

TELHADO VERDE COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM SÃO PAULO

Sara Pereira dos Santos (IC) e Carolina de Rezende Maciel (Orientador)

Apoio: PIBIC MackPesquisa

RESUMO

As transformações de temperaturas ocorridas ao longo das zonas de climas temperados, tropicais e subtropicais vêm em decorrência da urbanização e de sua morfologia, área, propriedades térmicas dos materiais utilizados e geração de calor antropogênico. Uma dessas modificações é o surgimento de ilhas de calor urbanas, fenômeno caracterizado pela elevação da temperatura do ar em meio urbano se comparado a uma região vizinha menos urbanizada. O objetivo desta pesquisa foi o de avaliar estratégias de mitigação de ilhas de calor urbanas por meio do estudo de caso de uma área no bairro Parque Residencial dos Lagos, São Paulo. As simulações foram feitas por meio do software ENVI-met, e teve por necessária a coleta de dados micrometeorológicos, que foram usados na geração de três conjuntos de imagens com comparação entre os sistemas de telhado verde extensivo e o intensivo. A avaliação foi feita comparando as temperaturas do cenário-referência como ele existe hoje e do cenário hipotético com o telhado verde adotado. O maior efeito para a redução de temperatura média do ar foi registrado pelo sistema extensivo às 15hs, demonstrando a capacidade de melhor mitigação do extensivo em comparação ao intensivo. Espera-se que com os resultados deste artigo, os estudos de conforto ambiental para o estado de São Paulo e como também para o resto do Brasil sejam enriquecidos, atentando para o papel das estratégias de mitigação das ilhas de calor como agentes amenizadores do rigor climático imposto pela formação do microclima urbano.

Palavras-chave: Mitigação; Ilhas de calor; Telhado verde.

ABSTRACT

The temperature transformations that occur along temperate, tropical and subtropical climate zones are due to urbanization and its morphology, area, thermal properties of the materials used and anthropogenic heat generation. One such change is the urban heat island phenomenon, characterized by rising air temperatures in urban areas compared to a less urbanized neighboring region. The objective of this research was to evaluate urban heat island mitigation strategies through a case study of an area in the Parque Residencial dos Lagos neighborhood, São Paulo. The simulations were made using the ENVI-met software,

and it was necessary to collect micrometeorological data, which were used to generate three sets of images comparing the extensive and intensive green roof systems. The assessment was made by comparing the temperatures of the reference scenario as it exists today and the hypothetical scenario with the adopted green roof. The greatest effect for the reduction of average air temperature was registered by the extensive system at 3 PM, demonstrating that the extensive system has better heat mitigation capacities than the intensive system. It is hoped that with the results of this research, environmental comfort studies for the state of São Paulo and also for the rest of Brazil will be enriched, paying attention to the role of heat island mitigation strategies as mitigating agents of the climate conditions imposed by the formation of the urban microclimate.

Keywords: Mitigation; heat island; green roof.

1. INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos resistem às profundas mudanças de temperatura e calor causadas por atividades humanas ao longo do tempo. As transformações mais impactantes são visuais, como a construção de prédios que acarreta na perda de ambientes naturais verdes. A intensa propagação de calor também acaba criando as ilhas de calor urbano, que geram sensação de desconforto térmico nas pessoas que passam pela região, (CBCS, 2014).

As áreas urbanas concentram atualmente grande parte da população mundial e das atividades econômicas, sociais, culturais, o que resulta numa demanda e consumo crescentes de energia, água e outras matérias primas. Para o ano de 2050, a projeção é de que a população urbana mundial aumentará em duas vezes a população referente a 2007, passando de 3,3 bilhões para 6,4 bilhões de pessoas. Este crescimento será absorvido principalmente pelos países em desenvolvimento, cuja população passará de 2,4 bilhões em 2007, para 5,3 bilhões em 2050, (ONU, 2008).

Os materiais usualmente empregados neste processo de urbanização, por sua vez, possuem propriedades diferentes dos materiais encontrados no meio ambiente natural. Geralmente, materiais típicos do meio urbano apresentam tendência a serem impermeáveis, elevarem sua temperatura mais rapidamente e armazenar esta energia térmica durante mais tempo. Como consequência, tem-se o fenômeno ilha de calor urbana, que é definido como o registro de temperaturas mais elevadas em espaços urbanos em comparação com suas regiões vizinhas menos urbanizadas, (MACIEL, 2014).

A formação de ilhas de calor pode ter reflexos negativos para cidades de latitudes entre trópicos, como por exemplo, desconforto térmico e consequente aumento do consumo de energia para alcançar estas condições de conforto.

Um dos estímulos da contemporaneidade quando se fala em construção, tanto para a sociedade como para o meio ambiente, é a legitimação de normas que visam a melhoria da qualidade de vida da população. Nestas circunstâncias, a técnica de telhados verdes tornou-se uma alternativa que contribui tanto no conforto térmico das residências, quanto para a redução dos impactos ambientais, entre eles o efeito ilha de calor (ICU). Além de benefícios como a melhoria da qualidade do ar, no aumento de biodiversidade, no conforto do pedestre, das razões estéticas, da recuperação do espaço de zoneamento, da redução do gasto de energia para controle de temperatura do ambiente, da redução dos ruídos externos, e da redução da água de chuva escoada (GOMES *et al.*, 2011; OBERNDORFER *et al.*, 2007; BALDESSAR; TAVARES, 2012).

Os telhados verdes, ou *green roofs*, são áreas que podem ter um tipo de vegetação, rasteira, arbustiva ou de porte arbóreo, sobre as casas, edifícios residenciais, comércios, indústrias ou edificações públicas. Na arquitetura, este tipo de cobertura é considerado como futuro do urbanismo, e para especialistas em clima, é uma possibilidade de reduzir os efeitos de aquecimento no microclima das áreas urbanas, (CATUZZO, 2013).

Considerando que São Paulo está localizada em uma região tropical, as edificações influenciam fortemente na transferência de calor aos ambientes internos por estarem sujeitas à radiação solar. Esse desempenho térmico está relacionado diretamente aos materiais que o compõem, pois é a área que delimita o ambiente interno do externo (LIZ; MIZGIER; GÜTHS, 2016). Em um telhado verde esta situação é amenizada, uma vez que o balanço energético é resultado da convecção e da evaporação do solo e das plantas, combinados com a condução de calor do substrato e a radiação de ondas longas entre o solo e a folha (SAILOR, 2008).

