

Ilhas de calor em superfícies urbanas no Centro-Oeste brasileiro: um estudo de caso

Heat islands on urban surfaces in the Brazilian Midwest: a case study

Estéfane da Silva Lopes¹; Karla Emmanuela Ribeiro Hora²

¹ Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, Palmas/TO, Brasil. Email: estefane_lopes@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1527-2960>

² Universidade Federal de Goiás, Campus Goiânia, Goiânia/GO, Brasil. Email: karla_hora@ufg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4410-3728>

Resumo: A permeabilidade representa a capacidade de a água infiltrar-se na superfície do solo. Em superfícies urbanas como ruas asfaltadas e edificações sobre solos impermeáveis, a resistência à permeabilidade e à infiltração leva a impactos distintos sobre o ambiente, dentre os quais está o fenômeno de ilhas de calor. Tal fenômeno caracteriza-se pelo aumento da temperatura nos centros urbanos em comparação aos do entorno. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo investigar o impacto da permeabilidade na formação de ilhas de calor em uma área de um bairro localizado na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil. Para tanto, verificou-se a intensidade da ilha de calor por meio de medições in loco realizadas no bairro mais adensado e verticalizado de Goiânia, o Setor Bueno. A partir dessas medições, realizou-se o mapeamento da permeabilidade e da temperatura superficial no entorno dos pontos de coleta, com o uso de imagem do Landsat-08. Os resultados das medições permitiram verificar que, geralmente, as ilhas de calor são mais intensas à noite e nas madrugadas, atingindo amplitude de até 10°C (ilha de calor de magnitude muito forte). Os resultados evidenciam a correlação entre a formação das ilhas de calor urbanas e as tipologias de uso e ocupação do solo urbano, destacando o adensamento urbano e a impermeabilidade nas localidades com maiores ocorrências do fenômeno.

Palavras-chave: Ilhas de Calor Urbanas; Permeabilidade; Goiânia.

Abstract: Permeability represents the ability of water to infiltrate the soil surface. On urban surfaces such as paved streets, buildings on impermeable soils, which are resistant to permeability and infiltration, lead to different impacts on the environment, including the phenomenon of heat islands. This phenomenon is characterized by an increase in temperature in urban centers compared to their surroundings. Therefore, this study aims to investigate the impact of permeability on the formation of heat islands in an area of a neighborhood located in the city of Goiânia, Goiás, Brazil. To this end, the intensity of the heat island was verified through on-site measurements located in the densest and most vertical neighborhood in Goiânia, the Bueno Sector. Based on these measurements, the permeability and surface temperature around the collection points were mapped using a Landsat-08 image. The results of the measurements showed that heat island formations are usually more intense in the early hours of the morning (at night), reaching an amplitude of up to 10° C (heat island of very strong magnitude). The results show a correlation between the formation of urban heat islands and the typologies of urban land use and occupation, highlighting: urban densification and impermeability for the locations with the highest occurrences of urban heat islands.

Keywords: Urban heat islands; Urban Permeability; Goiânia.

1. Introdução

A cidade é uma organização muito antiga, que marca sua presença na história por meio dos elementos que assinalam o advento do que se considera civilização. Processos econômicos e sociais delineiam-se, transformando as condições de existência: concentrações populacionais, migrações rurais, superpovoamento e transformação do espaço assinalam o crescimento e a configuração das cidades (PESAVENTO, 1995).

Da formação das cidades ao crescimento dos aglomerados urbanos, verificaram-se inúmeros e distintos processos, cuja base de transformação econômica e tecnológica se ancorou em desigualdades sócio-espaciais com reflexo sobre a natureza. Todavia, o modelo de desenvolvimento ocorreu de forma desordenada e, por vezes, essas desigualdades revelaram ausência de preocupações ambientais e de acesso universal à infraestrutura básica. Por consequência, a cidade e seus núcleos urbanos em particular passaram a conviver com problemas estruturais que prejudicam a qualidade de vida e ambiental.

Dessa forma, a urbanização transformou as cidades em áreas adensadas com menor quantidade de vegetação e maior quantidade de superfícies artificiais diversas. Consequentemente, a perda de vegetação aumenta o armazenamento de calor na camada de solo que, por sua vez, contribui para a elevação de temperatura do ar em áreas urbanas (OKE, 1987)

Ao se estimar que mais de 68% da população mundial deverá viver em nas áreas urbanas até 2050 (ONU, 2018), há que se considerar que o padrão de urbanização em curso acentuará os problemas que já ocorrem nas cidades, impactando a maioria dos seres humanos. Dentre estes problemas, a alteração do clima urbano tem sido uma preocupação constante em diversos estudos (CHEN *et al.* 2006; NASCIMENTO, 2011). Nakata-Osaki *et al.* (2018) afirmam que o crescimento populacional em áreas urbanas impulsiona os estudos de clima urbano por dois importantes motivos: verificar os efeitos da urbanização no clima e garantir um ambiente agradável e saudável para a população urbana.

