09

Modelagem da temperatura da superfície urbana em função da cobertura vegetal e da população de municípios paulistas

José Eduardo Abramides Testa
Universidade Brasil - UB

Luiz Sérgio Vanzela
Universidade Brasil - UB

Roberto Andreani Júnior
Universidade Brasil - UB

Larissa Gabriela Oliveira Gambi
Universidade Brasil - UB

Gisele Herbst Vazquez
Universidade Brasil - UB

doi 10.37885/220308009

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a variação da temperatura da superfície urbana em função da cobertura vegetal, de modo a obter um modelo matemático que permita quantificar a porcentagem ideal nos municípios. Foram avaliados 15 municípios de São Paulo de diferentes populações, nos quais foram quantificadas as áreas das copas das árvores e áreas verdes sobre imagens do *Google Earth Pro* e que foram confrontadas com imagens termais. Concluiu-se que a cobertura arbórea se mostrou mais eficiente na redução da temperatura do que a porcentagem de área verde ou de cobertura vegetal e que, a cobertura arbórea de 40% seria o mínimo recomendável para proporcionar um adequado balanço térmico em áreas urbanas, independentemente da população da cidade.

Palavras-chave: Urbanização, Árvores, Cobertura Arbórea, Área Verdes.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais, regionais e locais representam, na atualidade, uma das maiores preocupações da humanidade. Essas mudanças podem ocorrer tanto a partir de causas naturais quanto a partir de causas antrópicas. Um exemplo são as anomalias térmicas denominadas "ilhas de calor", caracterizadas por intensos gradientes de temperatura entre as áreas urbanas e rurais (COLTRI, 2006).

É importante ressaltar que, mesmo pequenos aumentos na temperatura média podem resultar em grandes alterações na frequência de extremos. Para as cidades com maior densidade populacional, as temperaturas no centro das "ilhas de calor" podem ser vários graus mais elevadas do que nas áreas circundantes e nas cidades tropicais, essa diferença pode chegar a 10ºC no final da noite (PRIORI JR, 2013).

Esse fenômeno exerce grande influência na qualidade de vida da população, estando diretamente relacionado ao conforto e à saúde dos indivíduos, seja por problemas relacionados ao calor, como o estresse térmico, ou por problemas de doenças relacionados à qualidade do ar (AMORIM, 2010). Por isso tornam-se necessários os estudos sobre clima urbano, uma vez que o ser humano sempre está em busca de melhor qualidade de vida e conforto ambiental (CRUZ, 2009).

As áreas verdes funcionam como um antídoto natural contra as "ilhas de calor" e a poluição do ar, removem carbono da atmosfera contribuindo para o equilíbrio climático, protegem o solo, promovem segurança hídrica, previnem enchentes, protegem a fauna e impactam positivamente na saúde humana. Aspectos estéticos e paisagísticos da cidade também são mais valorizados com a ampliação das áreas verdes (PRADELLA; SILVA; NISI, 2015). Outras vantagens também podem ser citadas pela utilização de árvores nas cidades como:

- a diminuição do uso de ar-condicionado no verão, visto que uma árvore isolada pode transpirar em média 400 L de água por dia, o que provoca um resfriamento equivalente ao de cinco aparelhos de ar-condicionado médios (2.500 kcal/h) em funcionamento por 20 h, e no inverno, quando existem espécies decíduas plantadas nas vias públicas, redução do uso de aquecedores, economizando energia (GREY; DENEKE, 1986);
- captação e/ou retenção de material particulado, redução dos níveis de ruído (SANTOS; TEIXEIRA, 2001);
- sombreamento e conservação do asfalto (cada m^2 de asfalto coberto por copas de árvores reduz os gastos públicos com manutenção em R$15,47/ano) (SILVA FILHO, 2006);
- os benefícios das florestas urbanas proporcionam uma economia três vezes maior

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

que o custo de sua manutenção, segundo o USDAForest Service (2016);

- redução da velocidade das enxurradas pela retenção e liberação aos poucos da água das chuvas (espécies de grande porte como a tipuana e a sibipiruna podem reter até 60% da água nas duas primeiras horas de uma chuva) (SILVA et al., 2007);
- funções recreativas e estéticas;
- propriedades que possuem vegetação ou que estão localizadas próximas de áreas verdes, tendem a possuir maior valor no mercado imobiliário;
- a implantação de árvores de rua pode melhorar a qualidade da água da região, visto reduzir o escoamento superficial e de poluentes carregados pelas águas pluviais até rios e córregos (SANDERS, 1986).
- áreas verdes e ruas arborizadas reduzem problemas de saúde, como obesidade e doenças cardíacas, por fornecerem ambientes que incentivam a prática de exercícios físicos ao ar livre, promovendo mudanças no estilo de vida das pessoas (NOWAK; DWYER, 2007).

A alteração do meio físico, causada pela crescente aglomeração populacional, fez com que as qualidades ambiental e de vida urbana se tornassem insatisfatórias, e, para avaliar o bem-estar da população, foram criados indicadores abordando contextos relacionados a condições econômicas, sociais e ambientais. Um deles é a porcentagem de cobertura vegetal no perímetro urbano, que inclui todo tipo de cobertura verde do traçado viário, maciços e fragmentos de vegetação nativa, quintais, jardins de residências, praças, Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas verdes implantadas, tendo como meta ideal em uma cidade, uma porcentagem de 50%, de acordo com a Resolução Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo n.º 33, de 28/03/2018 (SÃO PAULO, 2018).

A obtenção desse valor pode ser pelo mapeamento de toda a cobertura vegetal de um bairro ou cidade, com posterior quantificação em metros ou quilômetros quadrados, chegando-se à porcentagem de cobertura verde existente nesses espaços. O conceito de cobertura vegetal difere do de áreas verdes, visto que nesse último, canteiros, pequenos jardins de ornamentação, rotatórias e arborização em calçadas não são contabilizados.

Sabe-se que a vegetação diminui a temperatura média local em função de fatores físicos e fisiológicos, como a fotossíntese, a evapotranspiração e o sombreamento e que, segundo a literatura, aumentos na cobertura vegetal urbana é capaz de diminuir a temperatura superficial.

Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar a variação da temperatura da superfície urbana em função de sua cobertura vegetal de modo a obter um modelo matemático que

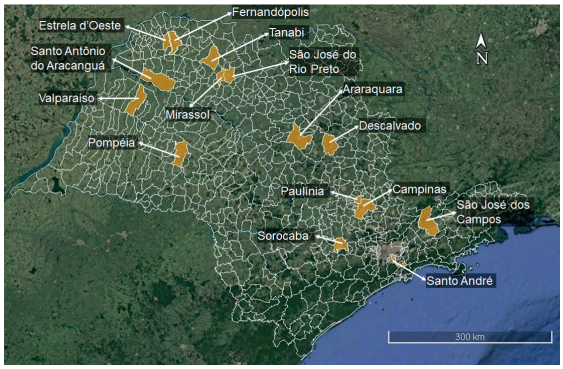
permita quantificar a porcentagem ideal de cobertura verde nos municípios de acordo com a sua população.

MÉTODO

Municípios avaliados

O trabalho foi desenvolvido de setembro de 2019 a março de 2020, em um total de 15 municípios do estado de São Paulo, divididos em cinco extratos populacionais com três cidades em cada, que foram selecionadas randomicamente de acordo com suas populações (Figura 1 e Tabela 1).

Figura 1. Localização dos municípios avaliados do Estado de São Paulo.



Fonte: os autores.

Tabela 1. Municípios do estado de São Paulo avaliados em cada extrato populacional e a quantidade de campos amostrais.

Município	Extrato populacional	Habitantes	Campos amostrais
Estrela d'Oeste	I	Até 20.000	5
Pompeia	I	Até 20.000	5
Santo Antônio Aracanguá	I	Até 20.000	5
Descalvado	II	20.001 a 50.000	5
Tanabi	II	20.001 a 50.000	5
Valparaíso	II	20.001 a 50.000	5
Fernandópolis	III	50.001 a 100.000	5
Mirassol	III	50.001 a 100.000	5
Paulínia	III	50.001 a 100.000	5
Araraquara	IV	100.001 a 500.000	10
São José do Rio Preto	IV	100.001 a 500.000	20
Sorocaba	IV	100.001 a 500.000	25
Campinas	V	Acima de 500.000	30
Santo André	V	Acima de 500.000	10
São José dos Campos	V	Acima de 500.000	15
Total	-	-	155

Fonte: IBGE (2020) – dados estimados das populações dos municípios em 2019.