Dessa forma, o telhado verde seria utilizado como um sistema passivo, não dependendo da energia elétrica, contribuindo para a redução da demanda energética dos edifícios. Costa e Lima (2017), estudaram por meio de uma simulação na plataforma EnergyPlus, a economia de energia ao serem instalados telhados verdes e telhados refletivos (*cool roofs*), em diferentes regiões climáticas pelo Brasil. Como resultado, obtiveram a confirmação de que, tanto a cobertura vegetal quanto a cobertura refletiva proporcionaram economia de energia elétrica com ar condicionado em relação à laje de concreto armado maciço em todas as cidades escolhidas, sendo as que possuem maior consumo de energia forma as mais beneficiadas em termos de kWh economizados por m² de cobertura.

Quanto à cobertura vegetada, verificaram que ela possui melhor desempenho em áreas de climas quente e secos do que em climas frios e úmidos. E existe ainda o benefício de contribuir também na mitigação do aquecimento global por meio da redução do consumo de energia e consequente redução na emissão de CO₂ e captura, tornando a sua utilização vantajosa em comparação aos telhados refletivos, (COSTA; LIMA, 2017).

As vantagens de utilização do telhado verde não são apenas verificadas na área vegetada, mas em seu entorno, possibilitando uma contextualização urbana através de sua inserção em coberturas tradicionais nos edifícios (ROSSETI *et al.*, 2014). Considerando o potencial de aplicação desta estratégia em centros urbanos, e em consequência gerar uma melhoria na qualidade de vida da população e do meio ambiente, e no gasto energético, dessa forma o projeto desenvolvido propõe identificar o potencial de mitigação de ilhas de

calor e melhoria das condições de conforto a partir do uso das coberturas vegetadas na cidade de São Paulo.

1.1 Problema da pesquisa

Qual o impacto de amenização nas temperaturas superficiais das coberturas de edificações a partir do uso de telhados verdes? Dentre os sistemas extensivo e intensivo, qual apresenta mais vantagens do ponto de vista do conforto térmico? Qual o potencial de mitigação de ilhas de calor para o clima da cidade de São Paulo?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

a) Fenômeno Ilhas de calor urbana

A Ilha de Calor Urbana é um fenômeno causado pelo processo de urbanização e está relacionado à diferença no balanço energético entre uma área urbanizada e uma menos urbanizada, especialmente à noite e proporcional ao tamanho da cidade (BARROSO-KRAUSE, 2011; BARBIRATO *et al.*, 2011).

Segundo o trabalho de Luke Howard em 1833 sobre o clima de Londres, existem 7 fatores que resultam na ilha de calor: fontes de calor de atividades humanas; as propriedades térmicas dos materiais de construção devido à absorção de energia durante o dia e a liberação durante a noite; aumento de absorção de radiação de ondas curtas; diminuição das perdas de calor sensível pela geometria urbana; diminuição de vegetação e da evaporação pela impermeabilidade da cidade; aumento da reemissão de ondas longas devido às construções; e a diminuição fator do céu causa a redução da perda de radiação (GARTLAND, 2011).

Com a radiação solar, as superfícies ganham calor durante o dia e perdem por ondas longas durante a noite, em um processo cíclico, onde parte desta radiação é absorvido e parte é refletida, conforme o albedo¹. Do que é absorvido, parte é utilizado para a evaporação da água onde está contida, porém, com a crescente impermeabilização das cidades, há uma aceleração do escoamento das águas, e a radiação solar absorvida é convertida em calor rapidamente, elevando as temperaturas do seu entorno (BARROSO-KRAUSE, 2011; BARBIRATO *et al.*, 2011).

¹ O albedo denota a quantidade de energia refletida por uma determinada superfície (JACOBSON; TEN HOEVE, 2012).

No artigo de Postigo e Souza (2007) sobre a formação de ilha de calor em Bauru, São Paulo, foi comprovado o que a literatura aponta: “não só a existência das ilhas de calor na Vila Universitária, causadas pela inércia térmica das superfícies e geometria urbana, como também toda sua evolução e decaimento no início do dia”. Com os mapas desenvolvido durante a pesquisa, foi possível estabelecer a relação entre o processo de verticalização sofrido na cidade com o surgimento das ilhas de calor. Já no artigo produzido por Gonçalves (2017), ao analisar a formação das ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto em Anápolis, GO, também concluiu que a paisagem urbana está relacionada ao microclima local, necessitando de medidas para mitigá-las. Barros e Lombardo (2016), estudaram a relação da ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo, SP, constatando que “a baixa ou total ausência de vegetação apresentou-se como a principal causa da distribuição espacial e da intensidade da ilha de calor urbana”, sendo que a melhor relação espacial se deu onde localizava-se indústria, comércio e serviço.

O aumento da temperatura do ar impacta a fauna e flora, aumentando a disseminação de doenças causadas por vetores como a dengue, zika vírus e chicungunya. A taxa de incidência da dengue em São Paulo nos anos de 2010 e 2011 foi maior do que em áreas onde havia menos cobertura arbórea e altas temperaturas superficiais do que em áreas com maior vegetação. Além do que, as modificações de calor urbano aumenta a dispersão de poluentes, aumentando a incidência de doenças relacionadas à poluição (FAJERSZTAINS *et al.*, 2016).

Outra consequência do aumento de temperatura é o aumento de consumo de energia elétrica pelas edificações para o condicionamento do ambiente. Com a alteração dos padrões de ventos e temperaturas pelos “canyons” urbanos, o potencial de aproveitamento de estratégias passivas é afetada, necessitando de um maior uso de ar condicionado, (BARROSO-KRAUSE, 2011; BARBIRATO *et al.*, 2011).

Lisa Gartland, em seu livro Ilhas de Calor de 2010, investigou três estratégias para a mitigação das ilhas de calor: uso de pavimentos frescos, de coberturas frescas, e árvores e vegetações. Para criar pavimentos frescos é possível por meio da mudança de cor para uma mais clara, aumentando sua refletância solar para 25% ou mais e/ou tornando-o permeável, drenando a água que posteriormente será evaporada, resfriando o pavimento (GARTLAND, 2011).

