

FATORES DE REDUÇÃO PARA FLUÊNCIA EM GEOCOMPOSTO DRENANTE

Reduction factors for creep in drainage geocomposites

Flávia Silva dos Santos*

Ana Cristina Castro Fontenla Sieira **

RESUMO – A construção civil, muitas vezes considerada atrasada tecnologicamente quando comparada a outros setores, tem buscado incorporar novas tecnologias às suas atividades tradicionais. Na engenharia geotécnica, pode-se destacar o uso crescente dos materiais geossintéticos como evidência. O uso de geocompostos drenantes com a finalidade de captação e condução da água presente no solo tem se tornado cada vez mais frequente. Conhecer e compreender o comportamento deste tipo de material pode representar um dimensionamento mais preciso e, conseqüentemente, uma maior segurança na aplicação e redução de custos para implementação deste tipo de solução. O estudo busca medir o desempenho de um geocomposto drenante a partir de resultados de ensaios de laboratório para obtenção das características mecânicas, hidráulicas e de durabilidade do geossintético. Com os parâmetros obtidos foi feita uma correlação entre os ensaios de compressão, transmissividade e fluência. Deste modo foi possível fazer a previsão da redução na capacidade de vazão do material em longo prazo, estabelecendo fatores de redução quanto à fluência, específicos para este tipo de material. Baseando-se nos resultados obtidos, o material mostrou um desempenho considerado bastante satisfatório.

SYNOPSIS – Often considered technologically delayed compared to other sectors, civil construction seeks to incorporate new technologies in traditional activities. In geotechnical engineering, the crescent usage of geosynthetic materials can be emphasized as evidence. In this area, the applications of geosynthetics in the drainage functions deserve special attention. Often the reason for problems in construction, drainage requires special attention of the designer. Knowing and understanding the behavior of this type of material can represent a more precise designing and consequently greater security in the application and reduction of costs for the implementation of these solutions. This research aimed to study the performance of a drainage geocomposite through laboratory tests to determine the physical, mechanical, hydraulic and durability characteristics of the geosynthetics. Through the correlation between the compression, transmissivity and creep tests, it was possible to predict the reduction in the flow capacity of the material in the long term, establishing specific creep reduction factors for this type of material.

Palavras Chave – Fatores de redução, geocompostos drenantes, fluência.

Keywords – Reduction factors, draining geocomposites, fluency.

1 – INTRODUÇÃO

Geossintéticos são produtos poliméricos que encontram as mais diversas aplicações dentro da Engenharia Civil. O aumento na utilização deste tipo de material se deve a fatores como facilidade de instalação e custo competitivo.

Na engenharia geotécnica merecem destaque as aplicações dos geossintéticos nas funções de drenagem. Reconhecidamente a fonte de grandes problemas na construção civil, a drenagem exige atenção especial do projetista. No passado, as drenagens de muros eram executadas com fôrmas de

* Engenheira Civil, Mestre, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). E-mail: proflavia@gmail.com

** Professora Associada, DSc, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). E-mail: sieira@eng.uerj.br

madeira, utilizando-se a brita como material drenante, e o geotêxtil como filtro. Esse método resulta em um impacto ambiental maior, uma vez que usa agregados como meio drenante, além do custo mais elevado. Por esses motivos tem se tornado cada vez mais frequente o uso de geocompostos drenantes com a finalidade de captação e condução da água presente no solo. A instalação é mais rápida quando comparada ao processo anterior e resulta em uma espessura bem menor de superfície drenante.

O conhecimento e a compreensão do comportamento de geocompostos pode representar um dimensionamento mais acurado e, conseqüentemente, uma maior segurança na aplicação e redução de custos para implementação dessas soluções.

Geossintéticos são produtos poliméricos (sintéticos ou naturais) industrializados, desenvolvidos para aplicação em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções. Como um componente extremamente versátil, os geossintéticos encontram variados fins e são disponibilizados nas mais diversas formas, cada um adequado a um determinado uso ou necessidade.

O uso de geossintéticos tem dois objetivos principais Koerner (1997): eficiência no trabalho executado (por exemplo, sem deterioração do material ou perda excessiva) e o fator econômico (menor custo, maior durabilidade, maior vida útil e redução de custos de manutenção).

O número de geossintéticos no mercado é cada vez maior, tornando complexa a sua catalogação e classificação. Geotêxteis, geogrelhas, geocélulas, georredes, geomantas, geomembranas, geotubos e geofornas são alguns destes produtos encontrados facilmente no mercado. Tais produtos são destinados a diversas aplicações como controle de erosão, drenagem, filtração, proteção, reforço e separação.

Em especial este artigo busca aprofundar o conhecimento dos geocompostos drenantes, que consistem em um núcleo polimérico ao qual está ligado um geotêxtil sobre um ou ambos os lados. O núcleo polimérico constitui o meio de transmissão de líquido principal, enquanto o geotêxtil, dependendo das condições de contorno, atua como um filtro.

A versatilidade e a diversidade de materiais geossintéticos drenantes possibilitam a implantação deste tipo de material em diversos tipos de obras. Há uma sofisticação desta utilização conforme aumenta o conhecimento e a familiarização com as novidades que o mercado cria.

