XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/45

Impacto do Período de Estiagem e do Teor de Umidade do Substrato na Capacidade de Retenção de Água em Telhados Verdes Extensivos com Geossintético

Eduardo Eiler Batista de Araújo
Autor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil, eduardoeiler@gmail.com

Pedro Júlio Castro dos Santos
Co-autor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil, pedro.julio0820@gmail.com

Mateus Emanuel de Lima Freitas
Co-autor, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Apodi/RN, Brasil, Mateusmelf@gmail.com

Francisco Felinto de Lima Neto
Co-autor, Universidade federal rural do Semi-árido, Natal/RN, Brasil, eng.francisco.lima96@gmail.com

Fagner Alexandre Nunes de França
Co-autor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil, fagner.franca@ufrn.br

RESUMO: A intensificação da urbanização tem ampliado as superfícies impermeáveis, intensificando problemas de escoamento superficial e inundações urbanas. Nesse contexto, os telhados verdes destacam-se como alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais, com desempenho potencializado pelo uso de geossintéticos, no qual podem sofrer influência do teor de umidade do substrato e do período de estiagem antecedente. Este estudo avalia a influência do teor de umidade do substrato e do período de estiagem no desempenho hidrológico de telhados verdes extensivos com geossintéticos. A pesquisa baseou-se em um protótipo experimental instalado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal/RN, submetido a simulações controladas de chuva com durações entre 10 e 60 minutos, intensidades de 0,07 a 0,57 mm/min e períodos de estiagem equivalente de até 10 dias. O desempenho foi avaliado a partir da capacidade de retenção da água precipitada e do volume necessário para o início do escoamento superficial. Os resultados indicaram retenção próxima de 100% para chuvas de baixa intensidade associadas a períodos de estiagem superiores a dois dias, enquanto, para substrato úmido (estiagem equivalente igual a zero), a capacidade de retenção variou entre 2% e 49%. Observou-se ainda aumento do volume de chuva necessário para o início do escoamento com o prolongamento da estiagem. Conclui-se que o desempenho hidrológico do telhado verde é fortemente condicionado pela umidade antecedente do substrato e pela sazonalidade das chuvas, devendo esses fatores ser considerados no dimensionamento desses sistemas em áreas urbanas.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de águas pluviais, umidade antecedente, drenagem urbana, sustentabilidade.

ABSTRACT: The intensification of urbanization has increased impervious surfaces, exacerbating surface runoff and urban flooding problems. In this context, green roofs stand out as a sustainable alternative for stormwater management, with their performance enhanced by the use of geosynthetics and influenced by the substrate moisture content and the antecedent dry period. This study evaluates the influence of substrate moisture content and antecedent dry period on the hydrological performance of extensive green roofs incorporating geosynthetics. The research was based on an experimental prototype installed at the Technology Center of the Federal University of Rio Grande do Norte, in Natal, Brazil, and subjected to controlled rainfall simulations with durations ranging from 10 to 60 minutes, intensities between 0.07 and 0.57 mm/min, and equivalent dry periods of up to 10 days. Performance was assessed in terms of rainfall water retention capacity and the rainfall volume required to initiate surface runoff. The results indicated retention close to 100% for low-intensity rainfall associated with antecedent dry periods longer than two days, whereas under wet substrate

conditions (equivalent dry period equal to zero), retention capacity ranged from 2% to 49%. An increase in the rainfall volume required to initiate runoff was also observed with longer dry periods. It is concluded that the hydrological performance of green roofs is strongly conditioned by antecedent substrate moisture and rainfall seasonality, and these factors should be considered in the design of such systems in urban areas.

KEYWORDS: Stormwater management; antecedent moisture; urban drainage; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e econômico das cidades, observa-se a crescente demanda por edificações destinadas a usos habitacionais, comerciais e de serviços. Independentemente de sua finalidade, a implantação dessas construções frequentemente resulta na supressão de áreas verdes, promovendo o aumento das superfícies impermeáveis. Como consequência, os centros urbanos tornam-se mais suscetíveis à ocorrência de inundações, uma vez que a água da chuva passa a escoar em maior volume sobre áreas com menor capacidade de infiltração e reduzida evapotranspiração. Além disso, a urbanização intensiva está associada a outros impactos ambientais, como o aumento da temperatura do ar, a formação de ilhas de calor, a redução da umidade relativa e o agravamento da poluição atmosférica (Vijayaraghavan, 2016).

