Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

EFEITO DA CAMADA DRENANTE NO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS VERDES EM CURITIBA-PR: ESTUDO COMPARATIVO COM CÉLULAS TESTE[1]

DI NÚBILA, Clarisse S. A. (1); KRÜGER, Eduardo L. (1); NOYA, Mariana G. (2); GONZÁLEZ CRUZ, Eduardo M. (1)

(1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, clarissedinubila@yahoo.com.br; ekruger@utfpr.edu.br; edugoncruz@gmail.com

(2) Pontifícia Universidade Católica do Paraná PUC-PR, contato@marianagrassi.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do material da camada drenante constituinte de um sistema de cobertura verde em seu desempenho térmico, considerando o clima de Curitiba, por meio de estudo comparativo utilizando células teste. Para isso, foram construídos protótipos de cobertura verde que variam quanto ao material que compõe a camada de drenagem: argila expandida, e dois tipos de mantas drenantes industrializadas, sendo que uma delas também tem a função de armazenar água. Esta pesquisa analisou o desempenho térmico dos sistemas de cobertura verde em termos de temperaturas características, atraso térmico e fator decremental, decorrentes do monitoramento realizado em uma semana, no final do verão (mar/2020). No período monitorado, verificou-se um desempenho térmico ligeiramente superior do sistema de cobertura verde cuja camada drenante era composta por argila expandida.

Palavras-chave: *Cobertura verde. Telhado verde. Camada drenante. Desempenho térmico. Células teste.*

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the effect of the material of the draining layer that constitutes a green roof system on its thermal behavior, considering the climate of Curitiba, by means of a comparative study using test cells. In order to do this, roof prototypes were constructed, which vary in terms of the material that constitutes the drainage layer: expanded clay, and two types of industrialized drainage blankets, one of which also has the function of storing water. This study analyzed the thermal performance of the green roof systems in terms of characteristic temperatures, time lag and decrement factor, resulting from the monitoring carried out in one week, in the end of summer (mar/2020). In the monitoring period, there was a slightly higher thermal performance of the green roof system whose drainage layer was composed of expanded clay.

Keywords*: Green roof. Drainage layer. Thermal performance. Test cells.*

[1] DI NÚBILA, Clarisse S. A.; KRÜGER, Eduardo L.; NOYA, Mariana G.; GONZÁLEZ CRUZ, Eduardo M. Efeito da camada drenante no desempenho térmico de coberturas verdes em Curitiba-PR: Estudo comparativo com células teste. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Estudos vêm sendo realizados para avaliar o desempenho térmico de coberturas vegetadas, tanto por meio de medições em coberturas em escala real (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011; JIM; PENG, 2012; JIM, 2014; BUCKLAND-NICKS et al., 2016), como por meio de protótipos (HINZ, 2006; LA ROCHE; BERARDI, 2014; ABREU et al., 2015; SAVI, 2015; LIZ et al. 2016; FEITOSA; WILKINSON, 2018; KAVISKI, 2018), de modo a comparar com outros sistemas de cobertura, e também estudar a influência da variação de determinados parâmetros. No entanto, poucos estudos investigam as relações entre a camada drenante e o desempenho térmico de coberturas verdes. Alguns dos estudos existentes focam na comparação entre sistemas tradicionais de drenagem, e materiais drenantes alternativos, como borracha triturada (PÉREZ et al., 2012). Outros estudos, como o de Scharf e Zluwa (2017), investigam diferentes sistemas de cobertura verde, variando-se o material da camada drenante, porém alterando simultaneamente outros componentes e características do sistema, dificultando a análise da influência do material drenante isoladamente no desempenho térmico da cobertura verde.

Nesse contexto, o presente estudo foca na utilização de células teste e protótipos de cobertura verde para avaliar o efeito que a alteração do material da camada drenante pode produzir no desempenho térmico de uma cobertura verde extensiva, no clima de Curitiba. Para isso, as características dos componentes dos sistemas são iguais (espécie vegetal, materiais e espessuras das camadas), variando somente o material da camada drenante: argila expandida, geomembrana drenante, e geomembrana drenante e armazenadora de água.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa, de caráter experimental e quantitativo, foi realizada utilizando-se quatro células teste, denominadas módulos, sendo um de controle (MC) e três experimentais (MEs). Sobre cada um dos MEs foram colocados protótipos de cobertura verde.

