

As Superfícies Vegetadas como Alternativa para Cidades Resilientes

Vegetated Surfaces as an Alternative to Resilient Cities

Las Superficies Vegetadas como Alternativa para Ciudades Resilientes

Mariana Daré Araujo Neves. Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santos (Ufes), Vitória, ES, Brasil.

E-mail: maridare.eng@gmail.com

Daniella do Amaral Mello Bonatto. Doutora em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Espírito Santo e Professora Adjunta da Universidade Federal do Espírito Santo.

E-mail: daniella.bonatto@ufes.br

Resumo

Os processos de urbanização brasileira têm levado à redução das áreas verdes, à formação de ilhas de calor, entre outros problemas. A inserção de plantas no espaço urbano por meio de paredes e telhados verdes é uma possibilidade para criar espaços verdes em áreas urbanas densas e com restrição de calçadas, que não têm capacidade para receber arborização urbana. O objetivo deste artigo é analisar o comportamento de variáveis climáticas para um cenário urbano existente e para dois cenários simulados – um com implantação de paredes verdes e outro com implantação de telhados verdes. Utilizou-se como estudo de caso um trecho de cânion urbano no centro de Vitória-ES. As simulações foram feitas no *software* ENVI-met e os resultados encontrados demonstraram que a inserção da vegetação nas paredes é mais eficiente que nos telhados, no que diz respeito ao conforto térmico no nível do pedestre, no cânion estudado. O cenário mais promissor foi o das paredes vegetadas, que diminuiu em até 2,5 °C a temperatura do ar, aumentou a umidade relativa em até 5,76% e melhorou o índice PMV (Voto Médio Predito) em 1 ponto na escala de sensações. As simulações demonstraram a eficiência das paredes verdes em melhorar o microclima urbano em área consolidada e que não teria capacidade de receber arborização urbana. Estudos como este podem colaborar para o desenvolvimento da pesquisa aplicada ao contexto brasileiro, com adequação dos aspectos climáticos e de vegetação, ainda pouco desenvolvidos. Também pode colaborar com a demonstração das superfícies vegetadas como estratégia eficiente para implantação de corredores verdes em áreas urbanas consolidadas e sua disseminação no poder público. Por fim, as paredes verdes se mostram uma alternativa adequada e possível para a minimização da ilha de calor nos centros urbanos, de modo que cabe às políticas públicas e ao planejamento

urbano estimular a sua implantação.

Palavras-chave: Superfícies vegetadas; ENVI-met; Conforto térmico.

Abstract

The processes of urbanization of the Brazilian currency are responsible for the reduction of green areas, the formation of islands of heat, among other problems. The insertion of plants in urban space through green walls and roofs is a possibility to create green spaces in dense urban areas with restricted sidewalks that do not have the capacity to receive urban afforestation. The objective of this article is to analyze the behavior of climatic variables for an existing urban scenario and for two simulated scenarios - one with green walls and the other with green roofs. We used as a case study a stretch of urban canyon in the center of Vitória-ES. The simulations were carried out in the ENVI-met software and the results showed that the vegetation insertion on the walls is more efficient than on the roofs, with respect to thermal comfort at the pedestrian level, in the studied canyon. The most promising scenario was that of vegetated walls, which decreased the air temperature by up to 2.5 °C, increased the relative humidity by up to 5.76%, and improved the PMV (Predicted Mean Vote) index by 1 point on the scale of sensations. The simulations demonstrated the efficiency of green walls in improving the urban microclimate in a consolidated area that would not have the capacity to receive urban afforestation. Studies such as this one can contribute to the development of research applied to the Brazilian context, with adequacy of climatic and vegetation aspects, still underdeveloped. It can also collaborate with the demonstration of vegetated areas as an efficient strategy for the implantation of green corridors in consolidated urban areas and their dissemination with the public power. Finally, green walls are an adequate and possible alternative for the minimization of heat island in urban centers, and public policies and urban planning should stimulate their implementation.

Keywords: vegetated Surface; ENVI-met; Thermal confort.

Resumen

Los procesos de urbanización brasileña han llevado a la reducción de las áreas verdes, a la formación de islas de calor, entre otros problemas. La inserción de plantas en el espacio urbano por medio de paredes y techos verdes es una posibilidad para crear espacios verdes en áreas urbanas densas y con restricción de calzadas, que no tienen capacidad para recibir arborización urbana. El objetivo de este artículo es analizar el comportamiento de variables climáticas para un escenario urbano existente y para dos escenarios simulados, uno con implantación de paredes verdes y otro con implante de techos verdes. Se utilizó como estudio de caso un trecho de cañón urbano en el centro de Vitória-ES. Las simulaciones se realizaron en el software ENVI-met y los resultados encontrados demostraron que la inserción de la vegetación en las paredes es más eficiente que en los techos, en lo que se refiere al confort térmico a nivel del peatón, en el cañón estudiado. El escenario más prometedor fue el de las paredes vegetadas, que disminuyó en hasta 2,5 °C la temperatura del aire, aumentó la humedad relativa en hasta 5,76% y mejoró el índice PMV (Voto Medio Previsto) en 1 punto en la escala de sensaciones. Las simulaciones demostraron la eficiencia de las paredes verdes en mejorar el microclima urbano en área consolidada y que no tendría capacidad de recibir arborización urbana. Estudios como éste pueden colaborar para el desarrollo de la investigación aplicada al contexto brasileño, con adecuación de los aspectos climáticos y de vegetación, aún poco desarrollados. También puede colaborar con la demostración de las superficies vegetadas como estrategia eficiente para implantación de corredores verdes en áreas urbanas consolidadas y su diseminación junto al poder público. Por último, las paredes verdes se muestran una alternativa adecuada y posible para la minimización de la isla de calor en los centros urbanos, debiendo las políticas públicas y la planificación urbana estimular su implantación.