As coberturas frescas podem chegar a 50°C enquanto as coberturas tradicionais chegam a 90°C, mas para isso ocorrer é necessário que se escolha um material que durante

os picos de calor do verão possuam alta refletância e emissividade térmica acima de 85% (GARTLAND, 2010).

Por último, as vegetações e árvores diminuem a temperatura circundante por meio da evapotranspiração e promovem sombra para a superfície, bloqueando a entrada de raios solares, sendo que elas são ainda mais úteis se plantadas em áreas estratégicas. Além das árvores, outras opções são as trepadeiras em treliças e as coberturas verdes (GARTLAND, 2010).

b) Tipos de telhado verde

Um telhado verde convencional é composto pelo suporte estrutural, o telhado da construção, necessitando uma avaliação da carga permanente e acidental; a camada impermeabilizante impossibilita que a água atravesse essa estrutura, escoando-a para as calhas projetadas hidraulicamente; a camada protetora para que as raízes não prejudiquem a camada impermeabilizante; o isolamento térmico para dificultar a dissipação de calor; e o substrato, uma camada de terra para o apoio da vegetação (PENDIUK, MOISÉS, PEREIRA, 2017).

O telhado verde extensivo é composto por uma camada de plantas de pequeno porte, tipo rasteira, com uma camada de solo de 5 a 15 cm de espessura, acrescentando à carga da estrutura entre 70 a 170 kg/cm² composto por gramíneas e aromáticas, sendo as mais utilizadas do gênero *Sedum*, e as espécies de mudas de Batata doce (*Ipomoea batatas*) e o Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) (PENDIUK, MOISÉS, PEREIRA, 2017). Esse tipo de cobertura é caracterizado pela alta resistência a variação climática e pluvial, quase não necessitando de manutenção (BRITO, COSTA, DREIER, SOUSA, RUSCHEL, 2018).

Já o telhado verde intensivo é composto por plantas de grande porte, sendo exigido um solo mais profundo, acima de 15 cm, aumentando o peso sobre a estrutura de 290 a 970 kg/m². As espécies mais comuns a serem utilizadas são: Cebolinha-de-jardim (*Bulbine frutescens*), a Margarida amarela (*Coreopsis lanceolata*), Orelha-de-rato (*Dichondra repens*), Capim-chorão (*Eragrostis curvula*), Azulzinha (*Evolvus glomeratus*), Cacto-margarida (*Lampranthus roductus*), Cambará (*Lantana camara*), Falso-íris (*Neomarica caerulea*), Grama-batatais (*Paspalum notatum*) e entre outras (PENDIUK, MOISÉS, PEREIRA, 2017). Portanto, exige um ambiente mais complexo para sobreviver e com as cargas melhor distribuídas (BRITO, COSTA, DREIER, SOUSA, RUSCHEL, 2018).



(a)



(b)

Figura 1 - (a) Telhados verdes extensivo; (b) Vista aérea de uma cobertura verde intensiva.

Fonte: <https://www.greenroofs.wordpress.com>

c) Desempenho e balanço térmico dos telhados verdes

Os telhados verdes são capazes de alterar o desempenho e balanço energético, sendo resultado de uma combinação de fatores, segundo Mendes (2017).

O primeiro fator é a reflexão da radiação solar: o tecido foliar absorve o espectro solar referente aos pigmentos sintetizantes, como a clorofila que absorve a luz azul e vermelha, e os pigmentos acessórios, como carotenoides que absorvem o verde. O espectro do infravermelho próximo é o que causa a metade da sensação de calor ao nos expormos ao Sol, quando a massa foliar reflete-o, diferente de materiais escuros que o absorveria, retendo o calor, demonstrando que o teto verde funciona como um material “branco” (MENDES, 2017).

O segundo fator é a emissão da radiação de ondas longas, também chamada de radiação infravermelha, emitida pelos materiais devido às suas características térmicas. Elementos que possuem um maior grau de emissividade, como a água e a vegetação, garantem que a energia seja rapidamente dissipada. Enquanto o telhado verde dissiparia rapidamente, materiais cerâmicos e de concreto seria de emissividade média e os metais, baixa, ou seja, demoram mais tempo para dissipar esta energia, (MENDES, 2017).

Outro fator é o calor latente: pela falta de água em coberturas mais tradicionais, faz com que não ocorra a transformação de calor sensível em calor latente, o que ocorre em um telhado verde, pois possuem o mecanismo de evapotranspiração (MENDES, 2017).

Por último, o autor considera o fator da inércia térmica, onde o substrato contribui para que haja um atraso e um amortecimento dos picos de temperaturas, sendo também uma estratégia arquitetônica utilizada em edificações por meio da adoção de espessas paredes de concreto ou pedra, especialmente em climas secos, (MENDES, 2017).

Já existem muitos trabalhos na literatura científica que evidenciam a eficiência do uso de telhado verde no comportamento térmico. Liz *et al.* (2016) em sua pesquisa sobre o uso de telhado extensivo em Florianópolis demonstraram que um telhado verde com o uso de grama da variedade *Preta* consegue transferir menos calor do que uma grama da variedade *Sempre Verde* e ainda mais das amostras sem vegetação por conta do processo de evapotranspiração e a capacidade de sombreamento. No trabalho de VECCHIA (2005) sobre cobertura verde leve (CVL) em ensaio experimental, obteve-se a comparação de temperaturas máximas, médias e mínimas e a amplitude térmica (A) dos materiais de telha cerâmica, aço galvanizado, fibrocimento ondulada 6mm, laje concreto e a CVL, onde demonstra que as temperaturas menores de troca de calor foram sempre da CVL. Mais um exemplo é o estudo feito por Andrade e Roriz (2008) sobre o comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos, SP, onde obtiveram, também a conclusão da contribuição significativa das coberturas verdes onde as temperaturas superficiais do telhado verde se mostraram menores quando comparado a uma laje tradicional.

Sobre a interferência da cobertura verde com o entorno imediato da edificação, Rosseti *et al.* (2011), concluíram que o telhado verde é capaz de otimizar as condições de conforto térmico em seu entorno, aumentando a umidade relativa do ar e a sua temperatura, em estações seca, porém, nas estações úmidas isso não é significativo. Já a pesquisa de Rosseti *et al.* (2014), sobre a influência para os pedestres demonstrou que o sistema teve maior influência, também, nos períodos secos, pois a elevada quantidade de vapor de águas dos períodos chuvosos faz com o que a evapotranspiração seja imperceptível.

