

Avaliação do Uso de Geocomposto como Camada Drenante em Obras de Geotecnia

Vinícius Silva Feijó

Discente de Pós-Graduação, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, viniciusfeijo360@gmail.com

D.Sc. Gregório Luís Silva Araújo

Professor Associado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, gregorio@unb.br

RESUMO: Em um cenário de escassez de recursos naturais, acompanhado por avanços nas tecnologias das construções e dos materiais, o uso de geossintéticos tem se difundido cada vez mais no âmbito da construção civil. Esses materiais são formados por elementos planares poliméricos que possuem um comportamento hidromecânico capaz de ser aproveitado em diversas obras de engenharia, além de se apresentarem como uma solução sustentável a problemas ambientais que envolvem determinadas estruturas. Por se tratar, muitas vezes, de um material de fácil aplicação, baixo custo, elevado desempenho e baixo impacto ambiental, quando comparados às soluções tradicionais empregadas tanto para reforços, quanto para estruturas hidráulicas, eles têm aplicação cada vez mais frequente. Nesse estudo, foram realizadas investigações a respeito de um geocomposto, formado por duas camadas de geotêxtil e material de enchimento (georrede), a partir de ensaios laboratoriais de transmissividade. O objetivo é estabelecer um comparativo entre os comportamentos hidráulicos de camadas de geocomposto e camada de solo grosso convencional, cujos parâmetros também foram estudados. Os resultados mostraram que o geossintético pode ser empregado em empreendimentos de engenharia com ganhos de desempenho e financeiros em comparação com soluções convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: geossintéticos, transmissividade, permeabilidade, geocomposto, drenagem, filtração.

ABSTRACT: In a scenario of limited natural resources, followed by advances in construction and materials technologies, the use of geosynthetics has been increasingly widespread in civil construction. Geosynthetics are polymeric materials that have a hydromechanical behavior capable of being used in various engineering works, besides presenting themselves as a sustainable solution to environmental problems involving certain structures. Because of its possible advantages, such as effortless application, low cost, high performance, and low environmental impact when compared to the traditional solutions, these materials have become commonly used. In this study, investigations were conducted on a geocomposite, formed by layers of geotextile and filling material (geonet), by means of transmissivity laboratory tests. The objective is to establish a comparison between the hydraulic behaviors of geocomposite layers with conventional coarse soil, whose parameters were also studied. The results showed that the geosynthetic can be used in engineering ventures with performance and financial gains compared to conventional solutions.

KEYWORDS: Geosynthetics, drainage, permeability, geocomposite, transmissivity.

1 Introdução

Os geossintéticos possuem uma história antiga, remontando ao uso de materiais vegetais para reforçar solos há milhares de anos. No entanto, foi apenas com o desenvolvimento de polímeros sintéticos, na década de 1940, que esses materiais ganharam relevância na engenharia civil. Nas décadas seguintes, surgiram avanços significativos, como os geotêxteis não tecidos, nos anos 60, e os geocompostos drenantes, nos anos 70 (Lopes, 2004; Paulson, 1991). Esses materiais representam uma inovação significativa, oferecendo novas abordagens para lidar com o fluxo de fluidos no solo, enquanto reduzem custos e impactos ambientais. Por exemplo, os geocompostos drenantes com um núcleo de material polimérico demonstram uma maior capacidade de conduzir fluidos em comparação com os geotêxteis tradicionais (Koerner, 1998; Silva, 2007).

Dentre outros fatores, pode-se dizer que os recentes avanços observados com relação à pesquisa e utilização de materiais geossintéticos em obras de Engenharia Civil estão relacionados à facilidade no

transporte para áreas remotas, potencial de adaptabilidade às necessidades particulares das obras, velocidade na execução e instalação, durabilidade, redução de custos, possível dispensa de mão-de-obra especializada para instalação e substituição de materiais de construção naturais, muito valiosos nos dias de hoje devido à escassez de áreas de empréstimo e dificuldade na sua obtenção (Palmeira, et al. 2021; Silva, 2007).