Palabras clave: Superficies vegetadas; ENVI-met; Confort térmico.

INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização atuais geram graves impactos socioambientais devido à sua intensa transformação do meio natural, e, dentre os mais evidentes, são aqueles relacionados à formação de um clima urbano específico (DUMKE, 2007). Mascaró (2006) complementa que os diferentes microclimas urbanos já evidenciam as alterações por causa da perda da cobertura vegetal, o que, em termos quantitativos, é demonstrado na fragmentação das áreas verdes e na consequente modificação da ambiência urbana.

Na maior parte dos espaços urbanos, a vegetação é encontrada em áreas como parques ou espaços de recreação. Porém, essas massas vegetadas não conseguem atingir áreas com adensamento construtivo e onde os cidadãos circulam e trabalham nas áreas da cidade (ROSSETI; NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2013).

Para Costa e Ferreira (2009), a vegetação como elemento natural inserido na cidade pode ser capaz de promover melhorias no ambiente urbano, principalmente no que se refere à minimização das temperaturas e à promoção do conforto térmico e do bem-estar físico.

Uma estrutura adequada ao clima urbano deveria relacionar as intervenções urbanas com as diferentes formas de uso/ocupação dos espaços construídos e com os elementos climáticos (DUMKE, 2007).

Nesse contexto, a criação de cidades resilientes é uma oportunidade para se obter um projeto urbano cujas alterações consideram os riscos que a própria cidade produz (FARIAS, 2017). A resiliência urbana considera as práticas de adoção de estratégias voltadas para o equilíbrio entre o ambiente natural e o construído, visando ao uso adequado do solo e enfatizando a inserção de elementos naturais como solução para os principais problemas de ordem climática.

Sendo assim, o emprego de componentes naturais na arquitetura dos edifícios, como os jardins verticais, representa importante alternativa para minimizar os impactos no ambiente local e aumentar exponencialmente a área vegetada nas cidades. A implantação de superfícies vegetadas no meio urbano possibilita reabilitar áreas, de modo a torná-las mais resilientes no que se refere à “capacidade de um sistema absorver impactos e manter suas funções ou propósitos, isto é, sobreviver ou persistir em ambiente com variações, incertezas” (HERZOG, 2013, p. 79).

De fato, existe a necessidade do desenvolvimento de mais estudos acerca do impacto gerado pela adoção de superfícies vegetadas em áreas urbanas, sobretudo no que concerne às melhorias para o microclima urbano, ao bem-estar e à capacidade de retenção de águas pluviais. Este artigo tem a intenção de colaborar com a ampliação da base bibliográfica apresentando os resultados de uma simulação microclimática de um trecho de um cânion urbano localizado na cidade de Vitória-ES.

O CLIMA URBANO E A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO

Urrestarazu e Burés (2012) descrevem que o desenvolvimento urbano vem alterando o clima urbano por utilização de materiais que retêm o calor e pela criação de superfícies impermeáveis que alteram também o ciclo da água.

O clima de uma região, segundo Givoni (1976), é determinado pelo padrão das variações dos elementos climáticos e de suas combinações. Os principais elementos, considerando o conforto humano e o desenho da edificação, são: radiação solar, perda de calor por radiação, temperatura do ar, pressão do ar e vento, umidade da atmosfera, condensação e precipitação.

Segundo Katzschner (1997), o estudo do clima urbano pode ser um instrumento importante para o projeto de criação de “clima urbano ideal”, pois esse projeto considera, por exemplo, a circulação do ar e as condições térmicas.

A rede viária tradicional, asfaltada, é a maior responsável pela impermeabilização do solo urbano e um dos elementos que mais contribui para a formação de ilhas de calor. O sombreamento por arborização urbana é desejável e necessário por causa do grande efeito sobre o microclima, sendo mais eficiente do que marquises e outros elementos horizontais. A vegetação atua sobre os elementos climáticos contribuindo para o controle da radiação solar, temperatura, umidade, ação dos ventos, ação da chuva e da poluição – sendo condição necessária para a resiliência urbana. A forma de atuação das massas vegetais variará de acordo com o tipo de vegetação presente, seu porte, tipo de copa, folhagem, idade, época do ano, formas de associação (se estão isoladas ou dispostas em conjunto; se há uma única espécie ou várias espécies misturadas) e dos recintos urbanos no seu entorno. A folhagem de uma árvore absorve e transforma a radiação solar, diminuindo a radiação que chega às superfícies. Sob a cobertura vegetada, a umidade relativa do ar é maior por causa da evapotranspiração, o que não ocorre no sombreamento por edifícios (BONATTO, 2015).

Nesse sentido, a arborização urbana passa a ser vista nas cidades como importante elemento natural reestruturador do espaço urbano, pois aproxima as condições ambientais normais da relação com o meio urbano e influencia na qualidade ambiental (RIBEIRO, 2009).

Mascaró e Mascaró (2009) descrevem que a vegetação pode contribuir para a amenização dos impactos ambientais, assim como para a melhoria das ambiências. De acordo com o tipo de espécies de vegetação, influenciam-se elementos climáticos, sobretudo temperatura, umidade e ventilação.

Vários estudos demonstraram a melhoria do microclima urbano, utilizando a vegetação como elemento atenuador e de contribuição para a sensação de bem-estar aos usuários (ABREU; LABAKI, 2010; MONTEIRO; ALUCCI, 2007; PEZZUTO *et al.*, 2011; SANTAMOURIS, 2001).

Um das estratégias para mitigar os efeitos negativos da urbanização é a incorporação de superfícies vegetadas, como as paredes verdes que podem servir como estratégia de inserção da vegetação em áreas urbanas, principalmente nas já consolidadas. Segundo Matheus *et al.* (2016, p. 72), de acordo com a tradição, as peles vegetadas verticais têm sido implantadas nas edificações por meio das plantas trepadeiras, em uma tipologia conhecida como paredes verdes.

