ANÁLISE TERMOGRÁFICA DA UTILIZAÇÃO DE COBERTURA VEGETADA EM GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO[1]

KRÜGER, E., Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e-mail: ekruger@utfpr.edu.br; DRACH, P., Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), e-mail: patricia.drach@gmail.com; TAMURA, C., UTFPR, e-mail: cintiatamura@gmail.com; KAVISKI, F., UTFPR, e-mail: f.kaviski@gmail.com

ABSTRACT

In light-weight, security booths built in fiberglass, due to their poor thermal performance, the use of adequate roof materials can minimize heat gains in summer while avoiding heat losses in winter. Green roofs are among the building components that can contribute to indoor thermal stabilization while promoting temperature reductions in summer. The present study aimed to evaluate the use of a green roof in fiberglass security booths. Two modules were tested, one with and another without a green roof, under warm conditions in a subtropical location. The technique explored in this paper is based on thermography analysis. Results showed a higher thermal performance of the green roof in terms of mean temperature reduction at the ceiling when compared to the conventional roof in such structures.

Keywords: passive cooling; green roof; fiberglass shelters; thermography.

1 INTRODUÇÃO

A Norma Regulamentadora – Ergonomia (2017) visa constituir os parâmetros necessários para "adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores", discorrendo sobre mobiliário, equipamentos necessários e climatização dos ambientes de trabalho, dentre outros. Como resultado esperado da implementação destes parâmetros, aponta-se a possibilidade de proporcionar condições de trabalho minimamente confortáveis e seguras.

No Brasil, o uso de cabines de segurança é frequente, sendo a utilização bastante disseminada em entradas de condomínios residenciais. A opção por guaritas de fibra de vidro é recorrente em portarias de prédios residenciais nas diversas regiões do Brasil por serem estruturas leves e móveis, portanto de fácil instalação e locomoção, somando-se a atrativa questão financeira de baixo custo. Dependendo do uso e função, suas dimensões podem ser alteradas, mas usualmente esse tipo de guarita é um espaço confinado, ainda que possua janelas em todas as direções de modo a atender funções de vigilância. Tais guaritas, porém, com frequência não atendem aos critérios exigidos para atividades de longa permanência em seu interior.

No detalhamento dos parâmetros exigidos para locais de permanência com necessidade de atenção, conforme apontado no Anexo 2 da NR17, devem ser mantidos níveis de conforto em relação ao ruído, com distribuição

[1] KRÜGER, E.; DRACH, P.; TAMURA, C.; KAVISKI, F. Análise termográfica da utilização de cobertura vegetada em guaritas de fibra de vidro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu: ANTAC, 2018.

homogênea das temperaturas e fluxos de ar e, caso necessário, utilizando "controles locais e/ou setorizados da temperatura, velocidade e direção dos fluxos." Ainda na NR-17 são indicados os limites que devem ser atendidos ao disposto, como temperatura efetiva entre 20 e 23 °C, velocidade do ar ≤0,75 m/s e a umidade relativa do ar ≥40%.

O índice de Temperatura Efetiva (*Effective Temperature – ET*), dado em °C, foi proposto em 1923 por Yaglow e Houghten (FROTA; SCHIFFER, 1995) buscando indicar as condições de conforto térmico, sendo posteriormente adaptado por Koenigsberger et al. (1977) para regiões de climas quentes. A temperatura efetiva (TE) pode ser determinada pela equação proposta por Missenard (1933).

$$TE = T_a - 0{,}4 \times (T_a - 10) \times (1 - \frac{UR}{100}) \quad (1)$$

Onde:
T_a é a temperatura de bulbo seco (T_{BS} em °C) e
UR é a umidade relativa.

Em condições de verão, para o amplo espectro de latitudes existentes no território nacional, a cobertura é o elemento construtivo com maior ganho térmico. A introdução de uma cobertura vegetada permite a redução do fluxo térmico recebido com outros benefícios, tais como redução da amplitude térmica diária, drenagem das águas das chuvas, melhor desempenho acústico e maior durabilidade do sistema de cobertura, com a proteção quanto à radiação solar direta na superfície do telhado (MINKE, 2005; SAVI, 2012).