As principais vantagens da utilização deste tipo de geossintético são descritas por Vertematti (2015):

- Produtos uniformes, contínuos e flexíveis, que cumprem sua função mesmo quando aplicados em superfícies irregulares ou descontínuas;
- Redução na espessura dos sistemas drenantes, em comparação com as soluções convencionais, reduzindo escavações e permitindo um maior aproveitamento do espaço disponível;
- Facilidade de manuseio, podendo sua instalação ser mecanizada, o que permite significativa redução de cronogramas e custos;
- Leveza, em comparação com os agregados naturais, proporcionando menores sobrecargas nas estruturas e fundações das obras civis.

Como resultam da combinação de vários geossintéticos, a variedade de geocompostos drenantes é grande e se justifica também pelo fato de admitir a adequação às dificuldades a serem vencidas pelo projeto, proliferando na comunidade da Engenharia Civil ao longo dos últimos anos.

O presente trabalho surge da necessidade de um estudo mais detalhado sobre o comportamento de geocompostos drenantes, em especial do produto MacDrain 2L®. Com o objetivo de compreender o comportamento do material foi realizado um programa de ensaios que conta com a execução de ensaios de laboratório para investigação das características mecânicas, hidráulicas e de durabilidade do material. Além disso, são feitas correlações entre os resultados obtidos para realização de investigações quanto à capacidade de vazão do geocomposto em longo prazo.

1.1 – Dimensionamento de Sistemas Drenantes

O dimensionamento de sistemas drenantes envolve o conhecimento das solicitações impostas pelo projeto, a definição de fatores de segurança adequados e a aplicação dos métodos teóricos de determinação específicos para cada caso. De interesse deste artigo é o dimensionamento de sistemas drenantes verticais. Para tal, utiliza-se o traçado de uma rede de fluxo. Este traçado permite a estimativa da vazão, da poropressão e consequentemente dos gradientes hidráulicos. Definindo a relação entre as linhas de fluxo e equipotenciais (N_f/N_q) e aplicando a fórmula da vazão total em uma região de fluxo para meios isotrópicos e homogêneos, tem-se:

$$q_{calc} = k \cdot h \cdot \left(\frac{N_f}{N_q} \right) \quad (1)$$

onde k é o coeficiente de permeabilidade do solo; h é a perda de carga total; N_f é o número canais de fluxo; N_q é o número de perdas de carga unitária e q_{calc} é a vazão total.

1.2 – Vazão unitária de contribuição de projeto (q_d)

A vazão unitária de contribuição de projeto é definida pela equação seguinte:

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

onde q_d é vazão unitária de contribuição de projeto; q_{calc} é a vazão unitária calculada pelo método teórico; FS é o fator de segurança, que leva em consideração as incertezas de cálculo.

1.2.1 – Capacidade de vazão planar do geossintético ($q_{p,i}$)

A capacidade de vazão planar é obtida a partir do ensaio de transmissividade de acordo, por exemplo, com ASTM 4716 (2008).

1.2.2 – Capacidade de vazão admissível do geossintético (q_{adm})

Os valores de capacidade de vazão planar do geossintético ($q_{p,i}$) são absolutos e não consideram adversidades na utilização do geocompostos. Por esse motivo devem ser feitas considerações diversas abrangendo situações de operação do material através da introdução de fatores de redução como:

$$q_{adm} = \frac{q_{p,i}}{FR_{in} \times FR_{fl} \times FR_{cpq} \times FR_{cb}} \quad (3)$$

onde $q_{p,i}$ é a capacidade de vazão planar do geossintético; q_{adm} é a capacidade de vazão planar admissível do geossintético; FR_{in} é o fator de redução devido a intrusão do geotêxtil filtrante no núcleo drenante; FR_{fl} é o fator de redução devido à deformação por fluência do núcleo drenante ou do geotêxtil filtrante; FR_{cpq} é o fator de redução devido à colmatação química do núcleo drenante e FR_{cb} é o fator de redução devido à colmatação biológica do núcleo drenante.

No Quadro 1 constam os fatores de redução para georredes.

Quadro 1 - Fatores de Redução para georredes (Koerner, 1997).

Aplicação	FR_{in}	FR_{fl}	FR_{cpq}	FR_{cb}
Campos esportivos	1,0 a 1,2	1,0 a 1,5	1,0 a 1,2	1,1 a 1,3
Camada de interrupção de capilaridade	1,1 a 1,3	1,0 a 1,2	1,0 a 1,5	1,1 a 1,3
Lajes e áreas suspensas	1,2 a 1,4	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,1 a 1,3
Muros de contenção, percolação de rochas fraturadas e taludes de solo	1,3 a 1,5	1,2 a 1,4	1,1 a 1,5	1,0 a 1,5
Colchões drenantes	1,3 a 1,5	1,2 a 1,4	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2
Drenos superficiais para coberturas de aterros sanitários	1,3 a 1,5	1,1 a 1,4	1,0 a 1,2	1,2 a 1,5
Camada secundária de coleta de chorume (aterros sanitários)	1,5 a 2,0	1,4 a 2,0	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0
Camada primária de coleta de chorume	1,5 a 2,0	1,4 a 2,0	1,5 a 2,0	1,5 a 2,0

1.2.3 – Especificação do geossintético

A especificação do geossintético drenante baseia-se na correlação:

$$q_{adm} \geq q_d \quad (4)$$

Desta forma, para geocompostos drenantes tem-se:

$$q_{p,i} \geq FS \times FR_{in} \times FR_{fl} \times FR_{cpq} \times FR_{cb} \times q_{calc} \quad (5)$$

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

O material ensaiado é um geocomposto, exibido na Figura 1, produto destinado a drenagem, cujo núcleo é formado por uma geomanta tridimensional termosoldada a dois geotêxteis não-tecidos em todos os pontos de contato.



