

Análise do impacto da vegetação urbana na temperatura do ar e na umidade relativa em duas áreas habitacionais distintas de uma cidade de grande porte

Analysis of the impact of urban vegetation on the air temperature and relative humidity in two different regions of a large city

Angela Maria Arruda(1); Érico Masiero(2); Luiz Fernando Kowalski(3)

1 Doutoranda em Engenharia Urbana, PPGEU UFSCar, São Carlos/SP, Brasil.

E-mail: angelaarruda@estudante.ufscar.br

2 Professor Doutor PPGEU UFSCar), São Carlos/SP, Brasil.

E-mail: erico@ufscar.br

3 Doutorando em Engenharia Urbana, PPGEU UFSCar, São Carlos/SP, Brasil.

E-mail: luizfernando.lfk@gmail.com

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 12, n. 2, p. 38-55, julho-dezembro, 2023 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i2.4952>

Artigo convidado do



IX Seminário Internacional de
Construções Sustentáveis

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

O microclima urbano é fortemente influenciado pela densidade construída, pela área permeável e pela presença de vegetação, entre outros fatores. O processo de industrialização brasileiro, especialmente em cidades do interior do país, ocorreu de maneira abrupta, o que causou uma forte expansão de áreas impermeabilizadas nas periferias urbanas. Outra consequência do processo de industrialização foi o aumento da demanda por áreas habitacionais rumo às áreas antes ocupadas por vegetação também nas franjas urbanas. Este trabalho tem como objetivo estudar recortes de dois bairros residenciais, da cidade de Uberlândia/MG, sendo um central e outro periférico pertencente a um condomínio habitacional horizontal fechado, para identificar o impacto da densidade construtiva e do percentual de vegetação urbana de cada recorte na temperatura do ar e na umidade relativa. Foram usados termo-higrômetros para monitorar e verificar os perfis da temperatura (Tar) e da umidade relativa (UR) do ar, simultaneamente, durante 10 dias nos dois locais. Como resultado, foi verificado que o percentual de vegetação e de área impermeável (área construída e pavimentada) tiveram maior influência no microclima dos recortes após o pôr do sol: o recorte habitacional central apresentou temperatura do ar, em média, 2°C superior e umidade relativa do ar 10% inferior ao recorte localizado na periferia da cidade. Tal resultado demonstra a importância de investimentos em arborização urbana visando um maior conforto térmico dos moradores, além de outros benefícios como a redução da poluição do ar e melhoria do bem estar humano.

Palavras-chave: Microclima urbano; Vegetação; Temperatura do ar.

Abstract

The urban microclimate is strongly influenced by built density, permeable area and presence of vegetation, among other factors. The Brazilian industrialization process, especially in inner cities, occurred abruptly, causing high demand for housing and rapid expansion of housing towards areas previously occupied by vegetation. This work aims to study sections of two residential neighborhoods, in the city of Uberlândia/MG, one central and the other peripheral belonging to a condominium, to identify the impact of building density and the percentage of vegetation of each section on temperature and relative humidity. The use of thermo-hygrometers made it possible to monitor and verify the temperature (Tar) and relative humidity (RH) profiles of the air, simultaneously, for 10 days in both locations. The percentage of vegetation and impermeable area (built-up and paved area) had a greater influence on the microclimate of the clippings after sunset: the central clipping had an air temperature, on average, 2°C higher and relative humidity 10% lower than the clipping. peripheral. This result demonstrates the importance of investments in urban forestry aimed at greater thermal comfort for residents, in addition to other benefits such as reducing air pollution and improving the urban landscape.

Keywords: Urban microclimate; Vegetation; Air temperature.

1 Introdução

Há um consenso entre os pesquisadores de que o planejamento urbano desempenhe um papel crucial na qualidade da vida dos cidadãos. Contudo, durante o processo de industrialização, o crescimento das cidades brasileiras foi acompanhado por um aumento da demanda de moradias, o que induziu a expansão das áreas urbanizadas impermeabilizadas e verticalização das edificações. A abrupta expansão territorial e a implantação de indústrias nas periferias das grandes cidades contribuíram para uma queda na qualidade das habitações e a implantação de áreas com infraestruturas urbanas inadequadas (SILVA, 2017).

A temperatura do ar urbano (Tar) é diretamente dependente das condições de ocupação do espaço. Em geral, ambientes urbanos tendem a ser mais quentes e menos úmidos se comparados às regiões rurais. Segundo Romero *et al.* (2019), o processo de urbanização é responsável pela transformação e alteração das superfícies naturais, culminando em paisagens urbanas heterogêneas, com microclimas específicos influenciados pelas atividades humanas, vegetação, presença de água e poluição que tendem a potencializar “anomalias térmicas” como as ilhas de calor urbanas.

Na cidade de Uberlândia/MG, situada no Triângulo Mineiro, houve um crescimento populacional urbano expressivo entre as décadas de 1970 e 1980, de cerca de 108%. A migração de trabalhadores da zona rural e de outras regiões do país alavancou o aumento das indústrias (MESQUITA; ANDREOZZI, 2009). Tal processo de industrialização intensa, em curto espaço de tempo, culminou em diversos problemas ambientais e urbanos, devido às drásticas alterações de uso do solo, sobretudo, marcados pela sua degradação e retirada da vegetação nativa (STANGANINI; LOLLO, 2018).

