

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM SOBREVÃO OBLÍQUO PARA INDICAR EFEITOS DA VEGETAÇÃO URBANA NA REGULAÇÃO TÉRMICA EM BELÉM, PARÁ

Infrared thermography in oblique overfly to indicate effects of urban vegetation on thermal regulation in Belém, Pará

Anderson Silva Costa

Engenharia Florestal, doutorando em biodiversidade e biotecnologia
Universidade Federal do Pará, Brasil

Anderson.costa@embrapa.br

Irving Montanari Franco

Arquiteto e urbanista, doutor em Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal do Pará, Brasil

irvingmf@gmail.com

Lucieta Guerreiro Martorano

Meteorologista e eng. agrônoma, doutora e fitotecnia
Embrapa Amazônia Oriental, Brasil

lucieta.martorano@embrapa.br

José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes

Eng. Agrônomo, doutor em agronomia
Universidade Estadual Paulista, Brasil

reinaldojmoraes@gmail.com

Recebido: 23.11.2021

Aceito: 23.03.2022

Resumo

O objetivo neste trabalho foi fazer um scanner termográfico em sobrevoo oblíquo para indicar efeitos da vegetação urbana na regulação térmica em Belém, capital do estado do Pará, na Amazônia Oriental. As imagens termográficas foram analisadas separando-se alvos que térmicos capazes de diagnosticar padrões de distribuição de calor. Os alvos considerados foram uma avenida (Av.) bem arborizada e outra com menos arborização. Verificou-se que a diferença térmica (ΔT) média na Av. Almirante Barroso ao comparar com a Av. Rômulo Maiorana foi de 2,9°C, mas em pontos extremos a diferença foi da ordem de 7,4°C. Ao simular na Av. Almirante Barroso sob cenário “de avenida arborizada” considerando-se a diferença média (ΔT) de 2,9°C, os valores obtidos foram inferiores aos valores térmicos quando foram simulados o regime térmico na Av. Rômulo Maiorana “sem arborização”. Conclui-se que a vegetação presta importante serviço ambiental às populações. O scanner termográfico possibilitou apontar áreas com maior carga térmica pela reduzida presença de árvores na paisagem ao e/ou áreas com maior atenuação dos raios solares quando as avenidas pela vegetação.

Palavras-chave: Imagens termográficas; áreas verdes; temperatura; capital paraense.

Abstract

The objective of this study was to make a thermographic scanner in an oblique flyby to indicate the effects of urban vegetation on thermal regulation in Belém, the capital of the state of Pará, in the Eastern Amazon. The thermographic images were obtained by conducting an oblique overflight to measure temperatures and patterns of heat distribution. Targets were measured along avenues with comparatively higher and lower levels of arborization. The average difference in the temperature (ΔT) along Avenue Almirante Barroso and Avenue Rômulo Maiorana was 2.9°C, but a difference as large as 7.4°C was detected. Simulations were done designating Avenue Almirante Barroso as "wooded" and using the average difference ($\Delta t = 2.9^\circ\text{C}$) resulted in lower average temperatures than for the "unshaded" Avenue Romulo Maiorana. It is concluded that the vegetation provides important environmental services to local populations.

Keywords: thermography image, green areas, temperature, capital of Pará

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o ambiente urbano nas principais cidades do Brasil e do mundo, encontra-se em uma constante e acelerada expansão, mas carece sobretudo de planejamento bioclimático (GE *et al.*, 2020). Os interesses comerciais, muitas vezes não levam em consideração a qualidade socioambiental. Em decorrência da necessidade de moradia, os seres humanos buscam localizar suas habitações em áreas que facilite o rápido acesso ao emprego, mercado, escola e outras necessidades básicas, permitindo a grande praticidade, indispensável nos dias atuais (ALHOWAISH, 2015). Segundo Kántor e Unger (2010), o acelerado crescimento populacional em nível mundial e a possibilidade de melhores ofertas de trabalho são os responsáveis pelo aumento crescente do número de pessoas nas áreas urbanas.

No entanto, o aumento populacional das zonas urbanas, aliado à falta de planejamento adequado têm provocado inúmeros problemas quanto à qualidade ambiental. A impermeabilização excessiva do solo, adensamento da população em espaços edificados e ausência de áreas verdes são alguns destes problemas, principalmente no contexto social e ambiental. Vale destacar que a presença de vegetação nas cidades é essencial para melhorar a estrutura e dinâmica da paisagem urbana, pois devido às suas características, melhora a qualidade de vida da população e a condição ambiental das cidades (LANGEMEYER *et al.* (2020). Conforme Perini e Magliocco (2014) a arborização é um dos componentes bióticos mais importantes do meio urbano, pois está diretamente relacionada com o conforto térmico, por exemplo.

Considerando que as diferenças climáticas na Terra, são basicamente advindas da energia solar (DARAMOLA: BALOGUN, 2019), torna-se indispensável a avaliação da carga

térmica que um determinado espaço ao ar livre receberá nas diversas horas do dia e em cada época do ano, principalmente nos equinócios (outono e primavera) e solstícios (verão e inverno). O clima urbano é resultado da interação entre a sociedade, localização geográfica da cidade e ambiência, onde as alterações do ambiente decorrentes das atividades humanas (MENDONÇA; DUBREUIL, 2005). Portanto, a interferência constante da ação humana no ambiente urbano é responsável diretamente pela formação do clima urbano e seus produtos (ROVANI *et al.*, 2010).

De acordo com Bokaie *et al.* (2016), toda a configuração urbana contribui para a formação de microclimas diferenciados no contexto urbanístico. Quanto maior a área de concreto, asfalto e pavimentação (materiais com maiores coeficientes de absorção da radiação solar e emissão de energia térmica), e menor a cobertura vegetal, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior emissividade da mesma para o espaço urbano, o que contribui com o armazenamento de calor e elevações térmicas, causando um maior desconforto para o usuário dos espaços urbanos.