3. METODOLOGIA

Este trabalho experimental utilizou o software ENVI-met para o estudo do impacto da adoção de telhados verdes sobre a temperatura do ar de uma porção urbana. O software ENVI-met foi desenvolvido pelo Professor Michael Bruse enquanto docente da Universidade de Bochum, Alemanha e é um modelo tridimensional virtual que simula o microclima urbano por meio das interações entre superfície-vegetação-atmosfera.

A metodologia desta pesquisa baseia-se no trabalho de Maciel (2014) e abrange as seguintes fases:

a) *fase preparatória* - onde foram desenvolvidas etapas necessárias para aquisição de informações e dados para preparação dos arquivos a serem simulados. Tal etapa cobre a definição das áreas de estudo e caracterização das mesmas acerca dos atributos físicos que as compõem, além da obtenção de dados microclimáticos e tabulação dos mesmo para posterior inserção no ambiente virtual (ENVI-met);

Foi selecionada a área de estudo localizada no bairro Parque Residencial dos Lagos, próximo ao Projeto Urbanístico Cantinho do Céu.

A área compreendida (figura 2a) tem dimensão de 270x270 metros, selecionada a partir do critério de representar as variações e contrastes das características físicas destes espaços, principalmente no que se refere ao traçado urbano, gabarito de edificações e formas de ocupação.

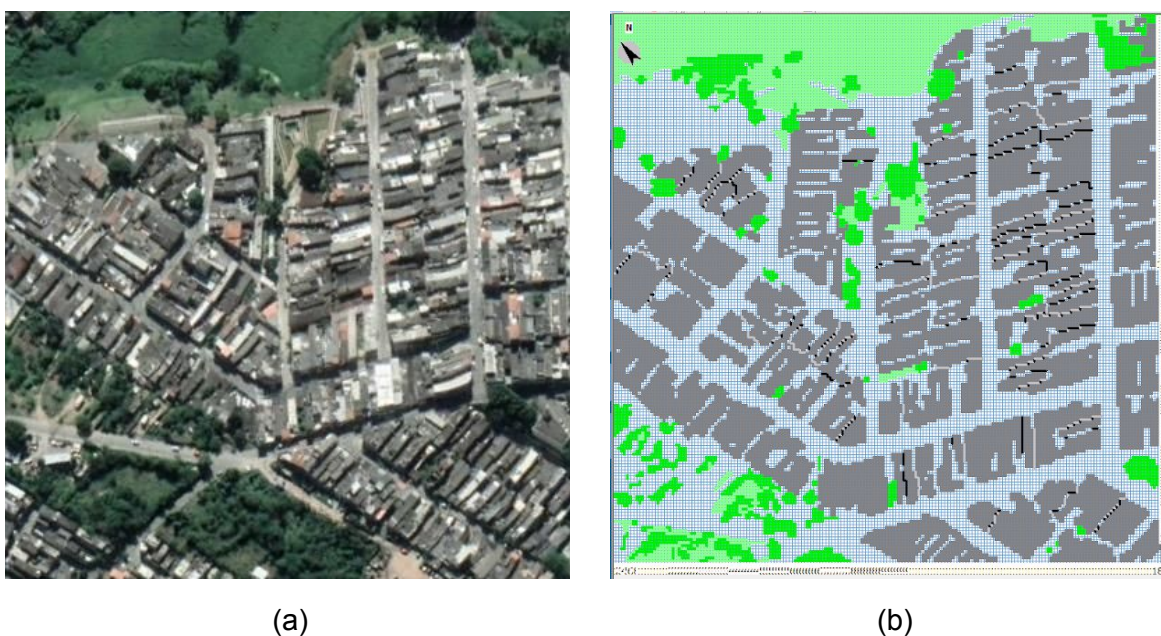


Figura 2 – Área de estudo – Parque Residencial dos Lagos (a) Imagem obtida no Google Earth (b) dados inseridos no software ENVI-met.

Fonte: Adaptado de GoogleEarth (2019) e autoria própria.

b) *fase da simulação numérica* – que engloba a composição, dentro do software ENVI-met, dos arquivos de condições micrometeorológicas e de informações físicas da área (figura 2b). As simulações serão feitas para condição de verão, contemplando a situação atual e cenário hipotético com a aplicação de telhado verde sobre coberturas das edificações existentes;

O contexto climático do estudo é a cidade de São Paulo, com clima classificado de Cwa (tropical de altitude também denominado mesotérmico de inverno seco) de acordo com

Köppen², com temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e do mês mais quente superior a 22°C. As simulações computacionais foram desenvolvidas com o software ENVI-met, considerando as condições meteorológicas do dia 21 de dezembro de 2018 (solstício de verão).

O arquivo de configuração do software ENVI-met define as condições de inicialização da atmosfera do período a ser estudado, e necessita das seguintes informações:

- Dia de início da simulação, em formato DD.MM.AAAA;
- Horário de início da simulação, em formato HH:MM:SS;
- Período total de simulação, em horas;
- Frequência de registro de dados do estado do modelo, em minutos;
- Velocidade do vento a 10m de altura, em m/s;
- Direção do vento, em graus em relação ao Norte;
- Rugosidade da superfície no ponto de referência;
- Temperatura inicial da atmosfera, em K;
- Umidade específica a 2500m, em g H₂O/kg ar;
- Umidade relativa do ar a 2m de altura, em %.

Os dados de entrada do software foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia para a estação OMM: 86910 - São Paulo, Mirante de Santana, (INMET, 2019).

c) *análise dos resultados* – a partir dos cenários hipotéticos simulados com o software, foi comparada a diferença de temperatura devido à tipologia de telhado verde utilizado, buscando-se avaliar o impacto da adoção desta estratégia para a edificação e seu entorno próximo. Os mapas apresentam a variação de temperatura do ar verticalmente (cortes AA - sentido leste-oeste e BB - sentido norte-sul), e horizontalmente, à altura de 7 m a partir do solo, por ser próximo à altura das coberturas das edificações da área. Os horários de análise - 6h, 15h e 21h - foram definidos de acordo com a recomendação da OMM³ para estudos de clima urbano.