Metodologia

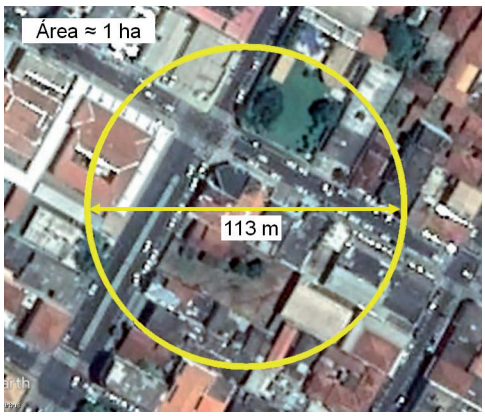
A modelagem da temperatura da superfície urbana em função da cobertura foi realizada por regressão estatística, sendo a variável dependente, a temperatura da superfície (Ts) por satélite, e as variáveis independentes, a cobertura vegetal (CV), cobertura arbórea (CA) e área verde (AV) urbanas, onde foram testados modelos específicos por extrato populacional.

Cobertura Arbórea, Cobertura vegetal e Área Verde Urbana (variáveis independentes)

A CV é o somatório de toda área vegetada, ou seja, AV e as com CA. As AV são constituídas de canteiros, praças etc., exceto as árvores. Já a CA se restringe somente à área de copas das árvores.

Para o levantamento desses dados, inicialmente definiu-se o campo amostral, que se trata de uma área de abrangência na superfície terrestre. Como a resolução espacial da banda de satélite termal é de 100 m com restauração original de 30 m, definiu-se o campo amostral em áreas circulares de diâmetro de 113 m, resultando em áreas aproximadas de 1 ha (Figura 2).

Figura 2. Exemplo de campo amostral no município de Fernandópolis – SP.

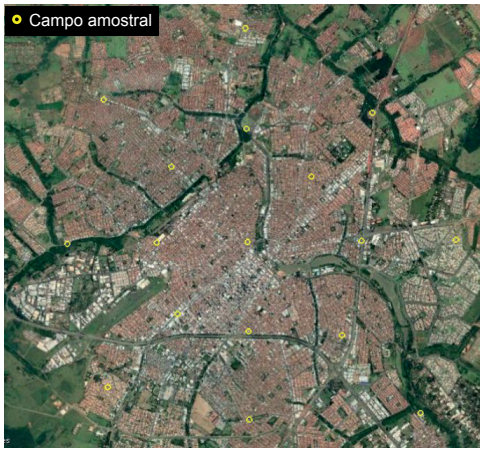


Fonte: os autores.

O total de campos amostrais utilizados na pesquisa foi de 155, sendo que as quantidades de campos amostrais foram ajustadas de acordo com a população de cada município e a distribuição/formato do perímetro urbano, de forma a abranger homogeneamente toda a área urbanizada (Tabela 1).

Esses campos amostrais foram gerados no *software* ArcGIS versão educacional, com a criação de circunferências vetoriais com diâmetro de 113 m, no centro geométrico da área urbana de cada município. A partir desse primeiro campo amostral, por meio da técnica *offset*, foram gerados os demais de forma radial, com distâncias pré-definidas, de maneira a abranger toda a área urbanizada (Figura 3).

Figura 3. Exemplo da distribuição radial dos campos amostrais equidistantes partindo do centro para as áreas periféricas, da zona urbana de São José do Rio Preto - SP.

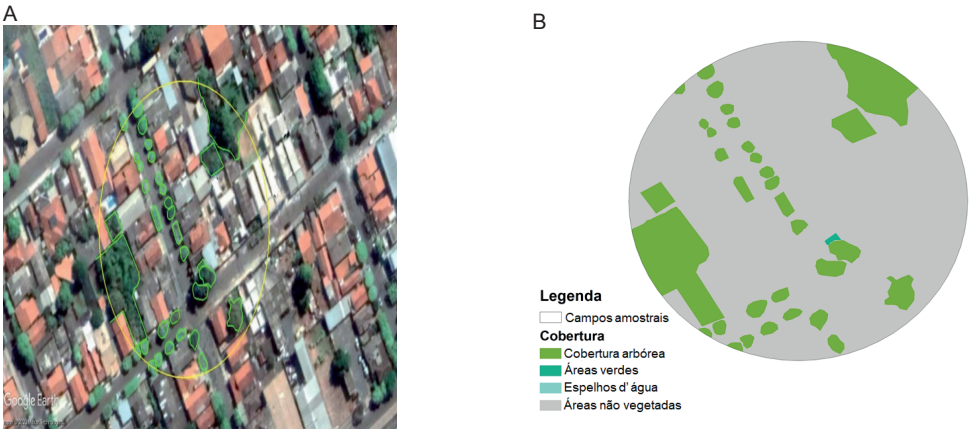


Fonte: os autores.

Nos casos em que os formatos das zonas urbanas são mais alongados, foram realizados ajustes, para que os campos amostrais se encaixassem dentro dos perímetros urbanizados. Dessa forma, os campos amostrais foram randomizados sobre cada área urbanizada, e codificados de modo a identificar para qual município pertencem.

Após definidos e distribuídos estes campos amostrais, sobre as imagens mais atuais do *Google Earth Pro* (GOOGLE INC., 2020) para cada município, as CV foram delimitadas por digitalização manual (Figura 4A). Em seguida, as linhas foram importadas para o *software* ArcGIS versão educacional, onde foram poligonalizadas e classificadas visualmente nas classes CA, AV, espelhos d'água e áreas não vegetadas (Figura 4B).

Figura 4. Linhas digitalizadas no *Google Earth Pro* (A) e mapeamento do campo amostral (B).



Fonte: os autores.

De posse dos mapas finalizados de todos os campos amostrais, foi executada a quantificação das áreas, utilizando as ferramentas de cálculos de área do *software* ArcGIS versão educacional, permitindo obter a área total em m^2 de cada classe de cobertura vegetal, sendo os dados convertidos para porcentual de CA, AV e CV por município.

Temperatura da Superfície (Ts) por Satélite

A Ts foi determinada a partir de imagens da banda 10 do sensor TIRS do satélite LANDSAT 8 (USGS, 2019) e as características dos sensores estão inseridas na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos sensores do satélite LANDSAT 8.

Satélite	Sensor	Banda	Respe (µm)	Respa (m)	Rtemp (dias)	Rrad (bits)
LANDSAT 8	OLI (*Operational Land Imager*)	1	0,433 - 0,453	30	16	12
		2	0,450 - 0,515			
		3	0,525 - 0,600			
		4	0,630 - 0,680			
		5	0,845 - 0,885			
		6	1,560 - 1,660			
		7	2,100 - 2,300			
		8	0,500 - 0,680	15		
		9	1,360 - 1,390	30		
	TIRS (*Thermal Infrared Sensor*)	10	10,60 - 11,19	100		
		11	11,50 - 12,50	100		

Obs: R_{espe} (resolução espectral), R_{espa} (resolução espacial), R_{temp} (resolução temporal), R_{rad} (resolução radiométricas).
Fonte: USGS (2019).

A seleção das datas de passagens e cenas das imagens de satélite levou em consideração a data das imagens de alta resolução do *Google Earth Pro*, a partir das quais foram levantados os dados de CV urbana e a localização dos municípios. A seleção das imagens LANDSAT 8 seguiu três critérios: (1) apresentar defasagem máxima de um ano com as imagens de satélite *Google Earth Pro*, (2) estar dentro ou mais próxima da estação do verão (período mais favorável para o desenvolvimento vegetativo das plantas) e (3) ausência de cobertura de nuvens. Dessa forma foi necessária a aquisição de seis cenas do LANDASAT 8, banda 10 (Tabela 3).

Tabela 3. Datas e cenas das imagens do satélite LANDSAT 8 utilizadas na estimativa da temperatura da superfície.

Município	Datas das imagens de satélite	
	Google Earth	Banda 10, LANDSAT 8
Araraquara	06/08/2019	15/01/2020 (cena 220/075)
Descalvado	07/08/2019	
Mirassol	02/11/2019	19/11/2019 (cena 221/075)
Tanabi	01/08/2019	
Estrela d'Oeste	05/05/2019	25/10/2019 (cena 222/074)
Fernandópolis	05/05/2019	
Pompeia	14/11/2017	
Santo Antônio Aracanguá	15/08/2019	
Valparaíso	10/08/2019	
Santo André	08/08/2019	04/10/2019 (cena 219/076)
Sorocaba	06/06/2019	

Município	Datas das imagens de satélite	
	Google Earth	Banda 10, LANDSAT 8
Campinas	08/06/2018	21/01/2019 (cena 219/076)
Paulínia	08/06/2018	
São José dos Campos	13/12/2018	
São José do Rio Preto	27/01/2019	16/11/2018 (cena 221/075)

As imagens de satélite foram importadas para o *software* ArcGIS versão educacional, onde foram realizados os geoprocessamentos para a obtenção das imagens termais da superfície. A imagem original padrão calibrada e quantizada, foi convertida em irradiância espectral aparente, a partir da Equação 01.

