

## O DESEMPENHO DA VEGETAÇÃO NA MITIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR NO MEIO URBANO: PROPOSTA DE MASSA VEGETAL NO BAIRRO IPIRANGA

Nathalie Naomi Ninomiya (IC) e Carolina de Rezende Maciel (Orientadora)

**Apoio: PIBIC Mackenzie**

### RESUMO

Os estudos de clima urbano têm mostrado que a mudança climática local está associada ao efeito de transformação de energia na área urbana, tanto em áreas temperadas quanto tropicais, influenciada por sua morfologia, propriedades térmicas dos materiais das superfícies construídas e pela produção antropogênica de calor. Estas modificações resultam em fenômenos como a ilha de calor, que se caracteriza por uma temperatura do ar mais elevada em centros urbanos, quando comparada às regiões vizinhas menos urbanizadas. O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o potencial de mitigação de ilhas de calor em uma determinada área do bairro Ipiranga, na cidade de São Paulo. As simulações foram feitas por meio do software ENVI-met, onde foram estimadas diferentes variáveis micrometeorológicas, usadas na geração de mapas de temperatura do ar (°C) para o cenário atual (como é exatamente hoje) e para o cenário hipotético (proposta de parque com o uso de vegetação). O maior efeito para a redução de temperatura média do ar foi registrado pelo sistema às 15hs, demonstrando a capacidade de melhor mitigação pelo uso da vegetação, em comparação entre os cenários. Espera-se que com os resultados deste artigo os estudos de conforto térmico para o estado de São Paulo e como também para todo o Brasil sejam enriquecidos, atentando para o papel da vegetação como estratégia de mitigação das ilhas de calor, agente amenizador do rigor climático imposto pela formação do microclima urbano.

**Palavras-chave:** Ilha de calor; vegetação; meio urbano

### ABSTRACT

Urban climate studies have shown that local climate change is associated with the effect of energy transformation in the urban area, both in temperate and tropical areas, influenced by its morphology, thermal properties of the materials of the built surfaces and by the anthropogenic production of heat. These changes result in phenomena such as the urban heat island, which is characterized by a higher air temperature in urban centers, when compared to the less urbanized neighboring regions. The general objective of this research was to evaluate the mitigation potential of heat islands in a certain area of the Ipiranga neighborhood, in the city of São Paulo. The simulations were performed using the ENVI-met software, where different micrometeorological variables were estimated and then used in the generation of air

temperature maps (°C) for the current scenario (as it is exactly today) and for the hypothetical scenario (proposed park with the use of vegetation). The greatest effect for the reduction of the average air temperature was registered by the system at 3 pm, demonstrating the capacity of better mitigation by the use of vegetation, in comparison between the scenarios. It is hoped that with the results of this article, studies of thermal comfort for the state of São Paulo and for the whole of Brazil will be enriched, paying attention to the role of vegetation as a mitigation strategy for heat islands and of climatic rigor imposed by the formation of the urban microclimate.

**Keywords:** Heat island; vegetation; urban environment

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas urbanas concentram atualmente grande parte da população mundial onde ocorrem as atividades econômicas, sociais e culturais, o que resulta numa demanda e consumo crescentes de energia, água e outras matérias primas. Recortando para a América Latina, de acordo com dados da ONU-Habitat (2012), 80% da população ocupa áreas urbanas. No Brasil, este contingente soma cerca de 87% da população, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012).

O total populacional deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 bilhões de indivíduos para 9,7 bilhões em 2050, de acordo com um novo relatório das Nações Unidas. O estudo também concluiu que a população mundial poderia alcançar o seu pico por volta do final do atual século, chegando a quase 11 bilhões de pessoas em 2100, (ONU, 2020).

Os dados acima apresentados chamam a atenção globalmente para discussão sobre o tema da densidade urbana, bem como da contribuição do estoque de edifícios existentes para a acomodação deste contingente em centros urbanos consolidados. Sobre este assunto, Vattenfall (2007) estima que, em 2030, aproximadamente 53% do estoque residencial mundial será atendido por novas construções, enquanto os 47% restantes referem-se a edifícios existentes (GONÇALVES & BODE, 2015).

As edificações e infraestruturas urbanas compõem um dos maiores setores da economia-construção civil, e são responsáveis pelo consumo de uma quantidade considerável de energia e materiais, e conseqüentemente, de emissões de CO<sub>2</sub>. De acordo com Guan (2012), é estimado que a construção e operação dos edifícios seja responsável por 40% do total de energia consumida no mundo, 30% do total de matéria-prima consumida, 55% do total de extração de madeiras, 16% da água doce extraída, 35% das emissões globais de CO<sub>2</sub> e 40% dos resíduos sólidos gerados.

O aumento das vias públicas e a poluição gerada pelos automóveis e indústrias reduzem a perda da radiação de ondas longas pela superfície para a abóbada celeste e ocasionam o aquecimento atmosférico. Assim, a falta de vegetação e a impermeabilização do solo absorvem uma grande quantidade de radiação solar e têm, como consequência, a não filtração de água pluvial pelo solo. Estas características das grandes cidades são conhecidas como formação de ilhas de calor (LOMBARDO, 1985).

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 este fenômeno ilha de calor urbana, definido como o registro de temperaturas mais elevadas em espaços urbanos em comparação com suas regiões vizinhas menos urbanizadas (MACIEL, 2014).