Diante do aumento da temperatura nas cidades, é importante que planejadores considerem os efeitos adversos à saúde tais como; problemas respiratórios devido ao aumento do nível de ozônio, estresse térmico e mortalidade induzida por calor em suas estratégias de planejamento.

Assim, é cada vez mais necessário aos estudos sobre clima urbano compreender como o aumento desse gradiente construtivo adensado (edifícios, ruas, obras de infraestrutura etc.) afetam o ambiente.

De acordo com Dorigon e Amorim (2019), aspectos relacionados à rugosidade, vegetação e adensamento urbano, aliados a outros de cunho econômico e social, podem ser determinantes para a análise do clima urbano, uma vez que permitem e intensificam a troca de energia entre a superfície e a atmosfera.

Segundo Oke (1981), a baixa permeabilidade provocada pelo uso de pavimentação, que tem substituído a cobertura natural provoca a diminuição das áreas verdes, modificando assim o balanço de energia térmica e e consequentemente alterando as trocas térmicas entre as superfícies e o meio. Nesse contexto, a vegetação tem o objetivo de reduzir os extremos ambientais, pois tende a estabilizar a temperatura do ar e filtrar os poluentes atmosféricos, além de proporcionar melhor ventilação urbana (DUARTE, 2002).

Uma vez que o tema tem recebido maior atenção desde os últimos anos do século XX, o fenômeno de ilhas de calor urbanas (ICU ou UHI, em inglês *Urban Heat Island*), segundo Iping *et al.* (2019), pode ser definido como a diferença observada na temperatura ambiente entre áreas urbanas centrais com relação e as periféricas.

Para Oke (1987), as ilhas de calor urbanas se originam, principalmente, pelo modelo de desenvolvimento urbano não empenhado no planejamento, que resulta em maior temperatura da superfície terrestre, uma vez que a característica dos materiais construtivos e a geometria urbana levam à retenção de calor, algo que pode ser observado por meio de dados de sensoriamento remoto e não apenas de dados meteorológicos. Entretanto os estudos sobre ilhas de calor urbanas não ajudam apenas a perceber as alterações do meio urbano em longo prazo, mas também, a propor melhorias para a qualidade de vida de uma dada região (CHEN *et al.* 2020).

Diversas pesquisas, tais como as de Deng *et al.* (2009); Hu e Brunsell, (2013); Budhiraja, Pathak e Agrawal, (2017); Dorigon e Amorim, (2019); Wang *et al.* (2019), apresentam os efeitos causados pelas ilhas de calor urbanas ao redor do mundo.

Deve-se enfatizar que conhecer a magnitude e o impacto das ilhas de calor urbanas em dada localidade é importante para definir diretrizes para um planejamento urbano eficiente e sustentável, trabalhando, assim, para o bem-estar da população que reside na cidade.

Nos Estados Unidos existe uma preocupação entre estados e municípios, e muitos Governos locais estão cada vez mais interessados em proteger e preparar as pessoas para o fenômeno das ilhas de calor urbanas, aplicando os princípios de controle ambiental para mitigá-las (EPA, 2020).

No Brasil, a importância de estudos desta natureza também é latente. Como o país possui poucos estudos sobre ilhas de calor urbanas (DORIGON E AMORIM, 2019) torna-se relevante aprofundar estudos dessa natureza para ampliar a

compreensão deste fenômeno nas diferentes cidades e regiões brasileiras, para que seus resultados possam ser utilizados pelo poder público.

Em Goiânia, a problemática relacionada as ilhas de calor urbanas é menor se comparada a de grandes cidades que passam por um processo de acelerado crescimento econômico e industrial. Porém, a desordenada ocupação urbana, aliada à falta de planejamento, faz com que a cidade também apresente problemas ambientais urbanos.

Dentre os fatores que afetam a intensidade do fenômeno das ilhas de calor urbanas, Rajagopalan *et al.* (2014) os classifica em dois grupos: o primeiro que envolve aspectos meteorológicos tais como velocidade e direção do vento, umidade e cobertura de nuvens, e o segundo grupo se refere a fatores relacionados ao projeto da cidade tais como densidade das áreas construídas, pavimentação e cobertura vegetal.

Luan *et al.* (2020) afirmam que a ausência de cobertura vegetal é a determinante mais importante para a formação de ilhas de calor urbanas, e as ações antropogênicas estão ganhando destaque cada dia mais em escala global, atuando na supressão da vegetação. Ainda segundo os autores, diante da complexidade e da importância dos estudos das superfícies urbanas e seu impacto na formação do fenômeno ilhas de calor urbanas, torna-se necessário maior aprofundamento na análise dos bairros mais adensados e verticalizados quanto à formação do fenômeno, propondo a inclusão de novos parâmetros e evidenciando as vantagens do uso do sensoriamento remoto para o estudo.

Considerando que as ilhas de calor urbanas têm maior probabilidade de ocorrerem em áreas de maior adensamento urbano, com maior concentração de edifícios, impermeabilização do solo e menor cobertura vegetal. A pesquisa teve como principal objetivo investigar o impacto da permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais na formação de ilhas de calor urbanas no Setor Bueno, localizado na cidade de Goiânia, Goiás no Brasil.