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (01)$$

em que:

L_λ - Irradiância espectral aparente da banda 10

M_L - Fator de re-escala da banda específica 10;

A_L - Fator aditivo de re-escala da banda específica 10;

Q_{cal} - Produto padrão calibrado e quantizado do valor do *pixel*.

Em seguida, as imagens da temperatura da superfície por satélite, a partir da banda 10, foram obtidas com o auxílio da Equação 02.

$$T = \frac{K_2}{ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (02)$$

em que:

T - Temperatura da superfície (°K);

K_1 e K_2 - Constantes de conversão da banda termal específica 10;

L_λ - Irradiância espectral aparente da banda 10 (Equação 1).

As imagens foram transformadas de Kelvin para Celsius, utilizando a expressão TC = TK - 273, em que TC é a temperatura em graus Celsius e TK em graus Kelvin.

Em seguida, após o processamento de todas as imagens termais, realizou-se a estatística dos *pixels* de temperatura da superfície dentro dos campos amostrais, permitindo-se obter a temperatura média (Tmed) da superfície dentro de cada campo.

Análise estatística

Os dados coletados referentes às porcentagens de AV, CA, CV, espelhos d'agua (EA) e áreas não vegetadas (ANV) de cada município, de acordo com o extrato populacional, foram submetidos à análise da variância empregando-se o teste F, que quando significativo foi analisado pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR para a análise dos dados (FERREIRA, 2011).

A modelagem da temperatura da superfície urbana em função da cobertura vegetal foi realizada por regressão estatística, onde foram testados os modelos linear, quadrático, exponencial, potencial e logarítmico para todos os extratos populacionais utilizando-se o programa SPSS versão educacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das porcentagens de CA, AV, CV, EA e ANV de cada município de acordo com o extrato populacional, não apresentou significância estatística (Tabela 4).

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão empregada para estimar a precisão de experimentos e representa o desvio-padrão expresso como porcentagem da média e, neste experimento, apresentou em algumas variáveis analisadas, valores considerados muito altos (acima de 30%) segundo Gomes (1990), o que demonstra uma menor precisão experimental. As variáveis CA, AV, CV e EA, por possuírem valores muito discrepantes entre os campos amostrais avaliados em cada extrato/município, apresentaram uma alta desuniformidade e por consequência, altos coeficientes de variação. Já nas ANV, o coeficiente de variação foi mais baixo, devido à maior uniformidade dessa variável em áreas urbanizadas (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagens de cobertura arbórea (CA), área verde (AV), cobertura vegetal (CV), espelho d'agua (EA) e área não vegetada (ANV) dos municípios analisados em cada extrato populacional.

Município	CA (%)	AV (%)	CV (%)	EA (%)	ANV (%)
Extrato I - até 20.000 habitantes					
Pompéia	23,7	10,2	33,9	0	66,1
Estrela D'Oeste	13,5	1,7	15,3	0	84,7
Santo Antônio do Aracanguá	7,2	8,8	16,0	0	83,9
Média geral	14,8	6,9	21,7	0	78,2
Coeficiente de Variação (%)	107,4	123,5	94,5	0	26,3
Extrato II - de 20.001 a 50.000 hab.					
Descalvado	18,1	14,0	32,2	0	67,9
Valparaíso	10,5	3,8	14,3	0	85,7
Tanabi	5,6	14,9	20,5	0	79,5
Média geral	11,2	9,4	20,6	0	79,4
Coeficiente de Variação (%)	131,0	189,0	106,5	0	27,7

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

Município	CA (%)	AV (%)	CV (%)	EA (%)	ANV (%)
Extrato III -de 50.001 a 100.000 hab.					
Paulínia	31,6	9,3	40,8	0	59,1
Fernandópolis	7,7	20,7	28,4	0	71,6
Mirassol	6,5	7,5	14,1	0	85,9
Média geral	15,3	12,5	27,8	0	72,2
Coeficiente de Variação (%)	134,2	222,7	123,5	0	47,5
Extrato IV - de 100.001 a 500.000 hab.					
Sorocaba	19,1	20,9	40,0	1,3	58,7
Araraquara	15,4	7,6	23,0	0	77,0
São José do Rio Preto	12,9	16,9	29,8	0,7	69,4
Média geral	16,4	17,2	33,6	0,9	65,5
Coeficiente de Variação (%)	146,8	137,8	100,1	557,4	53,1
Extrato V - acima de 500.000 hab.					
Campinas	10,5	13,0	23,5	0,4	76,1
São José dos Campos	10,0	23,6	33,6	0	66,4
Santo André	9,0	5,3	14,2	0	85,8
Média geral	10,0	13,4	23,4	0,2	76,4
Coeficiente de Variação (%)	160,3	177,1	119,7	793,6	37,0

Quanto à CV, de acordo com Nowak *et al.* (1996), não se deve comparar os índices de locais muito diferentes, pois o desenvolvimento da vegetação pode ser influenciado pelas condições de precipitação e de evapotranspiração. Em cidades nas quais a evapotranspiração é menor do que a precipitação, há um potencial para uma maior cobertura verde, enquanto em cidades que se desenvolvem em regiões desérticas a cobertura é menor. Segundo os mesmos autores, em cidades localizadas em regiões de florestas, foram encontrados valores de CA de 15,0 a 55,0% (média de 31,0%), para cidades localizadas em regiões savânicas, CA de 5,0 a 39,0% (média de 19,0%), e em cidades localizadas em desertos, CA de 0,4 a 26,0% (média de 10,0%). Portanto, considerando que os municípios aqui estudados se encontram em regiões originalmente de florestas (Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa), o valor médio de CA seria de 31%, só atingido no município de Paulínia (Tabela 4).

Para Cavalheiro *et al.* (1999), a vegetação e o solo urbano (permeável) devem ocupar, no mínimo, 70% da área, oferecendo diversos usos e serviços ambientais à população. No entanto, pode-se observar que nenhum dos municípios alcançou este valor e 12 apresentaram AV inferior a 20%, o que é considerado bem crítico, segundo Lucon, Prado Filho e Sobreira (2013) (Tabela 4).

Quanto à CV mínima ideal para a qualidade ambiental urbana, Oke (1973) estima um índice na faixa de 30% no que se refere à melhoria do balanço térmico. Áreas com índice de CV inferior a 5%, de acordo com o autor, representam características climáticas semelhantes a regiões áridas, não havendo dentre os municípios estudados, nenhum nesta situação. Vale ressaltar que estes estudos consideram todo tipo de vegetação, e não somente

o elemento arbóreo, além do que foram elaborados para cidades canadenses com temperaturas médias anuais bem abaixo das brasileiras. Ainda neste trabalho, os municípios de Pompéia, Descalvado, Paulínia, Sorocaba e São José dos Campos apresentaram valores de CV superiores a 30%, sendo interessante notar que cada cidade faz parte de um extrato populacional diferente. Já segundo a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), o ideal seria 50% de CV (SÃO PAULO, 2018), o que não foi atingido por nenhum dos municípios avaliados (Tabela 4).

Ng *et al.* (2012) reforçam o pressuposto de que um índice de 30% seria o recomendado para amenizar as condições climáticas das cidades de clima subtropical úmido. Portanto, para as cidades brasileiras de clima tropical e, consequentemente, mais quentes, o índice mínimo recomendado de CV deveria ser maior, em função de a vegetação contribuir para amenizar o calor (MASCARÓ, 1996), mas faltam estudos que indiquem parâmetros "ideais" para as cidades brasileiras.

Em termos médios, o extrato populacional de 100.001 a 500.000 habitantes foi o que apresentou os maiores valores de CA, AV, CV e EA (Tabela 5). A média geral em todos os extratos populacionais foi de 13,5% de CA, 11,9% de AV, 25,2% de CV, 0,2% de EA, índices considerados baixos, e 74,3% de ANV.

Tabela 5. Médias das porcentagens de cobertura arbórea, área verde, cobertura vegetal, espelho d'agua e área não vegetada em cada extrato populacional.

