

Estudo observacional tridimensional da ilha de calor urbana de Londrina

Three-dimensional observational study of the urban heat island in the city of Londrina

RESUMO

Gabriel Yoshikazu Cortez Oukawa
gabrieloukawa@gmail.com
Estudante do curso de Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Admir Crésio de Lima Targino
admirtargino@utfpr.edu.br
Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Max Wendell Batista dos Anjos
maxanjos@campus.ul.pt
Pós-Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Rodrigo Favaro Braga
rodrigofavarob@gmail.com
Estudante do curso de Engenharia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, com projeções de chegar a 68% em 2050, segundo a ONU. Uma das consequências diretas da urbanização é a ilha de calor urbana (ICU), no qual a temperatura no centro da cidade é maior que em subúrbios e áreas rurais ao seu redor, o que demonstra como a mudança no uso do solo pode interferir no clima local. Neste estudo, combinamos dados de sensoriamento remoto e observações *in situ* para investigar as características espaço-temporais da ICU na cidade de Londrina (PR) no período de 27 de agosto a 14 de dezembro de 2018. Coletamos dados de temperatura do ar com sensores instalados em dez pontos da cidade e executamos perfis verticais de temperatura utilizando um sensor acoplado a um *drone*. Os sistemas meteorológicos tiveram um efeito sobre a intensidade da ICU, com valores altos (média horária de 11 °C) sob sistemas de alta pressão e modesto (média horária de 0,5 °C) durante passagens de frente frias. Através dos perfis verticais, observou-se que o efeito da ICU ultrapassou a altura média dos edifícios. O estudo mostrou como a população pode ser afetada pela ICU, desde a superfície até o topo dos edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura térmica tridimensional. Clima urbano.

ABSTRACT

Nowadays, 55% of the world's population live in urban areas, and may reach 68% by 2050, according to the United Nation's estimates. The urban heat island (UHI) is a direct consequence of this fast pace of urbanisation, in which the temperature in the urban core is higher than in the surrounding suburbs and rural areas. This is a clear evidence of how changing the land use can affect the local climate and energy balance. In this study, we combined remote sensing and *in situ* data to investigate the UHI spatiotemporal characteristics in the city of Londrina (PR) from August 27 to December 14, 2018. Air temperature sensors were deployed at ten locations across the city and vertical profiling of the atmosphere was done using a drone retrofitted with a temperature sensor. Weather systems affected the UHI intensity, with high values under high-pressure systems (hourly mean of 11 °C), whilst mild to non-existent UHI (hourly mean of 0.5 °C) was observed under cold fronts. The vertical profiles revealed that the UHI effect extends past the mean height of the buildings. This study showed how the whole population could be affected by the UHI, from the surface to the top of the buildings.

KEYWORDS: 3-D thermal structure. Urban climate.

INTRODUÇÃO

Atualmente, 55% da população mundial vive em áreas urbanas, com projeções de chegar a 68% em 2050, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2018). – Esse aumento será mais intenso nos países em desenvolvimento, em parte devido ao rápido e caótico ritmo de urbanização. Nesses países, a taxa de crescimento populacional chega em média a 2,4 % ao ano, enquanto países desenvolvidos apresentam uma taxa média de apenas 1,2 % ao ano (ONU, 2018).

Uma das consequências diretas da urbanização é a ilha de calor urbana (ICU), na qual a temperatura na parte central da cidade é maior do que os subúrbios e áreas rurais ao seu redor. A ICU é o exemplo mais evidente e documentado de como a mudança no uso do solo pode interferir no clima local (OKE, 2017). Sua intensidade é influenciada por uma série de fatores, como a geometria e densidade de elementos urbanos, propriedade térmica de materiais utilizados nas construções, permeabilidade das superfícies permeáveis e calor antropogênico, além da circulação meteorológica, tornando-o, desse forma, um fenômeno complexo (ARNFIELD, 2003; OKE *et al.*, 2017; TAHA, 1997). A nível global, Peng *et al.* (2012) analisaram a ICU em 419 cidades ao redor do mundo e mostraram como fatores socioeconômicos e biofísicos influenciam o balanço de energia, com correlação inversa entre a quantidade de vegetação na área urbana e a temperatura de superfície. Em Londrina, Targino *et al.* (2014, 2019) mostraram que a intensidade da ICU depende não só de fatores locais, mas também variáveis externas como sistemas atmosféricos. Em situações de alta pressão, observou-se uma intensidade horária média de até 6,6 °C, enquanto a intensidade da ICU foi quase nula na passagem de frentes frias.