Segundo Mauree *et al.* (2019), as análises das condições climáticas em áreas urbanas subsidiam o planejamento por considerar a circulação do ar e as condições térmicas como aspectos relevantes para o projeto de conservação ambiental, inclusive garantindo permeabilidade para prover um “clima urbano ideal”, durante os processos de crescimento e transformação das cidades. Segundo Ge *et al.* (2020) a falta de vegetação é um dos principais responsáveis pelas alterações do clima nos grandes centros urbanos, uma vez que as propriedades de regulação e melhoria do clima que eles oferecem é uma característica fundamental para garantir um clima urbano ideal.

O fenômeno denominado ‘Ilha de Calor’, ocorre em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes, onde a temperatura do ar é mais elevada do que nas áreas vizinhas não urbanizadas (ZHOU *et al.*, 2014). A configuração da ilha de calor está relacionada também ao aumento térmico, à queda da umidade relativa do ar, aos desvios de trajetória do vento com mudanças na sua velocidade e a modificações no padrão de distribuição das chuvas. Além disso, a ausência de vegetação contribui para a formação de ilhas de calor urbanas, porque deixa de fornecer dois mecanismos de resfriamento importantes: sombra e evapotranspiração (COSTA; FRANCO, 2013).

Além disso, os materiais construtivos, o fluxo de pessoas e veículos incrementam o ganho e acúmulo de calor da atmosfera urbana. A complexidade de se analisar esta diversidade de elementos carece de estudos. Com os avanços das geotecnologias, de dados do sensoriamento remoto e aumento da resolução de imagens de satélite, obtém-se

diversas informações do ambiente terrestre (FU *et al.*, 2020). Uma das informações contidas nos dados de sensoriamento remoto é a temperatura aparente da superfície, obtida através da captação da energia eletromagnética emitida por determinado ambiente ou objeto (YU *et al.*, 2014).

Como o sensoriamento remoto agrega um conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos), através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores distantes, ou remotos, torna-se uma ferramenta muito útil para gerar informações de um determinado local (MOREIRA, 2011). Geralmente estes sensores estão presentes em plataformas orbitais ou satélites, aviões e a nível de campo. Esta técnica permite medir a temperatura superficial através das radiações infravermelhas emitidas pelos objetos (SILVA; ZAIDAN, 2011). Todos os objetos podem ser observados, uma vez que, tendo temperaturas superiores ao zero absoluto, emitem radiações no infravermelho (JIMÉNEZ-BELLO *et al.*, 2011).

As câmeras captam a radiação infravermelha emitida pela superfície convertendo em sinais elétricos, criando uma imagem térmica com um gradiente de temperatura superficial (BARREIRA *et al.*, 2007). O infravermelho corresponde a uma faixa de frequência eletromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo à temperatura próxima à do ambiente (22°C), com intensidade proporcional à quarta potência de sua temperatura (JONES; VAUGHAN, 2010). Todos os materiais apresentam capacidade de absorver a radiação no infravermelho, ocasionando aumento de temperatura, e todos os materiais acima do zero absoluto emitem radiação no infravermelho compreendida entre a região visível e as micro-ondas do espectro magnético, com comprimento de onda de 0,75 µm a 10 µm (YU *et al.*, 2014).

A técnica da termografia infravermelho transforma a emissão padrão do objeto em respostas térmicas no infravermelho, sendo detectada por uma câmera termográfica a partir de componentes da radiação como emissão, transmissão e reflexão (OCAÑA, 2004). Essa técnica vem sendo empregada também no diagnóstico de ganhos e perdas de calor nas edificações e no meio urbano. Dentre as principais condições que influenciam as medições deve levar em consideração a emissividade, a condição ambiental, o tipo material e a refletividade da superfície (BARREIRA *et al.*, 2007).

O objetivo neste trabalho foi fazer um scanner termográfico em sobrevoo oblíquo para indicar efeitos da vegetação urbana na regulação térmica em Belém, capital do estado do Pará, na Amazônia Oriental.

2. MATERIAL E METODOS

Esse estudo foi possível a partir de imagens termográficas realizadas na cidade de Belém-PA com ênfase nas principais avenidas do Bairro do Marco (Almirante Barroso e Rômulo Maiorana). A cidade de Belém apresenta dois aspectos relevantes quanto as condições de tempo e clima, ou seja, está situada em baixa latitude e apresenta influência dos efeitos do litoral (NASCIMENTO, 1995). Enquadra-se na tipologia climática Af₂, indicando que no mês menos chuvoso a precipitação pluvial média é igual ou superior a 60 mm, tendo as maiores cotas pluviais entre dezembro e julho e, no período entre julho a novembro ocorre redução das chuvas, principalmente a partir do mês de agosto Martorano *et al.* (2017).

A base de dados utilizada nesta análise, consiste em dados das imagens infravermelho derivados da Termografia, coletados e disponibilizados pelo LADEC (Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído), utilizando o equipamento Thermo Vision A320, no sobrevoo de helicóptero no dia 21 setembro de 2012 com a hora de registro das imagens entre as 12:30h e 13:30h. Destaca-se que os dados foram extraídos de imagens no infravermelho somente de superfícies urbanas expostas a condição ar-sol.

A partir da geração da imagem termal superficial obtida pelo Equipamento Thermo Vision A320, fez-se as análises usando a ferramenta Thermacam Researcher Pro 2.10, considerando pontos de temperatura superficiais nos termogramas, identificando-se os pontos de cruzamento nas Avenidas Almirante Barroso e Rômulo Maiorana com enfoque nas travessas Lomas, Estrela, Timbó, Vileta e Humaitá.

Assim, procurou-se identificar as diferenças térmicas relativas quanto as temperaturas nas copas de árvores e, em pavimentação impermeável, tendo como premissa que as temperaturas das superfícies nas condições ar-sombra sob a proteção da copa das árvores apresentassem valores inferiores àquelas expressas em alvos como nos dosséis expostos a incidência solar direta.

A metodologia utilizada para analisar o efeito da temperatura na Av. Almirante Barroso e Av. Rômulo Maiorana, no Bairro do Marco, sob o enfoque da importância da vegetação urbana, conforme sintetizada no diagrama da Figura 1.