Fig. 1 – Amostra do geocomposto drenante.

Embora o núcleo do material seja composto por uma geomanta, neste artigo, o mesmo será designado como geocomposto drenante em conformidade com a nomenclatura adotada pelo fabricante.

A geomanta é fabricada com filamentos espessos de polipropileno, que por processos de extrusão e união por entrelaçamento, formam uma estrutura tridimensional que apresenta cerca de 90% de vazios em sua estrutura. O geotêxtil não-tecido consiste em uma manta têxtil fabricada com filamentos sintéticos dispostos aleatoriamente.

Durante a fabricação, ocorre a sobreposição do geotêxtil não-tecido com a geomanta, cuja aderência se dá por meio de processos térmicos. A geomanta atua como núcleo drenante, conduzindo o fluido a ser drenado, enquanto o geotêxtil trabalha como filtro, impedindo que as partículas de solos sejam carregadas para o interior da geomanta, o que pode causar a sua colmatção.

2.1 – Programa de Ensaios

A determinação das propriedades de um material é fundamental para o conhecimento do comportamento e desempenho do mesmo, com esse intuito foi realizado um programa de ensaios, constituído de ensaios de transmissividade, ensaios de fluência à compressão e ensaios de compressão a curto prazo.

2.1.1 – Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão foram executados segundo a norma ASTM D6364 (1999), que estabelece os procedimentos para avaliação das deformações de um geossintético sob carga de compressão de curto prazo.

Os ensaios de compressão foram realizados em cinco corpos de prova com dimensões 120 mm x 120 mm. Durante o ensaio, foram registradas as cargas aplicadas e a compressão correspondente.

2.1.2 – Permeabilidade planar e transmissividade

A permeabilidade no plano (k_p) é função do esforço normal aplicado ao geossintético. Sendo assim, à medida que o geossintético comprime, a vazão no plano diminui. Como o volume percolado é função da espessura do geossintético, define-se a transmissividade (θ), como o produto da permeabilidade planar pela sua espessura sob certa tensão normal de confinamento. A transmissividade exprime a capacidade que o geossintético possui de conduzir fluido no seu próprio plano:

$$\theta = k_p \cdot t \quad (6)$$

onde k_p é o coeficiente de permeabilidade no plano do geossintético e t é a espessura do geossintético.

O equipamento utilizado está esquematizado na Figura 2. Este equipamento é capaz de manter a carga hidráulica constante a diferentes níveis correspondendo aos gradientes hidráulicos desejados. Um registro do equipamento pode ser visto na Figura 3.

Para este ensaio foram selecionados três corpos de prova com o comprimento paralelo à direção de fabricação e três corpos de prova com o comprimento perpendicular à direção de fabricação com dimensões de 30 cm x 30 cm. Os ensaios foram realizados para tensões de 10, 20, 50 e 100 kPa e gradientes 1; 0,1 e 0,01.

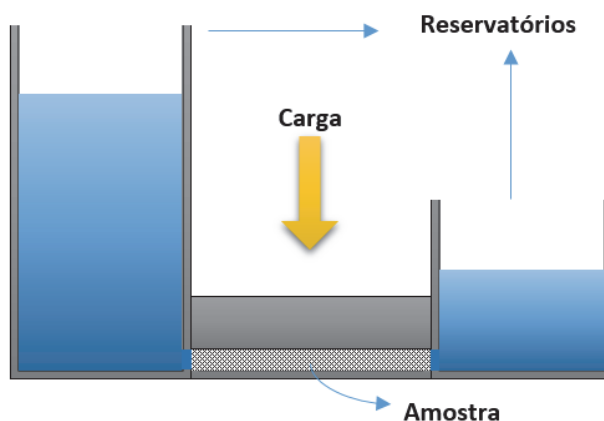


Fig. 2 – Representação do ensaio de transmissividade (Santos, 2017).



Fig. 3 – Equipamento utilizado no ensaio de transmissividade (Santos, 2017).

2.1.3 – Fluência à compressão – Método SIM

Os ensaios de fluência foram realizados no laboratório do TRI Environmental, Inc. em Austin, Texas, EUA com apoio e gerenciamento pelo TRI Ambiental do Brasil Ltda. A norma adotada no ensaio é a ASTM D 7361(2012) que estabelece o método de ensaio acelerado para determinação de fluência à compressão de geossintéticos baseado na superposição de tempo e temperatura usando o método SIM (Stepped Isothermal Method).

O método SIM é um procedimento em etapas, onde alterações de temperatura são aplicadas para acelerar características de fluência viscoelásticas. Durante o ensaio, a tensão e a carga são monitoradas em função do tempo. Este método permite a estimativa da deformação do geocomposto em longo prazo. Uma das vantagens deste tipo de ensaio é a duração. Este ensaio permite determinar a deformação em longo prazo, o que pode ser feito pelo método SIM em um curto espaço de tempo, e que seria impraticável em um ensaio de fluência à compressão convencional. O equipamento utilizado neste programa de ensaios pode ser visualizado na Figura 4.