Ainda segundo Stanganini e Lollo (2018), a ocupação desordenada, seguida pela carência de infraestrutura adequada e saneamento básico, o aumento de construções irregulares em áreas de risco e a excessiva impermeabilização têm impacto devastador sobre os sistemas naturais. Logo, tendem a aumentar os impactos socioambientais, tais como, inundações, erosões, assoreamento dos corpos d’água, além da poluição do ar e da água. A degradação ambiental também pode ocasionar a retenção do vento, o aumento da formação de ilhas de calor (ICU) e as possíveis alterações nos regimes de chuva.

A rigor, Martilli, Krayenhoff, Nazarian (2020) explicam frequentemente, a intensidade de ICU é considerada a quantificação do calor extra adicionado à atmosfera pela cidade. Isso é frequentemente ilustrado com uma analogia com a mudança climática global. Essa abordagem é atraente porque não apenas transmite que os seres humanos, por meio do desenvolvimento urbano, influenciam o clima local, mas também quantifica o efeito sobre a temperatura do ar.

Os impactos de áreas urbanas em ambientes naturais são cada vez mais notados devido as indefinições de limites entre elas. Áreas rurais, que também são antropizadas, podem causar impactos sobre áreas urbanas de acordo com Coury *et al.* (2022) e, sobretudo, influenciar na detecção de ICUs.

Escolher um estado atmosférico passado como referência, como é feito para as mudanças climáticas globais e sugerido no início dos estudos de ICU, raramente é possível devido à falta de dados. Portanto, uma referência adequada para avaliação do calor extra adicionado pela cidade pode ser de difícil determinação. Em suma, Martilli, Krayenhoff, Nazarian (2020) indicam fortemente que estudos sobre a formação de ICU procurem comparar duas LCZs distintas de uma mesma cidade.

Para o estudo de dois locais com morfologias distintas, o uso da classificação por *Local Climate Zones* (LCZs), proposta por Stewart e Oke (2012), fornece uma abordagem para investigar quais variáveis climáticas tem maior impacto nos microclimas locais. Tal classificação permite entender o impacto potencial das propriedades das superfícies sobre a ICU, além de considerar a amplitude dos elementos envolvidos no balanço energético (OKE *et al.*, 2017). A partir da classificação de áreas urbanas em LCZ, a influência da morfologia urbana, de sua estrutura e da cobertura do solo no microclima local pode ser investigada (STEWART; OKE, 2012; MU *et al.*, 2020).

As causas das ICUs incluem atividades urbanas e características físicas, tais como alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial energético de emissividade e refletância (OKE, 2009; CARNAHAN; LARSON, 1990; NINGRUM, 2018; (OKE, 1987; LANDSBERG, 1981; AMORIN *et al.*, 2009; GARTLAND, 2010; ROMERO *et al.*, 2019).

Segundo, Li (2016), a compreensão e o registro do comportamento termodinâmico dos pavimentos frios, em diversas realidades urbanas, são essenciais para que novas estratégias venham a ser adotada e incorporados ao desenho urbano para reduzir os efeitos das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs).

No contexto de clima árido do Egito, os de pavimentos frios podem influenciar na redução da temperatura do ar, na melhoria da condição de conforto e na demanda energética para resfriamento. As constatações mostraram que pavimentos frios promoveram uma redução de 25% na temperatura do ar em áreas urbanas de baixa densidade (ABOELATA, 2021).

Em contrapartida, conforme apontado por Kowalski e Masiero (2021), em função da reflexão de ondas curtas incidentes, pode haver um prejuízo nas condições de conforto térmico em espaços abertos. Para isso, a combinação de pavimentos frios com massas de vegetação, resultaram em um bom desempenho, especialmente em áreas de alta densidade construída.

A impermeabilização dos solos, a canalização dos córregos e rios, o uso de

materiais construtivos que absorvem mais calor, a retirada da cobertura vegetal original, o aumento na emissão de poluentes, os tipos de cobertura do céu, a velocidade e direção do vento e o calor gerado por atividades antropogênicas podem favorecer o surgimento de ICUs, de acordo com Oke (1987), Amorin (2010) e Gartland (2010).

A intensidade da ICU é maior em cidades de grande porte e populosas conforme Singh *et al.* (2017) salienta, especialmente em cidades asiáticas. Tais cidades possuem distritos industriais que podem contribuir para o agravamento das ICU no entorno, devido, principalmente às características físicas destes locais, tais como espaços amplamente impermeabilizados, baixo percentual de vegetação e ampla utilização de materiais construtivos com baixo albedo.

Alexander & Mills (2014), Puche, Vavassori, Brovelli (2023) constataram que regiões com alta cobertura impermeável/edifícios apresentaram em média Tar superiores se comparada às áreas com alta cobertura permeável/vegetada durante condições críticas para a ocorrência das ICUs, podendo variar de 0,2 °C a 4,4 °C dependendo do tipo de cobertura do solo (LECONTE *et al.*, 2015).

No Brasil, Cardoso, Amorin (2017) elaboraram um mapa dividindo a cidade de Presidente Prudente/SP em LCZs e estudaram suas correlações com a temperatura do ar, para episódios de inverno e verão. Concluíram que há uma relação entre morfologia urbana, cobertura do solo e atmosfera local, com as temperaturas do ar mais elevadas nas LCZs compactas e densamente construídas. A diferença de temperatura do ar entre LCZ 3 e 4 atingiu 4,4° C.

A avaliação do efeito do uso do solo na temperatura superficial e a identificação da formação de ICU na região de Juazeiro do Norte/CE de 2005 a 2020 foram realizadas por Freitas *et al.* (2022) utilizando imagens do satélite *Landsat 5* e *8*. As ICUs foram marcantes em bairros densamente edificadas e solos expostos, enquanto as ilhas de frescor foram identificadas onde existiam corpos hídricos e vegetação abundante.