De acordo com Valesan (2009, p. 56), existe uma gama de benefícios vinculados à vegetação que proporcionam versatilidade e vantagens ao ambiente construído.

Em relação aos benefícios térmicos na escala urbana, uma recente pesquisa experimental, conduzida por Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015), que fez parte do

programa francês VegDUD (que tem por objetivo pesquisar os efeitos da vegetação nas cidades), demonstrou os resultados em uma escala reduzida de edifícios com telhados e fachadas vegetados, destacando os efeitos térmicos e higrométricos no microclima urbano. Demonstrou-se que as paredes verdes podem reduzir em um terço o superaquecimento do cânion da rua por meio da evapotranspiração. Para os telhados verdes, retratou-se a mesma condição, porém de forma menos perceptível. Do mesmo modo, verificou-se que as utilizações de fachadas vegetadas reduziram em 4°C a temperatura radiante média.

Os benefícios associados à melhoria da qualidade do ar são descritos como a captação dos poluentes do ar e a filtragem de gases como CO₂ (GREEN ROOF ORGANIZATION, 2016). Embora o tema sobre as fachadas e telhados verdes não seja um novo conceito, as pesquisas correlacionadas são ainda recentes, como afirmam Kenai *et al.* (2014, p. 927).

O desenvolvimento da tecnologia de utilização de vegetação nos edifícios pode contribuir para as melhorias do conforto térmico, principalmente se os elementos vegetativos forem aplicados de forma congrua com as tipologias construtivas das áreas urbanas. Sendo assim, o emprego de componentes naturais em arquitetura, como os jardins verticais e telhados verdes, representa uma alternativa importante para minimizar os impactos no ambiente local e aumentar exponencialmente a área vegetada nas cidades.

O OBJETO DE ESTUDO

O município de Vitória, situado no estado do Espírito Santo (20°19'09' de latitude sul e 40°20'50' de longitude oeste, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE), está inserido, de acordo com NBR 15220-3, na Zona 8, que apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). Segundo o Censo do IBGE, em 2010, Vitória contava com uma população de 327.801 habitantes distribuídos em 98,5 km², conferindo uma densidade demográfica de 3.327,73 hab/km². Em 2018, a previsão de população realizada pelo IBGE era de 358.267 habitantes, o que teria aumentado a densidade demográfica para 3.637,2 hab/km² e diminuído, conseqüentemente, a distribuição de áreas verdes por habitante.

Vitória possui grandes áreas de ambientes naturais, embora grande parte da vegetação nativa tenha sido perdida em decorrência do crescimento da malha urbana. A distribuição das áreas verdes no município é diversificada na malha urbana, pois há porções insulares de variadas proporções, bem como porções no continente formadas por mangues, parques, praças e áreas reflorestadas, observando-se grandes interrupções (PENTEADO; ALVAREZ, 2007). A vegetação do município de Vitória é representada por diversos tipos, como manguezais, áreas urbanas com vegetação, campos e áreas com reflorestamentos. Cabe destacar a área central, carente de áreas verdes.

O bairro Centro, onde se desenvolveu o estudo (Figura 1), é caracterizado pelo centro histórico da cidade, possuindo edifícios institucionais e públicos. As atividades são de uso comercial, misto e residencial, com grande fluxo de pessoas, automóveis e serviços, excesso de carros estacionados nas ruas, - por causa da falta de estacionamentos -, e há excesso de poluição do ar, poluição visual, caracterização de ilha de calor e escassez de áreas vegetadas e de arborização urbana.

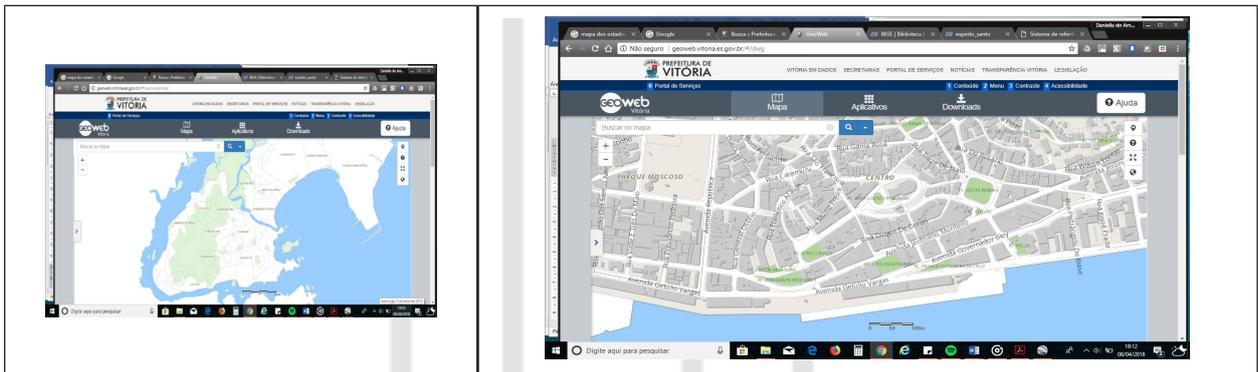


Figura 1: Mapa de Vitória e parte do Centro, com destaque em vermelho para a área de estudo.

Fonte: Prefeitura de Vitória/Geoweb, adaptada pelas autoras.

O recorte da área da Avenida Jerônimo Monteiro a ser simulado (Figura 2) foi definido pelos seguintes critérios: 1. ser uma área já consolidada em seu uso-ocupação; 2. inexistência de massas vegetadas nas calçadas, configurando um ambiente com desconforto térmico e sendo possível observar as possíveis alterações climáticas nas hipóteses de simulação de superfícies vegetadas; 3. largura pequena de calçadas que dificultassem a implantação de canteiros arborizados e que reforçassem as superfícies vegetadas como uma alternativa para melhoria do conforto térmico local; 4. existência de edificações aptas a receber superfícies verdes.