2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Canteiro Experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba, sede Ecoville. A Universidade encontra-se a 950 m de altitude, sendo as coordenadas geográficas aproximadamente 25.44 °S, 49.35 °W (DSG, 2020). A cidade de Curitiba (PR) está situada na Zona Bioclimática 1, sendo o clima temperado marítimo úmido (Cfb), conforme classificação de Köppen-Geiger.

2.2 Protótipos de cobertura verde

Os protótipos de cobertura verde foram construídos em compensado naval de 15 mm de espessura, pintados com tinta esmalte branca à base de água (3 demãos), e revestidos lateralmente (face interna) por poliestireno expandido (EPS) de 60 mm. A camada impermeabilizante, aplicada internamente, é feita de argamassa polimérica (3 demãos) e tela de poliéster. Em uma das laterais do protótipo há uma abertura de 2,5 x 34 cm, através da qual a água drenada escoa. A dimensão externa dos protótipos é de 49,5 x 49,5 cm, e interna de 34 x 34 cm cada (descontando a espessura da argamassa).

Como objeto de estudo tem-se três sistemas de cobertura verde extensiva: ARG, GD e GDA. O tipo ARG possui a camada drenante composta por argila expandida tipo 2215 (miúda), que ocupa uma camada de 4 cm de espessura. Sobre a argila expandida, foi disposta a camada filtrante, composta por um geotêxtil não tecido. Com relação ao tipo GD, a camada drenante é composta por um geocomposto drenante estruturado (MacDrain® 1L) formado por filamentos de polipropileno que compõem uma geomanta tridimensional flexível, a qual possui 90% de vazios, aderida a um geotêxtil não-tecido. Possui cerca de 1 cm de espessura, e sua capacidade de drenagem é de 144 l/h. Esse geocomposto já tem função filtrante, não sendo necessária a adição de uma camada extra. O tipo GDA, por sua vez, possui a camada drenante composta por uma membrana extrudada em polietileno de alta densidade (PEAD), que além da função de drenagem possui também a de armazenagem de água (Maxistud®). A capacidade de armazenamento de água por essa membrana é de 3,6 l/m^2, sua altura é de 2 cm, e a espessura do filme de PEAD é de 1,05 mm. A água que fica armazenada nesse sistema posteriormente é liberada para o substrato por meio da evaporação. Sobre essa geomembrana drenante e armazenadora de água foi utilizado um geotêxtil estruturado (trama em PEAD) com geotêxtil não tecido em uma das faces, para compor a camada de filtragem.

As demais camadas (substrato e vegetal) são idênticas em todos os sistemas. A camada de substrato possui 15 cm de espessura, composta por um substrato comercial e 10% em massa de areia média. O substrato é composto por terra, casca de arroz, casca de pinus e fertilizante de longa duração. A areia que foi adicionada ao substrato é comercializada por uma loja de material de construção. Os materiais foram misturados e colocados nos protótipos com sua umidade original. Sobre a camada de substrato foi realizada uma cobertura com cascas de pinus trituradas, para proteção. As plantas utilizadas na cobertura verde são da espécie *Bulbine frutescens* (bulbine), uma herbácea perene, geralmente cultivada a pleno sol, e pouco exigente em água (planta suculenta) (LORENZI, 2015), sendo adequada para coberturas verdes. Originária da África do Sul, essa herbácea é tolerante ao frio (LORENZI, 2015), portanto se mostra apropriada para o clima curitibano. O plantio foi realizado no verão, em 04/12/2019, sendo 5 mudas por protótipo. O grau de cobertura vegetal dos protótipos no período de monitoramento era de 74 % para o protótipo ARG e 70% para os tipos GD e GDA, considerando apenas a folhagem e desconsiderando a projeção das inflorescências e caules.