2. Metodologia

Nesta etapa descreve os procedimentos seguidos para a realização da pesquisa, na qual foi adotado um estudo de caso, para determinar as técnicas de coleta de dados a serem utilizadas para o estudo total.

2.1. Delineamento da pesquisa

A pesquisa trata de um estudo de caso que confrontou as condições da permeabilidade urbana e a ocorrência de ilhas de calor em uma área do setor Bueno em Goiânia-GO com levantamento de dados *in loco*, por meio de medições realizadas em pontos específicos. Para tal, foi escolhida uma área do bairro Setor Bueno, por ser o bairro de Goiânia com maior adensamento urbano e consequente impermeabilização das superfícies. Uma vez que foi definida a área de estudo no bairro, realizou-se a definição dos pontos de medição, dos equipamentos utilizados, do período de medição, do levantamento da permeabilidade dos pontos de medição e da elaboração dos mapas de permeabilidade urbana.

2.2. Escolha e Caracterização da Área de Estudo

Para a realização do estudo foi escolhida uma área do bairro Setor Bueno localizado na cidade de Goiânia, Goiás situado no Brasil. Essa área possui maior verticalização e adensamento em relação ao restante do bairro. Para melhor compreensão das análises a serem tratadas, fez-se necessário descrever a cidade segundo suas características geográficas, climáticas e urbanísticas.

A cidade de Goiânia está localizada na região Centro-Sul do estado de Goiás, entre a latitude de 16° 40' 48" Sul e longitude 49° 15' 18" Oeste, com área aproximada de 729 km² (IBGE, 2010).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Goiânia possui uma população predominantemente urbana estimada em torno de 1.536.097 pessoas no ano de 2020. (IBGE, 2020).

O crescimento urbano do município, considerando sua origem, em 1936 até o presente momento é caracterizado por um processo migratório intenso, principalmente nas décadas de 60, com a construção de Brasília e, na década de 80, com a modernização da agricultura, o que trouxe, para a cidade, uma grande quantidade de pessoas oriundas do interior do estado (SOUZA; FERREIRA, 2019).

O clima de Goiânia pode ser classificado pelos sistemas regionais de circulação do ar que atuam na região Centro-Oeste, pela sua posição latitudinal e pela falta de corpos hídricos, contribuindo para um verão quente e chuvoso, uma primavera com as temperaturas mais elevadas do ano e um inverno seco com elevada amplitude térmica (NASCIMENTO; BARROS, 2009). É possível caracterizá-lo mediante as normais climatológicas (dados meteorológicos obtidos pelo

INMET). Segundo Oke (1987) a classificação do clima de Köppen indica que Goiânia enquadra-se no tipo tropical (Aw) – Clima Tropical com estação seca no inverno e chuvas no verão.

Em relação à precipitação em Goiânia pode-se concluir que as chuvas ocorrem com maior frequência nos meses de novembro a março e os meses mais secos correspondem aos de junho a agosto com baixas ocorrências de precipitações.

Segundo Nascimento (2011), os meses mais quentes são mais úmidos e os mais frios são mais secos. Existe uma provável relação do aumento da temperatura com ações antropogênicas as formas de uso e ocupação do território urbano influenciando o microclima de Goiânia.

Contudo, o microclima de Goiânia sofre alterações globais e locais, mas as ações antropogênicas, na escala local, da cidade, o influenciam positiva e/ou negativamente. Motivo pelo qual nos interessa quantificar e qualificar esta interferência.

O estudo se baseou-se em um bairro de Goiânia e como critérios de seleção foram utilizados: bairros mais populosos e adensados segundo dados da prefeitura de 2013. Também foi analisada verticalização que cada região está sofrendo atualmente, por meio da análise dos dados disponibilizados pela Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Goiás. A Figura 1, mostra o adensamento urbano de Goiânia por cada bairro.