Em superfícies expostas à radiação solar, a camada com vegetação pode absorver de 60 a 90% da radiação (BROWN; DEKAY, 2004). Mesmo que sua adoção esteja restrita à cobertura, os efeitos associados do sombreamento, de evapotranspiração da planta e aumento da massa térmica da cobertura garantem maior estabilidade térmica interna.

Neste trabalho, avalia-se a utilização da cobertura vegetada como forma de mitigar os efeitos da radiação solar e a variação da temperatura superficial sob a cobertura de uma guarita de fibra de vidro, sob condições de verão. Para tanto, utiliza-se a técnica de termografia.

A termografia infravermelha (IRT) tem ampla aplicação nas engenharias, indústria alimentícia, diagnósticos médicos entre outros. Para Rao (2008), o uso desta tecnologia pode ser definido como uma ciência que permite a aquisição e análise de dados de dispositivos de imagem térmica sem contato. Nelas, a energia infravermelha emitida pelos objetos é capturada e convertida em um sinal elétrico que é transformado em uma imagem visível. Para representação dos níveis de energia utiliza-se uma escala de cores.

Na engenharia civil, seu uso possibilita a análise não invasiva (USAMENTIAGA et al., 2014) do comportamento de: estruturas (SAKAGAMI *et al.*, 1999);

fachadas, coberturas e revestimentos (SANTAMOURIS et al., 2007; FREITAS *et al*., 2014); vedações indicando a presença de falhas de materiais e pontes de calor (ASDRUBALI *et al.*, 2012; CAPOZZOLI *et al*., 2013) e, ainda a distribuição da temperatura vertical de superfícies (PORRAS-AMORES *et al*., 2014).

2 OBJETIVO

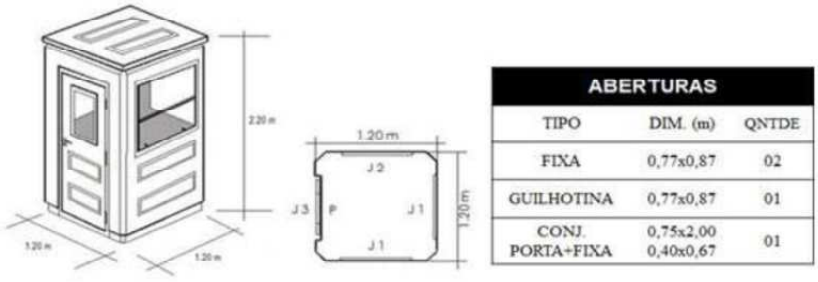
O objetivo do estudo foi avaliar impactos térmicos da utilização de cobertura vegetada com o uso da termografia, no interior de guaritas de fibra de vidro.

3 METODOLOGIA

Duas guaritas de vibra de vidro (Modelo "1", da empresa FBL http://www.fblfibras.com.br) foram posicionadas lado a lado no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Curitiba - PR, de forma que não houvesse sombreamento mútuo. O estudo de sombreamento partir de simulações no Google Sketchup® para o solstício de inverno, em três horários (8h, 12h e 17h). Conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, trata-se de uma região Cfb, de clima subtropical úmido, com verões brandos, geadas severas e sem estação seca (PEEL et al., 2007).

As duas estruturas possuem paredes de 3 mm, nas dimensões de 1,20 m x 1,20 m x 2,20 m, com aberturas em vidro temperado 3mm translúcido e acabamento externo em pintura branca. O Modelo 1 não possui mecanismos de controle térmico ou acústico (Figura 1).

Figura 1. Dimensionamento da guarita



ABERTURAS		
TIPO	DIM. (m)	QNTDE
FIXA	0,77x0,87	02
GUILHOTINA	0,77x0,87	01
CONJ. PORTA+FIXA	0,75x2,00 0,40x0,67	01

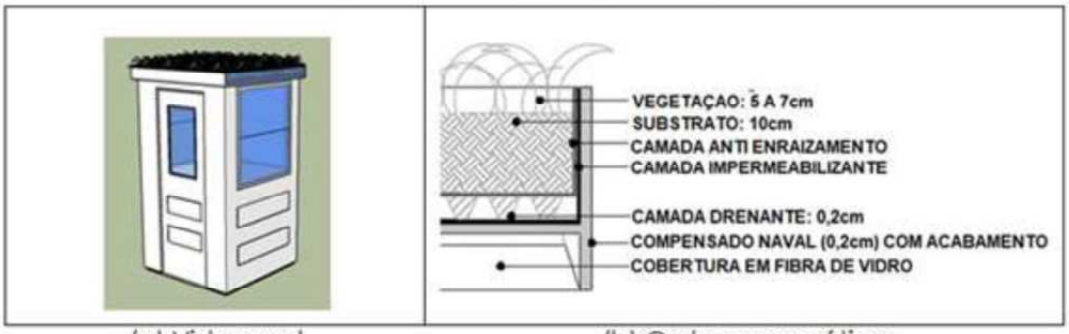
Fonte: Adaptado de FBL (Fibras do Brasil, 2017)