2.4 Módulos experimentais e controle

As células teste (módulos) empregadas no presente estudo foram construídas com base em células desenvolvidas por González (1997), porém com dimensões reduzidas. Os módulos são feitos de chapas de compensado naval de 15 mm de espessura, pintados com tinta esmalte branca à base de água (3 demãos), e revestidos internamente por 45 mm de EPS (laterais e fundo). Os módulos possuem apoios de borracha, que garantem uma inclinação de 2% no caso dos MEs. O módulo controle (MC) possui dimensão de 46 x 46 x 25,5 cm, e uma tampa revestida com um isolamento térmico especial (U=0,36 W/m^{2}K), de 100 mm de espessura de EPS, com o objetivo de minimizar o ganho de calor pela superfície superior, o que dá uma altura total de 32 cm ao MC. Os módulos experimentais (MEs), por sua vez, possuem 46 x 46 x 20,5 cm de dimensão externa. A parte superior dos MEs é formada pelos protótipos de cobertura vegetal: ME1 (protótipo tipo ARG); ME2 (protótipo tipo

GD); ME3 (protótipo tipo GDA). O volume interno é o mesmo para os MEs e MC, sendo 34 x 34 x 14,5 cm.

2.5 Aquisição de dados e posicionamento dos sensores

O monitoramento dos protótipos foi realizado no período de 11/03 a 18/03/2020, ao final do verão. A Tabela 1 apresenta a relação dos equipamentos utilizados no experimento, os quais foram programados para coleta de dados a cada 5 minutos, enquanto a Figura 1 ilustra esquematicamente seus posicionamentos.

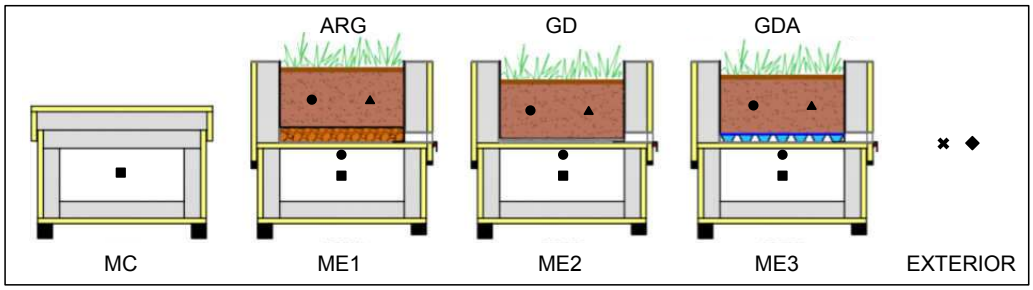
Tabela 1 – Equipamentos/sensores utilizados no experimento

Símbolo	Equipamento	Variáveis	Quant.	Posição
◆	Sensor S-THB-002 Onset*	Temperatura (°C) e UR (%) do ar externo	1	1,75 m do piso, dentro de abrigo meteorológico
✖	Pluviômetro RGF-M002 Davis*	Pluviosidade (mm)	1	1,85 m do piso
■	Datalogger LogBox-RHT Novus	Temperatura (°C) e UR (%) do ar interno	4	no centro dos módulos experimentais e controle
●	Datalogger TagTemp NFC Novus	Temperatura de superfície (°C)	3	superfície inferior dos protótipos
		Temperatura do substrato (°C)	3	na metade da camada de substrato
▲	Sensor S-SMC-M005 Onset*	Conteúdo volumétrico de água do substrato (%vol.)	3	na metade da camada de substrato

*conectados à Estação Hobo U12-001 da Onset (datalogger)

Fonte: Os autores

Figura 1 – Esquema do posicionamento dos sensores (em corte)



Fonte: Os autores

Os sensores de temperatura LogBox RHT e TagTemp NFC passaram por um processo de aferição em relação a um sensor com certificado de calibração, modelo Hobo UX100-023 Onset, que mede temperatura e UR do ar. Foram determinadas equações de correção para cada um dos sensores, em relação ao sensor de referência (Hobo UX100-023).