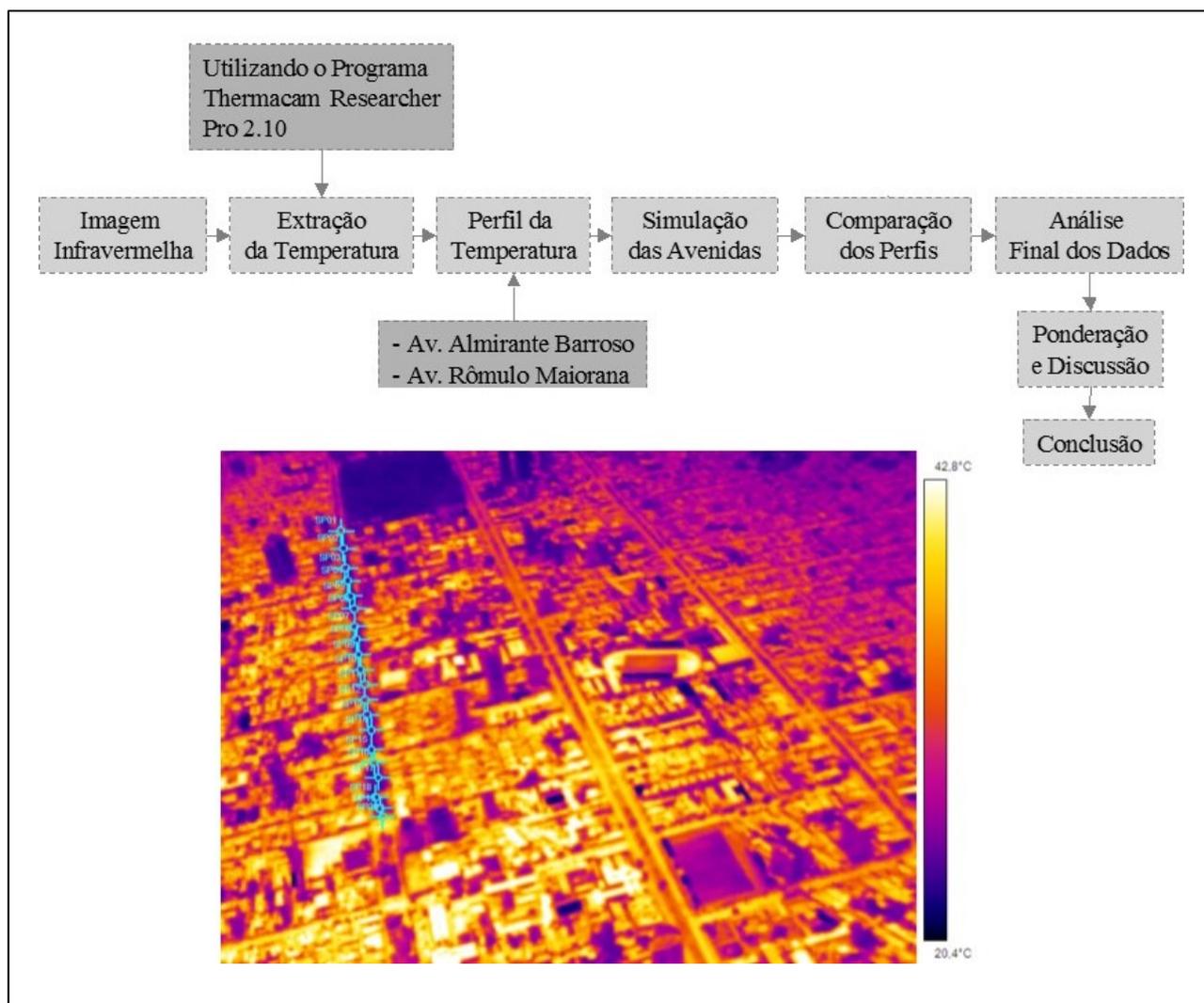


Figura 1 - Diagrama metodológico da análise dos padrões termográficos no espectro do infravermelho próximo. **Foto:** Irving Montanari Franco, 2012.

Os termogramas permitem extrair informações sobre o conforto ambiental, pois os valores térmicos de diferentes espaços urbanos conhecidos podem confirmar a presença ou a ausência da vegetação na grande Belém. Nesse contexto, as análises foram realizadas objetivando quantificar os efeitos da arborização no clima urbano, quanto ao aspecto referente à atenuação da radiação solar incidente e seu efeito no conforto térmico, no Bairro do Marco.

Portanto, foram utilizados dados de temperatura e dados das simulações correspondentes as avenidas analisadas, a partir das variações térmicas superficiais. Sabe-se que as diferentes sensações (i) Ar-Sombra e (ii) Ar-Sol poderiam ser consideradas, mas neste estudo o foco foi para a condição Ar-Sol. O imageamento oblíquo foi utilizado visando atenuar possíveis distorções nos termogramas ao diagnosticar as temperaturas radiantes superficiais.

Foram realizadas também simulações das condições térmicas nas avenidas Almirante Barroso e Rômulo Maiorana (entre a Trav. Lomas Valentinas, denominada de forma resumida apenas de Trav. Lomas e a Trav. Humaitá), a partir da média da diferença das temperaturas de cada avenida (Tabela 1). As simulações térmicas são informações básicas para o entendimento do efeito da arborização, nessas vias de acesso. Os dados de temperatura extraídos das imagens termográficas no infravermelho próximo usando o aplicativo ThermaCAM Researcher 2.1. Os valores extraídos apontam o perfil das temperaturas superficiais nas duas Avenidas do Bairro do Marco. Assim sendo, foram extraídos 20 (vinte) pontos de temperaturas superficiais nas avenidas com o propósito de analisar o comportamento térmico nessas avenidas.

Tabela 1: Demonstração da metodologia na simulação das avenidas Almirante Barroso e Rômulo Maiorana.