As áreas verdes são de suma importância para o equilíbrio térmico, além de atenuar a poluição atmosférica acústica, melhorar o aspecto visual da paisagem urbana como salienta (DE FREITAS; ARAÚJO, 2013; COELHO; CORREA, 2013). Tais autores ainda reforçam a necessidade da elaboração de um plano de arborização e fiscalização eficiente para que a relação entre o espaço construído e área verde seja respeitado.

A arborização de ruas e parques desempenham um papel fundamental na redução da Tar e melhoria do conforto térmico. Por meio dos mecanismos de fotossíntese e evapotranspiração, as plantas absorvem radiação e liberam as moléculas de água nas folhas, segue-se uma troca de calor no ambiente quando o vento entra em contato com as folhas, reduzindo a temperatura (SILVA *et al.*, 2016).

O estudo e identificação da vegetação por meio da análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado para avaliar a temperatura superficial e o impacto dos diferentes tipos de solo na temperatura do solo

e do ar (ZANZARINI *et al.*, 2013; CONCEIÇÃO *et al.*, 2018; CRUZ, 2019; WANG *et al.*, 2023). Segundo Barboza *et al.* (2019) existe uma correlação entre a redução do vigor de biomassa da vegetação e do processo de urbanização no aumento da temperatura de superfície. Como consequência há o incremento na temperatura do ar e da ocorrência de ICUs.

O cálculo do NDVI envolve a composição de bandas espectrais, o que resulta em uma mesma imagem o infravermelho próximo e o vermelho, processando as bandas 4 e 5 de imagens do satélite *Landsat 8*. Este processo foi formulado por Rouse e Hass (1973):

$$NDVI = \left(\frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \right)$$

Onde

NIR (*near infra-red*) = infravermelho próximo; VIS (*visible*) = vermelho

O índice varia de -1 a 1, e quanto mais próximo de 1 maior a densidade de vegetação da área estudada.

São escassos os estudos sobre o tema em Uberlândia, destacando-se os trabalhos de Silva *et al.* (2018) e Vieira, Machado (2019) cujos resultados apontaram uma intensidade máxima de 2.2 °C de ICU para o inverno e 1.2°C no verão, com ênfase para bairros periféricos de interesse social, cuja intensidade de ICU é maior, se comparado a outros bairros.

Sob esta ótica, os objetivos deste estudo são registrar a ocorrência e a configuração das ICUs de duas regiões residenciais distintas, uma central e outra periférica (condomínio), e destacar o impacto da densidade construtiva e da presença de vegetação (árvores, gramado) na temperatura do ar e na umidade relativa.

2 Caracterização da área de estudo

A cidade de Uberlândia, Brasil, está localizada no interior do estado de Minas Gerais, 18° 55' 08" S, 48° 16' 37" O (Figura 2), com população estimada de 706.597 habitantes (IBGE, 2020) e área total de 4.115,206 km². É um importante centro regional industrial, logístico e sua economia baseada em atividades industriais e de serviços. O clima é tropical com estação seca (Aw) na classificação de Köppen-Geiger, altitude de 863 m, IDH de 0,789 segundo (IBGE, 2020).

Figura 1. (a) Perímetro urbano do município de Uberlândia/MG e localização dos recortes estudados: C (Central) e M (Mansões Aeroporto); (b) recorte central (C) e localização dos receptores; (c) recorte Mansões Aeroporto (M) e localização dos receptores



a



c

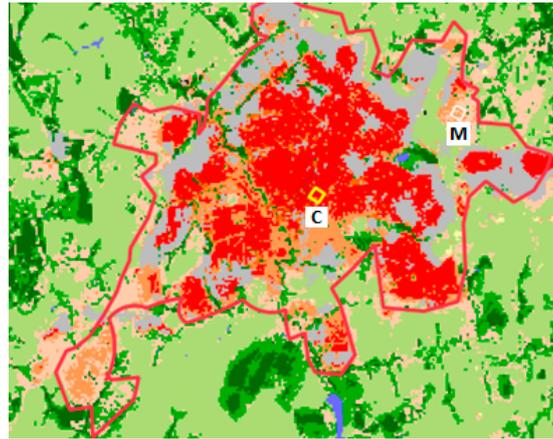


b

O recorte urbano central (C) é densamente construído, com ausência de terrenos vagos, predominância de construções horizontais de até 2 pavimentos e amplamente impermeabilizado. Em contrapartida, o recorte urbano periférico, localizado no condomínio residencial Mansões Aeroporto, conta com terrenos com área mínima de 5000 m², arborizados e com baixa taxa de impermeabilização.

A escolha dos recortes, apresentados na figura 2, justifica-se para este estudo por pertencerem a bairros residenciais, sendo o recorte central classificado como LCZ 3, caracterizado por densa área construída, com poucas árvores, maior parte da área pavimentada e presença de materiais construtivos concreto, aço, rocha e vidro. O recorte das Mansões Aeroporto, classificado como LCZ 6, é composto por construções e árvores baixas, segundo classificação de Stewart, Oke (2012) e Demuzere *et al.* (2022).

Figura 2. Classificação das LCZs e dos recortes estudados



Fonte: Adaptado de Demuzere *et al.* (2022).