2.6 Desempenho térmico - Parâmetros avaliados

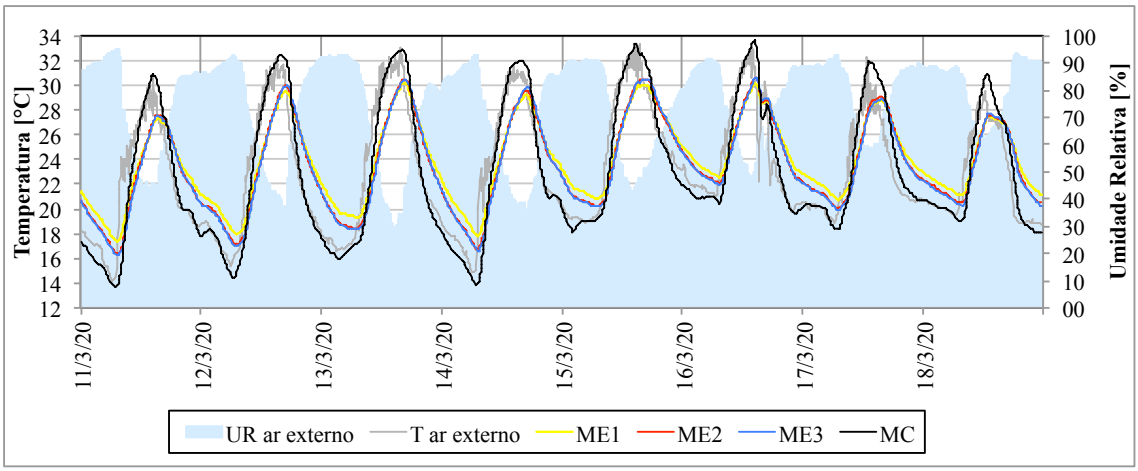
Para a análise do desempenho térmico dos sistemas, foram avaliadas as temperaturas características, o atraso térmico e o fator decremental. As temperaturas características correspondem aos valores de temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), medidas no interior dos módulos experimentais e controle, e no ambiente externo. O atraso térmico é calculado pela quantidade de tempo (h) que a variação da maior temperatura diária demora para transcorrer e se manifestar na superfície interna dos módulos experimentais. Quanto maior o atraso térmico, maior a inércia térmica do sistema (FROTA;

SCHIFFER, 2001). O fator decremental representa o grau de amortecimento térmico do ambiente interno quanto às variações térmicas externas, sendo expresso pela razão entre a amplitude térmica diária do ar interno e do ar externo. Quanto menor o FD, maior a capacidade de redução da variação da temperatura interna em relação ao exterior (KRÜGER et al., 2010), sinalizando um melhor desempenho térmico.

3 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta um gráfico com as temperaturas do ar e superficial interna dos módulos, e temperatura e umidade relativa do ar externo, no período de 11 a 18/03/2020. Nesse período, a temperatura externa variou entre 14,3°C e 32,1°C, e a UR, entre 29% e 94%. Ao longo do período de monitoramento, foram registrados episódios de precipitação nos dias 16 e18/03, de 3,2mm e 5,6mm, respectivamente.

Figura 2 – Temperaturas do ar interno dos módulos, e temperatura e UR do ar externo (11 a 18/03/2020).