Selecionou-se uma das guaritas como módulo controle (MC) e na segunda, módulo experimental (ME), foi implantada uma cobertura vegetada. Em ambas as guaritas, as janelas foram recobertas por isolante do tipo *foil* com 1,5mm de espessura, com a face aluminizada voltada para dentro, de modo a eliminar interferência de ganho solar direto no interior.

3.1 Cobertura Vegetada

Sobre ME, implantou-se um protótipo com chapa de compensado naval, com espessura da chapa de 20 mm e uma base de 1,60 x 2,20 m (Figura 2a). A madeira foi selada com verniz "*stain*" para proteger o material exposto às intempéries e fungos. Realizou-se a montagem por meio de colagem e as peças foram aparafusadas. O substrato foi composto por carvão sobre camada de cascalho, agregado miúdo, vermiculita e gel para plantio, com 10 cm de espessura, sobre uma camada drenante de mantas geocompostas extrudadas tipo Maxistud® (Figura 2b).

Figura 2. Configuração do protótipo



(a) Vista geral (b) Corte esquemático

Fonte: os Autores

Utilizou-se uma cobertura mista de vegetação composta por espécies rústicas: a *Callisia repens*, da família das *Commelinaceae*, vulgarmente conhecida como dinheiro-em-penca e a *Dianella tasmanica*, família *Hemerocallidaceae*, conhecida como dianella. Realizou-se o plantio no final de outubro/2017, havendo um período de dois meses para o enraizamento, após o qual foi realizado monitoramento térmico (não tratado neste artigo). Ao fim deste período, em fins de março, coincidindo com o início do outono, realizou-se o levantamento termográfico.

3.2 Levantamento termográfico

Neste trabalho, o uso da termografia possibilitou avaliar a aplicação da cobertura vegetada de forma mais global, para além das medições pontuais realizadas anteriormente por meio de sensores de temperatura nas superfícies interna e externa da cobertura e no substrato. Com a termografia, transectos traçados linearmente possibilitam o estudo da variação da temperatura ao longo das superfícies em análise. No caso das coberturas vegetadas, observa-se este comportamento externamente quanto à vegetação, que pode apresentar variações em função da maturidade, exposição do solo nu, dentre outras.

Utilizou-se uma câmera termográfica modelo Fluke Ti9, com foco manual. Ela possui sensibilidade térmica (NETD) ≤ 0,2 °C em 30 °C (200 mK), faixa de temperatura de -20 °C a +100 °C (sem calibração abaixo de -10 °C) e

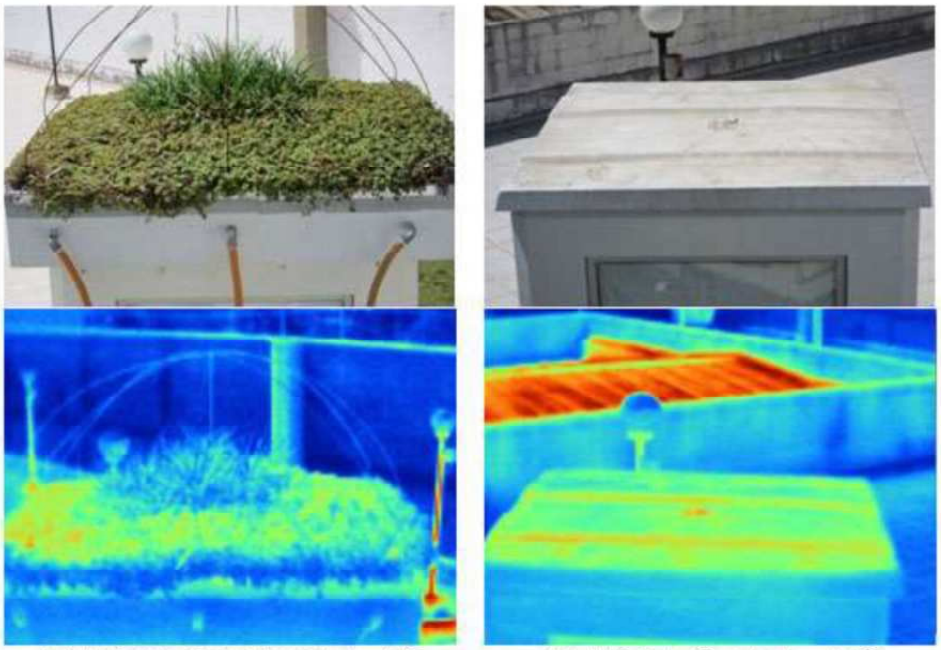
precisão de ±5 °C ou 5 %. O software SmartView® foi usado para pós-tratamento e análise da imagem. Este permite a correção da emissividade e da temperatura sob as quais as imagens foram tomadas (assumiu-se a temperatura externa do horário da tomada).