Figura 2: Trecho da Avenida Jerônimo Monteiro com a área a ser simulada.

Fonte: Neves (2017).

A Figura 3 apresenta duas fotos da Avenida Jerônimo Monteiro, demonstrando a morfologia da área, com predominância de edifícios mais baixos do lado esquerdo, considerando o sentido do tráfego de veículos, e uma heterogeneidade de gabarito à direita. A figura demonstra também o grande fluxo de veículos, a falta de arborização nas calçadas ao longo de toda a via e a insolação durante o período da tarde. A Figura 3 também mostra uma característica morfológica da avenida: os edifícios não têm recuo lateral, os comércios são localizados nos andares térreos dos edifícios e não há arborização na calçada. Pode-se observar também que o comércio abrange parte da calçada, estreitando ainda mais o local de passagem de pedestres.



Figura 3: Trecho da Avenida Jerônimo Monteiro: (a) vista aérea da área de estudo, (b) perfil viário e (c) tipologia. Fonte: Google (vista aérea) e fotos de Neves (2017).

Por meio de levantamento in loco, foi possível caracterizar as edificações e as suas características geométricas, como altura e largura, tipologia das fachadas, empenas cegas e telhados.

A partir desse levantamento, obtiveram-se os dados sobre as áreas das superfícies, assim como a área de telhados, empenas cegas e fachadas. A área total de superfícies disponíveis foi de 27.230,8 m². As áreas verdes totais foram de aproximadamente 20.064,10 m². A área total de paredes verdes foi de 12.052,10 m², dos quais 3.563,4 m² de empena cega. A área total de telhados verdes foi de aproximadamente 8.012,0 m². A porcentagem de paredes verdes sobre a área total das superfícies foi de 44%, e a área por telhados verdes foi de 29% da área total. Ou seja, a porcentagem da área equivalente às superfícies em interesse em preservação foi de 26%.

Diante dos dados coletados, foi possível iniciar a parte de simulação microclimática. Para tanto, utilizou-se o programa de *software* livre denominado ENVI-met, desenvolvido na Alemanha por Bruse e Fleer em 1998 e aperfeiçoado por Bruse em 2004. Tal software configura-se como um modelo tridimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente. A ferramenta oferece várias possibilidades de aplicação em diversos cenários urbanos com possibilidade de inclusão de massa vegetada, de corpos d'água e diferentes tipos de solo, edificações e densidade construída, por exemplo.

O processo de modelagem demanda três etapas principais: 1. simulação das características morfológicas reais da área de estudo, 2. criação de arquivo de configuração de entrada do modelo com descrição de cada parâmetro e 3. escolha dos dados de saída.

Os dados climáticos do município utilizados nas simulações foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (2016): direção do vento predominante: nordeste, velocidade do vento de 4 m/s na altura de 10 m, temperatura inicial do ar ajustada para 29,10° C e umidade relativa na altura de 2 m ajustada para 75%. O valor solicitado pelo modelo corresponde à rugosidade da superfície logo abaixo do anemômetro. No caso de pavimento liso de concreto, a rugosidade típica é de 0,01. As simulações foram iniciadas em um típico dia de verão, às 21 horas, e duraram 24 horas.

Os horários dos dados de saída do programa abrangeram os períodos matutino, vespertino e noturno, com intervalos de duas horas. Segundo Silva (2013), a orientação técnica da Organização de Meteorologia Mundial é de registros para cada três horas. Para o adequado tratamento dos dados nesses diferentes horários, analisaram-se as

respostas das simulações para as oito horas durante o dia: 7 horas, 9 horas, 11 horas, 13 horas, 15 horas, 17 horas, 19 horas e 21 horas. Posteriormente, analisaram-se os horários que mais influenciavam nas variáveis. Em virtude disso, foram selecionados os horários em função do índice Voto Médio Estimado (*Predicted Mean Vote – PMV*), pois ele condensa os fatores climáticos em um único índice. Com a finalidade de destacar os horários, cujas mudanças sejam maiores no microclima, percebeu-se que os dados da tecnologia de parede verde, nos horários das 9 horas, 15 horas e 19 horas, mantiveram maior influência da tecnologia para os valores de conforto térmico. Sendo assim, os mapas foram analisados dentro desses horários para uma análise pormenorizada.

A configuração do trecho do cânion urbano no *software* foi feita considerando o tipo de material construtivo, assim como o material de revestimento da pavimentação da via (asfalto) e da calçada (concreto). A simulação do cenário atual é extremamente necessária e importante para permitir a comparação do comportamento da inserção da vegetação, de modo a avaliar se há melhoria e em que medida. Para a estratégia das paredes verdes, o cenário foi simulado com a aplicação nas edificações que possuíam condições para receber essa técnica, ou seja, aquelas que não tinham programa de preservação. A Figura 4 mostra os cenários simulados.



Figura 4: Configuração modelada no *software* ENVI-met, para os cenários simulados. Fonte: Neves (2017).

A seguir são apresentados os resultados obtidos, comparando-se o cenário atual com os cenários com paredes e telhados verdes.

RESULTADOS

A sistematização dos resultados foi realizada por meio do programa Excel. Produziram-se planilhas para organizar os dados pelos seguintes elementos climáticos: temperatura do ar, umidade relativa do ar e índice PMV. Durante a produção das tabelas, os resultados foram consolidados para cada variável climática, agrupando todos os cenários simulados. Posteriormente, analisaram-se as diferenças entre o cenário atual, o cenário com telhado vegetado e o cenário de paredes verdes.

A Figura 5 mostra os mapas de temperatura do ar extraídos por meio do programa *plug-in* do ENVI-met, Leonardo 3.75, permitindo visualizar espacialmente os dados gerados.