² PEEL, Murray C.; FINLAYSON, Brian L.; MCMAHON, Thomas A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences discussions**, v. 4, n. 2, p. 439-473, 2007.

³ Organização Mundial de Meteorologia.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas análises acerca do ambiente térmico da área de estudo – Parque Residencial dos Lagos, para a aplicação de telhado verde extensivo e intensivo.

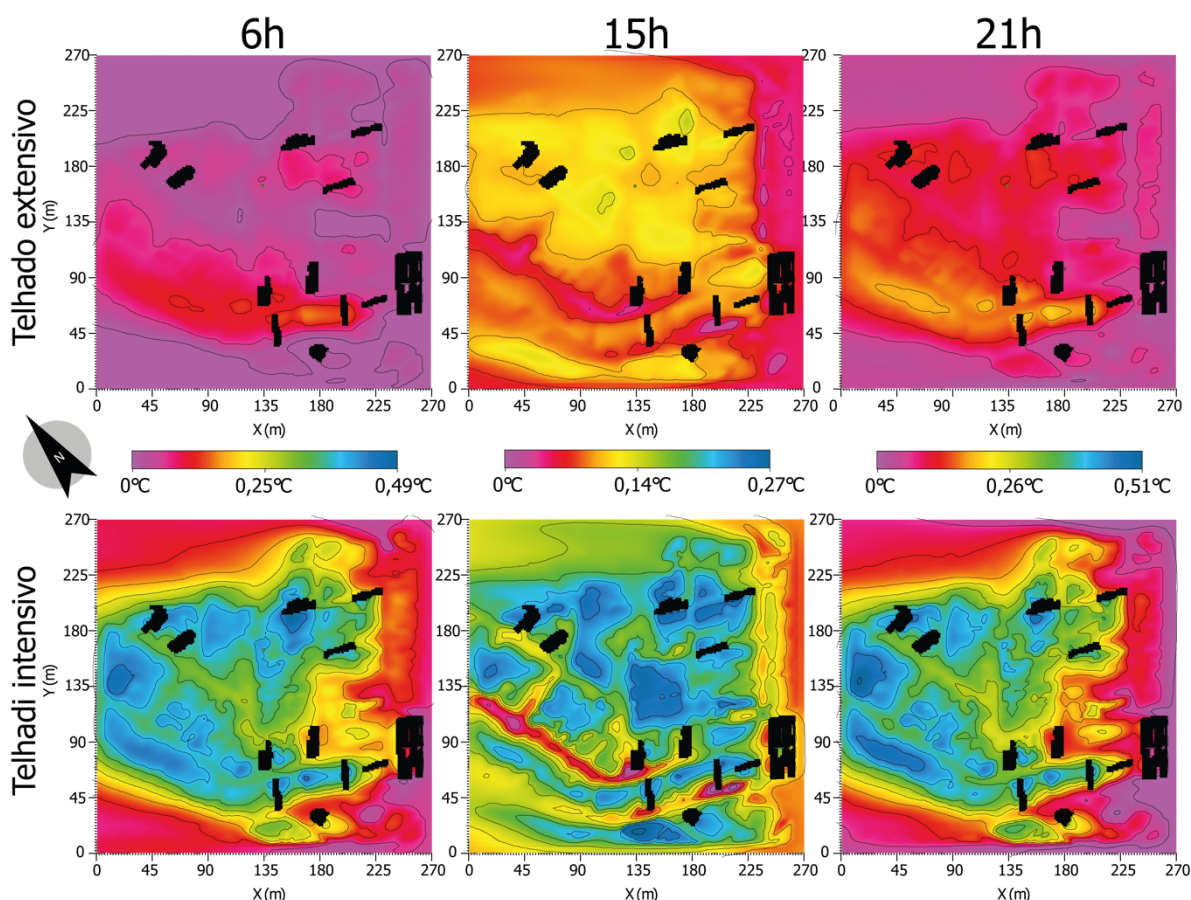


Figura 3 – Mapas térmicos com diferenças de temperatura para telhado verde extensivo e telhado verde intensivo ($h=7m$).

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a figura 3, às 6hs, o início da manhã, pode-se perceber uma melhora discreta no mapa do telhado extensivo com uma variação de $0,09^{\circ}\text{C}$ a $0,12^{\circ}\text{C}$ mais ao sul. Em contrapartida, no telhado intensivo, houve uma diferença de temperatura mais acentuada: no entorno do mapa, com menos variação, chegou a diferença de $0,12^{\circ}\text{C}$, enquanto na área central do mapa, em alguns pontos, chegou à $0,49^{\circ}\text{C}$. Sendo a média no telhado intensivo ($0,36^{\circ}\text{C}$) maior que a média do extensivo ($0,15^{\circ}\text{C}$).

Às 15hs, o impacto da incorporação dos telhados se torna menos centralizado, podendo identificar maiores manchas amareladas à azuladas. Neste período, foi verificado uma redução de temperatura em média de $0,15^{\circ}\text{C}$ para o telhado extensivo e de $0,23^{\circ}\text{C}$ para o telhado intensivo, com valores pontuais de até $0,27^{\circ}\text{C}$.

Às 21h a variação é reduzida, sendo maior na área central do mapa, mas ainda com maior variação do que no período das 6h. Dessa forma, nesse horário, a média do telhado extensivo é de 0,19°C, com valores pontuais de até 0,23°C, e no telhado intensivo a média é de 0,34°C, com valores pontuais de até 0,51°C.

A partir dos mapas apresentados, é possível perceber que, para ambos os sistemas, o horário que sofre maior impacto é às 15h com redução, em média, de 0,15°C no extensivo e 0,23°C para o intensivo, porém a redução por meio do telhado verde ocorre nos três horários analisado. Além disso, é possível perceber, também, que a concentração de massa edificada com um sistema verde faz com que ocorra um aumento na redução da temperatura se comparado com edificações mais afastadas e que as maiores reduções de temperatura ocorrem, para os três momentos analisados, no sistema intensivo, tanto em média como em valores pontuais.

