018	4,00E-03	4,11E-12	6,16E-11	Adequado
	SG16	0,0022	4,00E-03	5,03E-12	7,53E-11	Adequado
	SG21	0,0026	4,00E-03	5,94E-12	8,90E-11	Adequado
	SG26	0,0030	4,00E-03	6,86E-12	1,03E-10	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	8,69E-12	1,30E-10	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	2,51E-12	3,77E-11	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	2,74E-12	4,11E-11	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	2,86E-12	4,28E-11	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	2,97E-12	4,45E-11	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	3,43E-12	5,13E-11	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	4,34E-12	6,50E-11	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	5,03E-12	7,53E-11	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	5,94E-12	8,90E-11	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	8,00E-12	1,20E-10	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	8,69E-12	1,30E-10	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	1,83E-12	2,74E-11	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	4,11E-12	6,16E-11	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	8,23E-12	1,23E-10	Adequado

Fonte: Autora (2021).

Tabela 26 – S03: Verificação do Critério de permeabilidade pela Lei de Darcy

Solo S03						
Geotêxtil				Verificação		
Fabricante	Ident.	t_{GT} (m)	k_{n GT} (LAB.)	k_{nGT}(PROJETO)	k_{nGT}(PROJETO) . FR	Verificação (K _{nGT} (LAB.) > k _{nGT} (PROJ.) . FR)
Total Solo	SG07	0,0013	4,00E-03	2,97E-11	4,45E-10	Adequado
	SG08	0,0015	4,00E-03	3,43E-11	5,13E-10	Adequado
	SG09	0,0016	4,00E-03	3,66E-11	5,48E-10	Adequado
	SG10	0,0016	4,00E-03	3,66E-11	5,48E-10	Adequado
	SG14	0,0018	4,00E-03	4,11E-11	6,16E-10	Adequado
	SG16	0,0022	4,00E-03	5,03E-11	7,53E-10	Adequado
	SG21	0,0026	4,00E-03	5,94E-11	8,90E-10	Adequado
	SG26	0,0030	4,00E-03	6,86E-11	1,03E-09	Adequado
	SG06	0,0038	4,00E-03	8,69E-11	1,30E-09	Adequado
Maccaferri	H 26.2	0,0011	2,60E-03	2,51E-11	3,77E-10	Adequado
	H 30.2	0,0012	2,30E-03	2,74E-11	4,11E-10	Adequado
	H 36.2	0,0013	2,10E-03	2,86E-11	4,28E-10	Adequado
	H 40.2	0,0013	2,00E-03	2,97E-11	4,45E-10	Adequado
	H 50.2	0,0015	1,80E-03	3,43E-11	5,13E-10	Adequado
	H 60.2	0,0019	1,60E-03	4,34E-11	6,50E-10	Adequado
	H 70.2	0,0022	1,50E-03	5,03E-11	7,53E-10	Adequado
	H 80.2	0,0026	1,40E-03	5,94E-11	8,90E-10	Adequado
	H 90.2	0,0035	1,30E-03	8,00E-11	1,20E-09	Adequado
	PH 100.2	0,0038	1,00E-03	8,69E-11	1,30E-09	Adequado
Bidim	RT 07	0,0008	4,00E-03	1,83E-11	2,74E-10	Adequado
	RT 14	0,0018	3,00E-03	4,11E-11	6,16E-10	Adequado
	RT 31	0,0036	2,00E-03	8,23E-11	1,23E-09	Adequado

Fonte: Autora (2021).

3.2.4 Especificação do geossintético

Para o solo S01, por meio das Tabelas 17, 19 e 24, percebe-se que todas as gramaturas dos geossintéticos, dos três fabricantes analisados, foram consideradas, simultaneamente, adequadas quanto ao critério de retenção do CFGG (1986) e ao critério de permeabilidade, tanto em relação ao CFGG (1986) quanto à Lei de Darcy.

O mesmo vale para o solo S02, confirmado através das Tabelas 17, 20 e 25, e para o solo S03, através das Tabelas 17, 21 e 26.

Portanto, para o muro gabião hipotético estudado, a ser implantado nas margens de uma rodovia e devendo conter 3,5 metros de altura de um maciço de solo com as características de S01, S02 ou S03, todos os geotêxteis não-tecidos analisados, poderiam ser utilizados como elemento filtrante no tardo da estrutura. Garantindo a estabilidade do solo protegido, através permissão à passagem do fluido percolante e da retenção de partículas do solo, evitando a colmatção. Além disso, as condições de contorno do problema, permitem a utilização do poliéster como constituinte dos geotêxteis, já que não foi citado, por exemplo, o contato com meios agressivos ao polímero (como nos casos de obras ambientais ou mineradoras), o que tornaria necessário a utilização de geotêxteis constituídos de polipropileno, o outro material disponível comercialmente pelos fabricantes.

Entretanto, sob a ótica financeira, como todos os geotêxteis poderiam ser utilizados como elementos filtrantes, busca-se aqueles que apresentam o melhor custo-benefício. Afinal o valor dos geotêxteis varia em função da gramatura, aumentando quanto maior a gramatura, variando, para a Grande Vitória, numa média de R\$ 4,525/m² para gramatura de 130 g/m², à R\$ 14,00/m² para gramatura de 600 g/m² (os valores variam dependendo da região da obra, por conta do frete para a entrega, e da quantidade do material a ser comprada).

Desta forma, decidiu-se por especificar os geotêxteis SG07, H 26.2 e/ou RT 07. Quanto à aplicação, os panos de geotêxteis devem ser fixados, em dois pontos a cada metro, com o arame de amarração do próprio gabião, na aresta superior ou posterior do gabião, ajustando-o de acordo com as características do muro. Ademais, deve-se prever uma sobreposição mínima de 30 cm, para manter a continuidade do filtro, no fim de cada pano.