Este fenômeno transformou as grandes concentrações urbanas em verdadeiras estufas. Devido à ausência de vegetação e a incidência direta da radiação solar nas edificações, acontece também um aumento no consumo de energia utilizado para o resfriamento dos ambientes internos das construções, originado pela facilidade com que os materiais de construção absorvem calor, no verão, e perdem calor em relação ao meio ambiente, no inverno (SCHERER; FEDRIZZI, 2014).

Em geral os ambientes internos possuem sistemas de ar-condicionado unitários, e apenas a infiltração natural de vento é responsável pela renovação de ar. Na maior parte do tempo cortinas e persianas são utilizadas nas esquadrias para reduzir o ofuscamento decorrente da radiação solar direta (MORELLI, 2009). Além disso, os pedestres que circulam pelo lado externo sofrem tanto quanto, a falta de vegetação e o solo impermeável agravam o aquecimento atmosférico trazendo desconforto a eles. Em particular, os espaços internos são influenciados pelo externo, sobretudo através das atividades humanas (BUENO-BARTHOLOMEI, 2003).

No Brasil, em geral as temperaturas são mais amenas no inverno e mais altas no verão. Neste tipo de clima pode-se dizer que a vegetação é um elemento natural, pode ser usado para controlar a radiação solar excessiva por meio do sombreamento. A vegetação em áreas urbanas tem efeito no microclima absorvendo energia solar, que é utilizada no processo de evapotranspiração contribuindo, assim, para a diminuição da temperatura nas horas de maior concentração de calor. Este efeito as pessoas sentem no ar e no solo próximo à área verde que desfruta de uma temperatura menor e um ambiente mais agradável (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003).

### 1.1. Problema da pesquisa

Como a adoção de vegetação pode melhorar as condições de conforto térmico? Qual o potencial de mitigação de ilhas de calor na área do Ipiranga em comparação de como é hoje com o cenário hipotético?

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Vegetação no meio urbano

De acordo com Nicodemo & Primavesi (2009), a presença de árvores e de outros tipos de vegetação na cidade tem impactos físicos sobre uma série de características ambientais,

sendo que, destes, os efeitos mais claramente percebidos são sobre a temperatura e a umidade do ar. Um dos efeitos da vegetação é o resfriamento do ar por meio do aumento da umidade proveniente do processo de evapotranspiração. Segundo Primavesi (2007), quanto maior for a superfície foliar, maior será a capacidade de transpiração das árvores, desde que haja água no solo disponível para permitir esta troca. Por esta razão, um metro quadrado ocupado com vegetação é mais eficiente que um metro quadrado de lâmina d'água na umidificação e na redução da temperatura do ar. Ainda de acordo com Primavesi (2007), estima-se que a superfície evapotranspirante da lâmina foliar seja de quatro a dez vezes maior do que a mesma superfície coberta por água.

O sombreamento proporcionado pela vegetação urbana contribui para a formação de microclimas favoráveis ao conforto humano, melhorando as condições ambientais adversas. Ao gerar menor quantidade de calor que áreas construídas na cidade, reduz significativamente os efeitos nocivos da ilha de calor urbana, durante o verão. Em regiões de clima quente e úmido, a vegetação de grande porte produz microclimas mais amenos, pois além de fornecer sombra protegendo o recinto urbano da insolação indesejada, matiza suas superfícies planas, criando um efeito de filtragem dinâmica (GARCÍA, 1999).

A vegetação tem menor capacidade e condutividade térmica do que os materiais de construção presentes na cidade. Uma árvore pode controlar a radiação solar direta que chega até o solo, diminuindo o calor irradiado a partir deste, e conseqüentemente, diminui a temperatura do ar próxima. A radiação solar incidente é absorvida pelas folhas, que possuem baixo índice de reflexão. As árvores interceptam uma quantidade de radiação solar direta, e, dependendo da densidade de sua folhagem e extensão e espessura de sua copa, pode alcançar valores altos de radiação absorvida, sendo uma parte refletida para cima e o resto absorvido pela própria árvore, a fim de ser utilizada nos processos de transpiração e fotossíntese (JIN, 2004).

A pavimentação urbana pode ser substituída por vegetação rasteira, ou associação desta com revestimentos de componentes construtivos drenantes. Desse modo, obtém-se diminuição da temperatura do solo, e melhores condições de percolação e escoamento das águas pluviais.

A radiação de onda curta que incide nas folhas de uma árvore é parcialmente transmitida como radiação difusa, porque a folha não é opaca à radiação solar. A reflexão da radiação solar depende da morfologia e das características físicas das plantas, e mais especificamente do albedo da superfície foliar, que chega a cerca de 30% da superfície total. Apenas 20% do fluxo incidente sobre a cobertura vegetal atingem o solo. Cerca de 46% da radiação solar transmitida sob a vegetação é difusa. Quanto à absorção, que depende principalmente da

pigmentação das folhas, a cobertura vegetal pode absorver até 50% da radiação de onda curta e até 95% da radiação de onda longa (GARCÍA, 1999).

A altura das plantas, a idade e o tipo de folhagem das espécies arbóreas modificam a iluminância sob a cobertura vegetal. Em geral, a arborização homogênea e densa pode reduzir a iluminância significativamente em qualquer época do ano. Um bosque pode reduzir até 90% da luz que nele incide (KATZCHNER, 1997).

Sob grupamentos arbóreos, a temperatura do ar é de 3°C a 4°C menor que nas áreas expostas à radiação solar. Através do controle da radiação solar, associado ao aumento da umidade do ar, a variação de temperatura do ar sob a vegetação torna-se menor, reduzindo, assim, a amplitude térmica nos locais arborizados. Este fato ocorre de maneira mais significativa durante o verão, pois a densidade foliar e a evapotranspiração das plantas são mais intensas (GARCÍA, 1999).