Uma alternativa para mitigar esses efeitos consiste na adoção de telhados verdes (Rugh; Fernandez, 2005). Essa técnica construtiva proporciona benefícios térmicos, econômicos e estéticos às edificações (Blank et al., 2013; Hashemi et al., 2015; Carpenter et al., 2016). Ademais, os telhados verdes contribuem para a redução do volume total e do pico de escoamento das águas pluviais, além de aumentarem o tempo de resposta do sistema de drenagem, atenuando, assim, a ocorrência de inundações urbanas (Berndtsson, 2010).

Os telhados verdes podem ser classificados em intensivos, semi-intensivos e extensivos. Os sistemas intensivos utilizam substratos de maior espessura e suportam vegetações de grande porte, como arbustos e pequenas árvores, implicando elevadas sobrecargas estruturais e maiores custos de manutenção. Os telhados semi-intensivos apresentam características intermediárias, empregando substratos de espessura média e vegetações de porte médio, demandando manutenção periódica. Por outro lado, os telhados extensivos utilizam substratos mais delgados e vegetações de pequeno porte, como gramíneas, apresentando menores custos de manutenção e sendo, por isso, mais indicados para regiões de clima semiárido (Morgan et al., 2013; Vijayaraghavan, 2016).

No contexto da construção sustentável, torna-se essencial o aprimoramento dos materiais empregados nesses sistemas, especialmente nos telhados extensivos. Nesse sentido, destaca-se a utilização de materiais geossintéticos, os quais podem desempenhar funções de separação, filtração, drenagem e barreira (IGS Brasil, 2017). Segundo Townshend (2007), os geotêxteis são amplamente utilizados em telhados verdes com função filtrante, por apresentarem porosidade conhecida e capacidade de suportar as cargas impostas pela camada vegetal e pelo substrato. A incorporação de geossintéticos nesses sistemas confere maior versatilidade, controle de qualidade e previsibilidade de desempenho, em função do conhecimento de suas propriedades mecânicas e hidráulicas, além de representar uma solução tecnicamente eficiente, economicamente viável e de fácil execução.

Além da escolha adequada dos materiais, diversos estudos apontam a importância de se considerar as condições climáticas locais, especialmente o regime pluviométrico e os períodos de estiagem, no dimensionamento de telhados verdes. Evidencia-se que sistemas projetados para determinadas regiões podem apresentar desempenho distinto quando aplicados em contextos climáticos diferentes, uma vez que sua eficiência está diretamente relacionada a fatores como clima e características construtivas locais (Hernández; Luengas, 1997; Barrio, 1998; Blank et al., 2013). Dessa forma, torna-se necessário investigar a influência conjunta do uso de geossintéticos e das condições climáticas, em particular dos períodos de estiagem, visando à identificação de soluções que apresentem melhor desempenho hidráulico, eficiência econômica e maior durabilidade.

Diante desse contexto, esta pesquisa tem como objetivo quantificar o impacto do período de estiagem, associado ao teor de umidade do substrato, na capacidade de retenção da água da chuva em um telhado verde extensivo construído com geossintéticos. Adicionalmente, busca-se analisar a relação entre o período de estiagem, correlacionando-o ao teor de umidade do substrato, e a capacidade de retenção de água pluvial do

protótipo, bem como avaliar a influência do volume de precipitação sobre essa capacidade, considerando as condições climáticas da área de estudo, localizada em Natal/RN, Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área do estudo

As simulações desta pesquisa foram realizadas a partir da construção de um protótipo de telhado verde instalado no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em Natal/RN (Figura 1). O município localiza-se na faixa litorânea do estado e apresenta clima tropical úmido, fortemente influenciado pela atuação dos ventos alísios e pela proximidade com o Oceano Atlântico. As temperaturas médias anuais são elevadas, e o regime pluviométrico caracteriza-se por acentuada sazonalidade. A vegetação predominante insere-se no domínio da Mata Atlântica e de formações litorâneas associadas, como restingas, manguezais e matas de tabuleiro, compondo um ambiente ecologicamente sensível e sujeito a intensa dinâmica hidrológica (Scudelari et al., 2021).