Fig. 4 - Equipamento para ensaio de fluência à compressão - Cortesia TRI Ambiental do Brasil (Santos, 2017).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Resultado do ensaio de compressão

A Figura 5 apresenta os resultados dos ensaios de compressão, com a correção no trecho inicial estabelecida na norma. Para obter a resistência à compressão de cada corpo de prova (CP) foi delimitada a seção de interesse através de alterações na escala do gráfico. Desta forma, foram determinadas as retas tangentes inferior e superior, conforme indica a norma ASTM 6364 (1999). Na Figura 6 pode-se observar os resultados dos ensaios para cada corpo de prova. O valor médio de resistência à compressão foi de 324 kPa, como mostra o Quadro 2. Para esta tensão, a deformação média foi de 67,54 %.

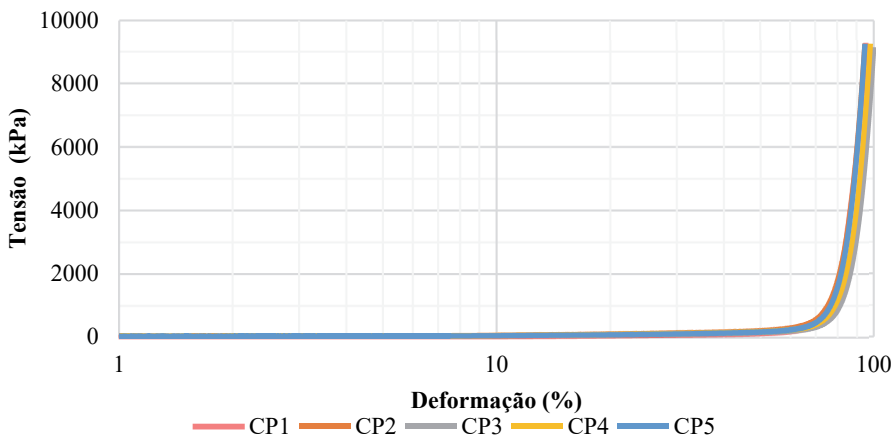


Fig. 5 - Resultados dos ensaios de compressão a curto prazo (Santos, 2017).

Quadro 2 - Resultado dos ensaios de compressão a curto prazo (Santos, 2017)

Corpo de Prova (CP)	Espessura inicial (mm)	Resistência à compressão (kPa)	Deformação (%)
1	13,99	322	67,84
2	13,26	331	63,92
3	12,44	348	72,10
4	12,95	313	67,82
5	13,3	306	66,04
Média	13,16	324	67,54
Desvio Padrão	0,57	16,39	3,01

Na Figura 6, pode-se observar com maior clareza o comportamento do material nas tensões de maior aplicação prática, próximas de 100 kPa. Nota-se que até o ponto em que as deformações atingem o valor de 50% o comportamento do material é muito próximo de um comportamento linear.

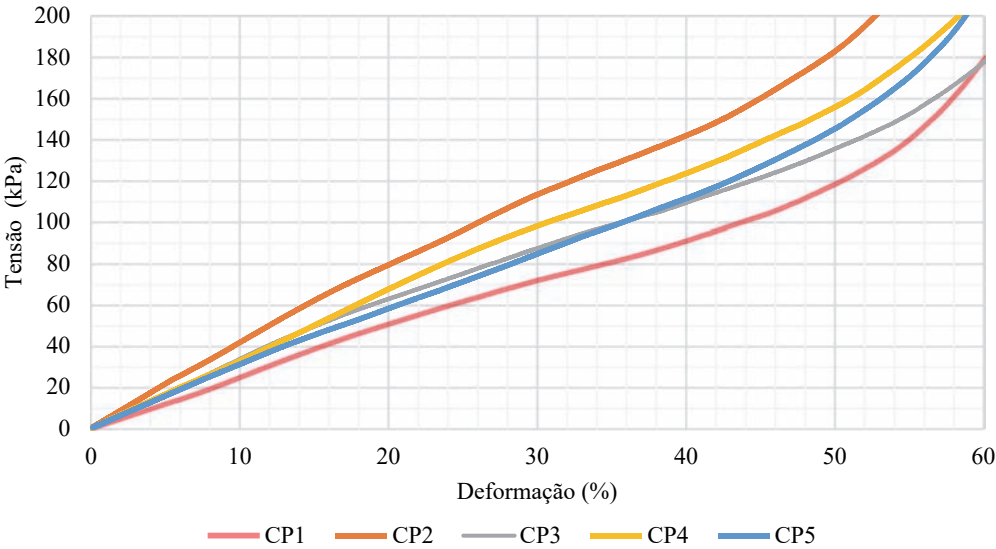


Fig. 6 - Resultados dos ensaios de compressão a curto prazo (Santos, 2017).

Para o cálculo da espessura residual, ou seja, a espessura do corpo de prova comprimido, foi determinada a tensão correspondente a cada nível de deformação e calculada a espessura residual a partir da média de espessura inicial das amostras, que foi de 13,16 mm. Observa-se que a compressão inicial para tensões inferiores a 200 kPa ocorre à uma taxa maior enquanto que, para tensões mais elevadas, a taxa de compressão é menor pois ocorre o confinamento do núcleo e uma tendência à estabilização da espessura (Figura 7).