Como afirma Heisler (1986), as árvores influenciam diretamente o fluxo de calor da radiação térmica ao bloquear a radiação solar, evitando o aumento da temperatura da superfície. Atualmente, o planejamento urbano não prioriza as áreas verdes, principalmente devido ao fato de o interesse econômico se sobrepôr às necessidades ambientais da cidade. De acordo com Duarte (2000), o traçado urbano coloca em primeiro plano as edificações, deixando, desta forma, as áreas verdes restritas, nas 'sobras' dos espaços construídos, tendo como consequência o resultado de que nem sempre estejam de acordo com as necessidades de lazer e conforto térmico da população.

Mascaró (1996), afirma que o uso da vegetação é um recurso eficiente contra o calor, pois, além de oferecer sombreamento, permite a passagem da brisa local e absorve parte da radiação de onda longa sobre suas folhas refrescadas pela evaporação. Os parques urbanos produzem diferença de temperatura local, fator diretamente relacionado com o tamanho do mesmo.

Esta influência da vegetação nos microclimas do ambiente urbano depende dos aspectos de cada espécie, pois cada uma apresenta características diferentes de obstrução (bloqueio de radiação) e a filtragem (interceptação parcial da radiação).

Para o bairro Ipiranga, local de estudo desta pesquisa, foram escolhidas árvores de porte médio-grande e forrações densas. As altas temperaturas registradas podem ser amenizadas pontualmente, constituindo um dos principais benefícios que a vegetação urbana pode promover para a cidade.

## 2.2. Ilhas de calor urbano

De todas as modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada consiste no fenômeno chamado de “ilha de calor”. É um fenômeno próprio das cidades, resultante do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano. O local de seu maior desenvolvimento coincide, com frequência, com o centro das cidades, onde as construções formam um conjunto mais densificado.

As causas que contribuem para a formação da ilha de calor estão relacionadas às mudanças no balanço energético da superfície devido à urbanização. Sabe-se que, devido à sua natureza física particular, os centros urbanos podem ter temperaturas maiores que as áreas adjacentes, de maneira proporcional ao tamanho da cidade (OKE, 1978).

Na verdade, desde o trabalho pioneiro de Howard para a cidade de Londres em 1833, muito se tem estudado sobre o clima urbano. A maioria dessas inúmeras investigações tem como objetivo a comprovação do já bem conhecido e documentado fenômeno da “ilha de calor urbana”, o exemplo de modificação da atmosfera devido à urbanização (OKE, 1978).

Pode-se definir também, esse fenômeno como um reflexo da totalidade das mudanças microclimáticas trazidas pelas alterações humanas na superfície urbana (LANDSBERG, 1981). O fenômeno da ilha de calor da camada intra-urbana (“Urban Canopy Layer - UCL”) pode resultar dos seguintes fatores especificadamente (HOWARD, 1833):

- a. fontes de calor antropogênico;
- b. propriedades térmicas dos materiais de construção, que ocasionam maior armazenamento de energia durante o dia e liberação do calor absorvido à noite;
- c. aumento de absorção de radiação de ondas curtas devido à geometria urbana;
- d. diminuição das perdas de calor sensível face à redução da velocidade do vento na malha urbana;
- e. redução da evaporação pela impermeabilização das superfícies e diminuição de vegetação;
- f. aumento da reemissão de radiação de ondas longas pelas construções, consequente do aumento de absorção da radiação por poluentes da atmosfera;
- g. redução da perda de radiação de ondas pela diminuição do fator de visão do céu.

Os contrastes entre as temperaturas urbanas e rurais são maiores em condições de céu claro e ar calmo, e mais evidente ao cair da tarde e após o pôr do sol (diferença máxima de temperatura, de duas a três horas depois) (LANDSBERG, 1981).

Durante o dia, as ilhas de calor são menos intensas. Na verdade, as “ilhas frias”, ou temperaturas urbanas menores que as rurais, nesse período, podem ocorrer devido ao efeito térmico de atraso (retardamento) de áreas como os centros urbanos com alta capacidade térmica dos materiais, e devido ao sombreamento, por edifícios altos, de ruas, jardins e pátios (OKE, 1978).

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.

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 aumentam 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 afetado, necessitando de um maior uso de ar condicionado, (BARROSO-KRAUSE, 2011; BARBIRATO *et al.*, 2011).

Lisa Gartland, em seu livro “Ilhas de Calor” de 2011, 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).

Alguns estudos definem o fenômeno da ilha de calor, ao mesmo tempo, como resultado e como causa de distorções climáticas, sendo ela própria passível de ser considerada uma forma de poluição térmica (TITARELLI, 1982).

Fatores da formação de ilhas de calor podem ser observados facilmente por instrumentos de medição, outros são mais teóricos e de difícil determinação na prática, muitas vezes pelas características das próprias superfícies.

Assim, a ilha de calor configura-se como um fenômeno decorrente do balanço de energia no espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies construídas e consequente a elevação da temperatura do ar.

A radiação solar é o componente de valor mais elevado no balanço de energia. As superfícies ganham calor por radiação solar durante o dia e perdem por ondas longas, num processo contínuo, dia e noite. Parte desta radiação é refletida, conforme seu albedo, e outra são absorvidos. Da radiação absorvida pela superfície, parte da energia é usada como calor latente na evaporação da água nela contida, reduzindo a elevação da sua temperatura, e outra parte é conduzida às suas camadas mais internas. Em áreas urbanas, a presença de superfícies impermeáveis acelera o escoamento da água que estaria disponível para evaporação, e a radiação solar absorvida é rapidamente convertida em calor, elevando sua temperatura e, conseqüentemente, a de seu entorno (GARTLAND, 2011).