Extrato Populacional	CA (%)	AV (%)	CV (%)	EA (%)	ANV (%)
Até 20.000	14,8	6,9	21,7	0	78,2
De 20.001 a 50.000	11,2	9,4	20,6	0	79,4
De 50.001 a 100.000	15,3	12,5	27,8	0	72,2
De 100.001 a 500.000	16,4	17,2	33,6	0,9	65,5
Acima de 500.000 hab.	10,0	13,4	23,4	0,2	76,4
Média geral	13,5	11,9	25,2	0,2	74,3

Em relação à regressão estatística, os melhores ajustes da Ts em função da CA foram exponenciais para os extratos até 20.000 (r^2=0,688) e 50.001 a 100.000 (r^2=0,453) habitantes, e quadráticos para os extratos de 20.001 a 50.000 (r^2=0,412), 100.001 a 500.000 (r^2=0,454) e acima de 500.000 (r^2=0,220) habitantes. Em todos os casos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 6).

Com a AV foram encontradas significâncias ($p<0,01$) somente para os extratos 100.001 a 500.000 habitantes com melhor ajuste exponencial (r^2=0,128) e no extrato acima de 500.000 habitantes com melhor ajuste quadrático (r^2=0,217) (Tabela 6).

Já em função da CV, com exceção do extrato de 50.001 a 100.000 habitantes ($p=0,08$), foram observadas significâncias ao nível de 1% de probabilidade nos demais extratos populacionais. Os melhores ajustes foram exponenciais nos extratos até 20.000 (r^2=0,644),

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

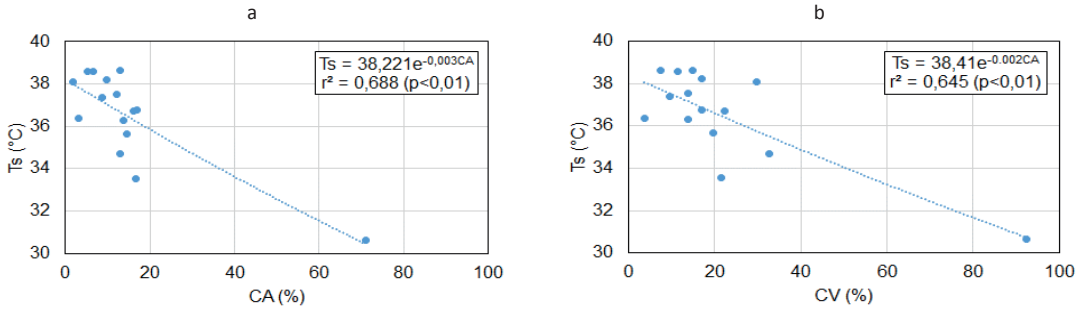
20.001 a 50.000 (r^2=0,305) e 100.001 a 500.000 (r^2=0,488) habitantes e quadrático para o extrato acima de 500.000 habitantes (r^2=0,372) (Tabela 6).

Tabela 6. Valores de r^2 e sua significância (p) para as porcentagens de cobertura arbórea (CA), área verde (AV) e cobertura vegetal (CV) em cada extrato populacional.

Extrato (x1.000)	Linear		Logarítmico		Quadrático		Potencial		Exponencial	
Até 20	r^2	p	r^2	P	r^2	p	r^2	P	r^2	p
CA	0,659	<0,01	0,473	<0,01	0,671	<0,01	0,48	<0,04	**0,688**	<0,01
AV	0,135	0,179			0,229	0,21			0,143	0,165
CV	0,615	<0,01	0,408	0,01	0,616	<0,01	0,422	<0,01	**0,644**	<0,01
20 a 50										
CA	0,279	0,02	0,021	0,552	**0,412**	0,014	0,032	0,463	0,314	0,013
AV	0,057	0,323			0,13	0,327			0,051	0,353
CV	0,293	0,017	0,164	0,085	0,32	0,046	0,176	0,074	**0,305**	0,014
50 a 100										
CA	0,426	<0,01			0,449	0,028			**0,453**	<0,01
AV	0,001	0,916			0,114	0,485			0,001	0,936
CV	0,209	0,087	0,229	0,071	0,225	0,217	0,233	0,069	0,216	0,081
100 a 500										
CA	0,389	<0,01			**0,454**	<0,01			0,398	<0,01
AV	0,127	0,01			0,131	0,034			**0,128**	0,01
CV	0,479	<0,01			0,483	<0,01			**0,488**	<0,01
Acima de 500										
CA	0,123	<0,01			**0,22**	<0,01			0,125	<0,01
AV	0,196	<0,01			**0,217**	<0,01			0,204	<0,01
CV	0,329	<0,01			**0,372**	<0,01			0,34	<0,01

De acordo com os modelos obtidos, no extrato até 20.000 habitantes, valores de 70% de CA e de CV seriam capazes de proporcionar decréscimos de 7,2°C e de 5,0°C respectivamente na Ts em relação a uma área sem cobertura. Para estes mesmos índices, verifica-se que valores acima de 20% começam a ser mostrar efetivos na redução da temperatura (Figura 5).

Figura 5. Modelos da temperatura da superfície (Ts) em função do porcentual de cobertura arbórea (CA) e cobertura vegetal (CV) no extrato populacional até 20.000 habitantes.

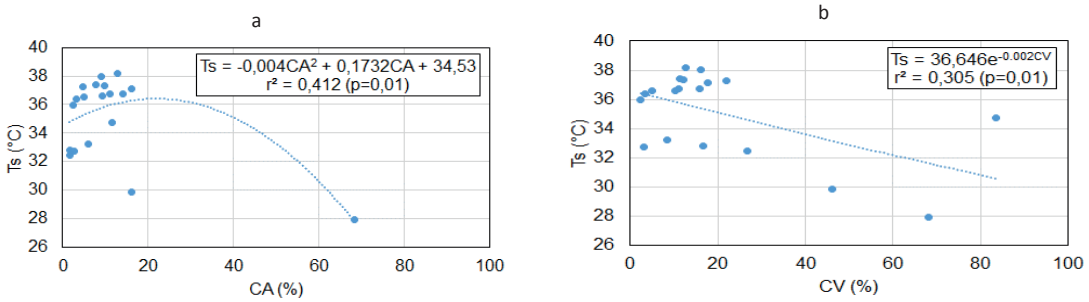


No extrato de 20.001 a 50.000 habitantes, valores de 70% de CA e de CV proporcionariam decréscimos de 7,5°C e de 4,8°C, respectivamente, na Ts em relação a uma área

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

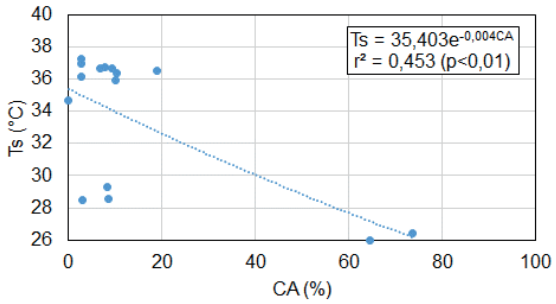
sem cobertura. Por sua vez, valores acima de 50% de CA e de 20% para a CV, começam a apresentar eficiência na redução da temperatura (Figura 6).

Figura 6. Modelos da temperatura da superfície (Ts) em função do porcentual de cobertura arbórea (CA) e cobertura vegetal (CV) no extrato populacional de 20.001 a 50.000 habitantes.



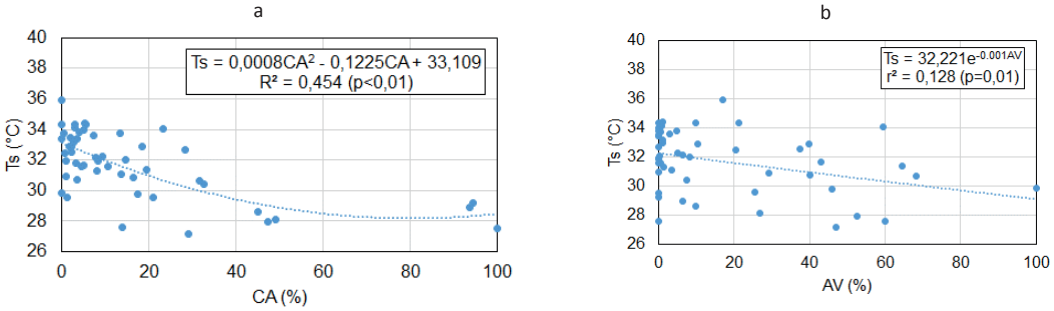
No extrato de 50.001 a 100.000 habitantes, valores de 70% de CA proporcionariam um decréscimo de 8,6°C na Ts em relação a uma área sem cobertura. Da mesma forma que em cidades de até 20.000 habitantes, valores de CA acima de 20% começam a mostrar eficiência na redução da temperatura (Figura 7).