De acordo com a figura 4, às 6h pode-se notar a redução de temperatura em média de 0,1°C entre o nível da rua para os 40m de altura no sistema extensivo, e de 0,38°C para o sistema intensivo com regiões pontuais que chegam até 0,56°C, enquanto no telhado extensivo é de no máximo, 0,2°C.

Às 15h a redução média do telhado extensivo é de 0,25°C, com regiões pontuais com redução de até 0,3°C localizados próximo ao sistema. Enquanto no telhado intensivo a média é de 0,36°C, com regiões pontuais chegando a 0,42°C próximo ao sistema.

Às 21h a redução média do telhado extensivo é de 0,16°C com regiões pontuais de 0,24°C localizados próximo ao sistema. No telhado intensivo a redução de temperatura média é de 0,24°C, com regiões pontuais de 0,51°C próximo ao sistema.

Nos três cortes é possível perceber que a redução de temperatura se prevalece onde os telhados se encontram mais próximos (edifícios da direita) em detrimento de telhados distantes (edifícios à esquerda), sendo que os edifícios mais baixos conseguem intervir na temperatura no passeio do pedestre, sendo essa modificação de temperatura menos perceptível em edifícios mais altos. Além disso, a redução se torna mais significativa quanto mais perto está dos sistemas, sendo que essa redução é maior nos sistemas extensivos comparando ao intensivo, nos três momentos estudados.

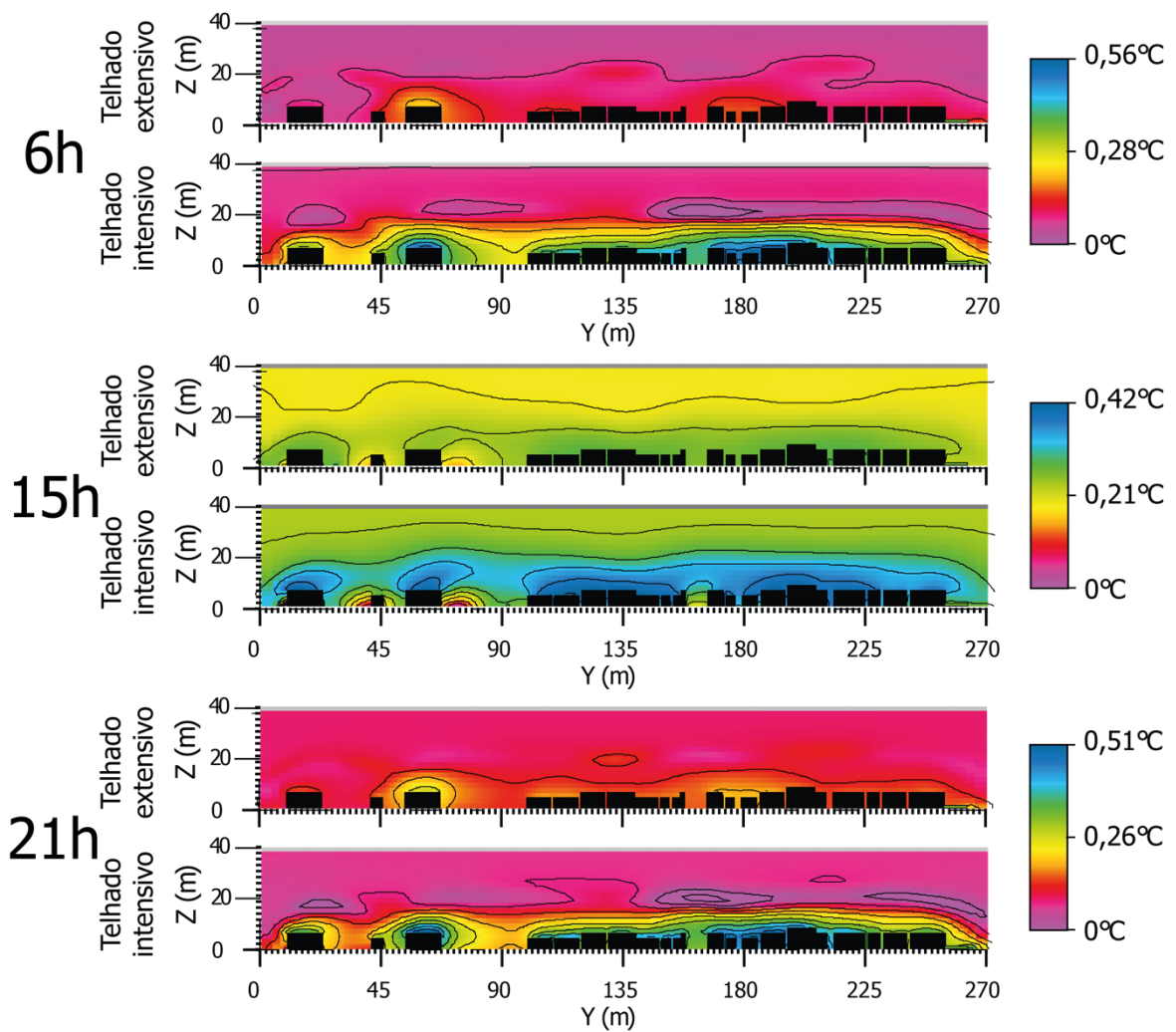


Figura 4 – Mapas térmicos com diferenças de temperatura para telhado verde extensivo e telhado verde intensivo (corte AA - sentido leste-oeste).

Fonte: Autoria própria.

A redução de temperatura consegue atingir até a 40m de altura do nível do solo, sendo que a maior redução se encontra às 15h para ambos os sistemas, sendo a maior redução pelo sistema extensivo.