3 Método

Após a seleção e classificação dos recortes urbanos representativos foram de acordo com *Local Climate Zones* Stewart e Oke (2012), foram realizadas medições *in situ* da temperatura (Tar) e umidade relativa (UR) do ar, durante 10 dias consecutivos, de 05/06/2023 a 15/06/2023. Foram usados seis termo-higrômetros posicionados a 1,8 m do solo, cuja localização é mostrada na figura 1b e 1c, protegidos por escudo protetor de radiação, mostrados na figura 3.

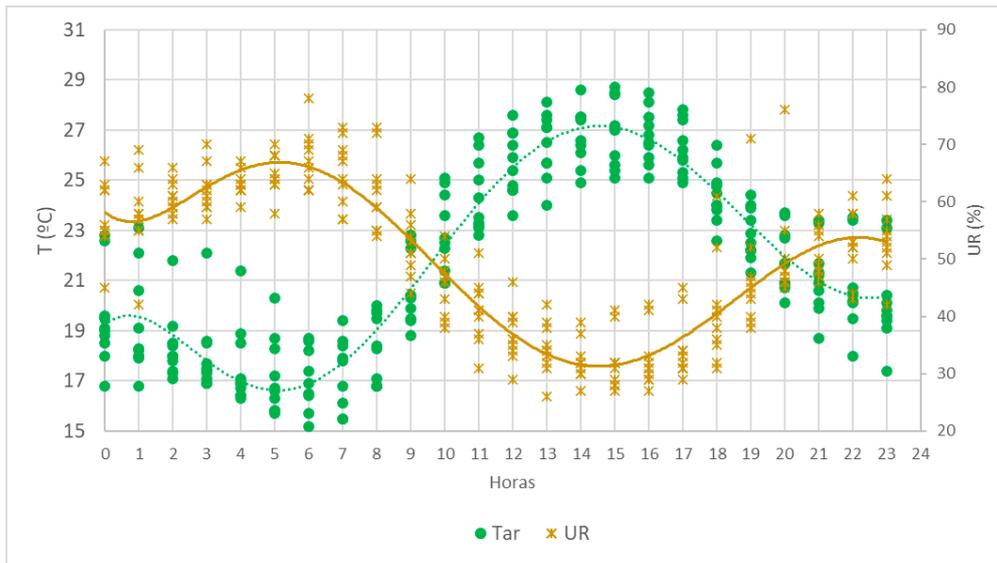
Figura 3. (a) Termo- higrômetro; (b) Especificações do equipamento; (c) Posicionamento do equipamento durante a medição

	<p>Marca / Modelo HOBO/ Pro V2 U23-001</p>	
	<p>Faixa de operação -40 °C a 70 °C</p>	
	<p>Tempo de resposta 40 min no ar em movimento de 1 m/s</p>	
(a)	(b)	(c)

Fonte: Autores (2023).

Os termo-higrômetros foram posicionados em locais de ampla exposição ao sol, visando reduzir os efeitos de sombreamento sobre as variáveis medidas. Na figura 4, são mostrados os perfis da Tar e UR registrados pela estação meteorológica A 507 (INMET, 2023) para o período de medição. Não foi registrada precipitação neste período.

Figura 4. Tar e UR durante o período de medição



O levantamento quantitativo das áreas dos recortes ocupados por vegetação, área construída e área asfaltada foi realizado com o auxílio do software QGIS.

Para análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) utilizou-se o aplicativo *GreenExplorer* que permite obter entre outros índices de vegetação, o NDVI a partir de 1984 para uma determinada região. Os dados são extraídos das imagens de satélite *Landsat* das bandas 5, 7 e 8 (GARCÍA-CHAN; LICEA-SALAZAR; GUTIERREZ-IBARRA, 2023). Optou-se por comparar os dados de NDVI dos últimos 10 anos.

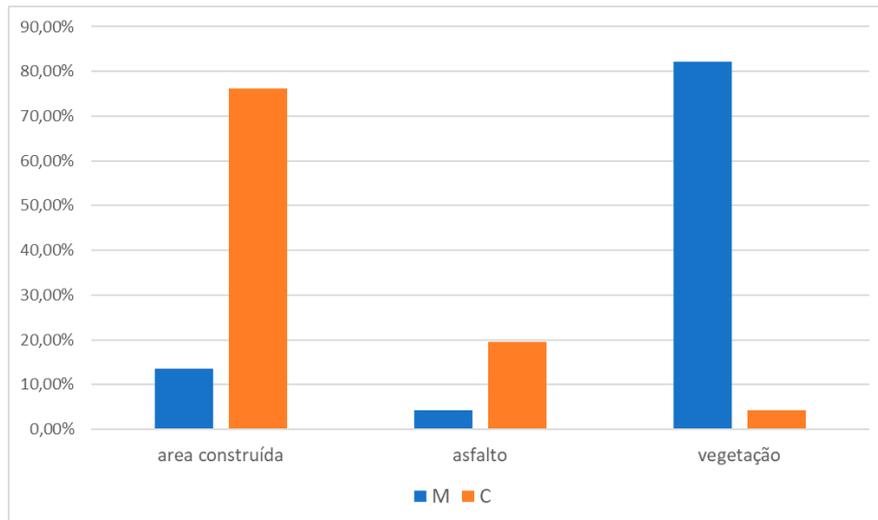
4 Resultados e discussão

A análise de resultados está estruturada em três seções principais, sendo elas: a composição física dos recortes das áreas estudadas, os dados de vegetação por meio do NDVI e finalmente, o impacto sobre a temperatura do ar e umidade relativa nessas regiões.

4.1 Composição física dos recortes

O percentual de área ocupada por vegetação, área construída e área asfaltada de cada recorte estudado é apresentado na figura 5.