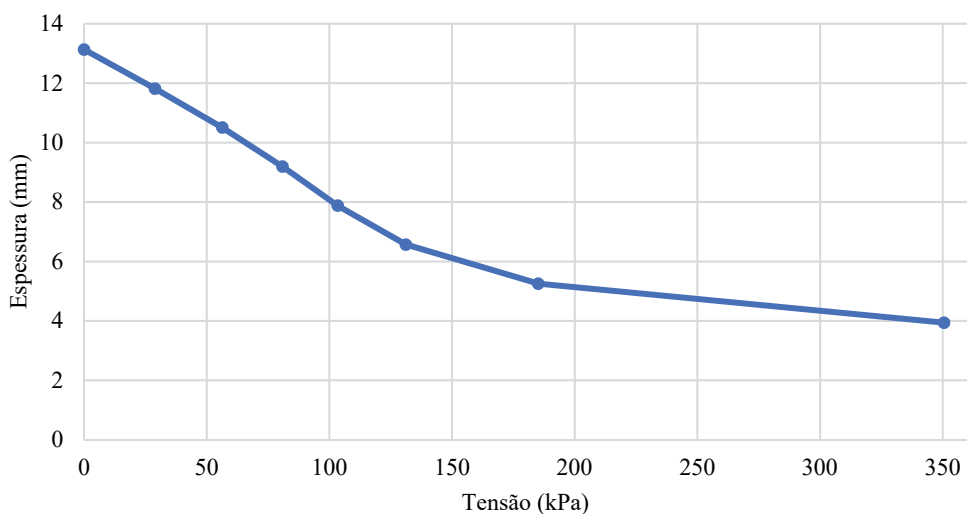


Fig. 7 - Espessura residual média entre as cinco amostras ensaiadas (Santos, 2017).

3.2 – Resultados do ensaio de transmissividade

A Figura 8 apresenta os valores médios de capacidade de vazão obtidos para os diferentes gradientes ensaiados. Coerentemente, observa-se que a capacidade de vazão diminui com o aumento da tensão e cresce com o aumento do gradiente.

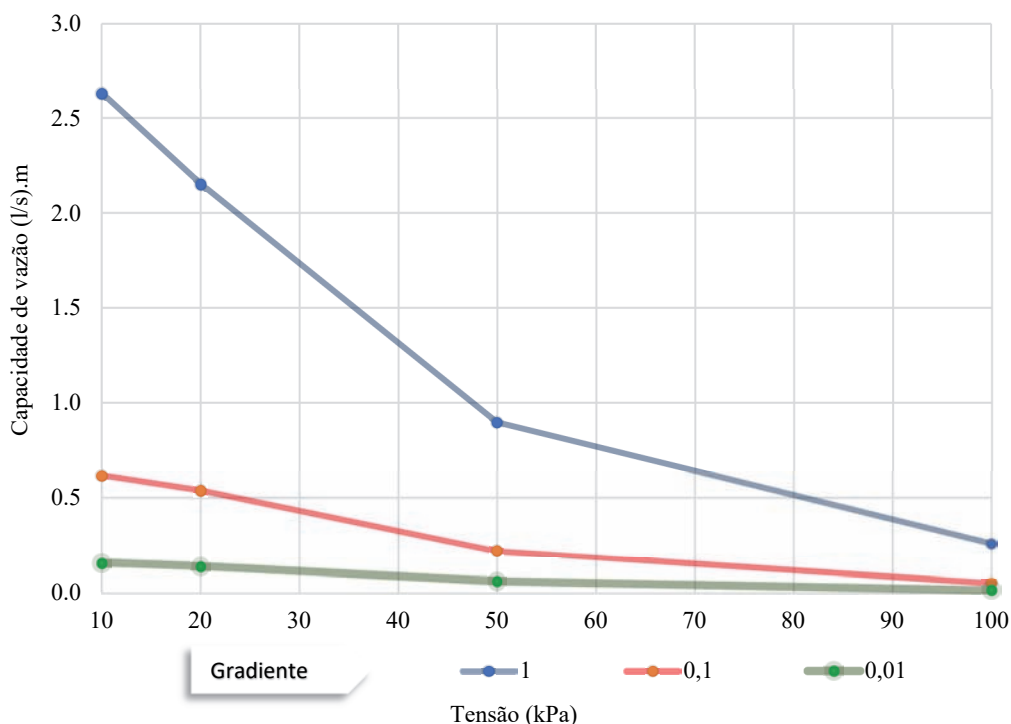


Fig. 8 - Resultados dos ensaios de transmissividade - Vazão vs tensão (Santos, 2017).

Como esperado, o acréscimo de tensão impacta de maneira significativa na redução da capacidade de vazão do geocomposto. Observa-se que essa capacidade sofre maior impacto para tensões inferiores a 50 kPa. Para tensões maiores, ocorre um maior confinamento do núcleo e redução dos poros, havendo uma tendência à estabilização da espessura e, consequentemente, da capacidade de vazão do geocomposto.

O tipo de apoio utilizado no ensaio de transmissividade foi rígido/rígido. Este tipo de apoio permite a condução de maior volume passante, uma vez que o material utilizado em apoios flexíveis pressiona o geotêxtil filtro para dentro do núcleo reduzindo a vazão.

Um estudo realizado por Zanziger et al. (2010) demonstrou a influência do tipo de apoio na capacidade de vazão de geocompostos drenantes. Os autores executaram ensaios em dois laboratórios diferentes, e ensaiaram as amostras sob tensões de 20 kPa e 50 kPa. Foi realizado o ensaio de fluência e, para a determinação da vazão, as amostras foram retiradas em intervalos regulares e testadas com as mesmas condições de carga e apoio do ensaio de fluência. Foram ensaiadas as condições de apoio rígido/flexível (h/s) e rígido/rígido (h/h).

O estudo mostrou que a capacidade de escoamento de água quando utilizado o apoio rígido/rígido (h/h) é maior (Figura 9). Tal comportamento era esperado já que a placa de espuma pressiona o geotêxtil filtro de drenagem para dentro do núcleo e, portanto, uma menor capacidade de fluxo de água é medida.