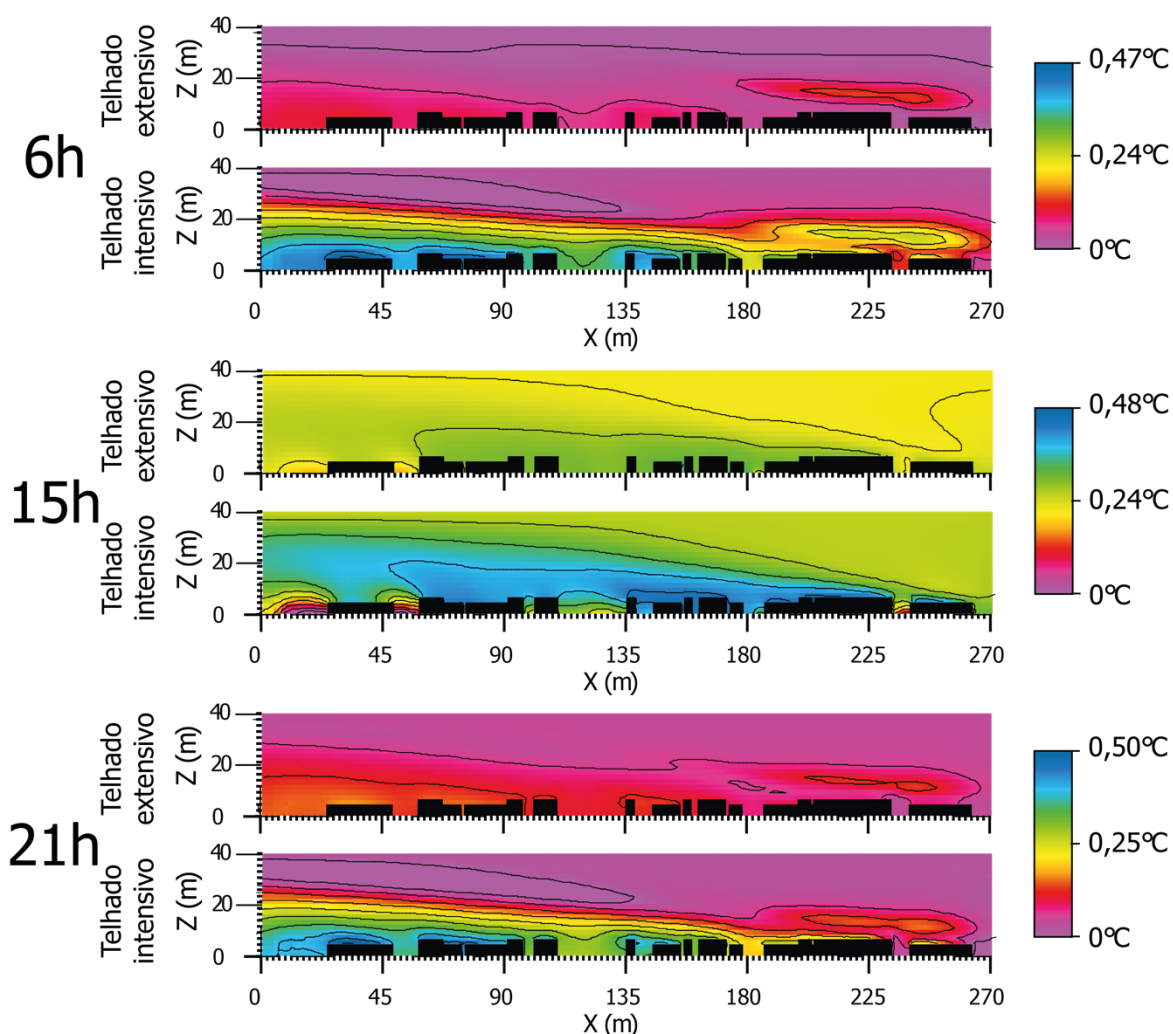


Figura 5 – Mapas térmicos com diferenças de temperatura para telhado verde extensivo e telhado verde intensivo (corte BB - sentido norte-sul).

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a figura 5, às 6h pode-se notar a redução de temperatura em média de $0,06^{\circ}\text{C}$ entre o nível da rua para os 40m de altura no sistema extensivo, e de $0,23^{\circ}\text{C}$ para o sistema intensivo com regiões pontuais que chegam até $0,47^{\circ}\text{C}$, enquanto no telhado extensivo é de no máximo, $0,2^{\circ}\text{C}$.

Às 15h a redução média do telhado extensivo é de $0,28^{\circ}\text{C}$, com regiões pontuais com redução de até $0,36^{\circ}\text{C}$ localizados próximo ao sistema. Enquanto no telhado intensivo a média é de $0,30^{\circ}\text{C}$, com regiões pontuais chegando a $0,48^{\circ}$ próximo ao sistema.

Às 21h a redução média do telhado extensivo é de $0,10^{\circ}\text{C}$ com regiões pontuais de $0,20^{\circ}\text{C}$ localizados próximo ao sistema. No telhado intensivo a redução de temperatura média é de $0,29^{\circ}\text{C}$, com regiões pontuais de $0,50^{\circ}\text{C}$ próximo ao sistema.

Nos três cortes também é possível perceber que a redução de temperatura se prevalece onde os telhados se encontram mais próximos em relação dos telhados de edifícios mais distantes entre si, sendo que a os edifícios mais baixos conseguem intervir na temperatura no passeio do pedestre, sendo essa modificação de temperatura menos perspicaz em edifícios mais altos. Além disso, a redução se torna mais significativa quanto mais perto está dos sistemas, sendo que essa redução é maior nos sistemas extensivos comparando ao intensivo, nos três momentos estudados.

A redução de temperatura consegue atingir até a 40m de altura do nível do solo, sendo que a maior redução se encontra às 15h para ambos os sistemas, sendo a maior redução pelo sistema extensivo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados é possível verificar que a porção urbana localizada no bairro Parque Residencial dos Lagos, próximo ao Projeto Urbanístico Cantinho do Céu, foi adequada para o desenvolvimento do estudo, oferecendo condições propícias às estratégias utilizadas.

O software ENVI-met utilizado se mostrou uma ferramenta útil para verificação a diferença de temperatura pela utilização dos sistemas verdes, permitindo simular situações em diferentes planos, horários e situações visando demonstrar a mitigação das ilhas de calor no local.

Nas duas estratégias adotadas apresentaram uma redução na temperatura do ar, em maior ou menor grau, nos períodos estudados mostrando o potencial em que essas estratégias possuem como forma de mitigação das ilhas de calor.

O maior efeito para a redução de temperatura média do ar foi registrado pelo sistema extensivo no horário das 15hs, demonstrando a capacidade de melhor mitigação do extensivo em comparação ao intensivo.

Foi possível perceber que a adoção de telhados verdes como método para a mitigação faz com que seu efeito seja no momento de maior presença de radiação solar.