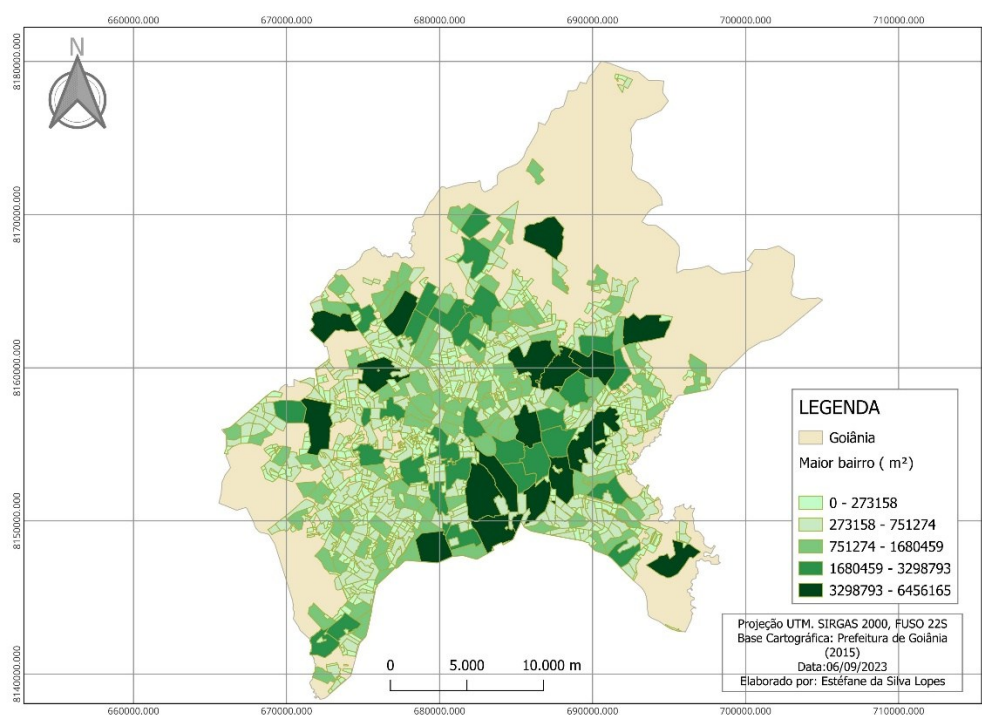


Figura 1 – Adensamento urbano de Bairros da Região em Goiânia.

Fonte: Autoras (2023).

Também foi verificado o número de edificações verticais por bairros do Setor Sul, com os respectivos números de pavimentos (Figura).

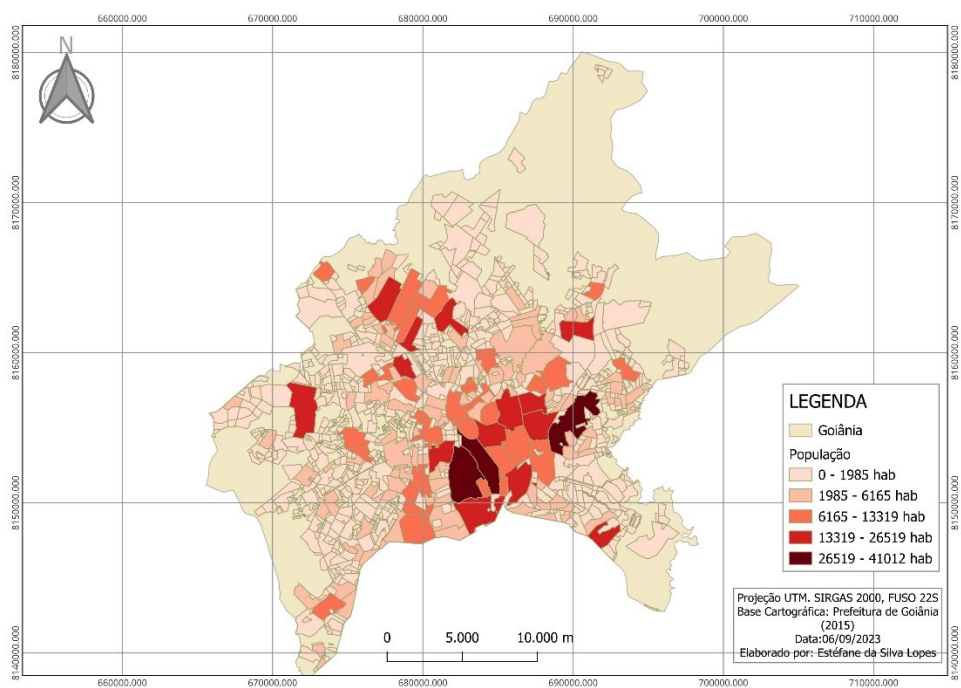


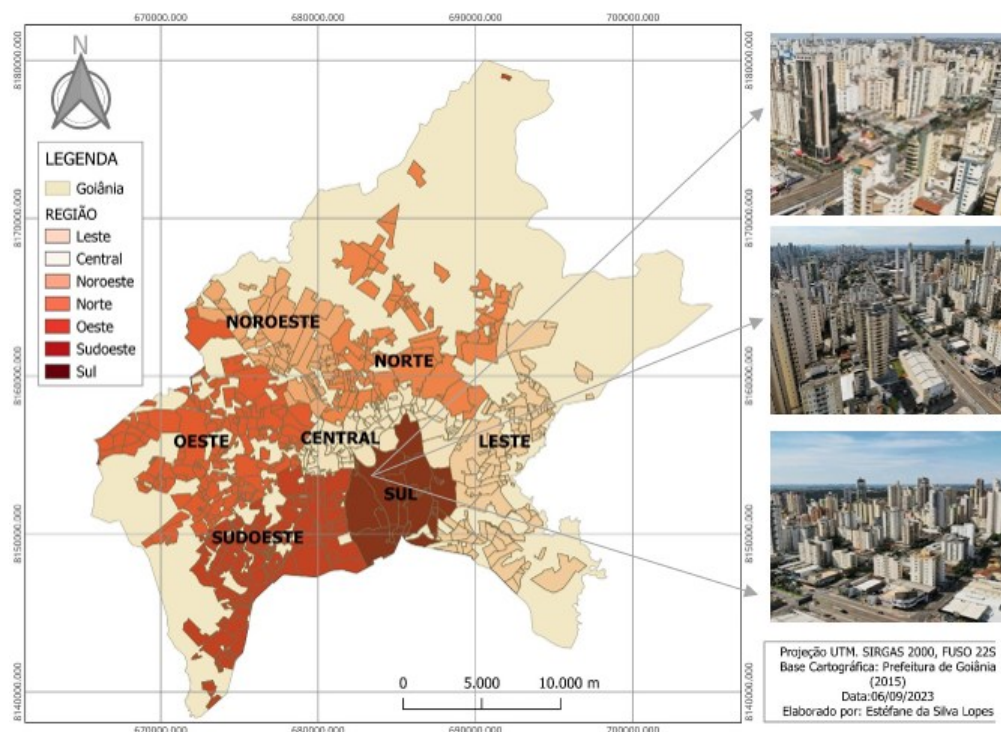
Figura 2 – Distribuição das edificações verticais por bairros de Goiânia.