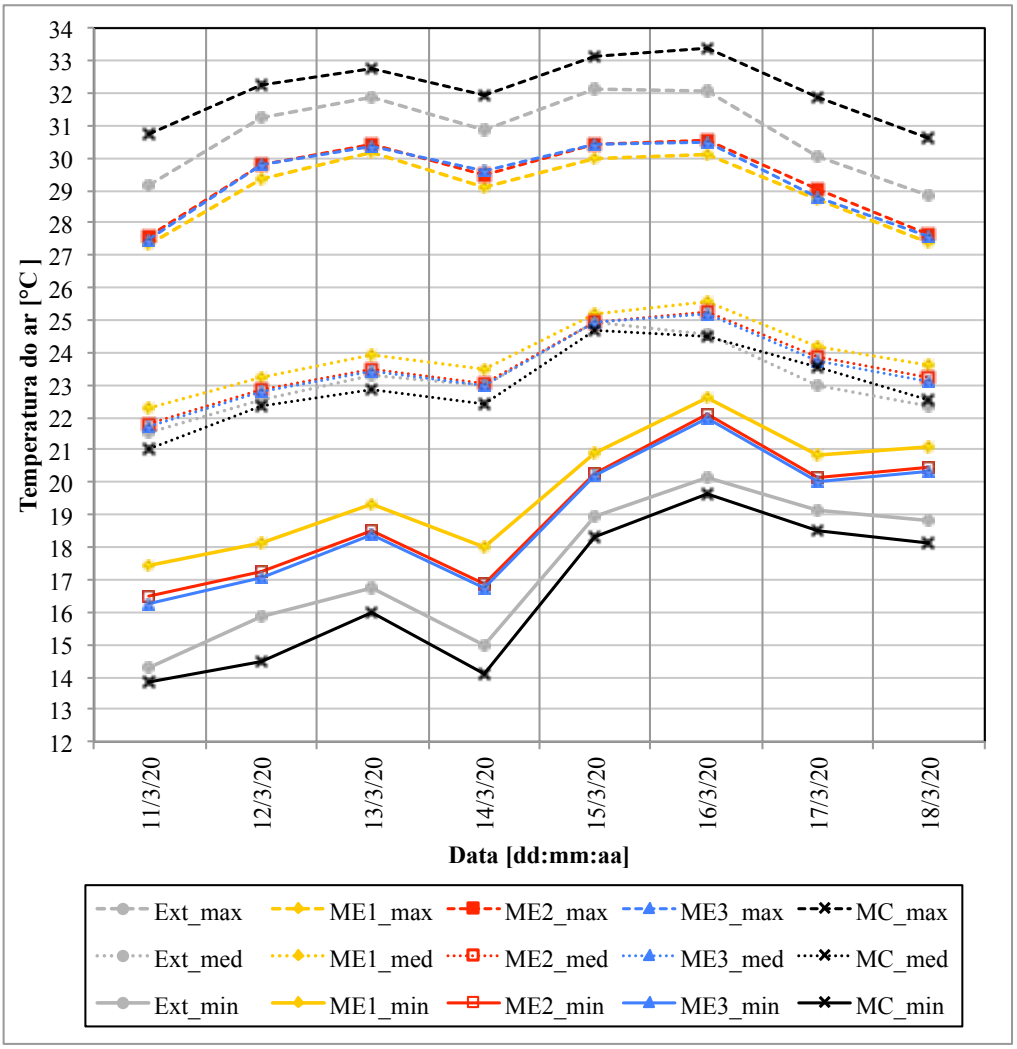
Fonte: Os autores

Na Figura 3, são apresentadas as temperaturas máximas, médias e mínimas do ar interno dos módulos e do ambiente externo, em cada um dos 8 dias de monitoramento. Percebe-se que em todos os módulos experimentais os sistemas de cobertura verde contribuíram para a redução das temperaturas máximas em relação ao exterior e ao módulo controle. Em comparação à temperatura do ambiente externo, esta redução chega a 2,1°C no caso do ME1, e 1,7°C no caso do ME2 e ME3. Em relação às temperaturas médias do ar, verifica-se que, no interior dos módulos experimentais, as mesmas atingiram valores iguais ou mais elevados do que no ambiente externo. A Tmed do ar no interior do ME1 foi em média 0,8°C mais elevada que o exterior, enquanto essa diferença foi em média de 0,4°C e 0,3°C para o ME2 e ME3, respectivamente. Ao comparar as temperaturas mínimas, observa-se uma elevação do ME1 de 2,4°C em média comparando com o ambiente externo, e de 1,6°C e 1,5°C para o ME2 e ME3, respectivamente.