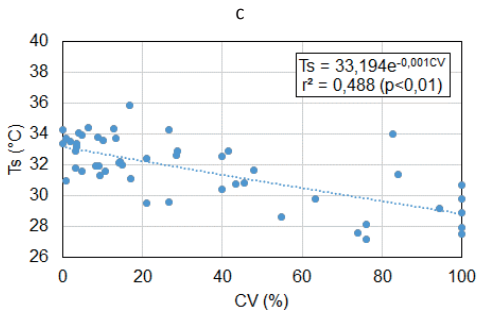
Figura 7. Modelo da temperatura da superfície (Ts) em função do porcentual de cobertura arbórea (CA) no extrato populacional de 50.001 a 100.000 habitantes.



No extrato de 100.001 a 500.000 habitantes, valores de 70% de CA, CV e AV proporcionariam decréscimos de 4,7°C, 2,2 e 2,2°C respectivamente na Ts em relação a uma área sem cobertura. Já neste extrato populacional, valores acima de 40% para AV e CV e de 20% para CA, começam a apresentar maior eficiência na redução da temperatura (Figura 8).

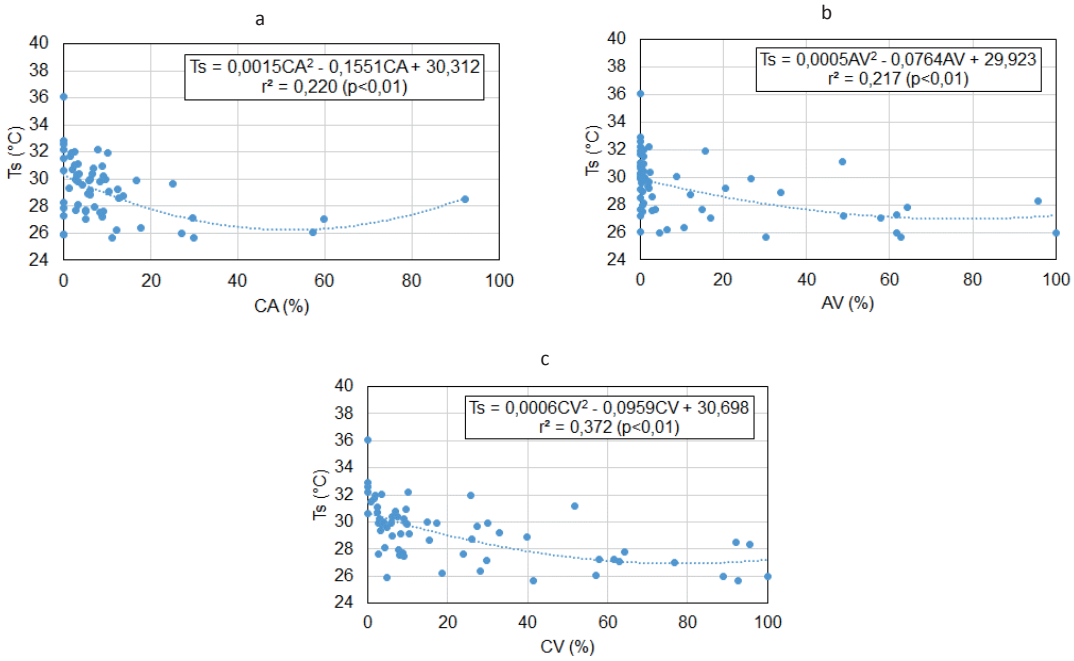
Figura 8. Modelos da temperatura da superfície (Ts) em função do porcentual de cobertura arbórea (CA), área verde (AV) e cobertura vegetal (CV) no extrato populacional de 100.001 a 500.000 habitantes.





No extrato acima de 500.000 habitantes, 50% de CA levaria a um decréscimo de 4,0°C e valores de 70% de CV e de AV proporcionariam reduções de 3,8°C e de 2,9°C, respectivamente, na TS em relação a uma área sem cobertura. Da mesma forma que no extrato de 100.001 a 500.000 habitantes, valores acima de 40% para AV e CV e de 20% de CA mostram maior eficiência na redução da temperatura (Figura 9).

Figura 9. Modelos da temperatura da superfície (Ts) em função do porcentual de cobertura arbórea (CA), área verde (AV) e cobertura vegetal (CV) no extrato populacional acima de 500.000 habitantes.



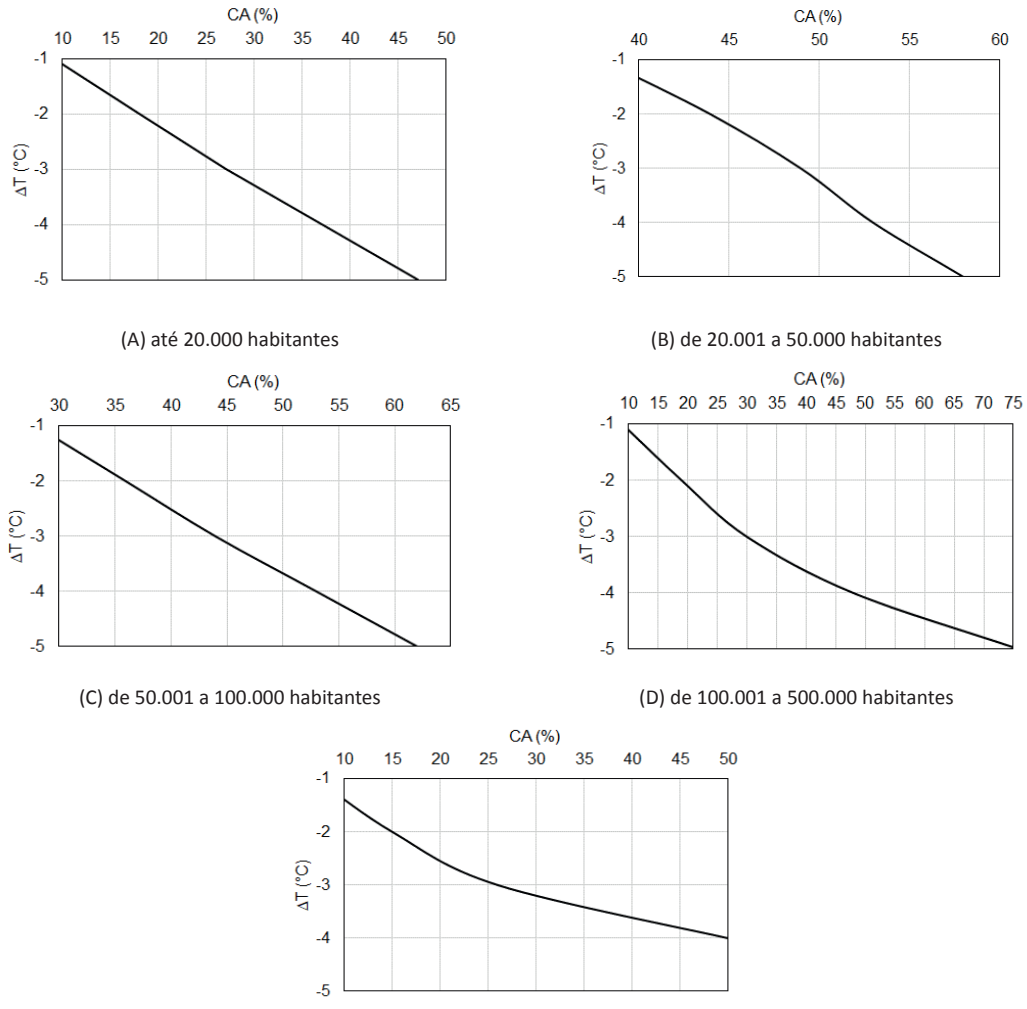
Portanto, apenas nos extratos populacionais de 100.001 a 500.000 e acima de 500.001 habitantes, valores relacionados à porcentagem de AV mostraram correlação positiva com a Ts, indicando que AV ou não impermeabilizadas e sem a presença de CA não são tão efetivas na redução da temperatura quanto a presença das árvores em si.

Da mesma forma que para a AV, a CV não se mostrou tão eficiente na mitigação da temperatura quanto a CA. Segundo os modelos propostos neste trabalho, 50 a 70% de CA ou 70% de CV em cidades do estado de São Paulo, seriam capazes de reduzir em 4,0 a 8,6°C e 2,6 a 5,0°C, respectivamente, a Ts urbana, onde valores menores ocorreriam nos municípios com até 20.000 habitantes. Para a quantificação da porcentagem de CA foram incluídas

apenas árvores, enquanto para a CV foram selecionadas áreas com todos os tipos de CV do traçado viário, maciços e fragmentos de vegetação nativa, quintais, jardins de residências, praças, APP e as AV implantadas.