A presente pesquisa visa avaliar o desempenho hidráulico dos geossintéticos, com especial atenção aos geocompostos drenantes. Por meio de ensaios de laboratório, buscou-se comparar a capacidade de vazão planar desses materiais com camadas de materiais granulares convencionais.. Além disso, o estudo visou analisar possíveis aplicações do sistema de drenagem utilizando geocompostos, identificando os potenciais ganhos em termos de eficiência e economia.

2 Materiais e Métodos

2.1 Geocomposto Drenante

Em obras de drenagem, é comum a utilização de materiais formados por uma camada de espaçador envolta por material geotêxtil. Nesses casos, enquanto os geotêxteis atuam como filtros, o núcleo é responsável por conduzir os fluidos ao longo do plano do geocomposto. Atualmente, há diversas combinações possíveis de elementos em geocompostos drenantes devido à ampla disponibilidade de materiais no mercado.

Na prática, o desempenho dos núcleos drenantes varia de acordo com seu formato e capacidade de resistir a cargas sem sofrer deformações ou permitir a intrusão do geotêxtil. Bamforth (2008) observou diferentes comportamentos entre núcleos de georrede de filamentos aleatórios, georredes 2D e geoespaçadores quando submetidos a tensão confinante. O geocomposto com geoespaçador, apesar de ser mais esbelto, apresentou uma transmissividade muito maior (de 20 a 40 vezes) em comparação com os outros dois tipos. Isso se deve ao menor impacto na capacidade de drenagem causado pela intrusão do geotêxtil nesse tipo de núcleo.

2.2 Transmissividade e Fluxo Planar

A expressão "transmissão de fluidos", refere-se ao processo de drenagem dos geossintéticos, os quais captam e direcionam os fluidos em seu plano em direção a um ponto de coleta principal (Giroud, 1986). Isso está diretamente ligado ao bom desempenho dos geocompostos drenantes, que conseguem drenar e filtrar os fluidos no interior do solo sem colmatagens, reduzindo as poropressões e conduzindo os fluidos para coletores.

A transmissividade, medida sob condições específicas de tensão e vazão do fluido, é o principal critério de avaliação do desempenho hidráulico de todos os geocompostos drenantes, independentemente de seu material ou aplicação (Narejo, 2005). Durante a realização de ensaios conforme as normas NBR ISO 12958 (ABNT, 2022) e ASTM D4716 (2020), diferentes autores fazem considerações importantes sobre como medir a transmissividade e a capacidade de fluxo planar (Fanning et al., 1998; Bamforth, 2009), destacando a importância de compreender as condições específicas dos testes, como o gradiente hidráulico, a tensão confinante e os materiais utilizados.

O ensaio de transmissividade pela ASTM D4716 (2020) admite uma relação linear entre a vazão e o gradiente hidráulico e, por esse motivo, define transmissividade como a razão entre o fluxo planar e o gradiente hidráulico. Por sua vez, a ISO 12958 (2022) e a própria ASTM D4716 (2020) definem a capacidade de fluxo planar como a razão entre a vazão e a espessura do geocomposto. Ao testar sob vários gradientes hidráulicos diferentes para cada tensão confinante, pode ser montado um diagrama de fluxo que permite estimar a vazão máxima no geocomposto para qualquer gradiente hidráulico.

2.3 Escolha de Materiais e Critérios de Projeto

Neste estudo, optou-se por utilizar o geocomposto drenante com núcleo de filamentos de polipropileno, uma vez que é um material já consolidado no mercado e frequentemente aplicado em soluções com baixos níveis de carregamento. Com isso, busca-se atingir resultados que possam ser aproveitados tanto para pesquisas futuras quanto para o aprimoramento desses materiais e das técnicas construtivas atualmente empregadas.

Para os ensaios de laboratório, optou-se pela utilização do geocomposto, de dimensões 30 x 30cm (conforme estabelecido pela ISO 12958), composto por duas camadas externas de geotêxtil não tecido e uma camada interna de espaçador de fibras de polipropileno distribuídas aleatoriamente. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de um material geossintético similar ao que foi empregado nos ensaios:

Tabela 1 – Parâmetros de Geocomposto Similar ao Utilizado (Maccafferri do Brasil Ltda., 2017).