Figura 1. Localização da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal/RN.

As simulações de chuva foram adotadas com o objetivo de evitar a dependência de eventos pluviométricos naturais, possibilitando maior controle das variáveis do experimento, tais como volume, duração e intensidade da precipitação. Dessa forma, foi possível garantir a repetibilidade dos ensaios e a obtenção sistemática dos dados necessários à pesquisa.

2.2 Materiais

2.2.1 Módulo

O módulo empregado nesta pesquisa corresponde ao MVGT (Módulo Vegetado Geotêxtil), originalmente utilizado por Louzada (2016). A base do protótipo foi confeccionada com tábuas de madeira de reflorestamento, com espessura de 25,4 mm, largura de 1,10 m e comprimento de 1,30 m, totalizando uma área superficial de 1,43 m² (Figura 2a).

A primeira camada do sistema, responsável pela impermeabilização, foi constituída por uma geomembrana de EPDM, com espessura de 1,1 mm e densidade de 1,2 g/cm³. Além da função impermeabilizante, a geomembrana também atuou como camada de proteção e barreira antirraiz. O sistema de drenagem foi realizado por meio de uma válvula convencional utilizada em lavatórios. Sobre a geomembrana, foi disposta uma camada de geotêxtil não tecido, com a finalidade de filtrar a água da chuva, impedir o carreamento do substrato, proteger a geomembrana e auxiliar no processo de drenagem. O geotêxtil utilizado foi fabricado em poliéster, com gramatura de 200 g/m². Próximo à válvula de drenagem, foi posicionada uma faixa de brita nº 1, com largura de 5 cm, entre a geomembrana e o geotêxtil, com o objetivo de facilitar o escoamento da água drenada (Figura 2b).

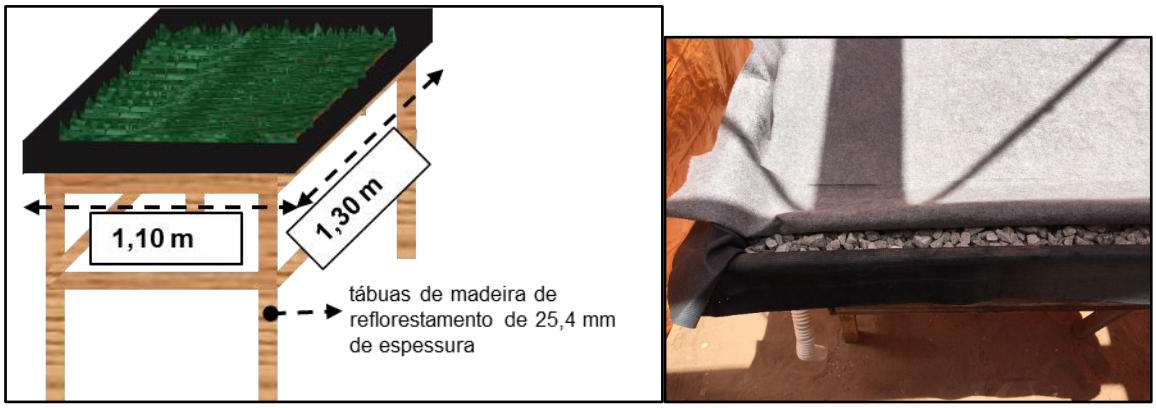
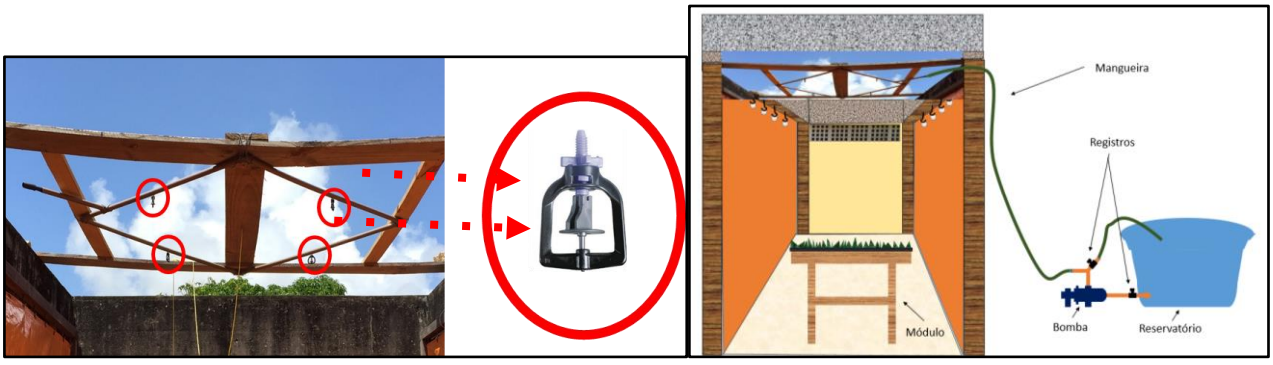