Pesquisas já comprovaram que cerca de 60% do excedente de radiação é perdido como calor sensível para o ar e 30% é armazenado nos materiais, que compõem a camada de cobertura urbana, sendo 10% consumido na evaporação. Conclui-se, portanto, que o balanço de energia das paredes e solo é fortemente condicionado pela influência da configuração geométrica do espaço entre edificações e da orientação nas trocas de calor por radiação (NUNEZ; OKE, 1977).

As edificações interferem na quantidade de radiação solar que atinge as superfícies da estrutura urbana, pois grande parte desta radiação é por elas bloqueada. Quanto mais altas e mais compactas são as edificações, menor o acesso do entorno à radiação solar. Além disso, pode haver uma redução do acesso solar provocada pela emissão de poluentes em áreas urbanas (PETERSON; STOFFEL, 1980).

Através de medições na cidade de St. Louis (Missouri - EUA), estudos revelaram que a radiação solar, no centro metropolitano, sofreu uma redução média anual de 3% em relação a áreas periféricas, variando esta porcentagem para 2% no verão e 4,5% no inverno (a mais alta redução no inverno foi atribuída ao maior percurso dos raios solares através da atmosfera, nesta época).

Por outro lado, as edificações funcionam como um espaço de armazenamento de radiação de ondas curtas, aumentando a energia solar absorvida, devido às múltiplas reflexões sofridas pelos raios solares, ao encontrarem as superfícies das edificações. Além disso, as edificações também constituem um obstáculo ao resfriamento urbano, uma vez que dificultam a perda de radiação de ondas longas para o espaço.

O calor perdido por ondas longas determina o resfriamento das superfícies e do ar adjacente. A perda de radiação de ondas longas é maior, quanto maior for a área de céu visível para propiciar a troca de calor entre a superfície e o espaço. Deste modo, quanto mais compacta a massa edificada mais difícil seu resfriamento.

Acentuando este quadro, as indústrias, os transportes e os equipamentos de condicionamento do ar são fontes de calor que influem nas condições térmicas de uma cidade, dependendo da intensidade com que estas atividades são desenvolvidas.

Pode-se definir os espaços públicos como componentes essenciais à paisagem urbana, constituindo-se como “espaços de vida”, devendo ser projetados como unidades arquitetônicas onde as características ambientais, climáticas, históricas, culturais e tecnológicas são os elementos que o configuram como estímulos dimensionais (ROMERO; DILONARDO, 2001). A sensação de conforto térmico está associada com o ritmo de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, sendo assim, o desempenho humano durante qualquer atividade pode ser otimizado, desde que o ambiente propicie condições de conforto e que sejam evitadas sensações desagradáveis, tais como: dificuldade de eliminar o excesso de calor produzido pelo organismo; perda exagerada de calor pelo corpo e desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo.

A presença de espaços livres na malha urbana, caracterizados pela presença de arborização urbana, contribui para uma melhor movimentação do ar, transformando as condições de salubridade. Estas áreas, quando tratadas adequadamente, desempenham um papel importante para a cidade, pois além de constituírem zonas de amenização do clima, cumprem funções sociais, culturais e higiênicas.

Nos centros urbanos, áreas verdes são indispensáveis na prevenção de situações de desconforto, de gastos energéticos com a climatização de edifícios e do efeito urbano de “ilha de calor” (NIACHOU *et.al.*, 2001). As árvores e outros tipos de vegetação são os elementos mais completos para adaptar e proteger os espaços livres, para manter o equilíbrio do ecossistema urbano e favorecer a composição atmosférica, a velocidade do ar ou a umidade ambiental. Por sua função fisiológica, liberam umidade ao ambiente, da água absorvida por suas raízes: um metro quadrado de bosque libera 500 kg de água por ano. No verão, são

reduzidas as temperaturas no ambiente circundante à vegetação, em proporção equivalente ao calor latente necessário para evaporar a água transpirada (RHEINGANTZ, 2001).

Os estudos na área da climatologia urbana identificam que a qualidade, quantidade e forma de uso dos espaços públicos urbanos são determinadas, em grande parte, por suas condições microclimáticas e que aspectos como o tipo de superfície, geometria do espaço e a presença ou não de vegetação são importantes para a determinação de sua qualidade bioambiental. Portanto, a qualidade do ambiente urbano pode ser verificada por meio do conforto térmico que este propicia aos seus usuários. Torná-los termicamente eficientes, através da utilização de elementos e equipamentos favoráveis ao clima, manifesta-se como primeiro passo para transformá-los em espaços de vida, potencializando, assim, o seu papel ambiental.

Em relação aos principais aspectos físico-ambientais que devem ser considerados pelo urbanista, podem-se citar os seguintes (GIVONI, 1998):

- a. Separação espacial das atividades poluentes da atmosfera e localização das mesmas, considerando topografia, características morfológicas e direção dos ventos;
- b. Utilização de amplos espaços abertos e áreas verdes distribuídos na estrutura urbana, facilitando a dispersão de poluentes gerados pelas atividades urbanas, bem como a redução do ganho térmico no espaço urbano;
- c. Sistema veicular relacionado com a localização dos edifícios e mobiliário urbano, de modo a evitar bolsões de poluição, facilitando a dispersão de gases e partículas gerados por veículos.