No presente trabalho, observamos a extensão horizontal e vertical da ICU dentro da camada do dossel urbano (CDU, situada entre o solo e a altura média dos edifícios) e a ICU da camada limite urbana (CLU, que ocorre acima da altura média dos edifícios) (OKE, 2017). Coletamos dados de temperatura do ar *in situ* usando sensores distribuídos em dez pontos da cidade e executamos perfis verticais de temperatura utilizando um sensor de temperatura acoplado a um *drone*. As observações simultâneas da CDU e CLU fornecerá elementos para caracterizar e entender melhor a estrutura térmica tridimensional da atmosfera urbana, impactos sobre o conforto térmico e qualidade de vida.

METODOLOGIA

COLETA DE DADOS E MEDIÇÕES DE SUPERFÍCIE

Para investigar o comportamento térmico da cidade, realizamos uma campanha de 27 de agosto a 13 de dezembro de 2018 combinando sensoriamento remoto e observações *in-situ*.

Usando sensoriamento remoto, as zonas climáticas locais (LCZ) foram mapeadas seguindo a metodologia do *World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT) e Bechtel *et al.* (2019). A temperatura do ar foi monitorada em dez locais escolhidos de acordo com o mapa das LCZ. Utilizamos sensores de temperatura e *datalogger* modelo HOBO U23 (Onset Computer Corporation, EUA), operados com resolução temporal de 10 minutos. Os sensores de temperatura foram instalados em postes a uma altura de três metros acima do solo dentro de

abrigos protetores contra radiação solar e vento. Para garantir a reprodutibilidade dos dados, os sensores foram intercomparados em cada local junto a um sensor de referência em um período de dois a quatro dias. Todos os sensores apresentaram alto grau de correlação ($R > 0,98$), coeficiente angular entre 0,98 e 1 e intercepção em y de -0,05 a 0,4 °C.

PERFIS VERTICAIS

Os perfis verticais de temperatura foram realizados de 30 de novembro a 15 de dezembro de 2018 pela manhã (05-06h), tarde (14-15h) e noite (20-21h) utilizando um *drone*, modelo Phantom 3 Standard (SZ DJI Technology, China), equipado com um sensor HOBO U23. Dados de altitude, latitude e longitude foram providos pelo GPS do *drone*. Ambos os equipamentos trabalharam com uma resolução temporal de 1 segundo.

Os voos foram executados com uma velocidade vertical média de 1 m s⁻¹ indo de 3 até 120 metros acima do solo, respeitando as restrições da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Todos os voos foram conduzidos em condições de céu limpo, baixa velocidade superficial do vento e ausência de precipitação.

ANÁLISE DE DADOS

A intensidade ICU da camada dossel urbana (IICU) em Londrina foi calculada da seguinte maneira:

$$IICU = T_{HUG} - T_{BRU} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde T_{HUG} representa um ponto de coleta no centro da cidade e T_{BRU} representa uma área na periferia da cidade, com predominância de vegetação, selecionada como referência. Esses pontos tem as seguintes características de acordo com o uso do solo: HUG: 12,6% vegetação, 19,6% superfícies pavimentadas e 67,8% telhado. BRU: 59,3% vegetação, 17,1% superfícies pavimentadas e 23,6% telhado.

Para caracterizar as condições meteorológicas durante a campanha, dados meteorológicos horários (temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e precipitação) foram providos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