Para a simulação às 9 horas, no cenário atual, a temperatura do ar registrou variações em torno de 29,04 °C a 31,9 °C. Na região oeste da figura, observam-se variações menores entre 29,5 °C e 30,5 °C do que no lado leste, com variações entre 30,5 °C e 31,5 °C. O cenário de telhado vegetado apresentou, às 9 horas, temperaturas predominantes entre 29,5 °C e 30,5 °C, sendo a mínima de 29,05 °C e a máxima

de 31,06 °C. Esse mapa, em comparação com o cenário atual, obteve alterações mínimas, sendo a influência maior na temperatura máxima que baixou de 31,19 °C para 31,06 °C, apenas 0,13 °C. O mapa de temperatura do ar no cenário da fachada verde às 9 horas mostra predominância da temperatura de 28,5 °C, sendo a mínima de 27,31 °C e a máxima de 28,75 °C. Em comparação com o mapa do cenário atual às 9 horas, observa-se uma diminuição de aproximadamente 2 °C, sendo a região leste com maior impacto de 2,5 °C.

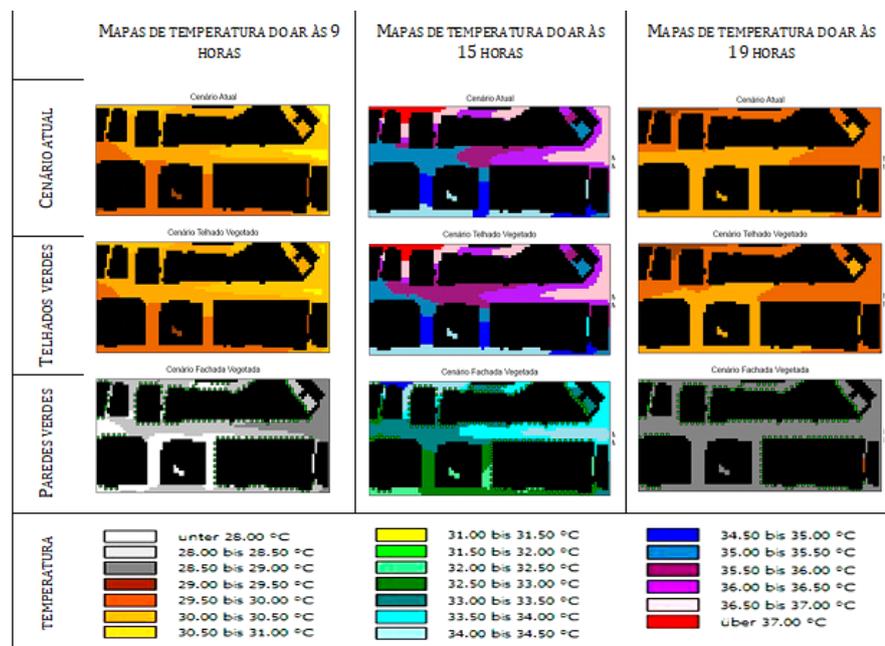


Figura 5: Mapas de temperatura do ar por horário (9 horas, 15 horas e 19 horas) e por cenário (atual, telhados verdes e paredes verdes). Fonte: (Neves) (2018).

As imagens geradas pela simulação no horário das 15 horas registraram variações entre 34,03 °C e 37,53 °C. A área sudoeste registrou 35 °C, e na área leste predominaram as temperaturas de 36 °C a 37 °C. Esse resultado indica a predominância da incidência solar na área direita do mapa. Para o cenário de telhado verde, às 15 horas, na maior parte do mapa gerado, as temperaturas estavam em torno de 32 °C a 34 °C, sendo a mínima de 33,96 °C e a máxima de 37,46 °C. As temperaturas mínimas e máximas diminuíram 0,07 °C com relação ao cenário atual. Para o cenário de fachada verde, toda a região ficou em torno de 32 °C a 34 °C, sendo a mínima de 32,16 °C e a máxima de 34,69 °C. Com relação ao mapa do cenário atual às 15 horas, a temperatura simulada diminuiu em torno de 2 °C em toda a região.

Às 19 horas, os mapas apontam maior homogeneidade das cores, representando menor variação na temperatura. O mapa gerado para o cenário atual apresenta uma grande parte de área leste com valores mais baixos de temperatura, em torno de 29,5 °C a 30,0 °C. No caso das áreas oeste e sul, os valores de temperatura do ar são mais elevados, de 30 °C a 30,5 °C. A temperatura mínima foi de 29,38 °C e a máxima de 30,31 °C. Para o mapa do telhado verde, a temperatura do ar mínima foi de 29,33 °C e a máxima de 30,23 °C. Em comparação com o cenário atual, as diferenças ficaram mais próximas de onde foi inserida a tecnologia do telhado verde, que teve variação na parte leste de 0,05 °C. As diferenças nas máximas e mínimas

foram, respectivamente, de 0,08 °C e 0,05 °C. Para as fachadas verdes, a temperatura manteve-se constante praticamente em toda a área, sendo a mínima de 28,38 °C e a máxima de 29°C. Observa-se às 19 horas que o mapa da fachada verde, comparado com o cenário atual, apresenta forte variação em toda a área representada pela cor “cinza”, referente à temperatura 28,38 °C, apresentando diferença de até 1,3 °C.

A Figura 6 mostra os mapas de umidade relativa do ar extraídos pelo *plug-in* do ENVI-met, Leonardo 3.75, permitindo visualizar espacialmente os dados gerados.