É evidente, ainda, a necessidade da adequação de uma legislação baseada em pesquisas para controlar o crescimento urbano, considerando-se a proporção mínima de área verde em relação à quantidade de concentração de concreto.

Para a obtenção da qualidade climática no ambiente urbano, mitigando as ilhas de calor, é necessário, portanto, estabelecer o uso correto dos elementos climatológicos e sua interação em diferentes níveis de planejamento e construção, melhorando, assim, os microclimas dos espaços externos e a eficiência energética urbana. Um espaço mais qualificado microclimaticamente representa mais conforto térmico humano e conseqüentemente, menor consumo de energia com equipamentos artificiais de climatização.

### 3. METODOLOGIA

Neste trabalho foram realizados experimentos por meio do software de simulação ENVI-met para o estudo da mitigação de ilha de calor com a presença da vegetação em uma porção urbana. O software ENVI-met foi desenvolvido pelo Professor Michael Bruse enquanto docente da Universidade de Bochum na Alemanha, é um modelo virtual que simula o microclima urbano por meio das interações entre superfície, vegetação e atmosfera.

A metodologia desta pesquisa tem referência na tese 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 da área de estudo e caracterização acerca dos atributos físicos que as compõem, além da obtenção de dados microclimáticos e tabulação do mesmo para posterior inserção no ambiente virtual ENVI-met; foi selecionada a área de estudo localizada no bairro do Ipiranga entre as estações de metrô: Alto do Ipiranga e Sacomã, na qual equivale a uma parte da proposta de projeto desenvolvida no trabalho final de graduação de Arquitetura e Urbanismo da autora, sendo o cenário hipotético desta experimentação.

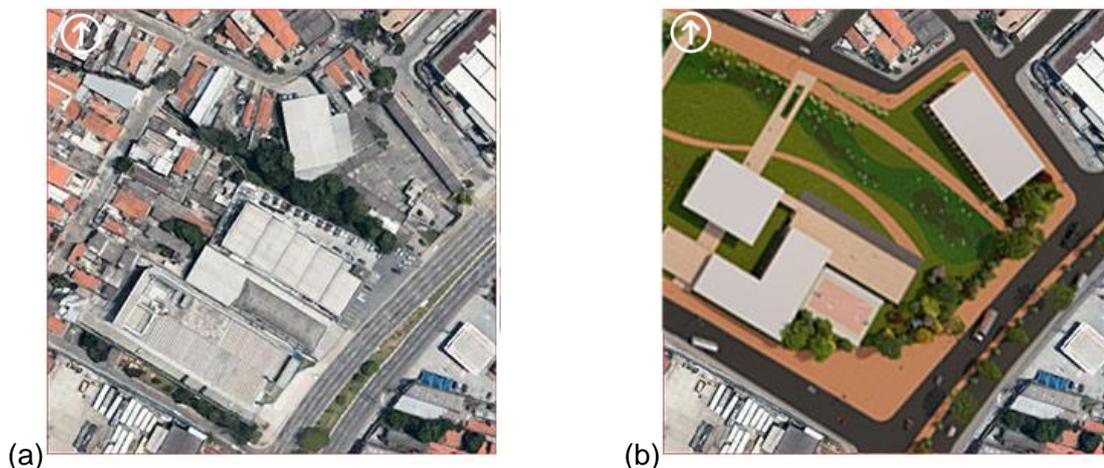


Figura 1. Porção urbana no bairro Ipiranga, (a) imagem retirada do Google Earth como é atualmente; (b) proposta de massa vegetal.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

A área compreendida (Figura 1) tem dimensão de 200x200 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.

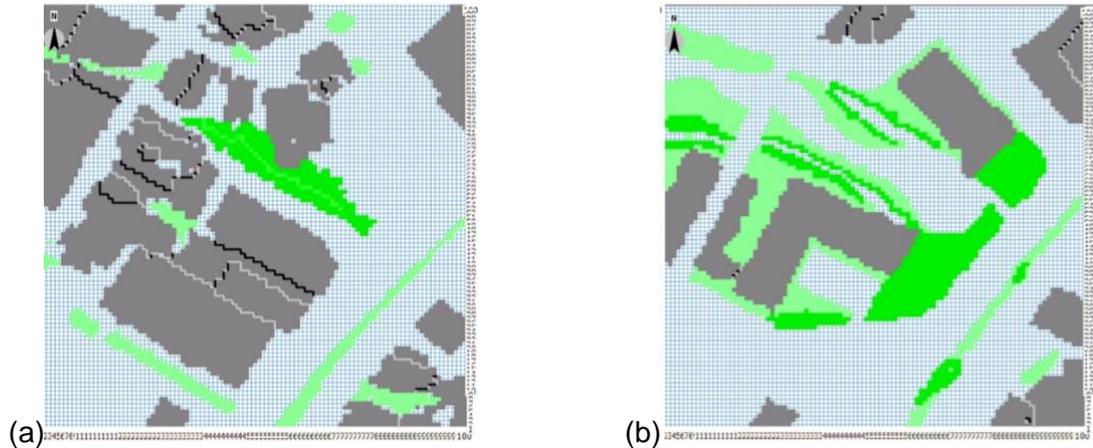


Figura 2. Inserção de informações físicas e micrometeorológicas da área, (a) área atual e (b) a proposta com vegetação.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

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. As simulações serão feitas para condição de verão, contemplando a situação atual e o cenário hipotético (Figura 2), percebe-se que atualmente existe pouco de vegetação rasteira e de porte pequeno por estar nas margens do córrego Capão do Rego.