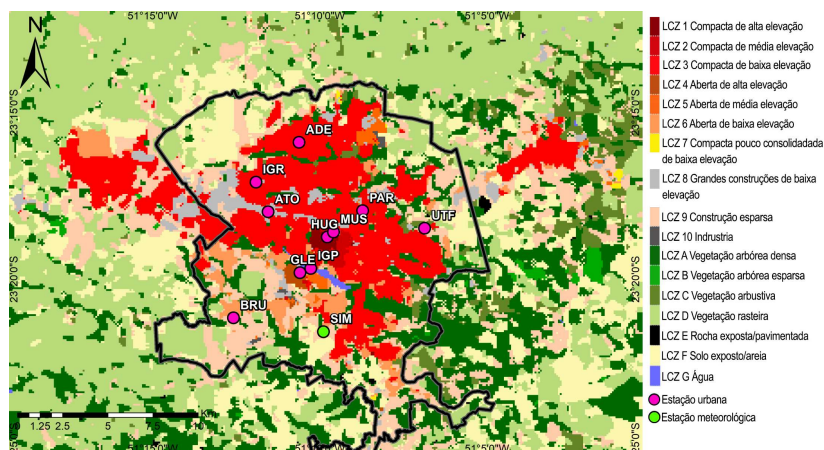
RESULTADOS E DISCUSSÃO

MAPA DE CLASSIFICAÇÃO

A Figura 1 mostra que Londrina tem uma grande diversidade de uso do solo, com uma fração substancial do perímetro urbano ocupada por construções (LCZ 1-9). A LCZ 3 é o tipo mais predominante, representando 30 % da área urbana. A LCZ 8 representa 5 % e é distribuída ao longo de vias de alto fluxo e nos arredores da cidade. O centro da cidade é classificado como LCZ 1, cobrindo 1 % da área urbana e representando uma grande densidade de altos edifícios com poucas áreas

verdes. Ao sul do centro, um bairro se destaca por altos edifícios (até 36 pavimentos) e foi classificado como LCZ 4, representando 1% da área urbana. O Lago Igapó é uma área recreativa classificada como LCZ A/G (14,5 % e 0,5 %), e se destaca pela presença de um lago que cobre uma área de aproximadamente 52 ha e vegetação arbórea ao seu redor. As LCZ 6 e 9 preenchem as regiões mais afastadas e próximas ao limite urbano (7 % e 17 %) junto aos demais tipos de LCZ (A, B, C, D e F) que representam os 24 % restantes da área urbana.

Figura 1 – Mapa das zonas climáticas locais, locais de monitoramento e delimitação da área urbana.

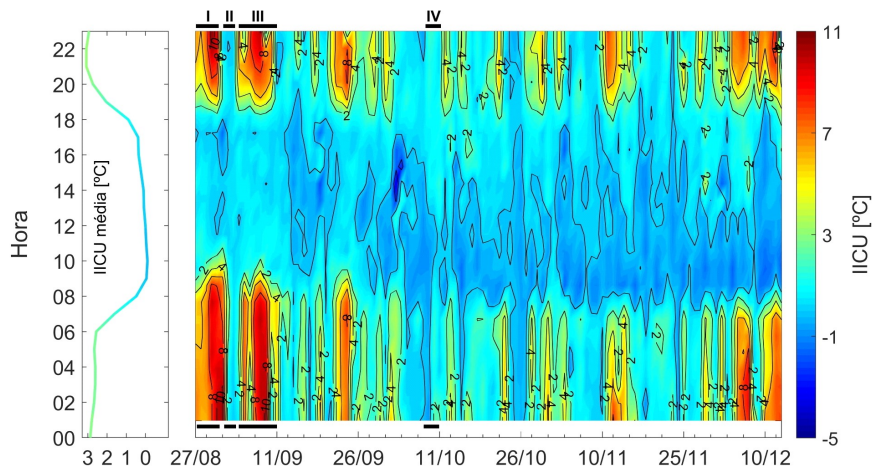


Fonte: Autoria própria (2019).

COMPORTAMENTO TEMPORAL DA ICU

No período estudado, a ICU se mostrou mais intensa durante o período noturno e próximo à manhã (20h-06h), e menor ao longo do dia (08h-18h) (Fig. 2).

Figura 2 – Evolução temporal da ICU e intensidade média de todo período. I e III indicam dias com ocorrência de sistemas de alta pressão e II e IV dias com passagem de frente frias e sistemas convectivos.



Fonte: Autoria própria (2019).

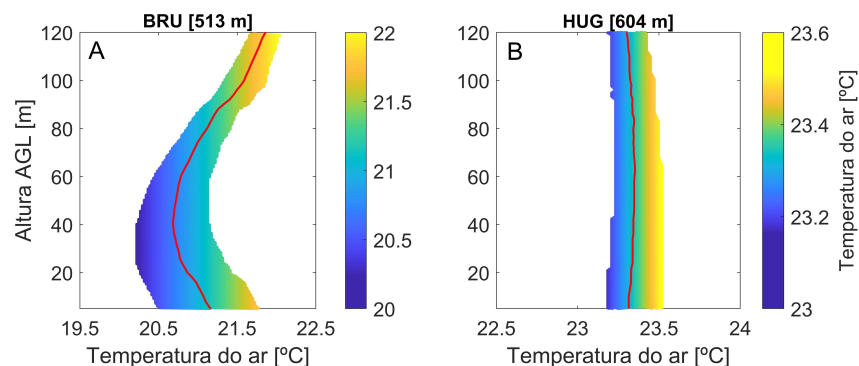
Esse comportamento noturno reflete a diferença de cobertura do solo entre a área urbana (HUG – LCZ 1) e a área rural (BRU – LCZ 9). Devido à utilização de materiais de baixo albedo e com alta admitância térmica na área urbana, há uma grande absorção e distribuição de calor pelas superfícies e paredes dos edifícios. Na área rural, há uma combinação entre um maior albedo e baixa admitância; como consequência, o calor que não é absorvido pela área foliar fica retido nas camadas mais superiores do solo.