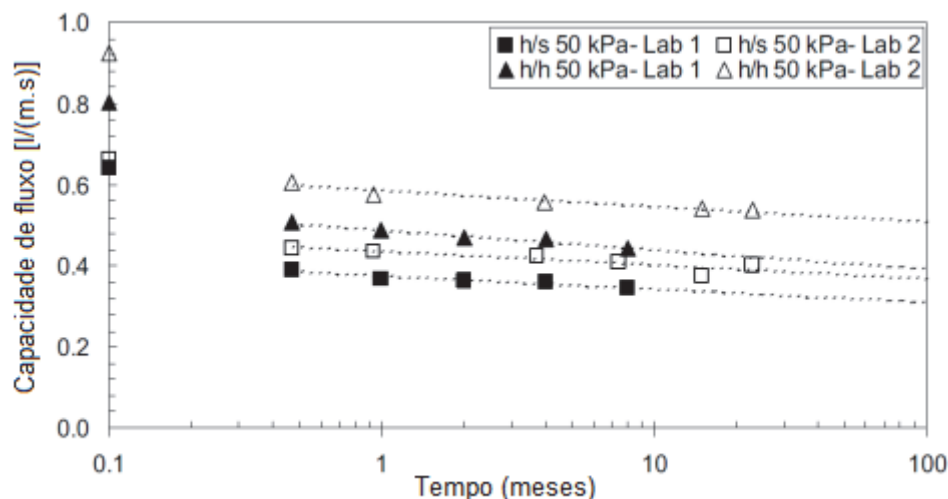


Fig. 9 – Vazão em diferentes condições de apoio (Adaptado de Zanziger *et al.*, 2010).

3.3 – Resultados dos ensaios de fluência à compressão

A tensão aplicada no ensaio de fluência à compressão foi de 50 kPa e a espessura inicial da amostra foi de 12,95 mm. Os resultados do ensaio podem ser vistos na Figura 10. Para um período de 100 anos, verifica-se que esta redução de espessura de 36,09%. Observa-se que esta redução é mais acentuada no primeiro ano.

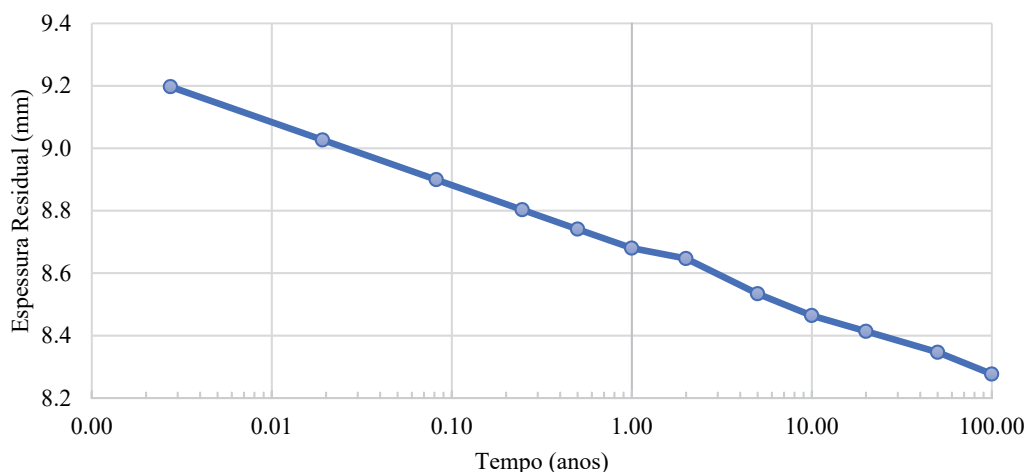


Fig. 10 - Resultados dos ensaios de fluência à compressão – Método SIM - Espessura Residual vs Tempo (Santos, 2017).

3.4 – Previsão da vazão a longo prazo

Para prever a redução da capacidade de vazão do geocomposto para longos períodos de tempo será definida uma correlação que terá como base os ensaios de fluência à compressão, compressão a curto prazo e transmissividade.

Para estabelecimento desta correlação foi usada a metodologia desenvolvida por Muller et al. (2008). Esta abordagem começa com a determinação da tensão de compressão a curto prazo necessária para produzir uma determinada espessura residual originada pelo ensaio de fluência à compressão (Figura 11). De posse desta tensão, verifica-se no ensaio de transmissividade a vazão correspondente (Figura 12).