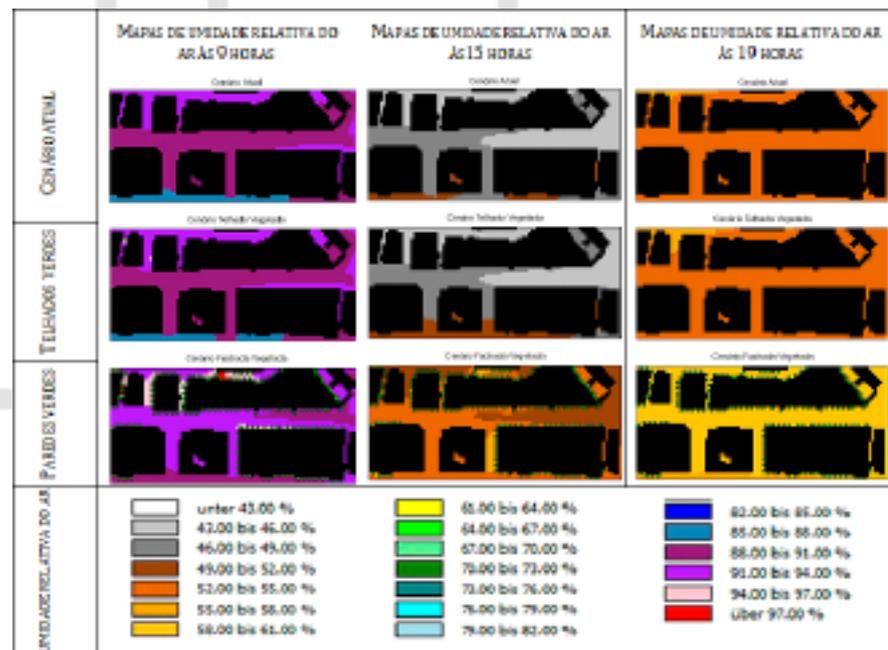


Figura 6: Mapas de umidade relativa do ar por horário (9 horas, 15 horas e 19 horas) e por cenário (atual, telhados verdes e paredes verdes).

Fonte: Neves (2018).

No cenário atual às 9 horas, as variações da umidade relativa foram de mínima de 86,57% e a máxima de 93,81%. No cenário de telhados verdes, a variação do índice foi baixa, porém teve uma maior influência na região leste da imagem, na frente dos edifícios, demonstrando um aumento de 88% para 91%. Provavelmente essa diferença se deve à baixa altura das edificações de até três pavimentos da área leste, contribuindo para a potencialidade do uso do telhado verde. Para o cenário de parede verde às 9 horas, o mapa apresentou umidade relativa do ar mínima de 88,58% e máxima de 99,39%. Com relação ao cenário atual, observa-se que houve um aumento da umidade relativa de 2,01% para a mínima e maior aumento para a umidade relativa máxima, de 5,58%.

A umidade relativa no cenário atual, às 15 horas, foi mínima de 43,22% e máxima de 50,09%. O cenário de telhados verdes apresentou umidade relativa do ar mínima de 43,67% e máxima de 50,56%, demonstrando pequenas variações, das quais 0,44% na mínima e 0,47% na máxima. O cenário de parede verde apresentou mínima de 49,35% e máxima de 60,53%. Em comparação com o cenário atual, a umidade relativa foi maior em 6,13% e a máxima em 10,44%.

No horário das 19 horas, o cenário atual apresentou mínima de 51,77% e máxima de

55,48%. O cenário do telhado verde em relação ao cenário atual demonstra poucas variações. A mínima foi de 52,19% (0,42% maior) e a máxima de 55,88% (0,34% maior). O mapa de parede vegetada apresentou a umidade relativa mínima de 57,53% e máxima de 60,48%, demonstrando ser maior em 5,76% na umidade relativa mínima e em 5,00% na máxima

A Figura 7 mostra os mapas do índice PMV, que “prevê o valor médio de um grande grupo de pessoas, segundo uma escala de sensações de 7 pontos” (LAMBERTS; XAVIER, 2002). Os mapas do PMV foram extraídos pelo *plug-in* do ENVI-met, Leonardo 3.75, permitindo visualizar especialmente os dados gerados.

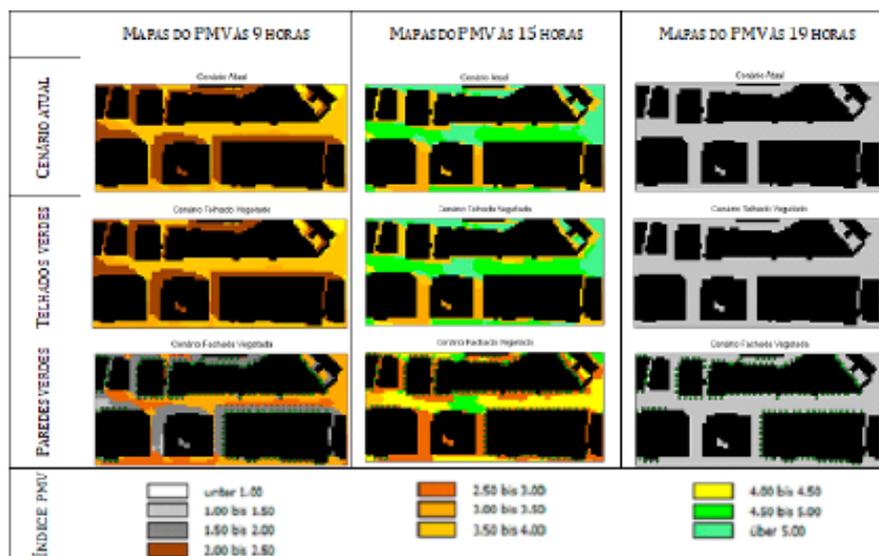


Figura 7: Mapas do índice PMV por horário (9 horas, 15 horas e 19 horas) e por cenário (atual, telhados verdes e paredes verdes).

Fonte: Neves (2018).