As imagens foram tomadas em um dia de céu claro, em 24 de março de 2018, com irradiância solar alcançando 958 W/m² e a temperatura máxima beirando 29°C (a partir dos dados da estação automática de Curitiba-A807/OMM: 86933 do INMET[2]). Neste trabalho, foca-se nas imagens termográficas obtidas para a cobertura (faces externa e interna) em MC e ME. A emissividade foi assumida como 0,95 em todas as situações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 3 e 4 representam os resultados obtidos da termografia relativos às imagens feitas com câmera convencional.

Figura 3. Imagens realizadas na face externa (cobertura) das guaritas, para ME e MC

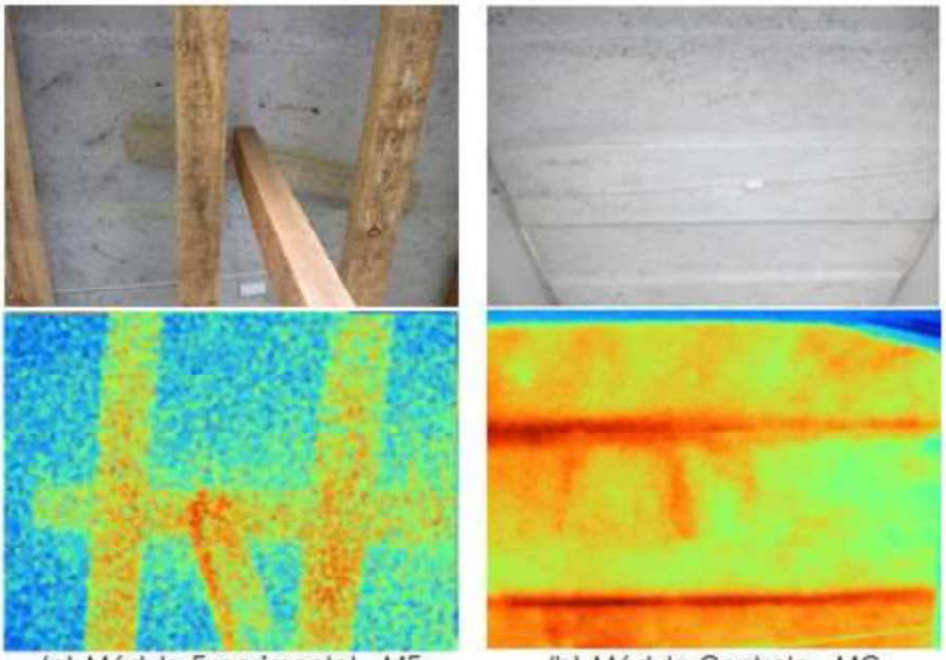


(a) Módulo Experimental - ME (b) Módulo Controle - MC

Fonte: os Autores

[2] Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/)>.