Figura 2. (a) Dimensões do módulo de madeira; (b) Detalhe da faixa de brita entre o geotêxtil e a geomembrana.

Acima do geotêxtil, foi aplicada uma camada de substrato com espessura de 4 cm, destinada à nutrição da vegetação e à redução do escoamento superficial. O substrato consistiu em areia barrada, classificada, a partir de ensaios granulométricos, como areia siltosa (SM), material de baixo custo e amplamente utilizado no cultivo de gramíneas na região. Para garantir o adequado desenvolvimento da vegetação, foi adicionada uma fina camada de adubo sobre o substrato. A camada vegetal, última do sistema, foi composta por grama esmeralda (*Zoysia japonica*).

2.2.2 Simulador de chuvas

O simulador de chuvas foi montado com conexões de PVC de 20 mm, formando uma estrutura em formato de losango com dimensões de 1,0 m × 1,0 m (Figura 3a). Em cada trecho do tubo, foi realizado um furo para a instalação de microaspersores do modelo MA-50, distribuídos de modo a proporcionar uma precipitação homogênea sobre o módulo. O sistema de abastecimento do simulador foi composto por um reservatório de água com capacidade de 250 L, uma bomba centrífuga com potência hidráulica de 0,5 CV, conexões de PVC e duas mangueiras (Figura 3b). A saída principal conduzia a água até o simulador, fixado em ripas de madeira, enquanto a saída secundária permitia o retorno da água ao reservatório, possibilitando o controle da vazão e da intensidade da chuva simulada.



(a) (b)

Figura 3. (a) Simulador em ripas de madeira pinus e detalhe do microaspersor à direita; (b) Sistema utilizado para dispersão de água no módulo.

2.3 Métodos

2.3.1 Calibração

Inicialmente, realizou-se a calibração do sistema por meio de ensaios com o módulo composto apenas pela geomembrana, sem substrato e vegetação. Essa etapa teve como finalidade determinar a relação entre o

volume de chuva precipitado e o volume escoado, permitindo o cálculo da capacidade de retenção (CR), conforme a Equação (1):

$$CR = 1 - \frac{Volume\ de\ chuva\ escoado}{Volume\ de\ chuva\ precipitado} \quad (1)$$

2.3.2 Intensidade das chuvas

As simulações de chuva foram conduzidas considerando durações de 10, 30 e 60 minutos, associadas a períodos de estiagem de até 10 dias. Esses intervalos foram definidos de modo a representar desde chuvas de baixa intensidade até eventos com volume suficiente para superar a capacidade de drenagem típica de áreas residenciais. De acordo com diretrizes da Prefeitura do Município de São Paulo (1999), recomenda-se a adoção de um período de retorno de dois anos para projetos de microdrenagem urbana. Com base nas equações de chuvas desenvolvidas pela Secretaria Municipal de Obras e Viação (SEMOV, 2007), no Projeto Básico de Drenagem e Pavimentação do Bairro Capim Macio e Marina Praia Sul (Prefeitura Municipal de Natal, 2017), verifica-se a ocorrência de uma precipitação acumulada de 23,5 mm para uma chuva com período de retorno aproximado de 2,33 anos e duração de 60 minutos, correspondente a uma intensidade de 0,4 mm/min, valor adotado como referência para eventos capazes de exceder a capacidade de drenagem de um condomínio residencial.