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 Köppen-Geiger (mapa de classificação climática global), com temperatura média do mês mais frio, inferior a 17°C e do mês mais quente, superior a 22°C. As simulações virtuais foram desenvolvidas 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 H<sub>2</sub>O/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 simulados com o software, foi comparada a diferença de temperatura devido a presença de vegetação apresentada na figura 1, buscando-se avaliar o impacto no ambiente externo com a adoção desta estratégia. Os mapas apresentam as temperaturas potenciais ( $^{\circ}\text{C}$ ) da atmosfera local, na qual as análises foram realizadas às 6h, 15h e 21h de acordo com a recomendação da OMM para três estudos de clima urbano; posteriormente foi feita uma investigação mais detalhada de um dia inteiro (24 horas), também expondo a comparação entre cenários.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas análises acerca do ambiente térmico da área de estudo – Parque no bairro Ipiranga, São Paulo; com aplicação da massa vegetal.

De acordo com a figura 3, imediatamente percebemos o contraste de temperatura pelas cores, entre a situação atual e o cenário hipotético nos três horários (6h, 15h e 21h), na qual acontece uma queda maior nos pontos que apresentam maior densidade de vegetação. Importante ressaltar que a escala de temperatura potencial ( $^{\circ}\text{C}$ ) é distinta a cada horário.

Às 6 horas da manhã pode-se notar que a comparação das duas situações: atual e hipotético, a diferença de temperaturas mínimas é de  $1,99^{\circ}\text{C}$ , entre as temperaturas máximas, é de  $2,54^{\circ}\text{C}$ . Analisando às 15 horas da tarde, a diferença de temperaturas mínimas é de  $8,46^{\circ}\text{C}$ , entre as temperaturas máximas,  $11,12^{\circ}\text{C}$ . E às 21 horas da noite, a diferença de temperaturas mínimas é  $3,07^{\circ}\text{C}$ , entre as temperaturas máximas,  $3,48^{\circ}\text{C}$ .

Percebe-se que às 15 horas a temperatura está mais alta nas duas situações, por conta do período que a radiação solar está mais forte. Na área atual, encontra-se a máxima de  $28,24^{\circ}\text{C}$  e no cenário hipotético, a temperatura máxima diminui para  $17,12^{\circ}\text{C}$ . A maior diferença de temperaturas apontadas na comparação desta porção urbana.

Nos três períodos do dia é possível identificar que a redução de temperatura se prevalece onde a vegetação é abundante, assim sendo, próximo aos edifícios a temperatura é mais elevada. Ou seja, a redução se torna mais significativa na atmosfera quando está mais perto da estratégia estudada, efetivando o uso da vegetação como mitigação de ilha de calor.

---

<sup>1</sup> Por se tratar de uma simulação computacional, os resultados são apresentados em temperatura potencial ( $^{\circ}\text{C}$ ), ou seja, uma estimativa da referida variável para as condições estudadas.