Portanto, espera-se que por meio dos resultados seja enriquecido o estudo de conforto ambiental tanto para o estado de São Paulo como também para a região bioclimática ao qual o Brasil se insere, demonstrando o papel dos telhados verdes para a

mitigação das ilhas de calor como agente amenizador do bioclima local que as cidades impõem.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, N. C.; RORIZ, M. Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *Brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos, SP. **XII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**. Fortaleza, CE, 2008.

BALDESSAR, Silvia; TAVARES, Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Paraná, 2012.

BARBIRATO, G.M.; TORRES, S. C.; SOUZA, L. C. L. Clima Urbano e eficiência energética nas edificações. **Procel Edifica**, Rio de Janeiro, 2011.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A Ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp - Espaço e Tempo** (Online), v20, n.1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

BARROSO-KRAUSE, C. Desempenho térmico e eficiência energética em edificações. **Procel Edifica**, Rio de Janeiro, 2011.

BRITO, M.; COSTA, P.; DREIER, M. C.; SOUSA, R.E.; RUSCHEL, A. C.; A implantação do telhado verde e sua efetividade no meio urbano. 6º **Simpósio de sustentabilidade e Contemporaneidade e nas Ciências Sociais**, 2018.

CATUZZO, Humberto. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 2013
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18122013-123812/en.php>>

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. São Paulo, 2014.

COSTA, L. M. O; LIMA, F. R. S. Economia de energia com ar condicionado proporcionada por telhados verdes e refletivos em diferentes climas do Brasil. **Anais do Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, v. 12, p. 32-39, 2017.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P.H.N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? **Estudos avançados**, 2016.

GARTLAND, L. Heat Islands: Understanding and mitigating heat in urban areas, 2011.

GOMES, Aline D. N et al. **Uma Breve Análise sobre a Eficiência do Telhado Verde como Alternativa Ecológica para as Construções Civas**. 2011. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental. Universidade do Grande ABC, Santo André, 2011.

GONÇALVES, P. H. Climatologia urbana e ilhas de calor em Anápolis - GO. **XIV ENCAC X ELACAC**, Balneário Camboriu, 2017.

ILHA, M.S.O.; REIS, R. P. A.; SILVA, V. G.; IBIAPINA, M. Coberturas verdes e a gestão da água pluvial no lote. **XIV ENTAC: encontro nacional de tecnologia do ambiente**. Juiz de Fora, 2012.

JACOBSON, M. Z.; TEN HOEVE, J. E. Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate. **Journal of Climate**, v. 25, n. 3, p. 1028-1044, 2012.

INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **BDMEP**, 2019.

KOLOKOTSA, D., MARAVELAKI-KALAITZAKI, P., PAPANTONIOU, S., VANGELOGLOU, E., SALIARI, M., KARLESSI, T. & SANTAMOURIS, M. Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures, **Solar Energy**, vol. 86, no. 5, pp. 1648-1659, 2013.

KOTTEK, Markus et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LIZ, D. G.; MIZGIER, M. O.; GUTHS, S. Análise experimental do comportamento término do telhado verde extensivo para Florianópolis. **Anais do XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Paulo, 2016.

MACIEL, C. R. **Condições Microclimáticas de Espaços Abertos: Simulação de Estratégias por meio do Software ENVI-Met**. 93f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

MENDES, B. Estratégias para uma infraestrutura verde, **A paisagem elevada dos tetos verdes**, cap. 9, pp. 183-212, 2017.

NASCIMENTO, W. C.; FREITAS, M. C. D.; SCHMID, A. Coberturas verdes- A renovação de uma idéia. **XII encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**. Fortaleza, CE, 2008.

NASCIMENTO, W. C.; SCHMID, A. L. Coberturas verdes na região metropolitana de Curitiba - barreiras e potencial de estabelecimento na visão dos profissionais da construção civil.

NASCIMENTO, W. C.; SCHMID, A. L. Devolvendo o verde às coberturas urbanas - um caso de restituição legítima. **IX Encontro Nacional e V Latino Americano de conforto no ambiente construído**. Ouro Preto, 2007.

OBERNDORFER, Erica et al. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

ONU – **Organização das Nações Unidas. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**, 2008. Disponível em: <<http://www.ipcc.com/>>. Acesso em: 21 set. 2018.

PENDIUK, F.; MOISÉS, I. C.; PEREIRA, M.P.; Telhado verde: a evolução da tecnologia e suas funcionalidades. **Gest., Tecnol. e Inov. Vol. 01 n.3**. 2017, Setembro-Dezembro.

POSTIGO, C. P.; SOUZA, L. C. L. Ambiente térmico urbano: verticalização, acesso solar e formação de ilhas de calor. **IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Ouro Preto, 2007.

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; FRANCO, F. M.; NOGUEIRA, J. S. Análise da interferência da cobertura verde na temperatura e umidade relativa do ar no entorno de uma edificação - estudo de caso em protótipo no município de Cuiabá, MT. **XI ENCAC VII ELACAC**, Búzios, RJ, 2011.

ROSSETI, K.A.C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met**. 2013. 273f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M.; CALLEJAS, I. DURANTE, L. KUHNEN, I. A.; NOGUEIRA, J. Efeitos de telhados vegetados no conforto térmico de pedestres: simulação pelo software ENVI-Met. **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, v. 15, p. 332-341, 2014.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **ScienceDirect** v. 40, p. 1466-1478, 2008.

SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado Verde: Sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Agosto, 2011. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/73.pdf>>.

SOUZA, L. C. L.; TENETE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre em uma fração urbana de Bauru-SP. **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de conforto no ambiente construído**, Natal, 2009.

SOUZA, Jonathas Fabricio de; LARA, Leandro de. **Análise comparativa e comportamental de substrato rígido para telhado verde com uso de concreto permeável**. 2011. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.<<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/391>>.

VECCHIA, F. Cobertura verde leve (CVL): Ensaio Experimental. **ENCAC - ELACAC**, Maceió, Alagoas, 2005.

VERGARA, L. G. L.; PIPPI, L. G. A.; BARBOSA, A. R. Aplicação de telhado verde como tecnologia sustentável para o projeto de edificações residenciais. **X encontro nacional e VI encontro Latino Americano de conforto no ambiente construído**. Natal, 2009.

Contatos: sarapds15@gmail.com e carolina.maciel@mackenzie.br