Figura 5. Percentual de área ocupada de acordo com o recorte

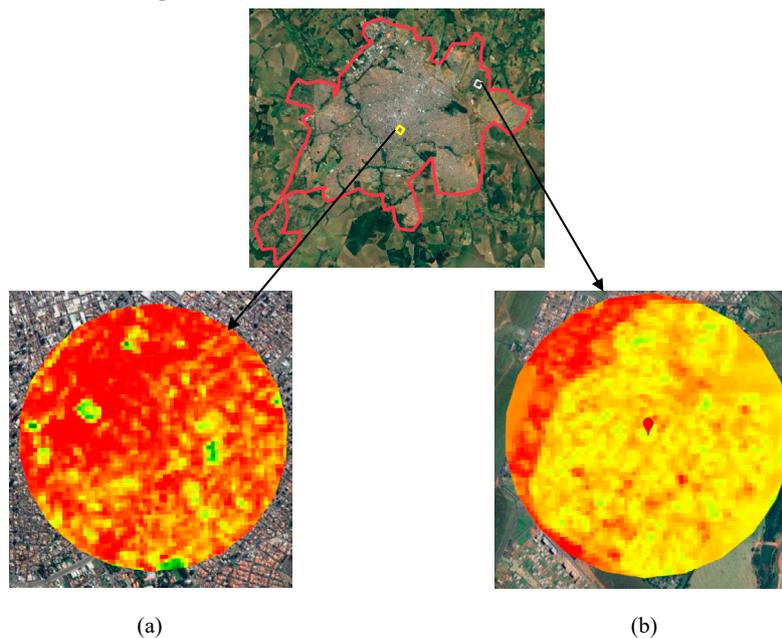


Como previsto, o recorte localizado no centro destaca-se por apresentar ampla área construída (aproximadamente 75%), enquanto o recorte localizado no condomínio Mansões Aeroporto a situação se inverte e apresenta aproximadamente 80% da área coberta por vegetação (gramado e árvores).

4.2 NDVI

O NDVI registrado nos recortes urbanos estudados para os últimos 10 anos é apresentado na figura 6. As cores mais intensas demonstram baixo NDVI (0,15-0,25) característico de áreas impermeabilizadas e com escassez de vegetação, neste caso na região central (figura 6a).

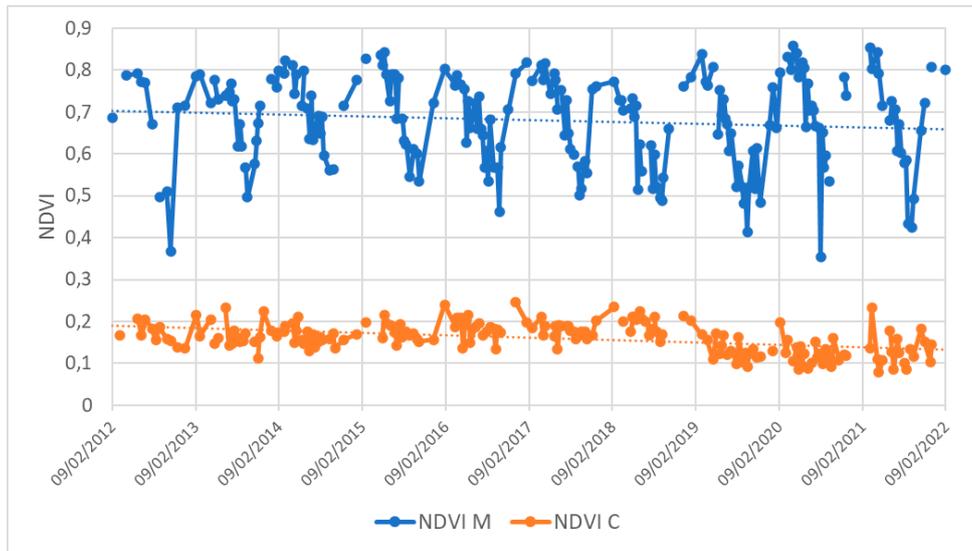
Figura 6. NDVI ao longo dos últimos 10 anos: (a) central; (b) Mansões Aeroporto



Fonte: Greenexplorer (2023).

Através do gráfico apresentado na figura 7, percebe-se que o NDVI da região das Mansões Aeroporto é em média 73% superior ao NDVI central.

Figura 7. Variação do NDVI para as regiões estudadas ao longo de 10 anos



4.3 Tar e UR

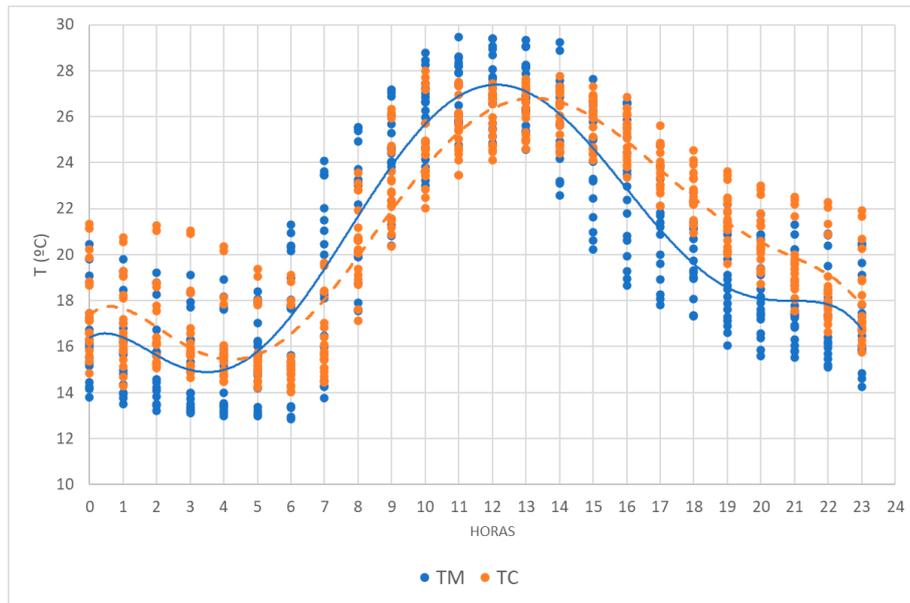
Na figura 8 é mostrada a variação da Tar durante os 10 dias de coleta para os recortes central e Mansões Aeroporto. A Tar no recorte das Mansões (M) é superior durante a manhã, porém a partir das 13 h, a Tar no centro (C) fica até 4°C superior à Tar do recorte M.