2.3.3 Consideração do período de estiagem e codificação das chuvas

O efeito do período de estiagem foi considerado a partir da análise do decaimento do teor de umidade do substrato ao longo de até 10 dias sem ocorrência de chuva, permitindo a definição de um período de estiagem equivalente em função da umidade antecedente. Com base nessa relação, foram realizadas 30 simulações de chuva, as quais foram codificadas de acordo com o período de estiagem equivalente (em dias), a duração (em minutos) e a intensidade do evento (em milímetros por minuto). Essa abordagem possibilitou a avaliação integrada da influência das condições iniciais de umidade do substrato e das características pluviométricas no desempenho hidrológico do telhado verde.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Capacidade de retenção

A capacidade de retenção de água de chuva do telhado verde apresentou valores próximos de 100% nas simulações de chuva de baixa intensidade, associadas a períodos de estiagem equivalente de até 10 dias, para intensidades variando entre 0,07 mm/min e 0,41 mm/min. Nessas condições, não foi observado grande escoamento superficial, indicando elevado potencial de armazenamento hídrico do sistema. Para analisar condições mais críticas, reduziu-se o período de estiagem entre os ensaios e ajustou-se a válvula da bomba hidráulica para simular chuvas com maior intensidade. Nessas condições, a capacidade de retenção apresentou grandes variações, com valores compreendidos entre 2% e 49% (Figura 4).

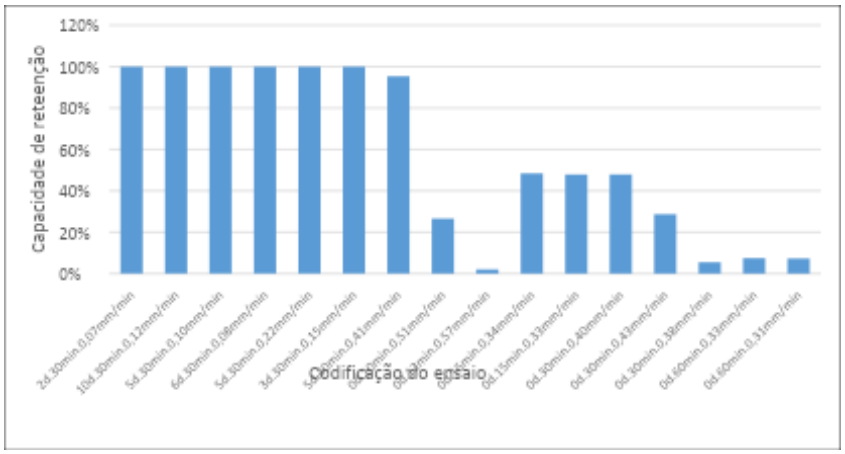


Figura 4. Capacidade de retenção e Período de estiagem x Volume da precipitação.

Com o objetivo de avaliar isoladamente a influência do volume total precipitado, optou-se por analisar separadamente os eventos de chuva associados a um mesmo período de estiagem equivalente (Figura 5).

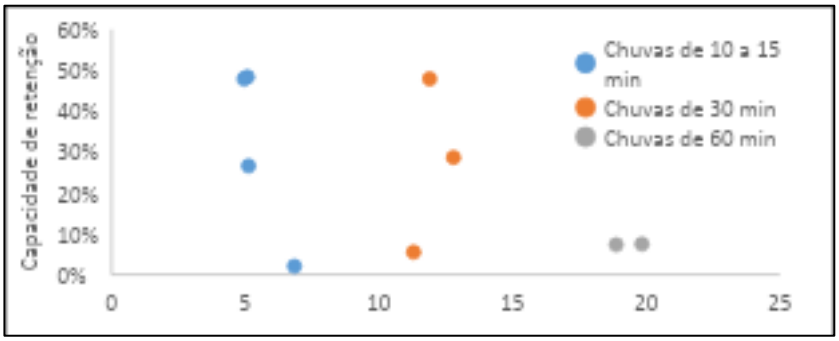


Figura 5. Capacidade de retenção, para estiagem de 0 dias, x volume total de chuva precipitado.

A análise dos resultados dos ensaios que apresentaram escoamento revelou que simulações de chuva realizadas de forma subsequente, no mesmo dia, apresentaram capacidades de retenção inferiores em relação ao ensaio imediatamente anterior (Tabela 1). Esse comportamento evidencia a influência direta do teor de umidade antecedente do substrato sobre o desempenho hidrológico do telhado verde.