De acordo com os modelos propostos e partindo-se de um mínimo de 10% de CA em municípios do estado de São Paulo, para uma redução esperada de 4°C na temperatura da superfície urbana (ΔT), seria necessário uma CA de 37% para municípios com população de até 20.000 habitantes, 53% para municípios de 20.001 a 50.000 e de 50.001 a 100.000 habitantes, 47% para municípios de 100.001 a 500.000 habitantes e 50% para municípios com mais de 500.000 habitantes (Figura 10). O que sugere que localidades com mais de 20.000 habitantes necessitam de um maior porcentual de CA para uma efetiva redução na Ts urbana.

Figura 10. Redução esperada na temperatura (ΔT) da superfície em função do porcentual de cobertura arbórea (CA) e do extrato populacional de municípios do estado de São Paulo.



O porcentual de CA é a proporção de área coberta com vegetação (copas das árvores) em função da área total de uma cidade ou de um setor urbano, e para o seu cálculo, toda a CA da área urbana de um município (m²) deve ser mensurada e dividida pela área

urbana total do município (m²), obtendo-se o resultado em porcentagem (GONÇALVES; TEIXEIRA, 2017).

Sabe-se que a vegetação diminui a temperatura do ar devido ao sombreamento direto e à sua evapotranspiração, convertendo radiação solar incidente em calor latente, que não contribui para o aquecimento (McPHERSON, 1994).

Cidades com densidades populacionais mais elevadas exibem sinais mais extremos de urbanização, e com isso, maiores modificações térmicas. O aumento da população leva a um aumento das emissões de poluentes e construção de edificações cada vez maiores, o que reduz o espaço disponível para liberação do calor absorvido pelos materiais para a atmosfera (OKE, 1976). Resultados obtidos por Karl, Diaz e Kukla (1988) mostraram que áreas com população de 10.000 habitantes ou mais, são mais quentes que as áreas rurais, com população menor que 2.000 habitantes.

Centros urbanos normalmente apresentam CV entre 5% e 20% da superfície total, em contraste com 75% dos ambientes rurais (McPHERSON, 1994). Em Munique, o aumento de 10% na CV durante o verão foi capaz de diminuir até 1,4°C a Ts (PAULEIT; DUHME, 2000). Já segundo Oke (1973), valores de CV na faixa de 30% seria o recomendável para proporcionar um adequado balanço térmico em áreas urbanas. Por sua vez, como já relatado, a SIMA estabelece como meta ideal em uma cidade, uma porcentagem de 50% de CV no perímetro urbano (SÃO PAULO, 2018).

Trowbridge e Bassuk (2004) também relacionam a diminuição da temperatura pela presença de vegetação urbana, principalmente árvores. Segundo os autores, quando as temperaturas de verão se apresentam muito elevadas, a diminuição de temperatura pode ser de até 20°F (-6,67 °C). Enquanto Sukopp e Werner (1991) recomendam que, para a conservação da natureza e da paisagem, uma cidade ideal deveria possuir 33% da área central permeável e não edificada.

As modificações no fluxo energético causado pela expansão dos centros urbanos resultam em aumentos na temperatura das cidades, sendo a CV das cidades uma estratégia viável para minimizar o fenômeno das “ilhas de calor. Na região metropolitana de São Paulo entre 1936 e 2005, a temperatura média foi elevada em 2,1ºC, pelo efeito “ilha de calor” (SOUZA *et al*., 2019).

Barbosa (2016) comparando mapas termal e de uso do solo, obtidos por meio de imagens de satélite *Rapideye* e LANDSAT 8 da Ilha do Fundão no Rio de Janeiro/RJ, evidenciou uma correlação espacial da distribuição das Ts com a presença de espaços verdes. Áreas urbanas e sem vegetação apresentaram uma média de 18,3°C, enquanto, nos locais vegetados, essa média foi de 15,3°C. Além da diferença média de 3,0°C, foi observada uma

diferença máxima de até 7,0°C a mais nos espaços urbanos, contemplando uma possível relação entre o efeito das "ilhas de calor" e a ausência da vegetação.

Por sua vez, Barbosa (2005) em Maceió/AL, registrou significativas diferenças na temperatura do ar, na ordem de 3,3°C, ocorrendo pela manhã, e em torno das 15:00 h. Contudo, no período noturno, todas as amostras apresentaram pouca diferença nos valores de temperatura do ar.

Gill *et al.* (2007) analisaram a influência de espaços verdes em ambientes urbanos na Grande Manchester, Inglaterra, com o uso de modelos matemáticos e concluíram que a retirada de 10% da vegetação em grandes centros urbanos induziria a uma elevação entre 7°C e 8,2°C na temperatura de superfície para a década de 2080, se comparadas com patamares entre 1961 e 1990. Por outro lado, a manutenção dessas áreas, levaria a um aumento entre 3,3°C e 3,9°C para o mesmo modelo.

O efeito de resfriamento é determinado pela quantidade de sombreamento proporcionado pela copa das árvores (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2000), além da evapotranspiração. O sombreamento da vegetação, ao impedir a incidência solar direta sobre edifícios e pedestres, reduz o brilho intenso e bloqueia a luz difusa refletida pela atmosfera nas superfícies do entorno, alterando a troca de calor entre os edifícios e as áreas adjacentes (AKBARI, 2002).

Embora a determinação da extensão do sombreamento pleno de uma copa dependa da espécie, árvores com a forma e densidade apropriadas podem bloquear até 95% da radiação incidente. Esse valor é relativamente alto até mesmo no caso de árvores sem folhas, no qual a interceptação é de até 50% da energia solar (AKBARI *et al.*, 1992). Porém, este efeito é localizado, sendo que a região embaixo das copas das árvores apresenta menores temperaturas, o que sugere que, as árvores devem ser distribuídas pela paisagem urbana, não sendo isoladas em ruas ou concentradas em parques e jardins (COUTTS *et al.*, 2014).

Segundo Silva (2009), toda a configuração urbana contribui para a formação dos microclimas diferenciados no contexto da cidade. 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 CV, maiores são os ganhos de calor da massa edificada e maior emissividade da mesma para o espaço urbano, o que contribui para a existência de temperaturas mais elevadas, causando um maior desconforto para o usuário dos espaços urbanos.

Por sua vez, Gouvêa (2002), na estação seca, comparou a temperatura entre a superfície exposta à insolação direta e à sombra (sob as árvores), encontrando uma diferença de 10°C a 1,20 m do solo, e de até 23°C sobre o piso de grama.

Na maior parte das circunstâncias, o impacto do sombreamento é mais importante que a evapotranspiração das plantas no resfriamento do ar (McPHERSON, 1994), sendo a junção

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

dos dois fatores fundamental para a melhoria do microclima e conforto térmico. Em locais de clima muito quente e seco, por exemplo, ocorre pouca atividade de transpiração das folhas, havendo baixa conversão de energia radiante absorvida em calor latente, e alta dissipação por calor sensível, aquecendo o ar. O oposto ocorre em superfícies cobertas com vegetação, como um campo de grama irrigada, que reduzem a Ts, melhorando a temperatura do ar. Porém, devido à ausência de sombra, essas áreas, ainda que irrigadas, podem resultar em estresse térmico (COUTTS *et al.*, 2014).

Normalmente, quanto maior a área e o tamanho das plantas, maiores são os benefícios, sendo que, com a cada adição de 100 m² de vegetação, ocorre uma redução de aproximadamente 1K (1°C) na temperatura média local (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003). Esse mesmo resultado foi observado para a introdução de uma fila de árvores em uma estrutura urbana como, por exemplo, em uma rua.