O índice PMV do cenário atual, às 9 horas, foi de 2,04 a 4,14, variando de quente a muito quente, pela escala de Fanger. Os resultados obtidos no mapa do cenário telhado vegetado às 9 horas mostram valores de mínimo de 2,05 e máximo de 4,14. No cenário da fachada verde, às 9 horas, o índice PMV estava entre 1,0 e 1,5 nas áreas próximas às edificações. Ou seja, a área estava levemente quente. As simulações às 9 horas mostraram que não houve alteração relevante do cenário atual para o de telhado verde. Porém, a fachada verde mostrou uma redução pela metade na Escala Fanger, demonstrando melhoria na sensação térmica.

Às 15 horas, os valores de índice PMV para a máxima foi de 5,57 e para a mínima foi de 3,17, na simulação do cenário atual. Os índices estiveram entre 4,5 e acima de 5,0 na Avenida Jerônimo Monteiro e de 3,17 a 4,0 em torno das edificações localizadas em toda a área. Nota-se que, levando-se em consideração os estudos de Fanger (1972), a sensação térmica do local estaria acima de 3 na escala, ou seja, acima de “muito quente”. Para o cenário dos telhados verdes, o PMV variou entre 3,14 para a mínima e 5,55 para a máxima, e, nas áreas de projeção das edificações para o horário das 15 horas, o índice foi de 3,14 a 4. Nas demais áreas, como a avenida principal, o índice foi de até 5,55, demonstrando assim a influência do tipo de material de revestimento da pavimentação no conforto térmico. Em frente às fachadas vegetadas, os valores

do índice PMV para as 15 horas variaram de 2,31 a 2,50, valores que demonstram que a área está “quente” para os transeuntes. Em contraponto, na via central, os resultados obtidos variaram de 4,0 a 5,0. A área em amarelo representa, na escala ASHRAE, a sensação térmica “muito quente”. Portanto, pode-se notar que a presença da vegetação atenua a sensação térmica em até 2 pontos.

Quando se relacionam os mapas de PMV, pode-se observar que não houve alteração dos índices entre o cenário atual e o cenário com telhado vegetado, já que praticamente não houve alteração das “manchas” cromáticas representativas dos resultados do índice PMV. No entanto, no mapa do cenário das paredes verdes, as “manchas” de cor variaram em todo o mapa, sinalizando a influência das paredes com vegetação no conforto térmico no nível do pedestre. Às 19 horas, o índice PMV esteve entre 1,0 e 1,50 na escala de Fanger (1972), ou seja, a área, nesse horário, pode ser considerada “levemente quente”. Avaliando os resultados obtidos pela simulação do cenário de telhados verdes e fachadas vegetadas, os índices PMV apresentaram a mesma classificação: “levemente quente” do que no cenário atual, porém diminuíram as mínimas e máximas em 0,01 e 0,02 e 0,22 e 0,12, respectivamente. Cabe salientar que mesmo à noite, às 19 horas a sensação térmica na área estudada ainda gerava desconforto térmico.

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A partir dos mapas gerados, foi possível compreender as modificações e interferências que as superfícies vegetadas trouxeram para a área construída.

Os dados gerados pelas simulações permitiram verificar que a influência das paredes vegetadas não se limita à localização da aplicação, já que toda a área do cânion urbano foi afetada pela técnica, no nível do pedestre. Entretanto, o mesmo não ocorreu para a técnica de telhados verdes, pois a influência ficou restrita aos valores máximos de temperatura e com pequenas alterações no mapa cromático, no nível do pedestre.

A adoção de telhados verdes na estrutura urbana estudada não gerou valores significativos nos fatores climáticos no nível do pedestre, como a temperatura do ar, e nos índices de conforto térmico na altura do pedestre. Chen, Ooka e Huang (2009) investigaram a possibilidade de diminuição da temperatura no nível da rua por meio de simulação de telhados verdes extensivos em prédio médios e altos, usando um modelo denominado CSCR (*Coupled Simulations of Convection, Radiation, and Conduction*). Os autores verificaram que o impacto é praticamente insignificante, por causa da altura dos edifícios. Resultados similares foram demonstrados no estudo de Ng *et al.* (2012) utilizando o ENVI-met. Os autores verificaram também que a influência de telhados verdes extensivos era quase nula. Esse fato ocorreu por causa da altura elevada das edificações simuladas. O estudo concluiu que quanto maior for a relação entre a altura e à largura da via, menor será o grau de resfriamento no nível do pedestre.

Outro fator que pode explicar os resultados encontrados deve-se ao período úmido simulado, de verão, quando as taxas de umidade já se encontram elevadas, demonstrando essa interferência como verificou-se no estudo de Rosseti, Nogueira e Nogueira (2013, p.1967) quando realizaram as análises dos telhados para as estações seca e úmida:

[...] a presença da cobertura verde é capaz de otimizar as condições de conforto térmico no entorno da construção,

elevando os níveis de umidade relativa e reduzindo a temperatura do ar, nas estações secas. Nas estações úmidas não se verificam interferências significativas da cobertura no microclima do entorno.

Esses resultados também são confirmados por meio de pesquisa experimental conduzida por Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015), que demonstraram que as paredes verdes reduziram em um terço o superaquecimento do cânion da rua, diminuindo a amplitude térmica ao longo do dia. O mesmo estudo mostrou resultado semelhante para os telhados verdes, porém de forma menos perceptível. As paredes vegetadas no estudo de Djedjig, Bozonnet e Belarbi (2015) também reduziram em 4 °C a temperatura radiante média, que afeta o conforto térmico no cânion da rua.

CONCLUSÕES

No aspecto mais amplo do estudo, os cenários com a inclusão da vegetação nas paredes demonstraram melhores condições de conforto térmico na configuração urbana delimitada, comparando-se à inclusão de telhados verdes. Ressalta-se que foi um resultado encontrado para as especificidades da área estudada, não cabendo generalizações.

Para a variável climática temperatura do ar, de forma geral, a técnica da parede verde influencia todo o trecho do cânion urbano, diminuindo em até 2,5 °C às 9 horas. A técnica do telhado verde influenciou de forma localizada, sendo a mais expressiva na área onde as edificações possuíam alturas de até quatro pavimentos.