Em cada um desses dias, o primeiro ensaio teve como finalidade promover a saturação do substrato, de modo a possibilitar a análise do desempenho do telhado verde nessa condição. O início do escoamento foi adotado como critério para caracterizar a saturação do módulo, mantendo-se a simulação por aproximadamente 5 minutos após esse momento antes do desligamento da bomba. Após a cessação do escoamento, procedeu-se à leitura dos pluviômetros e iniciou-se um novo ensaio, ainda com o substrato saturado. Embora algumas simulações tenham sido classificadas com período de estiagem equivalente de 0 dias, observou-se ampla variação nos teores de umidade do substrato, com valores superiores a 24%, especialmente nos segundos ensaios realizados em um mesmo dia. Esse fato explica a grande variabilidade observada nos valores de capacidade de retenção para essa condição.

3.2 Volume de chuva necessário para ocorrência de escoamento

Durante os ensaios, observou-se que, à medida que o período de estiagem equivalente aumentava, maior era o tempo necessário para o início do escoamento superficial. Esse comportamento justifica-se pelo fato do escoamento só ocorrer após o substrato atingir uma condição próxima à saturação. Com o intuito de quantificar o volume de chuva suportado pelo módulo antes do início do escoamento, multiplicou-se a intensidade da chuva pelo tempo correspondente ao início do escoamento. O valor obtido representa o volume de chuva precipitado sobre o módulo no instante em que o escoamento se iniciou (Figura 6).

Tabela 1. Dados dos ensaios de simulação de chuva que apresentaram escoamento.

Ensaio	Codificação	Data	Umidade (%)	Volume precipitado (mm)	Volume escoado (L)	Capacidade de retenção (%)
17	5d.40min.0,41mm/min	27/03	11	16,47	0,78	95
18	0d.30min.0,40mm/min	27/03	24	11,90	6,20	48
19	0d.15min.0,34mm/min	02/04	25	5,08	2,62	48
20	0d.30min.0,43mm/min	02/04	50	12,79	9,12	29
21	0d.15min.0,33mm/min	03/04	27	4,95	2,58	48
22	0d.30min.0,38mm/min	03/04	37	11,30	10,68	5
23	0d.10min.0,51mm/min	13/04	26	5,12	3,76	27
24	0d.12min.0,57mm/min	13/04	33	6,84	6,70	2
25	0d.60min.0,33mm/min	18/04	28	19,84	18,36	7
26	0d.60min.0,31mm/min	19/04	28	18,88	17,50	7

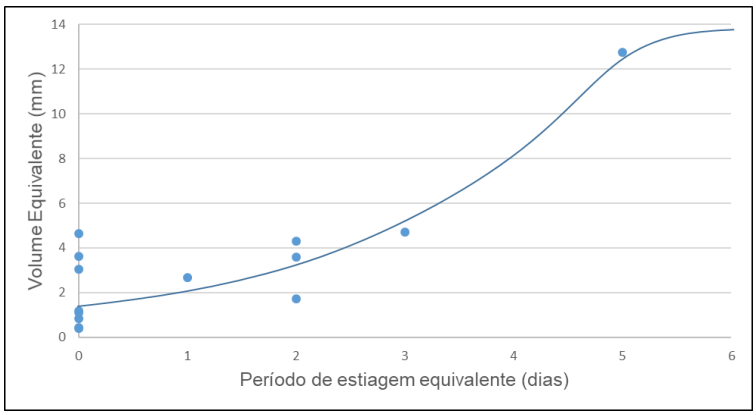


Figura 6. Volume de chuva equivalente para início do escoamento x Período de estiagem.

Conforme esperado, observa-se que o volume de chuva equivalente tende a aumentar à medida que o período de estiagem equivalente se prolonga. Para períodos de estiagem equivalente de 0 dias, verificou-se elevada dispersão dos valores, associada à ampla variação do teor de umidade do substrato nessa condição, que se manteve acima de 24%.