4 CONCLUSÃO

Por meio da análise do dimensionamento, pode-se afirmar que geossintéticos do tipo geotêxtil não-tecido, apresentam-se como excelentes opções de elementos filtrantes de muros gabiões que protegem maciços de solos formados por areias argilosas, siltosas ou argilas de baixa compressibilidade. Estes filtros sintéticos, podem, inclusive, substituir os filtros granulares, tradicionalmente utilizados. Proporcionando, ao sistema de filtração uma menor espessura de filtro; garantia de segurança da obra, por conta das características controladas e homogeneidade do filtro em toda a extensão do muro; além da facilidade de instalação, menor tempo de execução e redução do peso da estrutura.

Os muros de gabiões, por apresentarem alta permeabilidade, ou seja, já permitirem a passagem de fluidos, fazem com que o geotêxtil assuma a função da filtração e, também, protejam o maciço de solo de maneira eficaz, contra possíveis instabilidades e até rupturas, pois, evita-se a perda de resistência do aterro por saturação e/ou pela formação de “piping”.

Quanto à verificação do critério de permeabilidade, há um menor conservadorismo sob os parâmetros da Lei de Darcy, do que por meio do Comitê Francês de Geotêxteis de Geomembranas (CFGG), ainda que a Lei de Darcy considere a lei que rege o fluxo. Afinal, analisando os valores dos coeficientes de permeabilidade de projeto, obtidos através dos cálculos do dimensionamento em questão, pode-se concluir que a ordem de grandeza, em geral, dos valores obtidos por meio do critério do CFGG é maior que da Lei de Darcy. Assim, quando se usa a Lei de Darcy, pode-se especificar um geotêxtil com permeabilidade menor, o que significa menos conservadorismo, já que o coeficiente de permeabilidade do geotêxtil deve ser maior ou igual ao de projeto para garantir a continuidade do fluxo. Portanto, o ideal é adotar a maior permeabilidade calculada, pois, desta forma os dois critérios são atendidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 8p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 6459**: Solo — Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 5p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 3p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7181**: Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 12p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT ISO 9863-1**: Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única. Rio de Janeiro, 5p. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR ISO 10318-1**: Geossintéticos – Termos e definições. Rio de Janeiro, 9p. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR ISO 10318-2**: Geossintéticos – Símbolos e pictogramas. Rio de Janeiro, 6p. 2018.

BARROS, P. L. A. **Obras de Contenção: manual técnico - Maccaferri**. São Paulo, 223 p. 2015.

BIDIM. **Especificação Técnica Geotêxtil Bidim – Linha Bidim RT**. Mexichem Brasil Indústria de Transformação Plástica Ltda. 2012.

CUNHA, Y. G. **Avaliação da resistência mecânica de misturas convencionais e alternativas utilizadas em barreiras impermeabilizantes**. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 78p. 2017.

DOMINGUES, P. C. **Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado**. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo. São Carlos, 109p. 1997.

FREITAS, R. A. S. **Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos – Fosfogesso e Lama vermelha**. Dissertação de Mestrado – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 122p. 2003.

FURIERI, E. C. **Avaliação em laboratório e em campo por meio de simulador linear de tráfego móvel de solos estabilizados com coproduto KR, Cimento Portland e Blindasolo®**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 230p. 2019.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Rio de Janeiro: Univesidade Estadual do Rio de Janeiro, 48p. 2010.

GOURC, J. P. e PALMEIRA, E.M. **Geossintéticos em drenagem e filtração**. International Geosynthetics Society - IGS News. Tradução: Marianna J. A. Mendes.

MACCAFERRI. Especificação Técnica – Linha **MACTEX® H.2**. Maccaferri do Brasil. 2020.

MUÑOZ, C. S. **Desempenho de geotêxteis na filtração de solos internamente instáveis**. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 120p. 2005.

ORTIZ, C. A. H. **Desempenho de geotêxteis na filtração de suspensões água-solo**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 140p. 2012.

OS GEOSSINTÉTICOS. **IGS Brasil**, [s.d.]. Disponível em: <<https://igsbrasil.org.br/material-tecnico/>>. Acesso em: 11 de mar. de 2021.

PALMEIRA, E. P. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

REBELO, K. M. W. **Tópicos especiais em mecânica dos solos C: Geossintéticos em obras civis e de proteção ambiental – I**. Notas de aula. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.

TRENTINI, R. S. e VIDAL, D. M. **Influência da estrutura polimérica nos parâmetros de comportamento de campo dos geossintéticos**. IX EINCITA, São Paulo, 1-6, 2006.

TOTAL SOLO. Tabelas de Especificações Técnicas – Linha **Solo Geo SG®**. Total Solo | Produtos e Soluções em Geotecnia LTDA. 2021.

RECOMENDAÇÃO IGSRBrasil – **IGSBR 002-1**: – Características requeridas para o emprego de geossintéticos: Parte 1 Geotêxteis e Produtos Correlatos. 2014.

RECOMENDAÇÃO IGSRBrasil – **IGSBR 002-2**: – Características requeridas para o emprego de geossintéticos: Parte 2 Barreiras Geossintéticas. 2014.

RECOMENDAÇÃO IGSRBrasil – **IGSBR 003**: – Termos e definições complementares. 2014.

SIEIRA, A. C. C. F. **Estudo Experimental dos Mecanismos de Interação SoloGeogrelha**. Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 428p. 2004.

VERTEMATTI, J. C. **Curso básico de geotêxteis – Comitê Técnico Geotêxtil (CTG)**. 1. ed. São Paulo: Editora Rooka'z/ABINT, 95p. 2001.