Os espaços abertos, livres de obstrução da incidência solar, tendem a se aquecer mais rapidamente, a exemplo das zonas rurais e do recorte M – LCZ 6. Contudo, a presença de materiais construtivos como o concreto e o asfalto facilita o acúmulo de calor durante o dia e a liberação lenta após o pôr do sol, que justifica a diferença de temperatura do ar entre os recortes C e M.

Oke (1987) explica que a característica mais notável é a redução do resfriamento na área urbana no final da tarde e à noite, resultando em uma temperatura mínima noturna mais elevada na cidade. O aquecimento da área urbana também é mais lento após o nascer do sol. A intensidade da ICU normalmente cresce do meio ao final da tarde, até atingir o pico máximo cerca de 3 a 5 horas após o pôr do sol. Podem ocorrer exceções, por exemplo, o pico ser atingido depois do nascer do sol ou algumas cidades, ΔT_{ur} pode até ser negativa ao meio-dia, ou seja, centro urbano mais frio do que o campo (OKE, 1987).

Ressalta-se que o horário pode variar de acordo com os materiais construtivos. Materiais que liberam calor mais lentamente como o concreto e a rocha tendem a contribuir para o aumento da temperatura com um atraso se comparado a materiais que liberam calor mais rapidamente.

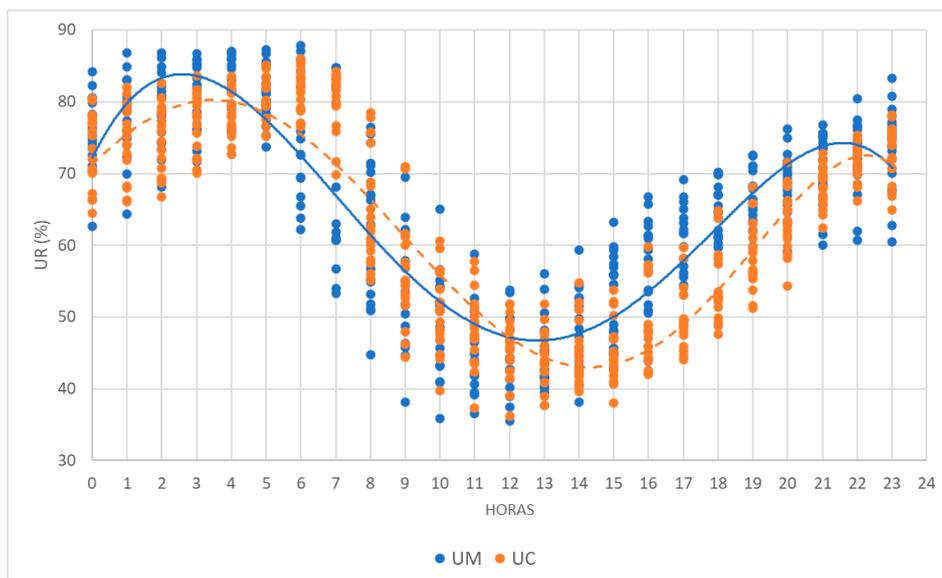
Figura 8. Variação da Tar durante os 10 dias de coleta



Tais resultados corroboram àqueles encontrados por Kolokotroni (2016) que concluíram que as ICU maiores ocorrem em áreas mais densamente construída e com maior densidade populacional entre as outras utilizadas no estudo. A intensidade máxima pode variar de 8 a 10°C durante o dia devido aos materiais de pavimentação em concreto ou asfalto e às superfícies verticais de edifícios, as quais se aquecem mais rapidamente do que as superfícies da área rural, que normalmente são cobertas por vegetação.

A exemplo do estudo desenvolvido no interior de São Paulo por Porangaba e Amorin (2019) percebe-se que um NDVI alto, característico do recorte do condomínio Mansões Aeroporto e sinônimo de vegetação exuberante e/ou ativa, teve impacto sobre a diminuição da temperatura do ar neste local se comparado ao recorte central.

A umidade relativa do ar no recorte M é maior que C durante a tarde e à noite, somente durante a manhã a situação se inverte (figura 9). A presença expressiva de vegetação no recorte M contribui para o aumento da UR e diminuição da Tar em M.

Figura 9. Variação da UR durante os 10 dias de coleta

O aumento de vegetação no ambiente urbano e o controle da área construída são estratégias de mitigação e adaptação ao fenômeno ICU, segundo Gunawardena, Wells e Kershaw (2017). A criação de áreas que otimizam a circulação atmosférica ao nível do pedestre favorece a evapotranspiração e melhora a eficiência da convecção, o que contribui para diluir poluentes atmosféricos e reduzir a temperatura do ar. Os efeitos de resfriamento provocados pelas áreas verdes são particularmente relevantes para condições térmicas na camada intraurbana.