Dados de Temperatura		Δ Temp.	Simulações	
T1=Av. Almirante Barroso	T2=Av. Rômulo Maiorana	T1-T2	T1'={T1- Média Δ Temp. (T1-T2)} Av. Almirante Barroso "arborizada"	T2'={T2- Média Δ Temp. (T1-T2)} Av. Rômulo Maiorana "sem arborização"
a1	b1	a1-b1	a1'	b1'
a2	b2	a2-b2	a2'	b2'
a3	b3	a3-b3	a3'	b3'
.
.
.
Média T1	Média T2	Média Δ Temp. (T1-T2)	Média T1'	Média T2'

Desvio padrão indica o grau de variação de um conjunto de elementos em relação à média e pode ser representado pela equação:

$$X_1=T_1; X_2= T_2; X_3= T_3; \dots$$

Em que:

X= Média

n= Quantidade das amostras=20

$$\sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

A simulação da Av. Almirante Barroso “arborizada” foi resultado da subtração da diferença Média (2,8°C) dos valores de temperaturas superficiais (Tabela 2). No caso da Av. Rômulo Maiorana com a adição de 2,8°C para cada temperatura superficial as simulações com ausência de vegetação arbórea, ou seja, “sem arborização”.

Vale ressaltar, que os estudos de Barbosa (2005) indicaram influência de áreas verdes sobre condições térmicas em diferentes recintos urbanos na cidade de Maceió, indicando que durante o período de verão houve diferença média de temperatura do ar na ordem de 2,5°C entre um ambiente arborizado e um ambiente no entorno desprovido de vegetação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar os valores das temperaturas obtidas nas vias analisadas, verificou-se que em média a temperatura superficial na Av. Rômulo Maiorana foi de 31,1°C com desvio padrão de 1,8°C, semelhante ao desvio padrão médio na Av. Almirante Barroso, mas os valores observados apresentaram média mais elevada, da ordem de 34,0°C (Tabela 2).

Essa elevação pode ser explicada pela ausência e/ou baixa ocorrência de vegetação arbórea ao longo da Av. Almirante Barroso. Ressalta-se ainda, que os padrões termográficos na Av. Rômulo Maiorana apontam respostas decorrentes da presença do componente arbóreo nas áreas de canteiro central, evidenciando reduções na temperatura ao comparar com os valores nos alvos extraídos na grande via de acesso na capital paraense que é Almirante Barroso. Vale ressaltar, que a Avenida Rômulo Maiorana é mais arborizada do que a Avenida Almirante Barroso.

Os resultados apresentados na Tabela 2, corroboram com os estudos de Fan *et al.* (2018). Os autores constataram que a amplitude térmica é inversamente proporcional à porcentagem de vegetação, apontando efeitos da vegetação na redução das diferenças térmicas. Em estudos de Cruz; Lombardo (2007), na cidade de São Paulo, foi verificado que a amplitude térmica apresentou valores superiores nas áreas com ausência de vegetação ao comparar com as áreas vegetadas.

Vale ressaltar, que na Av. Rômulo Maiorana teve uma temperatura Superficial de 37,3°C. Este ponto trata-se do cruzamento desta via com a Travessa Humaitá. Em termos de temperatura superficial nas duas avenidas analisadas, verificou-se diferença média de 2,8°C (Tabela 2). Segundo Mahmoud (2011) o efeito das árvores no microclima ao longo do dia ocorre devido à redução da passagem dos raios solares para o chão, proporcionado pelo sombreamento da vegetação, apontado que entre 60 e 75% da energia solar incidente na arborização é consumida em processos fisiológicos das plantas.

Tabela 2: Temperaturas superficiais e com as simulações das Temperaturas gerados a partir da diferença das temperaturas originais.

Média Desvio Padrão (DPV)	Valores observados na Av. Rômulo Maiorana (T°C)	Valores observados na Av. Almirante Barroso (T°C)	ΔT (Entre as avenidas)	Simulação Av. Almirante Barroso Arborizada (subtração)	Simulação Av. Rômulo Maiorana Sem Árvores (Soma)
	30,0	31,2	1,2	28,4	32,8
	31,3	33,0	1,7	30,2	34,1
	30,0	32,9	2,9	30,1	32,8
	29,8	33,8	4,0	31,0	32,6
	30,3	33,8	3,5	31,0	33,1
	31,0	34,6	3,6	31,8	33,8
	30,0	32,3	2,3	29,5	32,8
	30,4	33,4	3,0	30,6	33,2
	30,4	32,0	1,6	29,2	33,2
	33,6	34,8	1,2	32,0	36,4
	31,8	32,3	0,5	29,5	34,6
	30,8	32,4	1,6	29,6	33,6
	30,2	34,0	3,8	31,2	33,0
	30,6	35,0	4,4	32,2	33,4
	32,4	35,3	2,9	32,5	35,2
	29,8	36,6	6,8	33,8	32,6
	29,6	37,0	7,4	34,2	32,4
	32,1	37,0	4,9	34,2	34,9
	37,3	37,1	-0,2	34,3	40,1
Média	31,1	34,1	3,0	31,3	33,9
DPV	1,8	1,8	2,0	1,8	1,8

Fonte: Autores.

Portanto, vale ressaltar que na Figura 2 (A), notam-se picos nas duas curvas térmicas superficiais. Este fato ocorre em virtude de cruzamentos ao longo das duas vias de acesso. A curva que indica a condição térmica na Av. Almirante Barroso apresentou valores mais elevadas ao comparar com a via Rômulo Maiorana, em decorrência de que na Almirante Barroso há mais área impermeável (calçadas, ruas pavimentadas e asfaltadas). A maior densidade construída condiciona sempre elevações térmicas devido à diminuição das trocas térmicas de calor latente. A diminuição de áreas verdes reduz a perda de calor pelo processo de evapotranspiração, enquanto a maior massa construída contribui para atrasar a perda de calor no processo de interação áreas pavimentadas com áreas vegetadas. Ao comparar os valores das temperaturas superficiais (Figura 2A) e dos valores simulados considerando as avenidas “arborizadas” e “sem arborização”, observa-se um novo perfil nas duas curvas (Figura 2B).