Fonte: Autoras (2023).

Por apresentar a maior densidade demográfica entre os bairros da região sul, é que se escolheu o bairro setor Bueno. Este bairro é aquele com o maior número de edifícios lançados, maior número de edifícios construídos e maior concentração de edifícios acima de 30 pavimentos.

O setor Bueno é o bairro de Goiânia, localizado na região Sul, conforme apresentado na Figura 1, a qual apresenta as regiões administrativas e verticalização de Goiânia. O bairro possui maior adensamento populacional, maior número de edifícios em lançamento e maior número de edifícios mais altos, além de possuir tipologia vertical predominante.

Uma vez que se verificou a verticalização mais intensa da região Sul da cidade, resolveu-se detalha-la a mesma, destacando a área e a população de cada bairro que compõe a região (Figura 3).



*Figura 3 – Regiões Administrativas de Goiânia e verticalização no Setor Bueno (Região Sul).
Fonte: Autoras (2023).*

Este trabalho propôs, no início, o mapeamento e a análise de dados censitários (do IBGE e da prefeitura de Goiânia), nos quais diversos bairros foram cogitados e avaliados. A Figura apresenta o mapa de localização da área estudada.

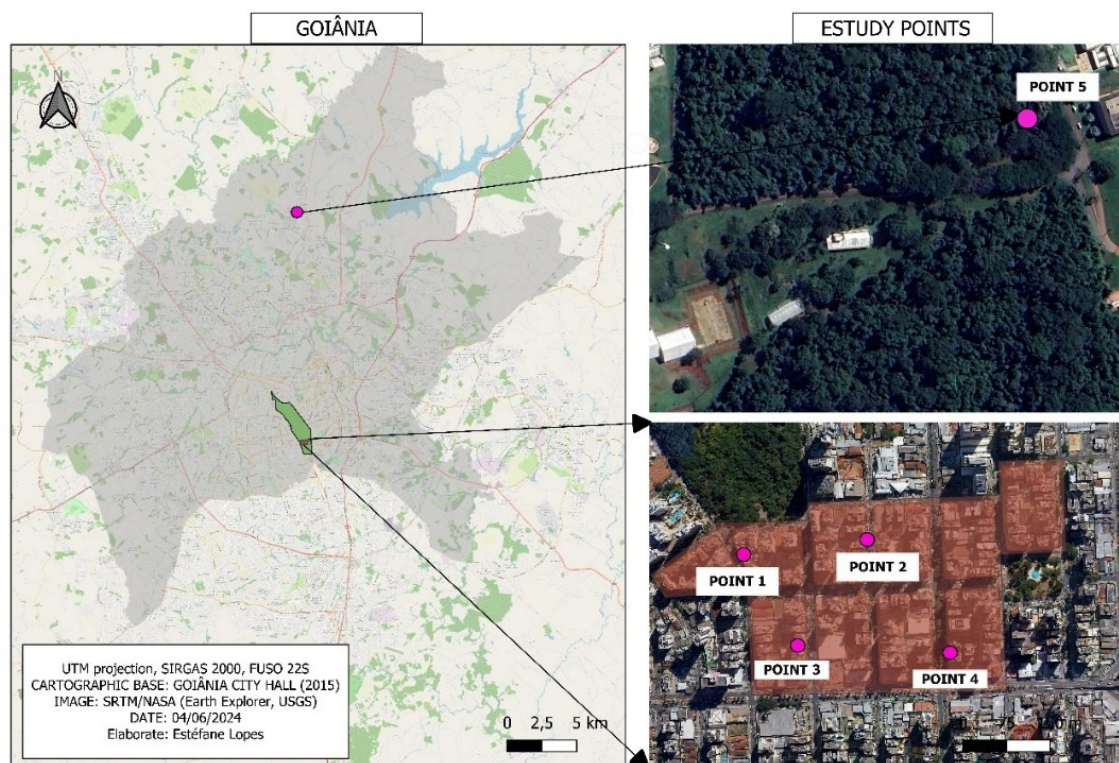


Figura 4 – Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: Autoras (2023).