Figura 4. Imagens realizadas na face interna (teto) das guaritas, para (ME) e sem a cobertura vegetada (MC)



(a) Módulo Experimental - ME (b) Módulo Controle - MC

Fonte: os Autores

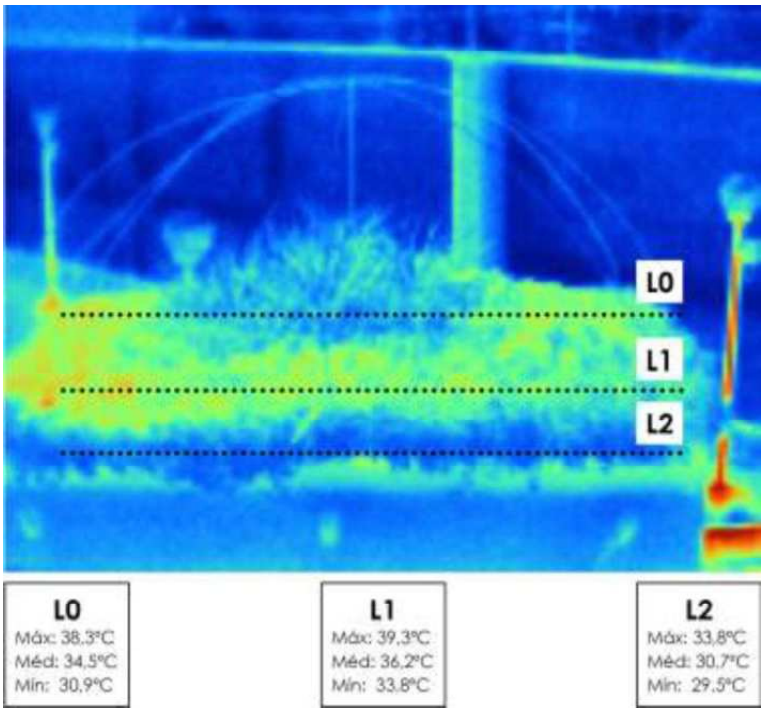
A Tabela 1 resume as temperaturas médias obtidas em cada situação. A mínima e a máxima referem-se aos valores extremos observados. Traçaram-se retas (transectos) formando uma grade na região de interesse da imagem para restringir a leitura dos valores de temperatura de superfície aos pontos selecionados. Na definição dos transectos, procurou-se identificar regiões de mais representatividade, traçando-se mais de uma reta quando havia muita variação nos valores, de modo a extrair médias e valores extremos (Figura 5). A partir dos valores lidos nestes pontos, foram calculadas as médias para cada uma das superfícies estudadas.

Tabela 1. Dados dos transectos nas guaritas MC e ME

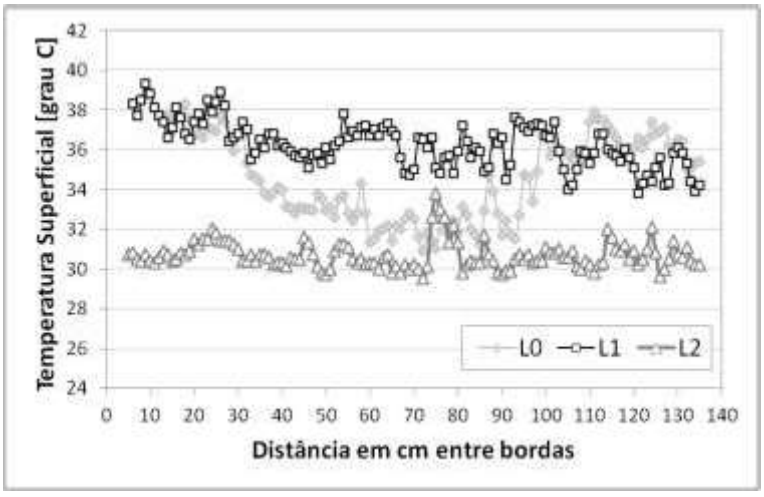
Temperaturas (°C)	Mínima	Média	Máxima	Amplitude Térmica
Cobertura ME	29,5	33,8	39,3	9,8
Cobertura MC	36,4	38,0	40,5	4,1
Diferença encontrada (média) - Cobertura	6,9	4,2	1,2	
Teto ME	25,9	27,2	28,3	2,4
Teto MC	37,0	38,7	41,2	4,2
Diferença encontrada (média) - Teto	11,1	11,5	12,9	

Fonte: os Autores

Figura 5. Exemplo de transectos (a) e dados resultantes (b) na cobertura vegetada (ME)



(a)



(b)

Fonte: os Autores

Em MC, a temperatura do teto aproximou-se da temperatura externa da cobertura, com um pequeno acréscimo devido à condição da guarita, que se encontrava fechada, sem ganhos solares, porém sem ventilação, portanto sem perdas por convecção natural internamente.