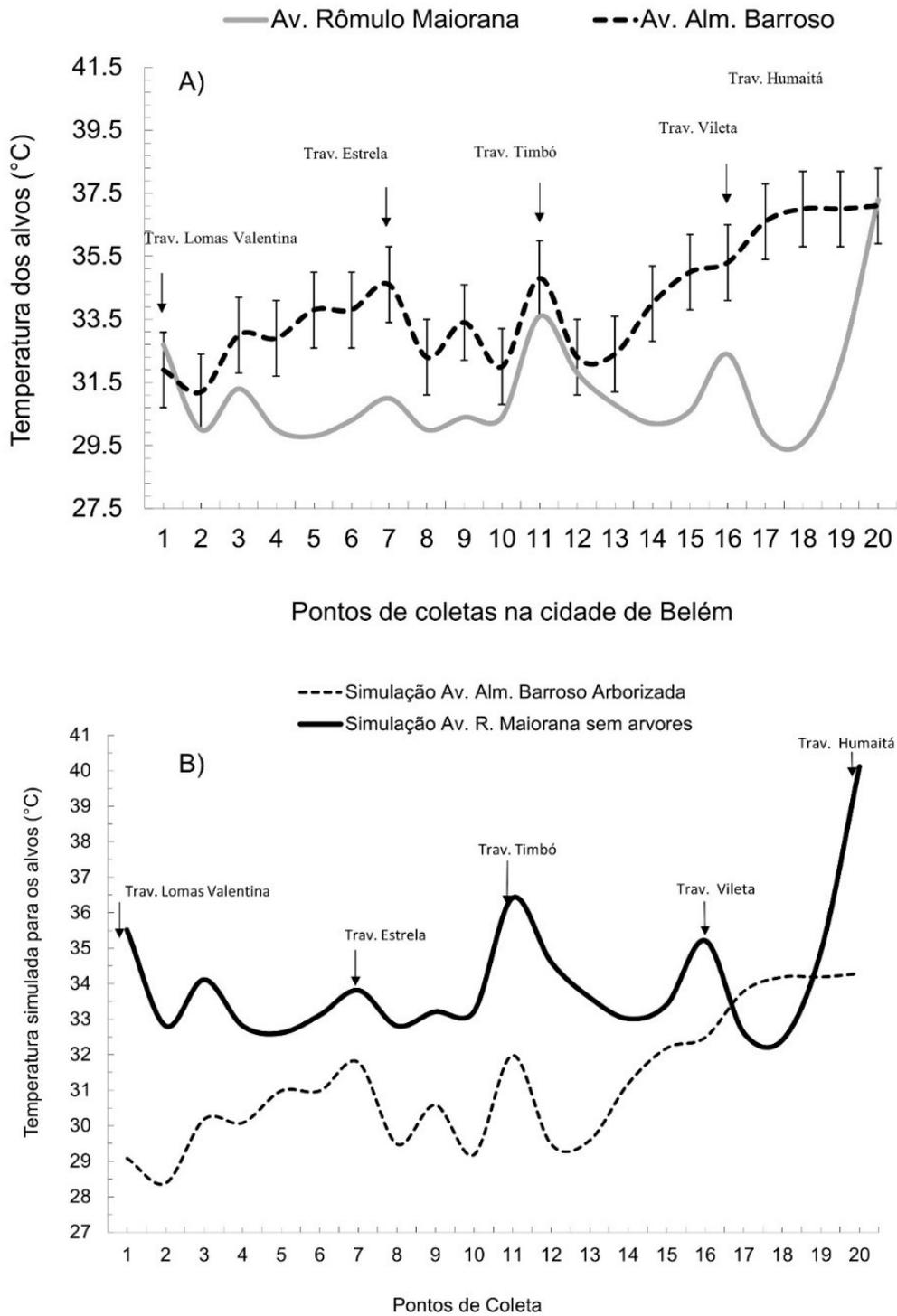


Figura 2 - Perfil térmico nas Avenidas Rômulo Maiorana e Almirante Barroso em Belém.

Fonte: Autores

Percebe-se que houve uma inversão das curvas, a Av. Almirante Barroso “arborizada” obteve temperaturas superficiais mais reduzidas ao comparar com a Av. Rômulo Maiorana “sem arborização”. Esta simulação aponta um cenário negativo se as autoridades retirarem ou reduzirem o percentual de áreas verdes na Av. Rômulo Maiorana,

indicando temperaturas elevadas nesta principal via de acesso rodoviário da BR 153 (Belém-Brasília) com o terminal rodoviário de Belém, localizado no bairro de São Brás.

As áreas arborizadas nos centros urbanos ampliam os benefícios, desde os benefícios físicos quanto os climáticos, como por exemplo, a redução da incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre, diminuindo a poluição do ar e reduzindo o consumo de energia em regiões quentes (GONÇALVES *et al.*, 2012).

Analisando as 4 (quatro) condições térmicas em relação ao número de ocorrências nas temperaturas superficiais, observa-se que os valores se concentraram na faixa 29,5°C a 35,0°C (Figura 3).