Gradiente Hidráulico	Condução Longitudinal		Condução Vertical
	i = 0,01	i = 0,1	i = 1,0
Pressão	(l/s)/m	(l/s)/m	(l/s)/m
10 kPa	0,1552	0,6138	2,6521
50 kPa	0,0605	0,2176	0,8925
100 kPa	0,0141	0,0497	0,2585

A capacidade de vazão planar ($q_{p,i}$) deve ser determinada a partir de ensaios em conformidade com as normas ISO 12958 (2022) ou ASTM D4716 (2020). A capacidade de vazão admissível (q_{adm}) pode ser obtida utilizando-se um coeficiente de redução que depende do tipo de empreendimento, da natureza das cargas e das condições de confinamento do geocomposto. Conforme Koerner (1998), este coeficiente é produto dos fatores de redução parciais devido à intrusão do geotêxtil no núcleo espaçador (FR_{in}), à deformação por fluência no núcleo espaçador ou do geotêxtil filtrante (FR_{fl}) à colmatação química (FR_{cpq}) e à colmatação biológica (FR_{cb}).

A partir do valor de capacidade de vazão planar fornecido pelo fabricante do material, a vazão admissível do geossintético pode ser determinada utilizando-se Equação 1. Já o fator de segurança (Equação 2) é dado pela razão entre a vazão unitária de contribuição do projeto (q_d) e a vazão calculada de projeto (q_{calc}), determinada pelos métodos de análise teóricos. Para uma drenagem eficiente, o sistema deve satisfazer a inequação 3.

$$FS = \frac{q_{p,i}}{FR_{in} + FR_{fl} + FR_{cpq} + FR_{cb}} \quad (1)$$

$$FS = \frac{q_d}{q_{calc}} \quad (2)$$

$$q_{adm} > q_d \quad (3)$$

A norma ASTM D4716 (2013) aborda os procedimentos e critérios para determinar a capacidade de fluxo no plano e a transmissividade hidráulica de geotêxteis e produtos relacionados. Um equipamento semelhante ao especificado na norma foi usado para medir a transmissividade de uma camada de cerca de 1 centímetro de um geocomposto drenante com um núcleo de fibras de polipropileno. Utilizou-se um gradiente de 0,1 para o ensaio, o que significa que, para um corpo de prova de 30cm, a altura da coluna d'água deve ser de 3cm.

Os ensaios foram conduzidos conforme a norma NBR ISO 12958 (2022), sob condições de confinamento com placa rígida, o que simplificou as análises para o fator de redução de intrusão do geotêxtil no geoespaçador. Após saturar o geocomposto por 2 horas, foi feita a liberação do fluxo de água por 15 minutos sob uma tensão inicial de 2 kPa, visando eliminar possíveis bolhas no interior da amostra. Em seguida, foram aplicados os estágios de carregamento de 10, 25, 50, 100 e 200 kPa duração de 1h e a leitura do volume de água foi feita com duas repetições para a obtenção da vazão média durante cada estágio. A Figura 1 ilustra o esquema de montagem do equipamento e sua operação durante o teste.

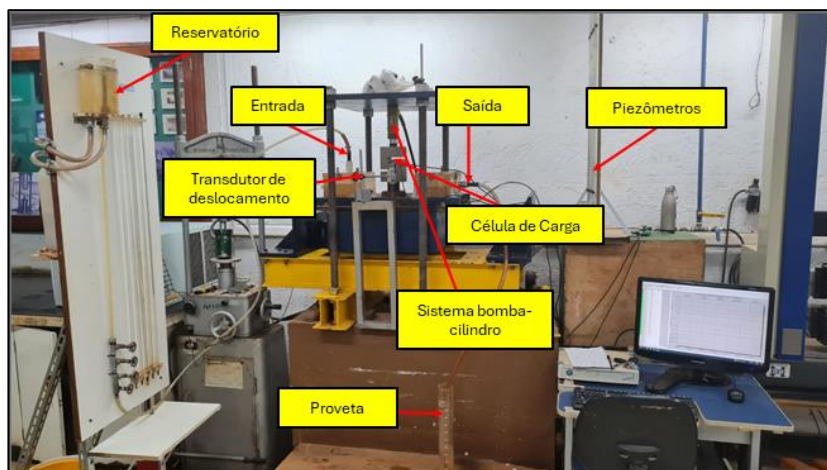


Figura 1 – Aparato Utilizado para o Ensaio de Transmissividade.