A simulação microclimática para a variável umidade relativa do ar com o cenário da parede verde influenciou de maneira mais homogênea no horário às 19 horas, aumentando para 5,76% a umidade relativa mínima. Os resultados gerados em forma de mapa para o cenário do telhado verde mostraram uma alteração pequena, sendo mais expressiva nas áreas onde os edifícios possuíam alturas menores, com aumento da umidade relativa de 91% para 94%.

O índice PMV no cenário com parede verde foi alterado em locais próximos à inserção da técnica de parede vegetada. O mapa gerado apresentou diminuição no índice de até 1 ponto na escala. Já para o cenário com telhado verde, o índice praticamente ficou inalterado em todos os horários simulados.

As simulações demonstraram a eficiência das paredes verdes em melhorar o microclima urbano em área consolidada que não teria capacidade de receber arborização urbana. Estudos como este podem colaborar para o desenvolvimento da pesquisa aplicada ao contexto brasileiro, com adequação dos aspectos climáticos e de vegetação ainda pouco desenvolvidos. Também pode colaborar com a demonstração das superfícies vegetadas como estratégia eficiente para implantação de corredores verdes em áreas urbanas consolidadas e sua disseminação no poder público. Por fim, as paredes verdes apresentam-se como uma alternativa adequada e possível para a minimização da ilha de calor nos centros urbanos, cabendo às políticas públicas e ao planejamento urbano estimular a sua implantação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V. de; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BONATTO, D. do A. M. Infraestrutura verde: estratégia para a regeneração de espaços livres e qualidade do ambiente construído. *In: EURO-ELECS 2015 –LATIN AMERICAN AND EUROPEAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILDINGS AND COMMUNITIES*, 2015, Guimarães. Lisboa: Multicomp, 2015.
- BRUSE, M. Updated Model overview envi-met 3.0. Technical report. University of Bochum: Germany, 2004.
- BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, v. 13, p. 373-384, 1998.
- COSTA, R. G.; FERREIRA, C. de C. M. Análise do Índice de Áreas Verdes (IAV) na área central da cidade de Juiz de Fora, MG. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana – REVSBAU*, v. 4, n. 1, p. 39-57, 2009.
- CHEN, H.; OOKA, R.; HUANG, H. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. *Building and Environment*, v. 44, p. 2290-2299, 2009.
- DJEDJIG, R.; BOZONNET, E.; BELARBI, R. Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 1, issue 1, p. 34-44, 2015.
- DUMKE, E. M. S. *Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade: uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC)*. 2007. 418 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- ENVI-MET. ENVI-met 3 by Michael Bruse & Team. Disponível em: <http://www.envi-met.com/>. Acesso em: 2 fev. 2019.
- FANGER, O. P. *Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill, 1972.
- FARIAS, J. A. Resiliência: um bom conceito para o projeto e a reforma urbana? *In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL*, 17., 2017, São Paulo. São Paulo: 2017.
- GIVONI, B. Man, *climate and architecture*. London: Applied Science, 1976.

- GREEN ROOF ORGANIZATION. Introduction to Green Walls Technology, Benefits & Design. 2008. Disponível em: <http://www.greenroofs.org/index.php/about/greenroofbenefits>. Acesso em: 4 jul. 2016.
- HERZOG, C. P. Cidades para todos: (re)aprendendo a conviver com a natureza. Rio de Janeiro: Mauad X, Inverde, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. Disponível em: http://atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/20170530_PNUD_ParaAlemdasMedias_alta.pdf. Acesso em: 10 dez. 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Prognóstico climático. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 2 set. 2016.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Switzerland, 2005.
- KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997. Anais [...].* Salvador FAUFBA / LACAM; ANTAC, 1997. p. 49-58.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. Conforto térmico e stress térmico. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC, 2002. Apostila de aula.
- MASCARÓ, J. J. Evolução da cobertura vegetal e seus impactos energético-ambiental em Porto Alegre, RS. *In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006.*
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. *Ambiência urbana*. 3. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2009.
- MATHEUS, C. *et al.* Desempenho térmico de envoltórias vegetadas sem edificações no Sudeste brasileiro. *Ambiente Construído*, v. 16, n. 1, p. 71-81, 2016.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2007, Ouro Preto. Anais [...].* Ouro Preto: UFMG, 2007.
- NEVES, M. D. A. *A influência das superfícies vegetadas no conforto térmico: simulações no centro de Vitória-ES*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.
- NG, E. *et al.* A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. *Building and Environment*, v. 47, p. 256-271, 2012.
- PENTEADO, H. M.; ALVAREZ, C. E. de. Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória. *Paisagem e Ambiente*, n. 24, p. 57-68, 2007.

- PEZZUTO, C. C. *et al.* Análises do microclima urbano através de medições experimentais e simulações no programa ENVI-met. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2011, Búzios. *Anais [...]*. Associação Nacional do Ambiente Construído, Búzios, 2011.
- ROSSETI, K. de A. C.; NOGUEIRA, M. C. de J. A.; NOGUEIRA, J. de S. Interferência microclimática na utilização do telhado verde para eegiões tropicais: estudo de caso em cuiabá, MT. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, n. 9, n. 9, p. 1959-1970, fev. 2013.
- SANTAMOURIS, M. *Energy and climate in the urban environment*. London: James & James, 2001. 402 p.
- SILVA, C. F. *O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal*. 2013. xvii, 175 f., il. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- UNIVERSIDADE DE WYOMING. College of Engineering. Department of Atmospheric Science. Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html/>. Acesso em: 2 fev. 2019.
- URRESTARAZU, M.; BURÉS, S. Sustainable green walls in architecture. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 10, n. 1, p. 792-794, 2012.
- VALESAN, M. *Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com Pele-Verde em Porto Alegre*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.