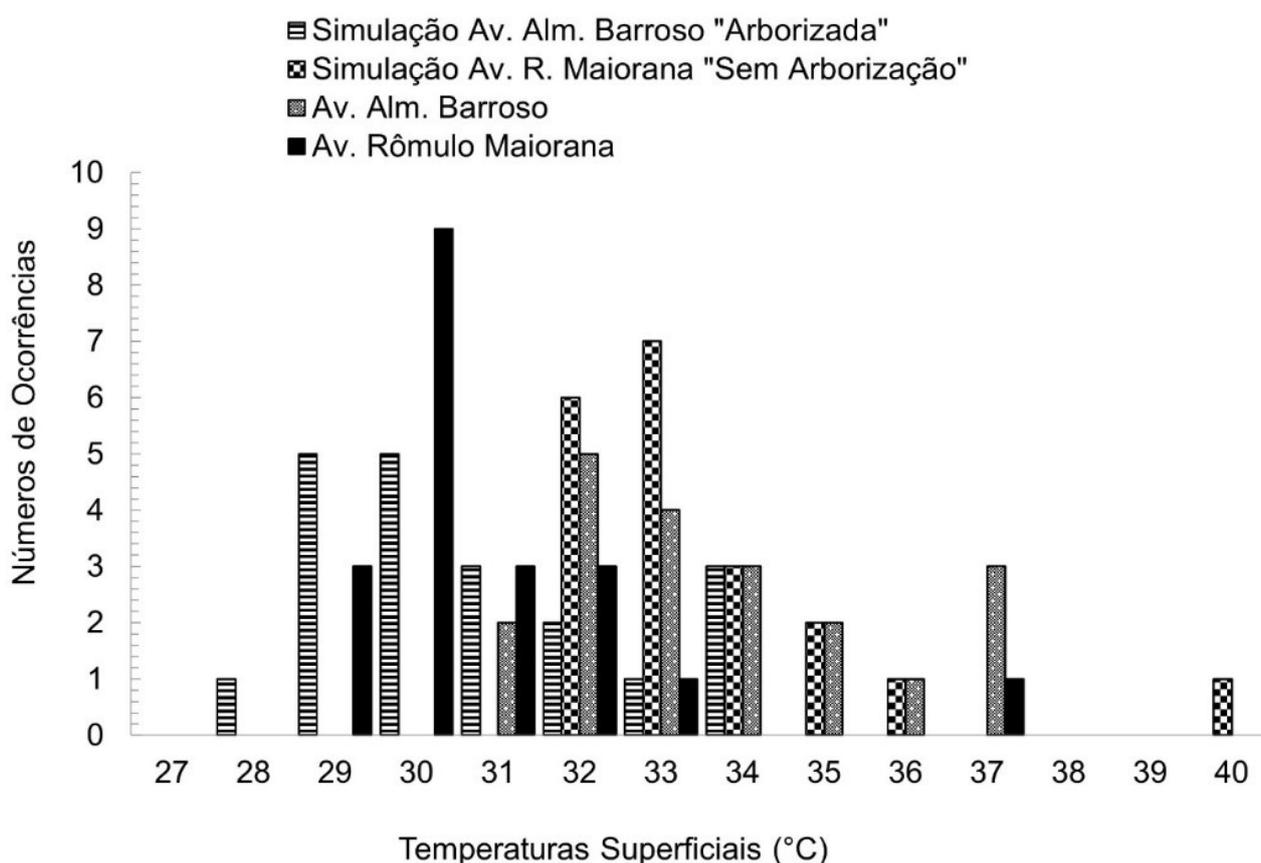


Figura 3 - Temperaturas superficiais observadas e simuladas por número de ocorrências em duas avenidas no Bairro do Marco, na cidade de Belém, Pará.

Fonte: Autores.

Segundo Romero (2001), a vegetação contribui de forma significativa no estabelecimento dos microclimas, estabilizando os efeitos do clima sobre seus arredores imediatos, reduzindo os extremos, apontando que a os cintures verdes melhoram a renovação do ar, mitigando inclusive a redução térmica.

Schmitz; Mendonça (2011) observaram, em pontos de monitoramento nos dois principais eixos estruturantes da circulação viária da cidade de Curitiba, que nos locais onde há arborização, tanto nos lotes como nas vias, a amplitude térmica foi menor, tanto no verão quanto no inverno. Isso ocorre porque o controle da radiação solar, associado ao aumento da umidade do ar promove a variação da temperatura do ar, reduzindo a amplitude térmica em decorrência da vegetação (HUANG *et al.*, 2008; MASCARÓ; MASCARÓ, 2009).

Ao observar apenas os números das ocorrências entre os valores térmicos superficiais na Almirante Barroso comparadas com os valores simulados nessa mesma via sob condição “arborizada”, percebe-se que houve redução nos valores térmico superficial, passando do intervalo de 31°C a 37°C (barras escuras) para 27°C a 34°C (degradê) na sob condição “arborizada”.

Esta diferença de temperatura, também foi observada por Spronken-Smith; Oke (1998), que apontam a mudança entre a área verde e a área construída que pode produzir uma diferença na temperatura intraurbana em até 7° C.

Ao analisar os valores térmicos na via Rômulo Maiorana bem como as simulação sob condição “sem arborização nota-se elevações térmicas superficiais passando do intervalo de 29°C a 37°C para 32°C a 40°C, indicando elevações térmicas na ausência do componente arbóreo.

Ao analisar a frequência de ocorrência cumulativa das temperaturas superficiais verifica-se também a concentração dos valores nas quatro avenidas, indicando a concentração das temperaturas superficiais na faixa de 30°C a 38°C (Figura 4).

É importante destacar que os valores evidenciam a redução da temperatura superficial de uma avenida arborizada ao comparar com vias não arborizadas, indicando que há atenuação da radiação solar devido ao percentual de área verde em vias urbanas.

Também, é possível inferir que a sensação de conforto térmico é influenciada pela presença da vegetação, bem como os efeitos do sombreamento na condição de ventilação. O aumento da carga térmica é processo natural em cidades de médio e grande porte, em decorrência da redução dos espaços vegetados para ampliação das áreas urbanizadas. A presença da vegetação nas vias, ruas e avenidas no Bairro do Marco, reforçam as afirmações de Naeem *et al.* (2018), quanto a necessidade de utilizarem o plantio de árvores como estratégia mitigadora de efeito de ilha de calor em grandes metrópoles. A arborização evita o aquecimento de materiais como asfalto e concreto e a liberação da radiação de onda longa acumulada durante a noite.