Conclui-se, portanto, que os sistemas avaliados apresentam capacidade de reduzir a temperatura máxima do ar interno em comparação ao ambiente externo e ao MC; em todos os experimentos, foram obtidas temperaturas mínimas superiores às do ambiente externo e do MC; consequentemente, observa-se uma discreta elevação da temperatura média dos MEs em relação ao exterior e ao MC. Comparando os MEs entre si, verifica-se que o ME2 e o ME3 apresentam

comportamento térmico similar, enquanto as diferenças de temperatura do ME1 em relação aos demais é em média de -0,3°C para Tmax, +0,4°C para Tmed e +0,9°C para Tmin.

Figura 3 – Temperaturas máximas, médias e mínimas do ar interno dos módulos e do ar externo

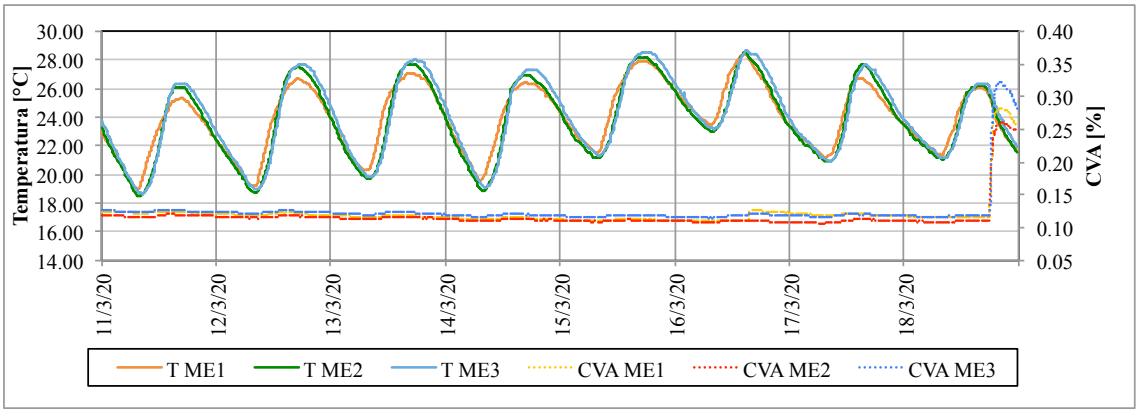


Fonte: Os autores

O gráfico da Figura 4 apresenta a temperatura e o conteúdo volumétrico de água (CVA) do substrato. Verifica-se que a temperatura do substrato do módulo ME1 apresenta uma amplitude ligeiramente menor que os módulos ME2 e ME3, os quais possuem uma variação similar da temperatura ao longo do tempo. Isso pode explicar o fato de ter sido verificada uma redução da amplitude térmica do ar interno do módulo ME1 (protótipo ARG, com argila expandida). O substrato dos MEs manteve-se seco em praticamente todo o período, com CVA entre 0,10 e 0,15 m^3/m^3, o qual elevou-se apenas no dia 18/03, em decorrência de um episódio de chuva. Percebe-se que, em virtude da precipitação, os valores de CVA foram menores em ME2 e maiores em ME3, indicando uma melhor capacidade de drenagem da cobertura verde com GD, e pior, no caso da cobertura com GDA.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de atraso térmico, bem como os fatores decrementais. Para esta análise, foram consideradas as temperaturas médias horárias, em cada dia (para o atraso térmico considerou-se a T superficial interna).

Figura 4 – Temperatura e conteúdo volumétrico de água do substrato



Fonte: Os autores

Tabela 2 – Atraso térmico dos protótipos de cobertura verde e fatores decrementais dos módulos experimentais e controle

DATA	Atraso Térmico (horas)			Fator Decremental			
	ME1	ME2	ME3	ME1	ME2	ME3	MC
11/3/20	2	2	2	0,66	0,75	0,75	1,13
12/3/20	2	2	2	0,73	0,82	0,83	1,16
13/3/20	1	1	1	0,71	0,79	0,79	1,11
14/3/20	3	3	3	0,70	0,79	0,81	1,12
15/3/20	3	3	3	0,69	0,77	0,78	1,13
16/3/20	1	1	1	0,63	0,71	0,71	1,15
17/3/20	3	3	3	0,72	0,81	0,80	1,22
18/3/20	3	2	3	0,63	0,71	0,72	1,25
Média	**2,3**	**2,1**	**2,3**	**0,69**	**0,77**	**0,78**	**1,16**