Em ME, os ganhos térmicos na face externa foram em média menores, porém com amplitude térmica nos transectos (Figura 5) superior à observada em MC, dada a diversidade de superfícies de cobertura. Observaram-se, nesse caso, temperaturas mais baixas no centro, onde a vegetação atingiu maior altura e principalmente nas bordas, devido ao efeito de

sombreamento. Em MC, a concentração de valores mais altos ocorreu nas ranhuras, possivelmente devido à redução de perdas de calor por convecção.

Internamente (teto), ME manteve a temperatura média significativamente inferior do que acima da cobertura, com uma redução de 4,2°C, em média. As temperaturas no teto foram de modo geral uniformes, com pouca variação térmica (2,4°C). Observe-se que os pontos considerados não englobam a estrutura de madeira colocada internamente para suportar a carga da cobertura vegetada, conforme Figura 4 (ME).

A diferença relativa entre a temperatura média no teto em ME versus MC foi de 11,5°C, com redução da temperatura em ME. Tal diferença representa o benefício da cobertura vegetada na redução de carga térmica transferida para o ambiente interno e é confirmada pela diferença verificada entre a temperatura média da cobertura exposta (em MC) e do teto sob cobertura vegetada (ME), de 10,8 °C (38°C versus 27,2°C).

5 CONCLUSÕES

A colocação da cobertura vegetada trouxe redução significativa da carga térmica advinda da cobertura no módulo experimental, com decorrentes vantagens para as condições internas de conforto.

A termografia apresenta vantagens nesse tipo de análise na comparação com medições pontuais, principalmente no caso da ME, no qual o gradiente térmico foi significativamente maior que em MC (9,8°C versus 4,1°C).

Referências

ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G.; BIANCHI, F. A quantitative methodology to evaluate thermal bridges in buildings. **Applied Energy,** v. 97, p. 365-373, 2012.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento & Luz.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CAPOZZOLI, A.; GORRINO, A.; CORRADO, V. A building thermal bridges sensitivity analysis. **Applied Energy,** v.107, p. 229-243, 2013.

FREITAS, S.S. de.; FREITAS, V.P. de.; BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, v.70, p. 80-87, 2014.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. SP, Studio Nobel, 1995.

KOENIGSBERGER, O. T.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. **Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales.** Madrid: Paraninfo, 1977.

MINKE, G. **Techos verdes - Planificación, ejecución, consejos prácticos.** Uruguay: Editora Fin de Siglo, 2005.

MISSENARD, A. **Étude physiologique et technique de la ventilation**. Paris, Léon, 1933.

NORMA REGULAMENTADORA. (2017). **NR 17: Ergonomia**. Disponível: <http://www.trt02.gov.br/geral/tribunal2/LEGIS/CLT/NRs/NR_17.html>. Acesso: mar. de 2018.

PORRAS-AMORES, C.; MAZARRÓN, F.R.; CAÑAS, I. Study of the Vertical Distribution of Air Temperature in Warehouses. **Energies,** v. 7, 2014, p. 1193-1206, 2014.

RAO, P. Infrared thermography and its applications to civil engineering. **Indian Concrete Journal**, v.82, n.5, p. 41-50, 2008.

SAKAGAMI, T.; KOMIYAMA, T.; SUZUKI, H. Proposal for a new thermographic, nondestructive, testing technique using microwave heating. **In: Proceedings of the thermosense XXI.** Orlando, FL: International Society for Optical Engineering. (SPIE); p. 99–103, 1999.

SANTAMOURIS, M.; PAVLOU, C.; DOUKAS, P.; MIHALAKAKOU, G.; SYNNEFA, A.; HATZIBIROS, A.; PATARGIAS, P. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. **Energy,** v. 32, n.9, p. 1781-1788, 2007.

SAVI, C. A. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura.** 2012. Monografia de Especialização em Construções Sustentáveis (CECONS/UTFPR). Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/788/1/CT_CECONS_II_2012_01.pdf >. Acesso em: 19 mar. 2018.

USAMENTIAGA, R.; VENEGAS, P.; GUEREDIAGA, J.; VEGA, L.; MOLLEDA, J.; BULNES, F.G. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. **Sensors,** v.14, p. 12305-12348, 2014.