2.4 Ensaio de Permeabilidade sob Carga Constante

Antes de proceder com o ensaio de condutividade hidráulica no material granular, realizou-se a análise granulométrica do material conforme a NBR 7181 (2016) e determinou-se a massa específica dos grãos do solo por meio de picnometria de Hélio, realizado com auxílio do equipamento PentaPyc 5200e da marca Quantachrome Instruments.

Feita a caracterização preliminar do material, o ensaio de carga constante foi realizado seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 13292 de 2021. Esse ensaio visa determinar a condutividade hidráulica de solos granulares com até 10% em massa de material passante na peneira de 0,075mm. Para isso, utilizou-se o permeâmetro de carga constante similar ao tipo 1 estabelecido pela norma. Ressalta-se que foi realizado um ajuste da velocidade de escoamento para a temperatura normalizada de 20 °C, utilizando o ábaco fornecido na norma ABNT NBR 13292 para correção de temperatura.

3 Resultados e Discussão

3.1 Ensaios com Solo

A curva granulométrica do material foi obtida utilizando-se regressão linear com a ferramenta excel, e está representada na Figura 2. Os resultados indicaram que o solo contém aproximadamente 6,3% de areia fina, 12,7% de areia média, 65,9% de areia grossa e 15,1% de pedregulho.

Apesar de ter uma quantidade significativa de material arenoso, observou-se uma porcentagem elevada de pedregulho na amostra devido à presença de brita misturada com a areia. Após aferir 5 vezes a massa específica no ensaio de picnometria de Hélio, foi feita uma média entre os valores que resultou em 2,63 g/cm³.

Referente aos resultados do ensaio de permeabilidade, a Figura 3 apresenta a curva que relaciona a velocidade de escoamento e o gradiente hidráulico aplicado, além da equação da reta de melhor ajuste, cujo coeficiente angular representa a condutividade hidráulica do solo.

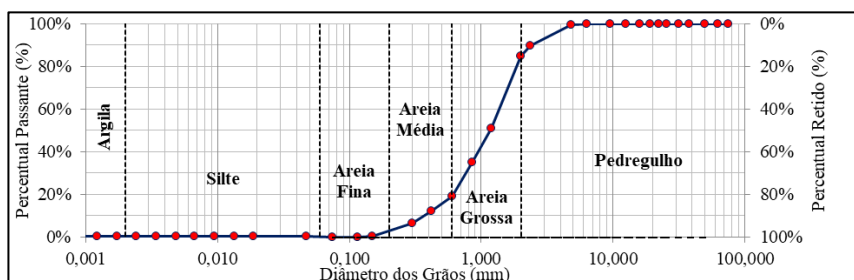


Figura 2 – Curva Granulométrica da Areia.

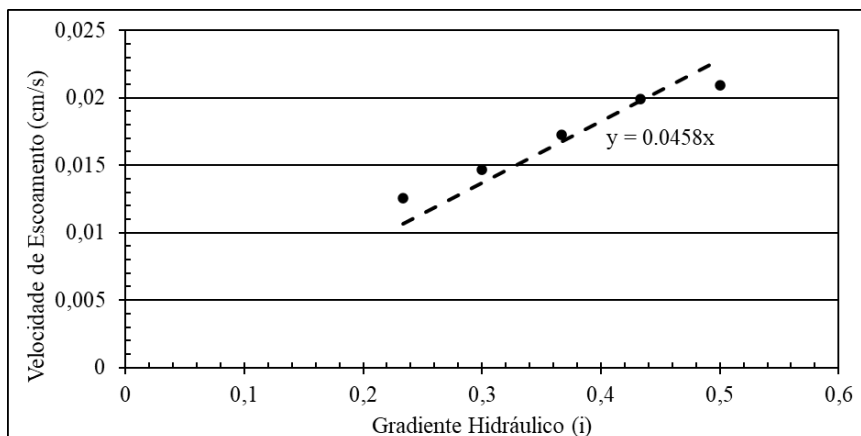


Figura 3 – Relação entre a Velocidade a 20°C e o Gradiente Hidráulico.