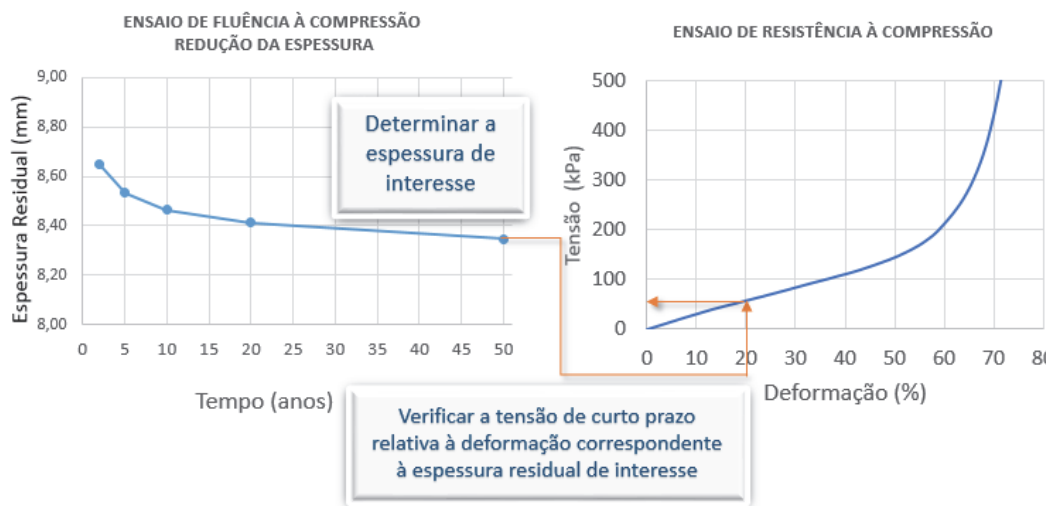


Fig. 11 - Esquema para correlação entre os ensaios de transmissividade e fluência à compressão (Santos, 2017).

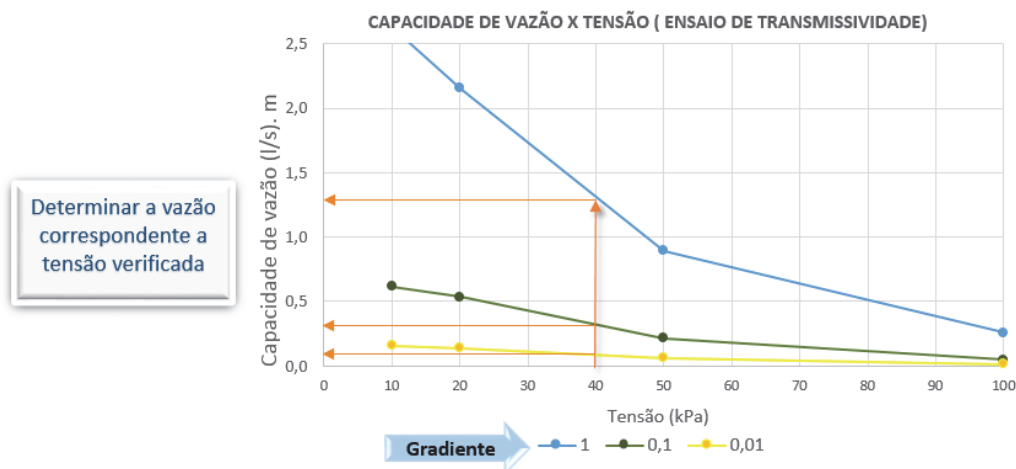


Fig. 12 – Determinação da capacidade de vazão (Santos, 2017).

A partir deste método, são estabelecidas as espessuras/deformações de interesse decorrentes do ensaio de fluência à compressão. Foram executados ensaios de compressão a curto prazo em cinco corpos de prova (com pequenas variações na espessura). Em função desta variação foi necessário encontrar as tensões médias entre os cinco corpos de prova, de modo a relacionar essas médias à espessura/deformação referente ao ensaio de fluência à compressão. De posse destas médias de tensão, foi selecionado o intervalo de interesse no gráfico do ensaio de transmissividade que relaciona as tensões determinadas às previsões de vazão a longo prazo.

A partir da correlação pode-se fazer a previsão da redução na capacidade de escoamento do geocomposto como mostra o Quadro 3. Cabe observar que essa previsão utiliza um ensaio de fluência cuja tensão constante é de 50 kPa, portanto deve-se ter em mente que todo o comportamento do material a longo prazo refere-se a este nível de carregamento. Deve-se levar em conta, também, a utilização de apoio rígido/rígido na realização do ensaio de transmissividade.

Os resultados apresentados na Figura 13 mostram que a redução da capacidade de vazão em longo prazo se mostra um pouco mais acentuada para o gradiente 1, porém pode-se constatar que a queda na capacidade de vazão se mostra muito semelhante para todos os gradientes.

O cálculo da redução da capacidade de vazão constante no Quadro 3 foi realizado a partir da razão entre a vazão obtida de acordo com as correlações entre os ensaios de transmissividade e fluência à compressão e a vazão inicial, retirada do ensaio de transmissividade a 50 kPa para os devidos gradientes.

A maior parte da deformação neste material ocorre nas primeiras horas de utilização, portanto, era esperado que a fase mais impactante na redução da vazão tenha ocorrido antes do primeiro ano e que, para longos prazos, a diminuição na condução de fluxo fosse pequena. O estudo mostra o grau de sensibilidade desta redução considerando um período de 100 anos. Baseando-se nos resultados, o material mostrou um desempenho considerado bastante satisfatório, uma vez que a tensão utilizada (50 kPa) é relativamente comum para as aplicações práticas.

Adicionalmente, pode-se estabelecer fatores de redução baseados nos resultados do Quadro 3. Observa-se que os fatores encontrados diferem dos valores orientados por Koerner (1997) e Vertematti (2015), cujas especificações se referem a geocompostos que utilizam georredes, embora ainda sejam úteis na estimativa para outros núcleos. Os resultados aqui exibidos fazem diferenciação entre gradientes e a estipulação dos fatores de redução por fluência considera a ocorrência do fenômeno para uma tensão específica de 50 kPa. O desempenho do material foi considerado satisfatório, uma vez que a tensão aplicada no ensaio de fluência representa condição de uso frequente do material. Os valores dos fatores de redução encontrados constam no Quadro 4.