Destaca-se um aumento expressivo do volume de chuva equivalente entre os períodos de estiagem de 3 e 5 dias, passando de 4,75 mm para 12,76 mm, o que indica um acréscimo da capacidade de armazenamento hídrico do substrato nesse intervalo. Embora o volume máximo de chuva equivalente não tenha sido diretamente medido, os resultados sugerem que esse valor tende a ser atingido para períodos de estiagem em torno de 8 dias, quando o teor de umidade do substrato se aproxima de 7%, valor próximo ao menor teor de umidade observado experimentalmente (6%).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o telhado verde associado ao uso de geossintéticos constitui uma alternativa eficiente para a retenção de águas pluviais, sobretudo em eventos de baixa intensidade e após períodos de estiagem. Observou-se que, à medida que o substrato apresenta menores teores de umidade antecedente, o sistema tende a reter integralmente a água precipitada, enquanto condições iniciais mais úmidas resultam em grande redução da capacidade de retenção do substrato. Esses resultados evidenciam que o desempenho hidrológico do telhado verde é fortemente condicionado tanto pela umidade prévia do substrato quanto pela sazonalidade das chuvas, reforçando a importância de considerar os efeitos da estiagem e do teor de umidade antecedente do substrato na avaliação e no dimensionamento desses sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrio, E. P. D. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 27. p. 179-193.

Berntdsson, J.C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering*. Vol. 36, p.351-360.

Blank, L.; Vasl, A.; Levy, S.; Grant, G.; Kadas G., Dafni, A.; Blaustein, L. (2013). Directions in green roof research: a bibliometric study. *Building Environment*. Vol. 66. p. 23-28.

Carpenter, C. M. G.; Todorov, D.; Driscoll, C. T; Montesdeoca, M. (2016). Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations. *Environmental Pollution*. Vol. 218. p. 664-672.

Hashemi, S. S. G.; Mahmud, H. B.; Ashraf, M. A. (2015). Performance of green roofs with respect to water quality and recution of energy consumption in tropics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 52. P. 669-679.

Hernández, J. D; Luengas, A. L. M. (1997). *Green roof systems. Transactions on ecology and the environment.* Vol. 16. P. 615-624.

IGS Brasil – Associação Brasileira de Geossintéticos. *Funções dos geossintéticos.* Disponível em: <http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/2.pdf>. Acesso em: 24 de mar. 2017.

Louzada, T. S. *Emprego de geossintéticos na construção de telhados verdes: análise da capacidade de retenção de água*. Natal, 2016. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2016.

Morgan, S. P. E.; Celik, S.; Retzlaff, W. (2013). Green roof storm-water runoff quantity and quality. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 139. p.471-478.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria de Vias Públicas. *Diretrizes de Projetos de Hidráulica e Drenagem.* 1999. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS TÉCNICAS INSTRUÇÕES NOVAS/Hidráulica e drenagem urbana/DH-H01.pdf>. Acesso em: 12. de abr. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. *Plano Municipal de Redução de Riscos do Município de Natal* – Relatório Final. Vol. 1. 2008. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjBzfDThavTAhUDkJAKHRqzBAQQFggjMAA&url=https%3A%2F%2Fnatal.rn.gov.br%2Fsemurb%2Fpaginas%2FFile%2FPublicacoes%2Freducao_riscos%2FVol_1_-_REL_AREAS_RISCO_-_Final.pdf&usg=AFQjCNFgPCK0uNgO8LH0sypmMtd_0zjREg&sig2=iAFC6YbbPv7w1CyX8IJmsQ&cad=rja>. Acesso em 12 de abr. 2017.

Rugh, C. L.; Fernandez, R. T. (2005). Green Roof Stormwater Retention: Effect of Roof Surface, Slope and Media Depth. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 34. p. 1036-1044.

Townshend, D. (2007). Study on green roof application in Hong Kong: Final Report. *Departamento de Serviços Arquitetônicos*. Hong Kong. 157p.

Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 57, p. 740-752.

SCUDELARI, Ada Cristina; MATOS, Maria de Fátima Alves de; AMARO, Venerando Eustáquio; CAMARA, Michel Rodrigues; CAVALCANTE, Augusto César Chaves. AVALIAÇÃO DE CURTO PRAZO DA RETRAÇÃO DAS FALÉSIAS DE TIBAU DO SUL-RN. *Revista de Geociências do Nordeste*, p. 202-2014, 22 set. 2021. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.