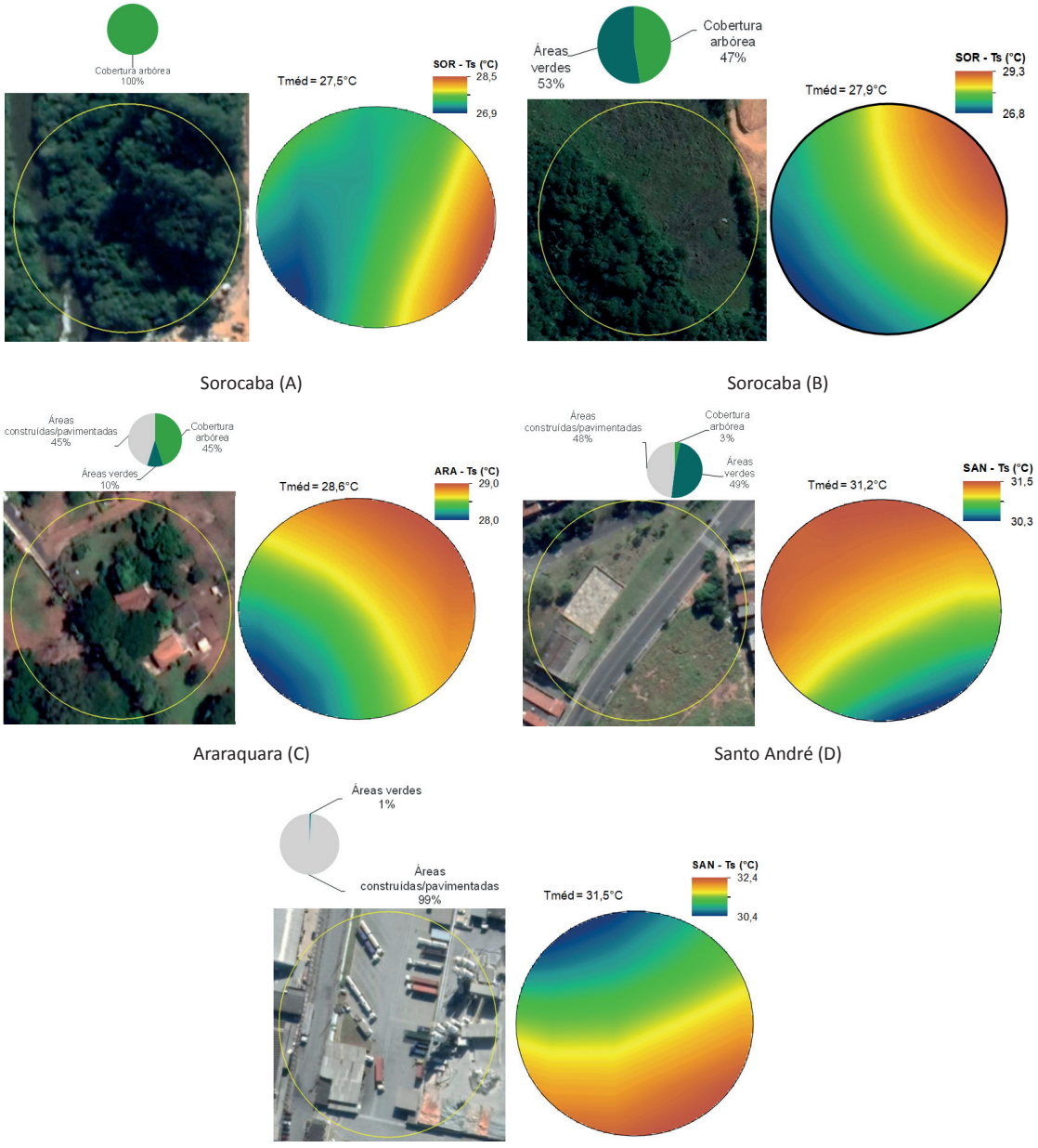
Além dos fatores citados, o tamanho da cidade (OKE, 1973) e a velocidade do vento (OKE, 1982) podem interferir na temperatura do ar e na incidência de "ilhas de calor". Nas áreas menos urbanizadas, onde há menos edificações, o vento flui com mais facilidade, existem mais áreas com vegetação e menos impermeabilização do solo, o que facilita a evapotranspiração. À medida que se desloca para a área central da cidade essas características vão se invertendo, onde existem mais edificações, menos vegetação, maior impermeabilização do solo e menor circulação dos ventos (OKE, 1987).

Pelas imagens de satélite e suas respectivas imagens termais de alguns municípios do estado de São Paulo avaliados neste experimento, foi possível verificar a importância da CA na mitigação da Ts urbana (Figura 11). Comparando-se uma área com 100% de CA (Figura 11A) com outra com 99% de área construída/pavimentada (Figura 11E), nota-se a redução de 4°C na temperatura média (Tmed) superficial. Também se destaca a superioridade da CA em relação as AV na atenuação da Ts. Áreas com 48% de pavimentação e 49% de AV (Figura 11D) apresentam um acréscimo na Tmed de 2,6°C em relação a áreas com 45% de pavimentação e 45% de CA (Figura 11C).

Além disso, uma área com 45% de pavimentação, mas com uma CA de 45% (Figura 11C), praticamente mantém inalterada a Ts urbana, quando comparada com outras com 100% de CV (53% de AV + 47% de CA) (Figura 11B) ou 100% de CA (Figura 11A). O que sugere o valor de 50% de CA como ideal em municípios de São Paulo, corroborando o recomendado pela Resolução n.º 33/2018 da SIMA (SÃO PAULO, 2018). Porém, neste caso, deve-se destacar a superioridade da CA em atenuar a temperatura do ar e melhorar o conforto térmico urbano, devendo ser a Resolução n.º 33/2018 mais precisa em recomendar o valor de 50%, quantificando apenas áreas com CA, visto que em seu texto original quantifica áreas com CV de forma geral.

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

Figura 11. Temperaturas médias (Tmed) e imagens termais de campos amostrais e suas respectivas porcentagens de áreas construídas/pavimentadas, áreas verdes (AV) e cobertura arbórea (CV) em Sorocaba (A e B), Araraquara (C) e Santo André (D e E).



Sorocaba (A)

Sorocaba (B)

Araraquara (C)

Santo André (D)

Santo André (E)

De qualquer forma, aqui vale lembrar que a Resolução n.º 33/2018 de São Paulo recomenda 50% de CV, levando-se em conta que as áreas de insolação também são importantes para a saúde da população, para atividades esportivas, fonte de vitamina D, calor em ambientes/épocas mais frias etc., além de propiciar o desenvolvimento de outros extratos de vegetação, que não só o arbóreo.

A distribuição da CA também é importante e deve ser pensada no momento do planejamento urbano. Jauregui (1990) ao estudar a área de influência de um grande parque no México, encontrou um tamanho de área de influência no resfriamento igual a uma vez a

Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados - ISBN 978-65-5360-120-8 - Editora Científica Digital - www.editoracientifica.org - Vol. 1 - Ano 2022

largura do parque, com o que se conclui que é melhor distribuir as AV ao longo da malha urbana do que concentrá-las.

Árvores aumentam o sombreamento, o que, aliado à evapotranspiração, reduz a quantidade de calor na atmosfera. A evaporação de 1 mm de água (= 1 L/m^2) requer 59 cal/cm^2 (1 cal=4,184 J). Quanto maior for a superfície foliar, tanto maior será a capacidade de transpiração das árvores, desde que haja água disponível no solo para permitir essa troca. Por essa razão, 1 m^2 ocupado com vegetação é mais eficiente do que 1 m^2 de lâmina d'água na umidificação e na redução de temperatura do ar. Estima-se que a superfície evapotranspirante da lâmina foliar seja de quatro a dez vezes maior do que a da mesma superfície coberta por água (HEISLER, 1974; PRIMAVESI; ARZABE; PEDREIRA, 2007). Uma árvore de grande porte pode transpirar 450 L de água por dia e para tanto requer 1.000 MJ de energia calorífica (HOUGH, 1989, citado por BOLUND; HUNHAMMAR, 1999).

Basicamente, os efeitos da vegetação no ambiente construído decorrem da interceptação da radiação solar direta e da luz (sombreamento), da evapotranspiração e da fotossíntese. A evapotranspiração é definida como o efeito conjugado da evaporação da água do solo e da transpiração das folhas das plantas na presença de radiação solar (OMETTO, 1981). O efeito de resfriamento se dá quando a água na superfície da folha, ao passar do estado líquido para o gasoso, carrega consigo, para a atmosfera, energia intrínseca necessária à evaporação, a qual é subtraída do ar que circunda a folha. Em climas quentes e secos, o efeito oásis proporcionado pela evapotranspiração pode diminuir as temperaturas de 2°C a 5°C em relação ao entorno (TAHA, 1997).

CONCLUSÃO

A porcentagem de cobertura arbórea se mostrou mais eficiente na redução da temperatura superficial urbana do que a porcentagem de área verde ou de cobertura vegetal.

De acordo com os modelos propostos, no estado de São Paulo, a porcentagem de cobertura arbórea de 50% seria capaz de reduzir em 4°C a temperatura de municípios com mais de 20.000 habitantes, devendo ser distribuída ao longo da malha urbana.