Dias com presença de sistemas de alta pressão (I e III) proporcionaram condições ideais (céu limpo e pouco vento) para o fenômeno, com IICU chegando a 11 °C. Enquanto dias com passagens de frente frias ou sistemas convectivos (II e IV) caracterizados por nebulosidade e chuva, contribuíram com as menores intensidades, chegando até a anular o fenômeno.

ESTRUTURA TRIDIMENSIONAL DA ICU

Pela manhã na área urbana, observa-se que a temperatura se mantém praticamente constante (média de 23,3 °C) até 120 m (Fig. 3 - B). A estabilidade atmosférica proporcionada pela presença sistemas de alta pressão mostra que a ICU ultrapassa a CDU e possivelmente o limite do voo (120 m). Na área rural (Fig. 3 - A), observa-se uma inversão térmica acima de 40 metros, onde no topo a temperatura chega a ser maior que na superfície. Durante o período do perfil, a direção dominante do vento foi norte (vindo do centro da cidade) a uma velocidade média de 1,5 m s⁻¹. A hipótese é de que o ar quente presente centro da cidade é advectado em direção à área rural. Como o terreno no local BRU está a 90 metros abaixo de HUG, a coluna de ar se estratifica formando uma camada de ar mais fria próxima a superfície sobreposta pelo ar quente advectado do centro da cidade.

Figura 3 – Perfis verticais realizados no turno da manhã, a linha vermelha representa o perfil médio e a área destacada representa toda variação que ocorreu durante os perfis.



Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

A ICU em Londrina se mostrou presente apenas no período noturno e com maiores intensidades sob sistemas de alta pressão. As intensidades altas (com magnitude de até 11 °C média horária) são decorrentes de uma combinação entre pouca vegetação e uso de materiais com baixo albedo e alta admitância térmica utilizada nas construções.

Por meio dos perfis verticais, determinou-se que a ICU afetou a estrutura térmica 3D da atmosfera de Londrina principalmente sob sistemas de alta pressão, governando a temperatura da CDU. Nessas condições, observamos que a combinação entre o uso do solo e a topografia do terreno foi determinante na estrutura do perfil térmico vertical e que esses fatores influenciam diretamente a intensidade da ICU por toda CDU. Espera-se que a extensão vertical da ICU observada nesse estudo se comporte de maneira similar em centros urbanos verticalizados, afetando a população como um todo, independente se próximo ao solo ou no topo dos edifícios.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela cessão da bolsa de Iniciação Tecnológica, à Fundação Araucária pelo financiamento de equipamentos (projeto nº 470/2010), à UTFPR pela disponibilidade de veículos para manutenção dos sensores, à Guarda Municipal pelo respaldo, ao IPPUL, SIMEPAR e EMBRAPA pelo fornecimento de dados. Finalmente, agradecemos a todas as instituições que disponibilizaram seus locais para instalação dos sensores.

REFERÊNCIAS

- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, p. 1-26, 2003.
- BECHTEL, B. et al. Generating WUDAPT Level 0 data – Current status of production and evaluation. **Urban Climate**, v. 27, p. 24-45, 2019.
- OKE, T. R. et al. **Urban climates**. 1. ed. Cambridge University Press, 2017. 546 p.
- ONU. Revision of world urbanization prospects. **UN Department of Economic and Social Affairs**, v. 16, 2018.
- PENG, S. et al. Surface urban heat island across 419 global big cities. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 696-703, 2012.
- TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 99-103, 1997.
- TARGINO, A. C.; CORAIOLA, G. C.; KRECL, P. Green or blue spaces? Assessment of the effectiveness and costs to mitigate the urban heat island in a Latin American city. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 136, n. 3-4, p. 971-984, 2019.
- TARGINO, A. C.; KRECL, P.; CORAIOLA, G. C. Effects of the large-scale atmospheric circulation on the onset and strength of urban heat islands: A case study. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, n. 1-2, p. 73-87, 2014.