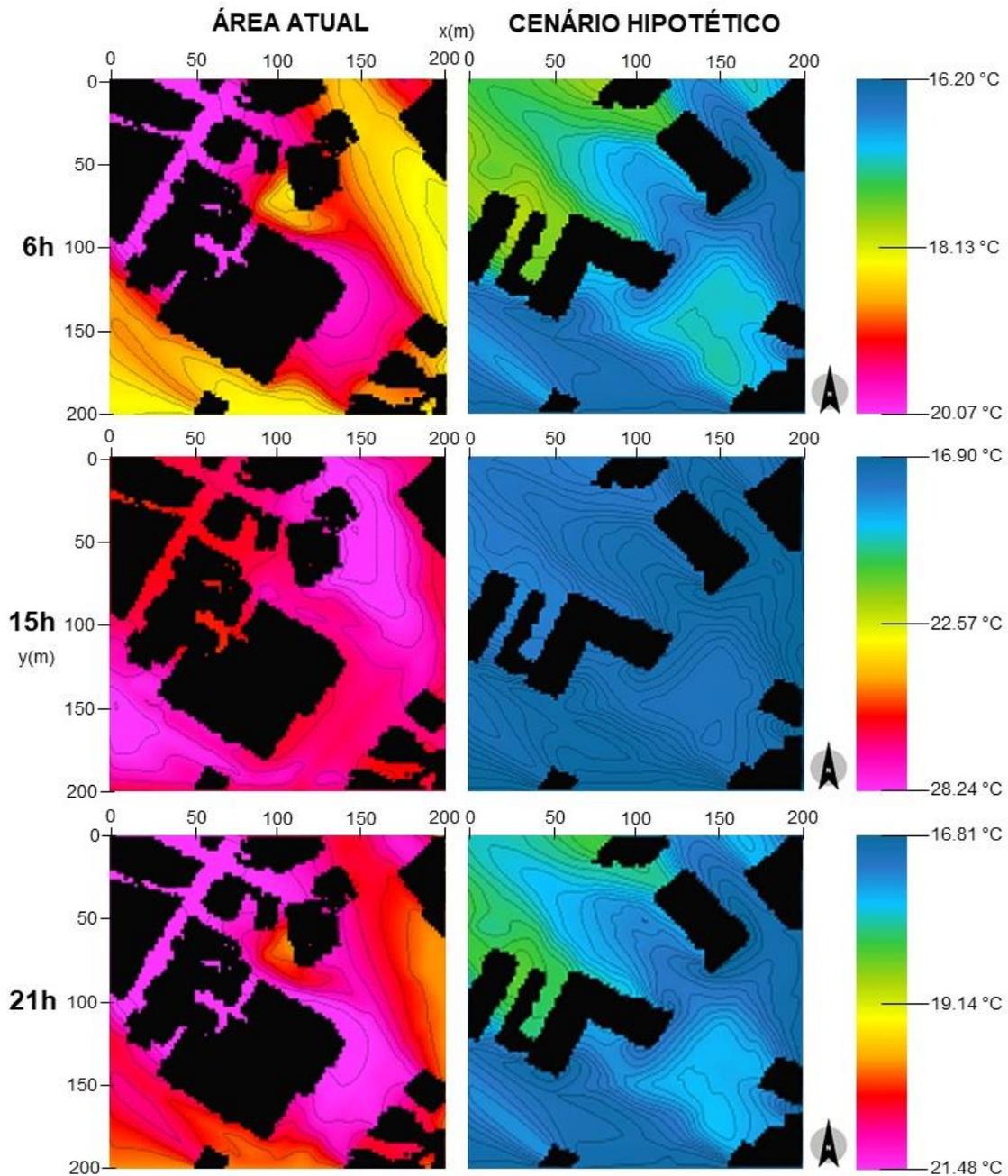


Figura 3. Mapas de potenciais de temperatura

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Já analisando as 24 horas do dia (figura 4), pode-se verificar que a temperatura na área atual é mais oscilante, amanhece com temperatura mínima de 18,19 °C, a partir das 8 horas a temperatura começa a aumentar significativamente, chegando ao pico dos 28,99 °C às 14/15 horas da tarde, no começo da noite percebe-se a queda da temperatura onde a madrugada passa a ser menos agressiva com o calor.

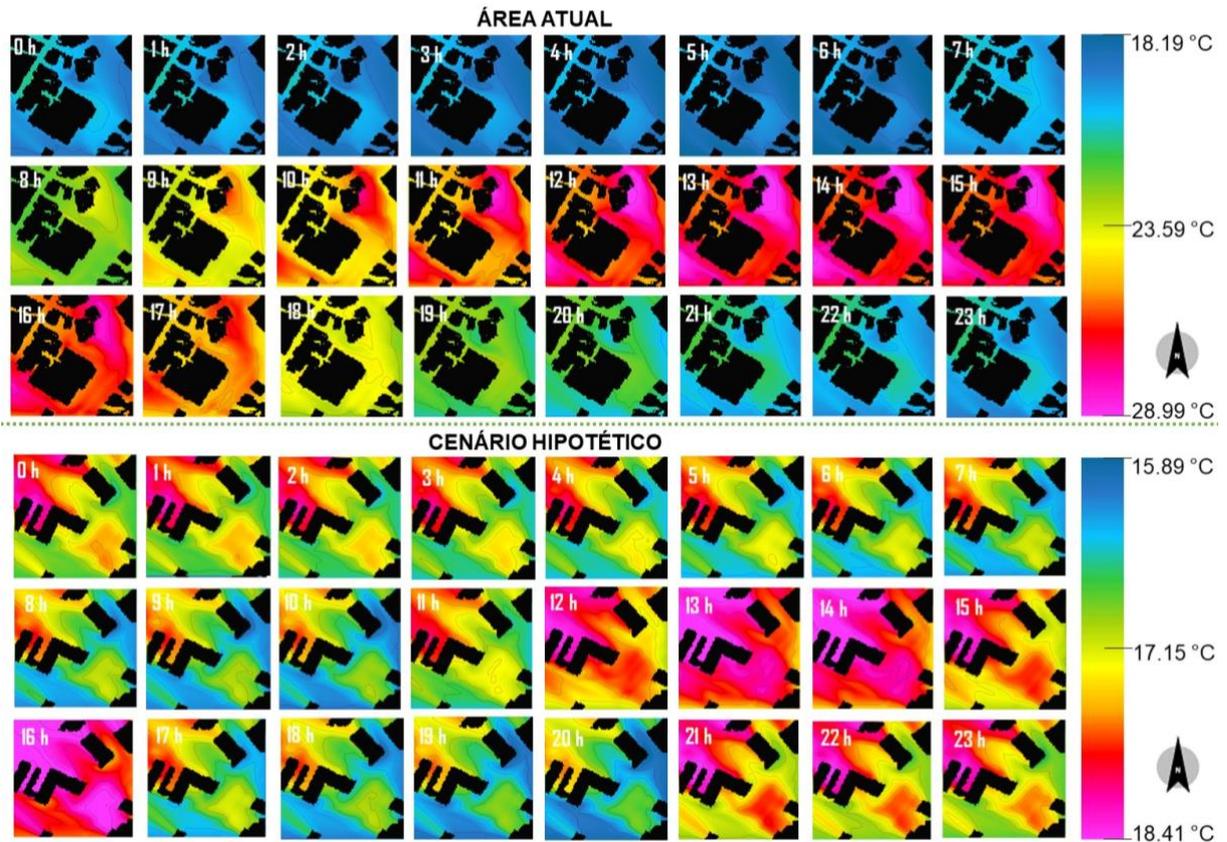


Figura 4. Comparação de mapas de potenciais de temperatura de um dia completo

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No cenário hipotético, as 24 horas possuem temperaturas mais constantes, tendo seu ápice às 14 horas com 18,41 °C (equivalente a temperatura mínima na situação atual), já a temperatura mínima é de 15,89 °C às 20 horas da noite.