A média geral da porcentagem de área verde, cobertura arbórea e cobertura vegetal em todos os extratos populacionais foi de 11,9%, 13,5% e 25,2% respectivamente, não havendo diferenças significativas entre os extratos.

O índice de 50% de cobertura vegetal proposto pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo pode ser considerado adequado na redução da temperatura urbana, desde que se quantifiquem apenas as copas das árvores.

REFERÊNCIAS

1. AKBARI, H. Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO_2 Emissions from Power Plants. **Environmental Studies**, v. 116, p. 119-126, 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749101002640?via%3Dihub. Acesso em: 15 fev. 2021.

2. AKBARI, H.; DAVIS, S.; DORSANO, S. et al. (eds). **Cooling Our Communities**. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing. In: Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL-31587, United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D. C., 1992. Disponível em: https://escholarship.org/content/qt98z8p10x/qt98z8p10x.pdf. Acesso em: 15 fev. 2021.

3. AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 9, número especial, p. 71-90, 2010.

4. BARBOSA, E. C. **Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos - Estudo de Caso Ilha do Fundão**, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/ 2016/erica-caverzam-2016.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.

5. BARBOSA, R. V. R. **Áreas Verdes e Qualidade Térmica em Ambientes Urbanos: Estudos em Microclimas de Maceió (AL).** Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. 2005. Disponível em: https://teses.usp.br/teses /disponiveis/18/18139/tde-03062006-142516/publico/diss_Barbosa2005.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

6. BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. **Ecological Economics,** v. 29, p. 293-301, 1999. Disponível em: http://www.fao.org/uploads/media/Ecosystem_services_in_urban_areas.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

7. CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C.; GUZZO, P. et al. Proposição de Terminologia para o Verde Urbano. **Boletim Informativo da SBAU**, ano VII, n. 3, jul/ago/set de 1999. Disponível em: https://tgpusp.files.wordpress.com/2018/05/cavalheiro-et-al-1999.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

8. COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análises de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Piracicaba, São Paulo, 2006. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25102006-123617/publico/PriscilaColtri.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

9. COUTTS, A.; LOUGHNAN, M.; TAPPER, N. et al. **The impacts of WSUD solutions on human thermal comfort. Green Cities and Micro-climate**. 2014. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Monash University, December 2014. Disponível em: https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/ 2016/07/TMR_B3-1_WSUD_thermal_comfort_no2.pdf. Acesso em: 15 fev. 2021.

10. CRUZ, G. C. F. **Clima Urbano de Ponta Grossa – PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira.** Tese. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo; 2009.

11. DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-76, 2003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/ S0378778802000816?via%-3Dihub. Acesso em: 18 mar. 2021.

12. FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

13. GILL, S.; HANDLEY, J.; ENNOS, A. et al. Adapting Cities for Climate Change: The Role of The Green Infrastructure. **Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 115-133, 2007. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/ccrc/sites/default/files/Gill _Adapting_Cities. pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

14. GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

15. GONÇALVES, E. B.; TEIXEIRA, I. F. Percentual e Índice de Cobertura Arbórea para a Área Urbana de São Gabriel – RS. 9º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE, **Anais...** Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 21 a 23/11/2017. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/13548/seer_13548.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.

16. GOOGLE Inc. **Google Earth Pro versão 7.3.3.7699**. Mountain View: Google Inc., 2020.

17. GOUVÊA, L. A. **Biocidade: conceitos e critérios para um desenho ambiental urbano, em localidades de clima tropical de planalto**. São Paulo: Nobel, 2002. 174 p.

18. GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban Forestry**. New York: John Wiley, 1986. 279 p.

19. JAUREGUI, E. Influence of a Large Urban Park on Temperature and Convective Precipitation in a Tropical City. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3-4, p. 457-463, 1990.

20. HEISLER, G. M. Trees and human comfort in urban areas. **Journal of Forestry**, v. 72, n. 8, p. 466- 469, 1974.

21. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades.** 2020. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 29 mar. 2021.

22. KARL, T. R.; DIAZ, H. F.; KUKLA, G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. **Journal of Climate**, v.1, p. 1099-1123, 1988.

23. LUCON, T. N.; PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Índice e percentual de áreas verdes para o perímetro urbano de Ouro Preto – MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 3, p. 63-78, 2013.

24. MASCARÓ, L. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Luzzatto, 1996.

25. McPHERSON, E. G. **Cooling urban heat islands with sustainable landscapes.** In: The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity, Amherst: University of Massachusetts Press, p. 151-171, 1994.

26. NG, E.; CHEN, L.; WANG, Y. 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.

27. NOWAK, D. J.; DWYER, J. F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: KUSER, J. E. **Urban and community forestry in the Northeast.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. p. 25-46. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-4289-8_2 Acesso em: 8 out. 2021.

28. NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A.; MCPERSHON, E. G. et al. Measuring and Analyzing Urban Tree Cover. **Landscape and urban Planning**, v. 36, p. 49-57, 1996.

29. OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2 ed. Methuen, London, Psychology Press. 1987. Disponível em: https://www.academia.edu/16752781/T._R._Oke_-_Boundary_Layer_Climates_1988_.PDF. Acesso em: 18 mar. 2021.

30. OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment,** Oxford, v. 7, p. 769-779, 1973.

31. OKE, T. R. The Distinction Between Canopy and Boundary - Layer Urban Heat Islands. **Atmosphere**, v. 14, n. 4, p. 268-27, 1976.

32. OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly journal of the royal meteorological society,** v. 108, p. 1–24, 1982. Disponível em: http://www.patarnott.com/pdf/Oake1982_UHI.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

33. OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

34. PAULEIT, S.; DUHME, F. Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 52, n. 1, p. 1-20, 2000.

35. PRADELLA, D. Z. A.; SILVA, J. W. F.; NISI, T. C. C. **Cadernos de Educação Ambiental: Arborização Urbana.** 21. ed. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo - Secretaria do Meio Ambiente, 2015. 205 f.

36. PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213 p.

37. PRIORI JR, L. Mudanças climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do nordeste brasileiro. XV Encontro da ANPUR – Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ENAMPUR, **Anais...** Recife, v. 15, n. 1, 2013. Disponível em: http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/248/240. Acesso em: 15 fev. 2021.

38. SANDERS, R. A. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. **Urban Ecology**, v. 9, p. 361–376, 1986.

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

40. SÃO PAULO. **Resolução SMA nº 33, de 28 de março de 2018**. Estabelece procedimentos operacionais e os parâmetros de avaliação da Qualificação para a Certificação e Certificação no âmbito do Programa Município Verde Azul. Publicada no DOE de 29-03-2018, Seção I, p. 68-72. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2018/03/resolucao-sma-033-2018-processo-1009-2013-programa-municipio-verde-azul-2018.pdf. Acesso em: 1 fev. 2021.

41. SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees. **Energy and Buildings**, v. 31, n. 3, p. 221-235, 2000. Disponível em: https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/L.-Shashua%-C2%81-Bar.pdf. Acesso em: 15 fev. 2021.

42. SILVA, C. F. **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de** Teresina – PI. 140 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/3869. Acesso em: 24 mar. 2021.

43. SILVA, L. F.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D. F. et al. Capacidade de interceptação da chuva em duas espécies, mais evidentes em arborização urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 11, Vitória, 2007. **Anais...** Vitória: SBAU, 2007, CD ROM.

44. SILVA FILHO, D. F. Sombra também gera economia. **Gazeta de Piracicaba,** Piracicaba, 21 set. 2006. Dia da Árvore, p. 9.

45. SIMPSON, J. R. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy use: Sacramento County case study. **Journal of Arboriculture**, v. 24, p. 201-14, 1998.

46. SOUZA, C. M. de; LEITE, L. P.; PERINI, P. et al. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico. **Labor e Engenho**, v. 13, p. 1-11, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8654619. Acesso em: 20 jan. 2021.

47. SUKOPP, H.; WERNER, P. **Naturaleza em las ciudades**. Madri: MOPT, 1991, 222 p.

48. TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. **Energy and Buildings***,* v. 25, n. 2, p. 99-103, 1997.

49. TROWBRIDGE, P. J.; BASSUK, N. L. **Trees in Urban Landscapes: site assessment, design and installation.** Hoboken: Wiley & Sons, 2004. 207 p.

50. USDA FOREST SERVICE. **Urban Forest**, 2016. Disponível em: http://www.fs.fed.us/managing-land/urban-forests. Acesso em: 1 fev. 2021.

51. USGS. **USGS Global Visualization Viewer–Landsat 8**. [S.L.], september 2019 Disponível em: https://www.researchgate.net/.../292931765. Acesso em: 30 nov. 2021.