Verificou-se que as quadras que apresentavam as edificações mais altas (acima de 30 pavimentos) do bairro localizavam-se na área de estudo, confrontando com o maior parque do bairro, o Parque Vaca Brava.

2.3. Definição dos pontos de medição

Uma segunda etapa do trabalho foi a medição das temperaturas do ar. Para tal, foram selecionados os pontos de medição. O critério de escolha dos pontos foi a variedade do tipo da ocupação urbana. Entretanto, o número de pontos de coleta foi limitado pela disponibilidade dos equipamentos além da dificuldade em se instalar o equipamento de forma segura e deixá-lo durante o período de tempo necessário. Tendo em vista estas condições, a coleta foi feita em 5 pontos, sendo P1, P2, P3 e P4 urbanos e P5 rural em uma área verticalizada do Setor Bueno. Dentre os 5 pontos, por padronização, 3 pontos urbanos foram instalados a uma altura de 1,50m da superfície, amarrados em uma árvore em frente aos edifícios verticais e um ponto em um estacionamento de veículos. Já o ponto rural foi instalado no bosque situado na Universidade Federal de Goiás, em frente ao prédio da FAV – Faculdades de Artes Visuais. Esse procedimento permitiu estabelecer as diferenças de temperaturas horárias entre os pontos de referência em área urbana e área rural. A Tabela apresenta detalhes sobre a implantação dos equipamentos.

Tabela 1 – Locais de implantação dos medidores.

Ponto	Altitude	Coordenadas		Endereço
		Longitude (E)	Latitude (S)	
1	815m	684393.28m	8151540.32m	Av. T15 esq. T66, Setor Bueno
2	820m	684650.67m	8151591.84m	R. T38 esq. R.T61, Setor Bueno
3	824m	684522.90m	8151334.13m	Av.T5, Setor Bueno

4	830m	684785.68m	8151354.15m	Av.T4, Setor Bueno
5	785m	685283.03m	8163233.81m	R.do Bosque, Campus Samambaia

Fonte: Autoras (2023).

A

Figura apresenta-se o detalhamento dos locais de medição



A vegetação predomina no entorno do Ponto 1, localizado próximo a um parque e um lago em uma área predominantemente residencial formada apenas por altas edificações. O ponto 1 está instalado no Trecho A.

O Ponto 2 localiza-se perto de um shopping, em um estacionamento. A área apresenta uma mistura do uso comercial e residencial com altos prédios. O equipamento foi instalado no Trecho C.

O Ponto 3 está localizado em uma área de uso misto: comercial e residencial, totalmente verticalizada com edifícios. O P3 está instalado no Trecho J. A rua é de acesso ao parque e lago do bairro.

O Ponto 4 situa-se em uma área mista predominantemente comercial, próximo a altos edifícios, com vegetação arbórea entre a pista. O P4 está instalado no Trecho L.

O Ponto 5 foi instalado no entorno de uma mata fechada situado no campus samambaia, recoberto em vegetação arbórea e espécies de animais em extinção.

Figura 4 – Detalhamento do entorno dos locais de medição nos 5 pontos.

Fonte: Autoras (2023).

2.4. Períodos de Medição

Para atender ao objetivo da pesquisa as variáveis registradas durante as medições foram a temperatura do ar e a umidade relativa. Basicamente, a análise foi feita apenas no inverno, sobretudo na transição para a primavera, período no qual há elevada amplitude térmica. Realizaram-se três grupos de medições durante o ano de 2021, conforme (Tabela). A duração dos monitoramentos foi de 7 a 8 dias consecutivos, com intervalo de registro de 15 minutos.

Tabela 2 – Períodos de medição das variáveis climáticas.

<i>Estação</i>	<i>Período de medição</i>	<i>Intervalo de medições</i>	<i>Total</i>
Outono / Inverno	De 18.06.2021 a 25.06.2021	De 15 em 15 min	7 dias consecutivos
Inverno	De 20.08.2021 a 27.08.2021	De 15 em 15 min	7 dias consecutivos

Inverno

De 08.09.2021 a 16.09.2021

De 15 em 15 min

8 dias consecutivos

Fonte: Autoras (2023).

Como o monitoramento foi feito em duas estações diferentes, foi feita uma comparação direta entre os valores médios da temperatura e da umidade relativa do ar entre o ponto de rural P5 e todos os pontos restantes.

Foram considerados dias de céu claro e baixa nebulosidade para os dias de medição. Os dados foram inseridos em uma planilha eletrônica e foram determinados os parâmetros estatísticos simples de diferenças médias, máximas e mínimas da temperatura do ar ocorridas entre cada ponto urbano e o rural.

Os dados obtidos in loco foram embasados por uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e analisados por cruzamento de dados da permeabilidade urbana de cada ponto, a fim de oferecer dados propícios para a realidade urbana de Goiânia, permitindo assim uma melhor análise do espaço e contribuindo para uma possível análise da problemática urbana e seu diagnóstico.

2.5. Equipamentos Utilizados

Segundo Oke (2000), recomenda-se para a medição de temperatura do ar que os equipamentos sejam instalados em uma altura entre 1,25 a 2 metros em áreas não urbanas e em áreas urbanas até 5 metros acima do solo.