3.2 Ensaios com o Geocomposto Drenante

A espessura do geocomposto está ligada à sua capacidade de drenagem conforme a Equação 3. Com transdutores, os deslocamentos na placa foram medidos, e a Figura 4a mostra essa relação com a tensão normal aplicada. Para tensões iniciais, houve uma maior variação na espessura do geocomposto.

Já a Figura 4b mostra como a transmissividade do geocomposto drenante composto varia conforme a tensão normal aplicada. Observa-se que, ao aumentar essa tensão vertical, a capacidade de drenagem do geocomposto diminui. Isso ocorre principalmente devido à variação na espessura do material do núcleo (Silva, 2007; Gardoni, 2000).

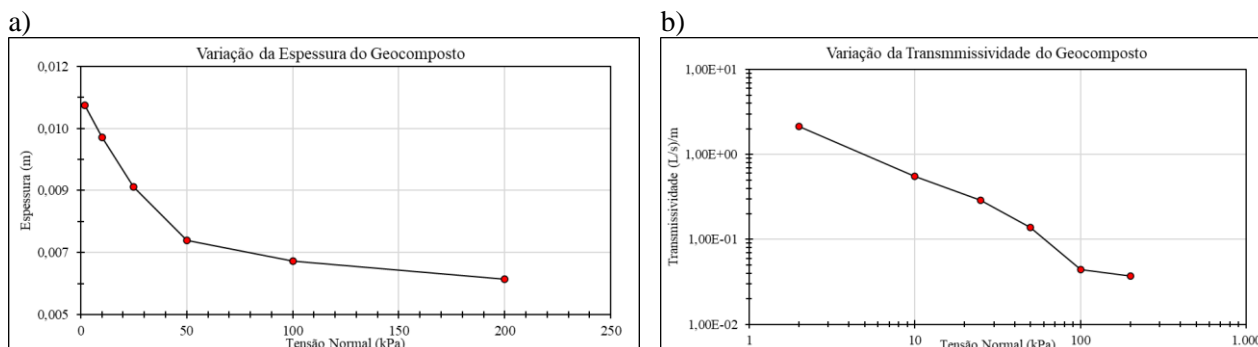


Figura 4 – a) Espessura do Geocomposto em Função da Tensão Normal. b) Transmissividade em função da Tensão Normal.

A vazão admissível do geossintético foi mensurada para cada nível de tensão aplicado utilizando os fatores de redução propostos por Koerner (1998) e considerando as características do dreno do aterro sanitário que está apresentado na Figura 5. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados para a vazão admissível no material em função das tensões aplicadas.

Tabela 2 – Vazão admissível do Geocomposto para diferentes níveis de Tensão

Tensão Normal (kPa)	Vazão de Ensaio (l/s)/m	FR_{in}	FR_{fl}	FR_{cpq}	FR_{cb}	Vazão Admissível (l/s)/m
2	2,293					0,633
10	0,555					0,164
25	0,290					0,086
50	0,140	1,4	1,25	1,1	1,75	0,041
100	0,043					0,013
200	0,037					0,011

Observa-se que os resultados do ensaio de transmissividade mostraram-se inferiores aos parâmetros fornecidos por fabricantes de produtos similares, especialmente quando são aplicados os fatores de redução. Essas diferenças foram de 15%, em média, e podem estar dentro da variabilidade do tipo de medição feita.

Para comparar o desempenho de drenagem da areia e do geossintético estudados, fez-se uma correlação entre a permeabilidade e transmissividade obtidos por meio dos ensaios. Foi possível estimar a espessura da camada de areia necessária para atingir a capacidade de vazão do geocomposto, conforme a equação de Darcy $q = k_t \cdot t \cdot w \cdot i$, onde k_t representa a permeabilidade da areia, i o gradiente hidráulico, w e t o comprimento e a altura da face longitudinal do dreno, respectivamente, e q a taxa de condução de fluidos no plano. A Tabela 3 correlaciona a transmissividade do geocomposto drenante sob diferentes tensões normais com a espessura de uma camada de areia de desempenho equivalente.