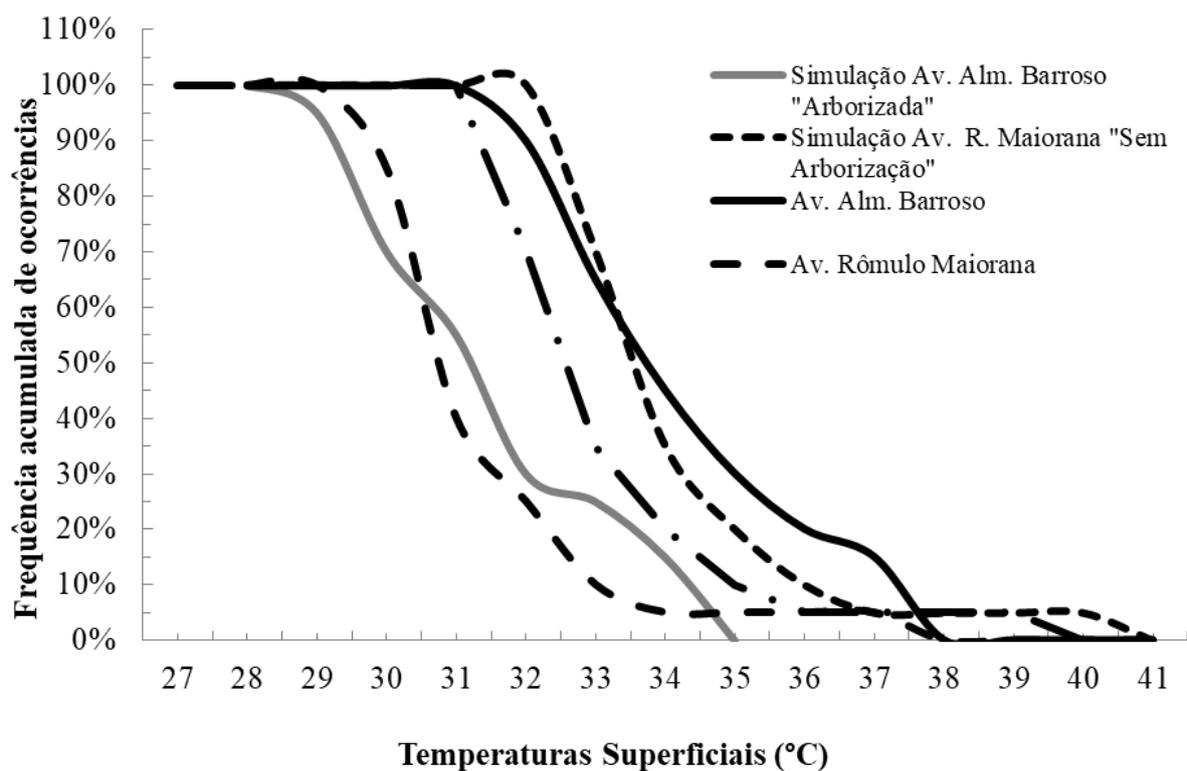


Figura 4 - Distribuição dos números de ocorrências nas Temperaturas Superficiais nas quatro Curvas.
Fonte: Autores.

Pode-se destacar que a diferença na temperatura máxima (38°C) ao analisar a avenida sem arborização foi mais acentuada do que a mínima (33°C) sob condição arborizada. Isto indica que a vegetação desempenha um excelente papel na atenuação de cargas térmicas. De acordo com Wilmers (1990), a vegetação diminui os picos de elevações térmicas durante o dia.

Vale ressaltar, que a diferença nas temperaturas superficiais nas duas avenidas está associada a aspectos como, por exemplo, ausência e/ou distribuição da vegetação ao longo das avenidas, diferença da geometria da avenida, cada canteiro central possui tamanho e espaçamentos diferenciados, cruzamentos por condição morfológica, mas sempre com comportamento distintos em função da arborização adjacentes e, ventilação e sombreamento das avenidas.

Cruz (2020) reforça a importância da arborização quanto ao bloqueio dos raios solares nas áreas pavimentadas e construídas como estratégia de controlar a temperatura nos centros urbanizados. Para Santos e Teixeira (2001), a arborização de vias públicas demanda de ações voltadas a captação e/ou retenção de material particulado, adsorção de gases, reciclagem de gases através dos mecanismos fotossintéticos, melhoria da qualidade

do ar, redução dos níveis de ruído, equilíbrio do microclima urbano, proteção à avifauna, conforto lumínico e ambiental, principalmente.

De acordo com Lima (2011) esses fatores estão intimamente condicionados a fatores como o tipo de vegetação, porte, idade, período do ano e formas de associação dos componentes arbóreos utilizados no paisagismo urbano.

4. CONCLUSÕES

O scanner termográfico no infravermelho em sobrevoo oblíquo em ambientes urbanos permite diagnosticar respostas térmicas em superfícies construídas, pavimentadas e com vegetação arbórea, auxiliando na detecção e mapeamento de pontos de maior acúmulo de calor em grandes centros urbanos como na capital paraense.

A termografia no infravermelho aponta áreas com maior presença de vegetação arbórea que evidenciam maior conforto térmico ao comparar com as vias com baixa ou ausência de vegetação, onde as elevações térmicas indicam áreas propícias à formação de ilhas de calor na cidade de Belém.

Entre as alternativas mitigadoras dos efeitos negativos da formação de ilhas de calor, os gestores devem adotar formas de ampliar a arborização em avenidas como na Almirante Barroso. Ambientes arborizados possuem temperaturas mais baixas ao comparar com os ambientes desprovidos de vegetação.

A arborização além de manter dar uma maior sensação de conforto térmico desempenha um importante papel na qualidade ambiental como foi observado nas duas avenidas do Bairro do Marco em Belém. Vale salientar que outros elementos interferem também na qualidade térmica, como a presença de áreas permeáveis, tipologia das edificações e materiais construtivos. Enquanto a vegetação absorve o calor do meio e o transforma, as superfícies construídas retém esse calor e o transmite novamente para o meio.

É responsabilidade do poder público promover a conservação e implantação de áreas verdes nos bairros de Belém, como parques, praças e jardins, o plantio de árvores em ruas e avenidas e incentivar o plantio em áreas particulares ou terrenos baldios.

Essas informações são imprescindíveis aos procedimentos de tomada de decisões nas atividades de planejamento e gestão. Esses resultados visam subsidiar a adoção de políticas públicas de desenvolvimento urbano, inclusive indispensáveis na adoção de estratégias de cidades sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALHOWAISH, A.K. Eighty years of urban growth and socioeconomic trends in Dammam metropolitan area, Saudi Arabia. Hong Kong, **Habit. Int.**, v. 50, p. 90-98, 2015.

BARBOSA, R. V. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

BARREIRA, E.; FREITAS, V.P. Evaluation of Buildings Materials Using Infrared Thermography. Reino Unido, **Construction and Building Materials**, v. 21. p. 218-224. 2007.