Observa-se que, tanto na análise dos horários definidos quanto no estudo do dia completo, o período vespertino, tem mais influência na determinação das áreas aquecidas. É possível identificar, por meio dos mapas térmicos, que neste período, as regiões com temperatura mais elevadas são as construções cobertas por material asfáltico. Este efeito é explicado pelo baixo valor de albedo deste material, que resulta em grande absorção da energia térmica proveniente da radiação solar.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados apontados acima é possível concluir que a área urbana no Ipiranga é propícia para os estudos de clima urbano, oferecendo condição de incorporação da estratégia de mitigação de ilha de calor com o uso da vegetação.

O software ENVI-met revelou-se uma ferramenta eficiente para o estudo e verificação das temperaturas potenciais nas comparações da área atual e do cenário hipotético, permitindo a simulação dos cenários para análise em diferentes horários no ambiente externo.

O cenário hipotético adotado apresentou uma redução e equilíbrio na temperatura do ar. O maior efeito para a diminuição de temperatura da atmosfera local foi registrado às 15hs, demonstrando a capacidade e os benefícios que a massa vegetal pode impressionar no meio urbano, além de poder validar as questões de conforto térmico para as pessoas que convivem nesse ambiente.

Foi possível perceber que a adoção de vegetação como método para a mitigação faz com que seu efeito seja positivo no momento de maior presença de radiação solar. Portanto, espera-se que por meio dos resultados seja enriquecido o estudo de conforto ambiental e térmico tanto para a cidade de São Paulo como também para outras regiões, demonstrando o papel da vegetação para a mitigação das ilhas de calor como agente amenizador do microclima local que muitas cidades demandam.

## 6. REFERÊNCIAS

- 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 no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço E Tempo** (Online), v. 20, n1, p. 160-177, 2016.
- BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2011.
- BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano**. 2003. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2003.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-76, 2003.
- DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P. H. N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores?. **Estud. av.**, São Paulo, v. 30, n. 86, p. 7-27, Apr, 2016.
- GARCÍA, M. C. M. **Climatología urbana**. Edicions Universitat Barcelona, 1999.

- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Oficina de Textos, 2011.
- GONÇALVES, J. C.S; BODE, K. **Edifício ambiental**. Oficina de Textos, 2015.
- GONÇALVES, P. H. Climatologia urbana e ilhas de calor em Anápolis - GO. **XIV ENCAC X ELACAC**, Balneário Camboriu, 2017.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, 1998.
- GUAN, L. (2012). Energy use, indoor temperature and possible adaptation strategies for air-conditioned office buildings in face of global warming. **Building and Environment**, 55, 8-19.
- HEISLER, G. M. Energy savings with trees. **J. Arboricult.** 12, 113–25, 1986.
- HOWARD, L. **The climate of London**. Reino Unido, 1833.
- IBGE, IBGE Indicadores. Pesquisa Mensal de Emprego. **Série Relatórios Metodológicos**, v. 23, 2012.
- INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **BDMEP**, 2019.
- JIN, C. Y. Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof. **Landscape and ecological engineering** 8, no. 2: 173-187, 2011.
- KATZSCHNER, L. Urban Climate Studies as Tools for Urban Planning and Architecture. in: **Anais do IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Salvador, FAUFBA/LACAM - ANTAC, 1997.
- LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. Nova York: Academic Press, 1981.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles o exemplo de São Paulo**. 1985.
- 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.
- MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto, 1996.
- MORELLI, D. D. O.; LABAKI, L. C. Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído, 2009, Natal. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Natal: Encac, 2009.
- NIACHOU, K; PAPAKONSTANTINO, M.; SANTAMOURIS, A.; TSANGRASSOULIS; G. MIHALAKAKOU. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **J. Energy and Buildings**, 33, 719-729, 2001.
- NICODEMO, M. L. F.; PRIMAVESI, O. Por que manter árvores na área urbana?. **Embrapa Pecuária Sudeste-Documentos** (INFOTECA-E), 2009.

- NUNEZ, M., OKE, T. R. **The energy balance of an urban canyon**, *Journal Applied. Meteor.*, vol. 16, 11-19, 1977.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Londres: Metheum, 1978.
- ONU – Organização das Nações Unidas. **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**, 2008. Disponível em: <<http://www.ipcc.com/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- ONU-HABITAT. **Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe**. Recuperado de <http://onu.org.pe/noticias/estado-de-las-ciudades-de-america-latina-y-el-caribe-2012>, 2012.
- PETERSON, J. T.; STOFFEL, T. L. **Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri**. *Journal Applied. Meteor.*, 19, 275-283, 1980.
- 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.
- PRIMAVESI, O. Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos. **Embrapa Pecuária Sudeste- Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.
- RHEINGANTZ, P. A. **Pequena digressão sobre conforto ambiental e qualidade de vida nos centros urbanos**. Ciência e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, v. 22, jan /jun, p. 34-53, 2001.
- ROMERO, M. A.; DILONARDO, L. F. de S. P.; **Avaliação do uso de tecnologia passivas visando a eficiência energética em edifícios de escritórios**. 2001. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 2, n. 2, p. 49-61, 2014.
- TITARELLI, A. H. V. **Alterações do clima local nos centros urbanos: efeitos adversos da urbanização**. Caderno Prudentino de Geografia, n. 03, AGB, Presidente Prudente, 1982, p. 28-35.
- VATTENFALL, A.B. **Global mapping of greenhouse gas abatement opportunities up to 2030. Building sector deep-dive**, 2007. Disponível em: <[http://www.vattenfall.com/www/ccccc/Gemeinsame\\_Inhalte/DOCUMENT/567263vattenfall](http://www.vattenfall.com/www/ccccc/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/567263vattenfall)>. Acesso em: 21 mar 2020.