Tabela 3 – Espessura de Areia Equivalente ao Geocomposto Drenante para obras de Aterro Sanitário

Tensão Normal (KPa)	Vazão Admissível do Geocomposto (cm ² /s)	Permeabilidade da Areia (cm/s)	Espessura de Areia (m)
2	6,333	0,0458	13,8
10	1,640		3,58
25	0,861		1,87
50	0,414		0,90
100	0,130		0,28
200	0,110		0,24

Como forma de avaliar, em termos quantitativos, a utilização do geocomposto em obras reais de drenagem, comparou-se um projeto de dreno de areia em aterro sanitário com o mesmo projeto utilizando o geossintético estudado. Para isso, foram calculados, de forma simplificada, o volume de material granular e a área de geocomposto necessários para a execução de uma camada drenante na porção superior em um aterro sanitário similar ao proposto por Koerner (1998), apresentado na Figura 5.

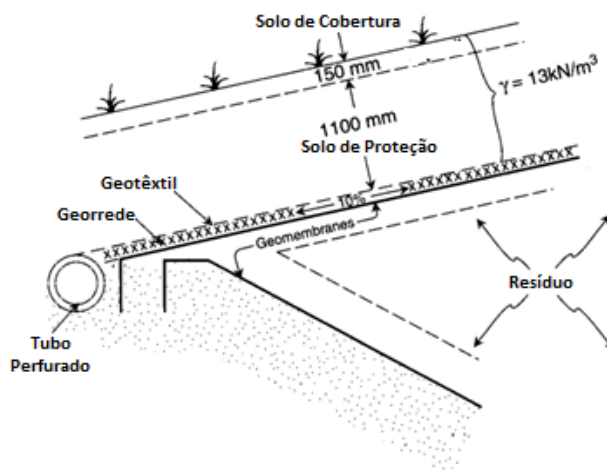


Figura 5 – Esquema para pré-dimensionamento de dreno em pilha de resíduos (adaptado de Koerner, 1998)

Para o pré-Dimensionamento da camada drenante de areia, sabe-se que para um Fator de Segurança igual a 1, a vazão requerida deve ser igual à vazão admissível no dreno. Logo, pela Lei de Darcy, considerando os parâmetros: $i = 0,1$; $q_{calc} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$; $w = 1 \text{ m}$; $k = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$:

$$q_{calc} = q_d = q_{adm} = k \cdot i \cdot t \cdot w$$

$$t = 36,9 \text{ cm}$$

Por sua vez, para o caso do pré-Dimensionamento de Geocomposto Drenante, foi considerado o peso específico do aterro de 13 kPa e uma sobrecarga P_0 , decorrente do peso de equipamentos, de 33,75 kPa. Assim, a tensão vertical no geocomposto pode ser estimada pela Equação 4.

$$\sigma = \gamma \cdot h + P_0 = 13 \cdot 1.25 + 33,75 = 50 \text{ kPa} \quad (4)$$

Extrapolando o comprimento da face longitudinal ao fluxo para um metro, o geocomposto apresenta vazão admissível igual a $4,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sob uma tensão normal de 50 kPa, conforme mostrado na Tabela 3. Portanto, para o aterro em análise, por meio das Equações 1 e Equação 2, estima-se um Fator de Segurança de 2,4.

Ao comparar a capacidade de vazão entre o dreno de areia ($1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) e do geossintético ($4,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$), nota-se que o geocomposto apropriado para a obra apresentou desempenho 2,4 vezes maior do que o sistema convencional de areia. Ainda, para o mesmo fator de segurança de 2,4, o volume de material granular a ser utilizado é de $0,90 \text{ m}^3$ por metro quadrado de geocomposto. Nessa perspectiva, com relação aos custos, ao analisar um aterro sanitário de 10 hectares de extensão, o geocomposto apresenta vantagem, conforme apontam os dados apresentados na Tabela 4, feita com base em custos unitários das composições da tabela SINAPI (2023) e pesquisas de mercado. Cabe salientar que não foram considerados custos de instalação nem de frete dos materiais. Observando-se os custos das duas técnicas, é possível notar uma diferença de 42,5%.