Fonte: Os autores

Observa-se que o atraso térmico proporcionado pelos protótipos varia entre 1 a 3 horas ao longo do período de monitoramento. O padrão de variação do atraso térmico dos protótipos se mantém igual na maioria dos dias. Analisando-se o fator decremental dos módulos, percebe-se que valores mais reduzidos são obtidos pelo ME1, indicando uma maior capacidade de redução da variação da temperatura interna.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que o protótipo com argila expandida na camada drenante (ARG) possui um desempenho térmico ligeiramente superior em comparação aos protótipos que possuem geomembrana drenante (GD) e geomembrana drenante e armazenadora de água (GDA), no período analisado. Ressalta-se que o CVA dos protótipos indicava que o substrato estava seco. Futuramente serão realizadas análises em diferentes condições do tempo, em Curitiba, de modo a verificar se esse padrão de comportamento sofre variações em função dessas condições.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes, à UTFPR, ao Prof. Massayuki Mário Hara, ao Paulo Sabino, à Ângela Deeke Sasse, ao Endrio Lázaro de Freitas Nascimento, e às empresas Diprotec e Maccaferri.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. L. P.; GOES, F.; BAUMANN, V. A. R. Protótipos parciais de cobertura verde para estudo da redução da carga térmica interna de edificação escolar em Florianópolis. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas: ENCAC/ELACAC. 2015.

BUCKLAND-NICKS, M.; HEIM, A.; LUNDHOLM, J. Spatial environmental heterogeneity affects plant growth and thermal performance on a green roof. **Science of the Total Environment**, v. 553, p. 20 – 31, 2016.

DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. **Banco de Dados Geográficos do Exército (BDGEx)**. 2020. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>. Acesso em: 11 fev. 2020.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. **Building and Environment,** v. 140, p. 11–22, 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GONZÁLEZ, E. M. **Étude de Matériaux et de Techniques du Bâtiment Pour la Conception Architecturale Bioclimatique en Climat Chaud et Humide**. Tese (Doutorado) – l'École des Mines des Paris. Paris, 1997.

HINZ, E. **Estudio del comportamiento térmico de un sistema pasivo de enfriamiento evaporativo indirecto con cobertura vegetal en un clima tropical**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade de Zulia, Maracaibo, 2006.

JIM, C. Y. Passive warming of indoor space induced by tropical green roof in winter. **Energy**, v. 68, p. 272–282, 2014.

JIM, C. Y.; PENG, L. L. H. Substrate moisture effect on water balance and thermal regime of a tropical extensive green roof. **Ecological Engineering**, v. 47, p. 9–23, oct. 2012.

KAVISKI, F. **Desempenho térmico de cobertura vegetada sobre guarita de fibra de vidro exposta a diferentes condições climáticas em Curitiba**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

KRÜGER, E.; GONZÁLEZ CRUZ, E.; GIVONI, B. Effectiveness of indirect evaporative cooling and termal mass in a hot arid climate. **Building and Environment**, v. 45, p. 1422–1433, 2010.

LA ROCHE, P.; BERARDI, U. Comfort and energy savings with active green roofs. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 492 – 504, 2014.

LIZ, D. G. S. de; MIZGIER, M. O.; GÜTHS, S. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2015.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of Green Roof Performance in Temperature Climate: A Case Study of an Experimental Building in Florianópolis City, Southern Brazil. **Journal of Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, p.1712- 1722, 2011.

PÉREZ, G; VILA, A; RINCÓN, L; SOLÉ, C.; CABEZA, L. F. Green roofs as passive system for energy savings when using rubber crumbs as drainage layer. **Energy Procedia**, v. 30, p. 452-460, 2012.

SAVI, A. C. **Telhados Verdes:** uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba. 2015. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SCHARF, B.; ZLUWA, I. Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 564 – 573, jun. 2017.