Quadro 3 - Vazão residual devido à fluência (Santos, 2017)

Previsão de redução da capacidade de vazão em longo prazo						
Gradiente	1		0,1		0,01	
	(m³/s)m	Vazão Residual	(m³/s)m	Vazão Residual	(m³/s)m	Vazão Residual
Vazão inicial à 50 kPa	0,000895		0,000218		0,0000605	
1 ano	0,000426	48%	0,000095	44%	0,000026	43%
2 anos	0,00042	47%	0,00009	41%	0,000025	41%
5 anos	0,00038	42%	0,000081	37%	0,0000229	38%
10 anos	0,000363	41%	0,000078	36%	0,000022	36%
20 anos	0,000353	39%	0,000075	34%	0,000021	35%
50 anos	0,00034	38%	0,00007	32%	0,00002	33%
100 anos	0,000325	36%	0,000067	31%	0,000018	30%

Quadro 4 - Fatores de redução da capacidade de vazão devido à fluência à tensão de 50 kPa para um período de 100 anos (Santos, 2017)

Fatores de redução devido à deformação por fluência para uma previsão de 100 anos			
Gradiente	1	0,1	0,01
Vazão inicial à 50 kPa	Fator de redução	Fator de redução	Fator de redução
1 ano	2,1	2,29	2,33
2 anos	2,13	2,42	2,42
5 anos	2,36	2,69	2,64
10 anos	2,47	2,79	2,75
20 anos	2,54	2,9	2,88
50 anos	2,63	3,11	3,03
100 anos	2,75	3,25	3,36

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho de um geocomposto drenante a partir da realização de ensaios de compressão, transmissividade e fluência à compressão. A pesquisa constou de um programa de ensaios de laboratório visando obter as características mecânicas, hidráulicas e de desempenho do geocomposto drenante em estudo.

O valor médio de resistência à compressão foi de 324 kPa, correspondendo a uma deformação média de 67,54 %. Observou-se, também, que a compressão ocorreu de maneira mais intensa para tensões inferiores a 200 kPa. Para tensões mais elevadas ocorre o confinamento do núcleo e uma tendência à estabilização da espessura do produto em estudo.

Nos ensaios de transmissividade, o acréscimo de tensão impactou de maneira significativa na redução da capacidade de vazão do geocomposto como esperado. Essa capacidade sofre maior impacto para tensões inferiores a 50 kPa.

A fluência à compressão do geocomposto foi estudada através do ensaio acelerado baseado na superposição de tempo e temperatura usando o método SIM. A tensão constante aplicada foi de 50 kPa e a espessura inicial da amostra foi de 12,95 mm. Com as informações obtidas no ensaio de fluência, pode-se constatar a redução de espessura para um período de 100 anos apresentando deformação de 36,09% para este tempo.

Com os dados obtidos através dos ensaios de fluência à compressão, transmissividade e compressão simples foram feitas correlações com o objetivo de prever a redução da capacidade de vazão do geocomposto para longos períodos de tempo. Cabe observar que essa previsão utilizou um ensaio de fluência cuja tensão constante é de 50 kPa, portanto deve-se ter em mente que todo o comportamento do material a longo prazo sofreu influência deste nível de carregamento. Os resultados mostraram que a redução da capacidade de vazão em longo prazo se mostra um pouco mais acentuada para o gradiente 1.

A maior parte da deformação neste material ocorre nas primeiras horas de utilização, portanto era esperado que a fase mais impactante na redução da vazão tenha ocorrido antes do primeiro ano e que, para longos prazos, a diminuição na condução de fluxo fosse pequena. Este estudo mostrou o grau de sensibilidade desta redução e ainda permitiu uma previsão para o período de 100 anos.

Ainda com os dados obtidos, foram calculados fatores de redução. Os valores obtidos neste estudo diferem dos valores orientados como estimativa por Koerner (1997) e Vertematti (2015), que variam de 1 a 2. Os resultados aqui exibidos fizeram diferenciação entre gradientes e a determinação dos fatores de redução por fluência considerou a ocorrência do fenômeno para uma tensão específica de 50 kPa. Verificou-se o bom comportamento do material considerando que a tensão aplicada no ensaio de fluência é representativa das condições de uso mais comuns do produto.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D4716 (2008). *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.
- ASTM D6364 (1999). *Standard Test Method for Determining the Short-Term Compression Behavior of Geosynthetics*. West Conshohocken.
- ASTM D7361 (2012). *Standard Test Method for Accelerated Compressive Creep of Geosynthetic Materials Based on Time-Temperature Superposition Using the Stepped Isothermal Method*. West Conshohocken.
- Koerner, R. M. (1997). *Designing with Geosynthetics*. 4º. ed. New Jersey: Prentice Hall. 761 p.
- Santos, F.S. (2017). *Estudo do Comportamento de Geocompostos Drenantes*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 135 p.
- Müller, W. W.; Jakob, I.; Tatzky-Gerth, R. (2008). *Long-Term Water Flow Capacity of Geosynthetic Drains and Structural Stability of Their Drain Cores*. *Geosynthetics International* 15(6): pp.437–451.
- Vertematti, C. J. (2015). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. 2º. ed. Blucher. São Paulo. 570 p.
- Zanziger, H.; Sama, S. R; Dobrat, A. (2010). *Method for Direct Measurements of the Long-Term Water Flow Capacity of Drainage Geocomposites under Soft Bedding Conditions*. 9th International Conference on Geosynthetics. pp.1117-1120.