Tabela 4 – Comparação entre Dreno Convencional e Geocomposto Drenante em Muro de Contenção

Fonte	Composição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
SINAPI (2023)	Camada Drenante com Areia Média	m ³	90.000	103,78	9.340.200,00
Impermix	Geocomposto Drenante	m ²	100.000	53,68	5.368.000,00
				Economia:	3.972.200,00

4 Conclusões

Esse trabalho buscou comparar o comportamento e o custo de camadas drenantes com uso de geocompostos e com areia convencional para aplicações em obras de engenharia civil. As conclusões obtidas com a presente pesquisa foram:

- I. O geocomposto drenante de filamentos de polipropileno demonstrou ser uma alternativa eficaz aos materiais granulares, mostrando capacidade de vazão equivalente a camadas granulares de até 30 centímetros de espessura sob tensões normais de 100 kPa;
- II. Em média, as especificações indicadas pelo fabricante para um geocomposto similar ao utilizado apresentaram discrepância de 15% dos valores obtidos nos ensaios, indicando a importância de validar esses parâmetros antes de usar o geossintético em projetos de engenharia;
- III. Comparativamente ao uso de materiais convencionais, o emprego de geocompostos pode levar a uma redução de custos em obras de drenagem, principalmente em projetos de grande escala, considerando os gastos relacionados à quantidade de materiais, fornecimento e instalação das camadas drenantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021) NBR 13292: *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022) NBR ISO 12958: *Geotêxteis e produtos correlatos - Determinação da capacidade de fluxo no plano*. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) NBR 7181: *Solo - Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ASTM Internacional (2020) ASTM D4716 / D4716M-20: *Standard Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head*. West Conshohocken, PA.
- Bamforth, A. (2009) Interpretation of In-plane Flow Capacity of Geocomposite Drainage by Tests to ISO 12958 with Soft Foam and ASTM D4716 with Various Natural Backfill Materials. *GIGSA GeoAfrica*, Cape Town.
- Bamforth, A. (2008) *Role of Platen Hardness on Interpretation and Use of In-plane Flow Capacity Test Results for Geocomposites*. *EuroGeo 4*, Edinburgh, 274.
- Fannin, R. J.; Choy, H. W.; Atwater, J. W. (1998) Interpretation of transmissivity test data for geonets. *Geosynthetics International*, 5. p. 265-285.
- Gardoni, M. G. A. (2000). *Estudo do comportamento dreno-filtrante de geossintéticos sob compressão*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Giroud, J. P. (1986) Geotextiles to Geosynthetics: A Revolution on Geotechnical Engineering. *3rd International Conference on Geotextiles*, Viena, Austria.
- Koerner, R. M. (1998) *Designing with Geosynthetics*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, v. 5.
- Lopes, M. J. F. P. (2004) *Estudo de coeficientes de segurança a aplicar a estruturas de controlo de erosão e de estabilização de maciços com geossintéticos*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Maccaferri do Brasil LTDA. (2017) *MacDrain 1L e 2L - Geocompostos para drenagem*. Disponível em: <<https://ecoimper.com/produto/macdrain-td/>>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- Narejo, D. B. (2005) Determination of transmissivity of synthetic drainage materials at low gradients. *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 23.
- Palmeira, E.; Gardoni, M. D. G.; Araújo, G. L. (2021) Geossintéticos em Engenharia Ambiental: Avanços e Perspectivas. *Impactum-journals: Special Issue Commemorating the 50th Anniversary of the Geotecnia Journal*, Nº 152.
- Paulson, J. N. (1991) New Geocomposite Drains. *Geotextiles and Geomembranes*, Atlanta, Georgia. p. 625-633.
- Silva, C. A. (2007) *Ensaio de Transmissibilidade em Geocompostos para Drenagem*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- SINAPI. (2023) *Custos de Composições - Sintético*. Caixa Econômica Federal. Brasília.