Foram coletados 5 pontos distintos, para o registro das temperaturas do ar, em cada ponto foram instalados dataloggers do modelo RC-51H, com acurácia de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (para alta resolução) e tempo de reposta para o ar parado programado para 15 minutos simultaneamente para cada ponto. Para que houvesse uma uniformidade todos os pontos foram instalados com 1,5 metros acima do solo, com suas superfícies horizontais voltadas para o sul e protegidos de radiação solar direta por meio de dispositivos de proteção confeccionados especificamente para esse fim, de forma a impedir o confinamento de ar parado e permitir a ventilação natural nos sensores. Procurou-se uniformizar os pontos em locais seguros e evitando a proximidade de certos materiais.

Foi utilizado um equipamento multifuncional, disponíveis no Laboratório de Estudo de Monitoramento Ambiental - LEMA da Escola de Engenharia Civil e Ambiental - EECA da Universidade Federal de Goiás – UFG para capturar velocidade do vento. A Figura mostra os equipamentos utilizados.



Multifuncional



Dataloggers (RC-51H)

Figura 5 – Equipamentos utilizados para medição manual e automática.

Fonte: Autoras (2023).

Foram confeccionados abrigos de PVC rígido no sentido horizontal, o mesmo utilizado por Valin Jr et al. (2016), conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**



Figura 6 – Locais de instalações dos equipamentos.

Fonte: Autoras (2023).

O abrigo foi produzido com tubos de PVC rígidos, na cor branca, sendo necessário 0,6m de comprimento no diâmetro de 100mm e 0,5m de comprimento no diâmetro de 75mm. O tubo menor foi revestido na sua face externa por papel aluminado, para proteger de possíveis efeitos de radiação térmica. Para centralizar o tubo menor no interior do tubo maior, utilizou-se de parafusos, permitindo que o datalogger e sensor ficassem centralizados, com ventilação e protegido de intempéries. (Valin Jr et al., 2016)

Segundo os autores, o modelo alternativo produzido com tubos de PVC rígidos apresentou resultados totalmente favoráveis em todos os cenários e análises realizadas para pontos fixos.

2.6. Levantamento da permeabilidade nos pontos de medição e elaboração dos mapas de permeabilidade urbana

Todos os pontos urbanos estão localizados em regiões de alta verticalização. Para quantificar as respectivas porcentagens de permeabilidade e impermeabilidade do solo foi adotado como área de influência um raio. Segundo Oke (2006), a proporção entre a altura do equipamento e o raio da área de influência para as áreas urbanas é de 1:100. Considerando que a altura dos equipamentos utilizados foi de 1,5m, adotou-se o raio de 150m. A quantificação foi feita a partir de imagens de satélite pela classificação automática e pelo programa AutoCAD, por meio do mapa de uso do solo. A classificação foi conferida com dados em campo a fim de eliminar possíveis erros.

2.7. Cálculo da intensidade de ilha de calor urbana

Uma vez que os dados foram coletados, iniciou-se o tratamento deles. Como os equipamentos registravam medições de temperatura e umidade a cada 15 minutos (4 leituras por hora), obteve-se o valor médio e máximo para cada hora de cada período de medição.

A partir destes valores, ocorreu a subtração horária entre as temperaturas dos pontos urbanos (p1 a p4) com a temperatura rural (p5) obtendo assim, a intensidade da Ilha de Calor Urbana para cada um dos 4 pontos urbanos.

Uma vez que se tem, para cada um dos três períodos, o valor de ilha de calor horária, analisou-se a intensidade do fenômeno ao longo dos períodos.

3. Resultados e discussão

3.1. Intensidade de ilha de calor

Uma vez que o método foi definido, iniciou-se a coleta dos dados. Esta coleta ocorreu em três períodos. 18/06 a 26/06 (período 01); 19/08 a 31/08 (período 02) e 08/09 a 16/09 (período 03).

Em termos de temperatura, a média de temperatura do primeiro período foi de 23,68°C. No segundo período a temperatura média foi de 26,75°C e no terceiro e último período foi de 28,93°C. A

Tabela apresenta o resumo da estatística descritiva de cada um dos pontos para cada período analisado.

Tabela 3 – Estatística descritiva das temperaturas medidas in loco nos pontos de medições.

	média	desvio padrão	MÁXIMA	MÍNIMA	média	desvio padrão	MÁXIMA	MÍNIMA	média	desvio padrão	MÁXIMA	MÍNIMA
	primeiro período				segundo período				terceiro período			
p1	24,2	3,1	33,1	18,9	26,7	3,3	36,3	20,3	28,9	2,5	33,6	23,3
p2	25,2	4,5	34,8	18,2	27,2	4,0	38,3	19,9	30,4	4,1	39,7	22,6
p3	21,3	4,4	29,3	14,5	26,6	3,3	36,3	20,7	-	-	-	-
p4	23,9	3,0	32,5	19,2	26,5	3,7	37,3	20,0	29,7	3,5	38,1	22,8
geral	23,7	3,8	34,8	14,5	26,7	3,6	38,3	19,9	29,7	3,4	39,7	22,6

Fonte: Autoras (2023).