BOKAIE, M.; ZARKESH, M.K.; ARASTEH, P.D.; HOSSEINI, A. Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/ Land Cover in Tehran. **Sustain. Cities Soc.**, v. 23, p. 94–104, 2016.

NASCIMENTO, C. C. **Clima e Morfologia Urbana em Belém**. Universidade Federal do Pará. Núcleo de Meio Ambiente.1995. 158 f. (Trabalho de Graduação) - Instituto Socioambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

COSTA. A. S.; FRANCO. I. M. Ilhas de Calor, as Cidades estão em Ebulição. **Revista Cidadania & Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 4-7, 2013.

CRUZ, G. C. F. The Urban Area of The Verde River Basin and the Environmental Impacts Caused by the Urbanization of Ponta Grossa – Pr – Brasil. **Brazilian Journal of Development.**, v. 6, n. 11, p. 87952-87965, 2020.

CRUZ, G. C. F.; LOMBARDO, M. A. A. **importância da arborização para o clima urbano**. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REGENERAÇÃO AMBIENTAL DE CIDADES, 2., 2007, Londrina. Anais... Londrina, 2007.

DARAMOLA, M.T.; BALOGUM, I.A. Local climate zone classification of surface energy flux distribution within an urban area of a hot-humid tropical city. Switzerland, **Urban Climate**, v. 29, p. 1-12, 2019.

FAN, S., LI, X., HAN, J.; HAO, P.; Dong L. Assessing the effects of landscape characteristics on the thermal environment of open spaces in residential areas of Beijing, China. **Landscape Ecol Eng.**, v. 14, p. 79–90, 2018.

FU, W.; MA, J.; CHEN, P.; CHEN, F. Remote Sensing Satellites for Digital Earth. In Manual of Digital Earth; Guo, H., Goodchild, M.F., Annoni, A., Eds.; **Springer**: Singapore, v. 2, p. 55–123. 2020.

GE, X.; MAUREE, D.; CASTELLO, R.; SCARTEZZINI, J.-L. Spatio-Temporal Relationship between Land Cover and Land Surface Temperature in Urban Areas: A Case Study in Geneva and Paris. **ISPRS Int. J. Geo-Inf.**, v. 9, p. 1-24, 2020.

GONÇALVES, A.; CAMARGO, L. S.; SOARES, P. F. Influência da vegetação no conforto térmico urbano: Estudo de caso na cidade de Maringá – Paraná. In: SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 3., 2012. **Anais ...** 2012.

HUANG, L.; ZHAO, D.; WANG, J.; ZHU, J.; LI, J. Scale impacts of land cover and vegetation corridors on urban thermal behavior in Nanjing, China. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 94, p. 241–257. 2008.

JIMÉNEZ-BELLO MA, BALLESTER C, CASTEL JR, INTRIGLIOLO DS. Development and validation of an automatic thermal imaging process for assessing plant water status. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1497–1504. 2011.

JONES H. G.; VAUGHAN R. A. **Remote sensing of vegetation**: principles, techniques and applications. Oxford: Oxford University Press. 2010. 353p.

KÁNTOR, N.; UNGER, J. Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: an urban park as an example. **Landscape and Urban Planning, Amsterdam**, v. 98, p. 36-46, 2010.

LANGEMEYER, J.; WEDGWOOD, D.; MCPHEARSON, T.; BARÓ, F.; MADSEN, A.L.; BARTON, D.N. Creating urban green infrastructure where it is needed-A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. **Sci. Total. Environ.**, v. 707, p. 135487. 2020.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; CAXIAS DA SILVA, B. P.; CABRAL DE MORAES, J. R.; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; Reichardt, K. Climate conditions in the eastern amazon: Rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 12, p. 1801-1810, 2017.

MAHMOUD, A. H. A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. **Building and Environment**, Oxford, v. 46, p. 2641-656. 2011. MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. J. **Ambiência Urbana**. 3. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009. 200 p.

MAUREE, D.; NABONI, E.; COCCOLO, S.; PERERA, A. T. D.; NIK, V. M.; SCARTEZZINI, J. L. A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. **Renew. Sustain.**, n. 112, p. 733–746, 2019.

MENDONÇA, F. DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **RA´EGA**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: EdUFV, 2011. 157p.

NAEEM, S.; CAO, C.; WAQAR, M.M.; WEI, C.; ACHARYA, B.K. Vegetation role in controlling the ecoenvironmental conditions for sustainable urban environments: A comparison of Beijing and Islamabad. **J. Appl. Remote Sens.**, v. 12, p. 16013, 2018.

OCAÑA, S. M.; GUERREIRO, I.C.; REQUENA, I.G. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 515-523, 2004.

PERINI K, MAGLIOCCO A. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. **Urban For Urban Gree.**, v. 13, n. 3, p. 495-506, 2014.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226p.

ROVANI, F. F. M.; COSTA, E. R.; CASSOL, R.; SARTORI, M. G. B. Ilhas de calor e frescor urbanas no bairro Camobi, Santa Maria/RS, em situação atmosférica de domínio da massa polar atlântica no inverno. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 6, p. 23-36, 2010.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, J. F. **Arborização de vias públicas: ambiente x vegetação**. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001. 135p.

SCHMITZ, L. K.; MENDONÇA, F. Reestruturação urbana e conforto térmico: cenários de modelização em Curitiba - PR após a copa de 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 8, n. 7, p. 61-81, 2011.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 22p.

SPRONKEN-SMITH, R.A., OKE, T.R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **Int. J. Remote Sens.**, v. 19, p. 2085-2104, 1998.

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings, Lausanne**, v. 16, p. 507-514. 1990

YU, X.; GUO, X.; WU, Z. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. **Remote Sens.**, v. 6, p. 9829–9852, 2014.

ZHOU, D.; ZHAO, S.; LIU, S.; ZHANG, L.; ZHU, C. Surface urban heat island in China's 32 major cities: spatial patterns and drivers. **Remote Sens. Environ.**, v. 52, p. 51-61, 2014.

Recebido: 23.11.2021

Aceito: 23.03.2022