A vegetação desempenha um papel crucial no resfriamento do meio e diminuição da temperatura do ar, visto que próximo à vegetação, a umidade do ar é maior, favorecendo o resfriamento evaporativo e aumentando o fluxo de calor latente (MASIERO; SOUZA, 2018).

Na impossibilidade de implantação de espaços verdes e modificações extensas em áreas já ocupadas e densamente construídas, no recorte C, por exemplo, recomenda-se utilizar materiais construtivos de menor capacidade de absorção de calor, maior reflexibilidade e maior condutividade térmica nas novas construções e reformas (XU; BRUELISAUER; BERGER, 2017). Estudos mostram que a substituição por superfícies urbanas reflexivas como como telhados brancos e pavimentos de cores claras, embora não tenha apelo econômico, pode aumentar o albedo de uma área urbana cerca de 0,1 e contribuir para o resfriamento global a longo prazo (10 a 100 anos) (AKBARI; MATTHEWS, 2012).

Com o aumento da reflexão solar das superfícies urbanas, o fluxo de radiação solar de ondas curtas aumenta, menos energia solar é absorvida levando a temperaturas superficiais MAIS BAIXAS (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011; AKBARI; MATTHEWS, 2012; DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003; KOLOKOTRONI *et al.*, 2018; ZHENG *et al.*, 2022).

Finalmente, é importante destacar que o albedo do revestimento da área pavimentada exerce influência sobre o equilíbrio energético das cidades. O pavimento asfáltico, devido à sua coloração escura, demonstra uma elevada capacidade em absorver a radiação de comprimento de onda curta durante o dia e emitir onda longa durante a noite, o que contribui para elevar a temperatura do ar na região adjacente à sua superfície (LI, 2016; ZHU, MAI, 2019). O albedo, um indicador significativo, denota a capacidade da superfície do pavimento em refletir a radiação solar (CHEN *et al.*, 2019).

5 Considerações finais

A partir deste estudo foi possível analisar as especificidades de dois recortes urbanos residenciais distintos da cidade de Uberlândia/MG, sendo um central e outro periférico.

Tais recortes apresentam características distintas quanto a densidade construída e percentual de vegetação capazes de impactar na temperatura e umidade relativa do ar. Os benefícios da presença de vegetação nos espaços urbanos ultrapassam a questão estética, pois podem contribuir para a diminuição da temperatura do ar, o aumento da umidade relativa do ar, a melhoria do conforto térmico, além da melhoria nas condições ambientais do ar.

O percentual de vegetação e de *área* impermeável (área construída e asfaltada) tiveram maior influência no microclima dos recortes após o pôr do sol: o recorte central apresentou temperatura do ar, em média, 2°C superior e umidade relativa do ar 10% inferior ao recorte periférico.

Em suma, um planejamento urbano que inclua projeto de arborização, programa de conscientização dos moradores acerca da importância dos espaços verdes urbanos e espaços permeáveis, parece ser a estratégia mais assertiva visando maior conforto térmico dos moradores, além de outros benefícios como a redução da poluição do ar e melhoria da paisagem urbana.

Referência bibliográfica

- ABOELATA, A. Reducing Outdoor Air Temperature, Improving Thermal Comfort, and Saving Buildings' Cooling Energy Demand in Arid Cities-Cool Paving Utilization. *Sustainable Cities and Society*, p. 102762, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102762>
- AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D. Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 2–6, dez. 2012.
- ALEXANDER, P.; MILLS, G. Local Climate Classification and Dublin's Urban Heat Island. *Atmosphere*, v. 5, n. 4, p. 755–774, 21 out. 2014.
- BARBOZA, E. N.; BEZERRA NETO, F. das C.; CAIANA, C. R. A.; CRISOSTOMO, N. C.; SAMPAIO, M. R. L.; BESERRA, M. N. dos S.; LACERDA, A. W. J. R. Análise de precipitações pluviométricas entre 1974-2009 no município de Juazeiro do Norte, Ceará. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 20–26, 2019. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/7732>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- CARDOSO, R.; AMORIM, M. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. *GOT - Journal of Geography and Spatial Planning*, n. 12, p. 75–99, 30 dez. 2017.
- CARNAHAN, W. H.; LARSON, R. C. An analysis of an urban heat sink. *Remote Sensing of Environment*, v. 33, n. 1, p. 65–71, jul. 1990.
- CHEN, J. *et al.* Field and laboratory measurement of albedo and heat transfer for pavement materials. *Construction and Building Materials*, v. 202, p. 46-57, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.028>
- COELHO, A. L. N.; CORREA, W. D. S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/ landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista geográfica acadêmica*, v. 7, n. 1, p. 31, 1 jul. 2013.
- CONCEIÇÃO, A. F., SOUZA, D. F., SPANGHERO, P. E. S. F., & MATIAS, L. F. Temperatura de brilho por meio de imagens landsat-8 na área de proteção ambiental tietê no estado de São Paulo. In: TULLIO, L. (Org.). *Aplicações e princípios do sensoriamento remoto*. Ponta Grossa: Atena Editora, p. 225-234, 2018. <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2018/10/E-book-Aplica%C3%A7%C3%B5es-e-Princ%C3%ADpios-do-Sensoriamento-Remoto-1.pdf>.
- COURY, B. S., MASIERO, E., KRUER, E. Confounding effects of harvesting on urban heat island intensity in a mid-sized city in Brazil. *Urban Climate*, Volume 46, 101276, 2022. ISSN 2212-0955. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101276>.
- CRUZ, M. D. *Estudos climáticos em vales urbanos: análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- DE FREITAS, A. F.; DE ARAÚJO. *Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba*. 2013.

DEMUZERE, M. *et al.* A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science. *Earth System Science Data*, v. 14, n. 8, p. 3835–3873, 29 ago. 2022.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 2003.

FREITAS, C. A. S. D. *et al.* Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor na Cidade de Juazeiro do Norte - CE. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, p. e237111234265, 12 set. 2022.

GARCÍA-CHAN, N.; LICEA-SALAZAR, J. A.; GUTIERREZ-IBARRA, L. G. Urban Heat Island Dynamics in an Urban–Rural Domain with Variable Porosity: Numerical Methodology and Simulation. *Mathematics*, v. 11, n. 5, p. 1140, 24 fev. 2023.

GARTLAND, L. *Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas* / Lisa Gartland; Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GREENEXPLORER. Disponível em: <https://andres-gee.users.earthengine.app/view/green-explorerGeoStyle>: <https://geostyle.github.io/>. Acesso em: 15 maio 2023.

GUNAWARDENA, K. R.; WELLS, M. J.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, v. 584–585, p. 1040–1055, abr. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2020. Disponível online em www.ibge.gov.br. Acessado em: 26 abril 2023.

INMET. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Fundamentos das Normais Climatológicas do Brasil, 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 18 de janeiro de 2023.

KOLOKOTRONI, M. *et al.* Cool and Green Roofs for Storage Buildings in Various Climates. *Procedia Engineering*, v. 169, p. 350–358, 2016.

KOLOKOTRONI, M. *et al.* Cool roofs: High tech low cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low rise low income houses in high solar radiation countries. *Energy and Buildings*, v. 176, p. 58–70, out. 2018.

KOWALSKI, L. F.; MASIERO, E. Envelhecimento de pavimentos de concreto pigmentado e consequências sobre o albedo. *Revista de Arquitetura IMED*, v.10, n.1, p. 126-147, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2021.v10i1.4411>

LANDSBERG, H. E. *The Urban Climate*. Academic Press, New York, NY, USA, 1981.

LECONTE, F. *et al.* Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, v. 83, p. 39–49, jan. 2015.

LI, H. *Pavement materials for heat island mitigation: design and management strategies*. Oxford: Elsevier, 2016.

MARTILLI, A.; KRAYENHOFF, E. S.; NAZARIAN, N. Is the Urban Heat Island intensity relevant for heat mitigation studies? *Urban Climate*, v. 31, p. 100541, mar. 2020.

- MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. D. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 4, p. 177–197, out. 2018.
- MESQUITA, F. C.; ANDREOZZI, S. L. O início do processo de industrialização em Uberlândia, 2009.
- MU, Q. *et al.* Evaluation of employing local climate zone classification for mesoscale modelling over Beijing metropolitan area. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 132, n. 3, p. 315–326, jun. 2020.
- NINGRUM, W. Urban Heat Island towards Urban Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 118, p. 012048, fev. 2018.
- OKE, T. R. *Boundary layer climates*. Second edition ed. London: Routledge, 2009.
- OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. 2nd ed. London: Methuen; New York: John Wiley & Sons, 1987.
- OKE, T. R. *et al.* *Urban climates*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. D. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 6, p. 2041, 16 dez. 2019.
- PUCHE, M.; VAVASSORI, A.; BROVELLI, M. A. Insights into the Effect of Urban Morphology and Land Cover on Land Surface and Air Temperatures in the Metropolitan City of Milan (Italy) Using Satellite Imagery and In Situ Measurements. *Remote Sensing*, v. 15, n. 3, p. 733, 27 jan. 2023.
- ROUSE, W.; HAAS, R. H. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, 1973.
- ROMERO, M. A. B. *et al.* *Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas*. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; ETB. 2019. DOI: <https://doi.org/10.18830/ISBN.978-85-67405-25-4>
- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, v. 85, n. 12, p. 3085–3102, dez. 2011.
- SILVA, I. C. S. *Índice ambiental urbano (IAU): uma contribuição ao estudo do planejamento e do conforto térmico em espaços abertos*. Doutorado (Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- SINGH, P.; MAHADEVAN, B.; Heat Island Effect in an Industrial Cluster –Identification, Mitigation and Adaptation. *The Energy and Resources Institute*, 2017.
- STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. D. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. *URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, n. suppl 1, p. 118–128, 8 out. 2018.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 1 dez. 2012.

WANG, Y. *et al.* Impact of land use change on the urban-rural temperature disparity in Eastern China. *Atmospheric Environment*, v. 308, p. 119850, set. 2023.

XU, M.; BRUELISAUER, M.; BERGER, M. Development of a new urban heat island modeling tool: Kent Vale case study. *Procedia Computer Science*, v. 108, p. 225–234, 2017.

ZANZARINI, F. V. *et al.* Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 6, p. 608–614, jun. 2013.

ZHENG, T. *et al.* Evaluating urban heat island mitigation strategies for a subtropical city centre (a case study in Osaka, Japan). *Energy*, v. 250, p. 123721, jul. 2022.

ZHU, S.; MAI, X. A review of using reflective pavement materials as mitigation tactics to counter the effects of urban heat island. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, v. 2, n. 3, p. 381-388, 2019. doi: <https://doi.org/10.1007/s42114-019-00104-9>