É possível observar que as maiores médias são apresentadas no terceiro período com cerca de 30°C. O valor médio entre o mês mais quente e o mais frio chega a ser de 6°C, corroborando o que já se espera nesses meses em Goiânia.

Uma vez que as temperaturas foram obtidas, calculou-se a intensidade da ilha de calor urbana (ICU). Para tal, subtraiu-se as temperaturas dos pontos no setor em estudo da temperatura do ponto rural situado no Campus Samambaia, conforme detalhado anteriormente. As Figuras, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a Figura apresentam, respectivamente a intensidade de ilhas de calor para os pontos 1, 2, 3 e 4.

De um modo geral, é possível observar que os maiores valores de ICU foram encontrados no período 01, com uma média horária de 3,13 °C. Por sua vez, o período com menor média diária foi o período 02 com uma média de 1,52 °C. Ressalta-se que, devido a problemas com equipamentos, o Ponto 03 não apresentou leituras a partir do dia 27/08 no período 02 e não apresentou nenhuma leitura no período 03.

Observa-se que o fenômeno da ilha de calor ocorre à noite e, principalmente, na madrugada. A única exceção foi no ponto 02 no período 01 de medição. Nesta situação, observou-se que, mesmo que se note um aquecimento no período noturno, os maiores valores observados de ICU ocorreram entre 09:00-12:00. Como isto só ocorreu nesta estação (inverno) e no ponto P2, que se trata de um estacionamento, acredita-se que seja devido ao aumento da temperatura causada pelo material construtivo do mesmo.

O Ponto P1 apresentou menor intensidade de ICU durante os três períodos (ICU= 1,8 °C) Assim como os demais pontos, os valores máximos de ICU aconteceram no (período P1), tendo entre os valores de agosto e setembro médias bem próximas (por volta de 1,3 °C).

Já o ponto P2 apresentou a maior ICU entre todos os pontos (2,7°C) e a maior ICU máxima entre os 4 pontos (10,4 °C). Este comportamento se justifica pelo material construtivo do local de instalação do termômetro. Mesmo próximo ao parque, o tipo de material construtivo causou maiores temperaturas no local.

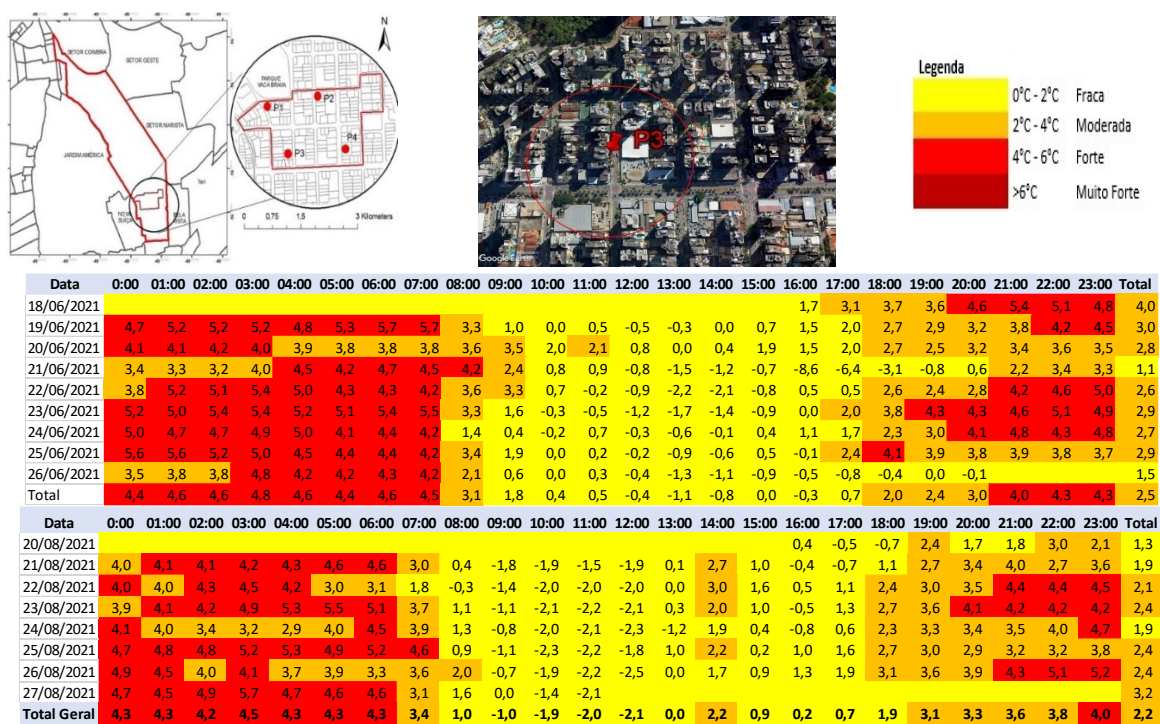


Figura 9 – Intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica no P3 – Setor Bueno.

Fonte: Autoras (2023).

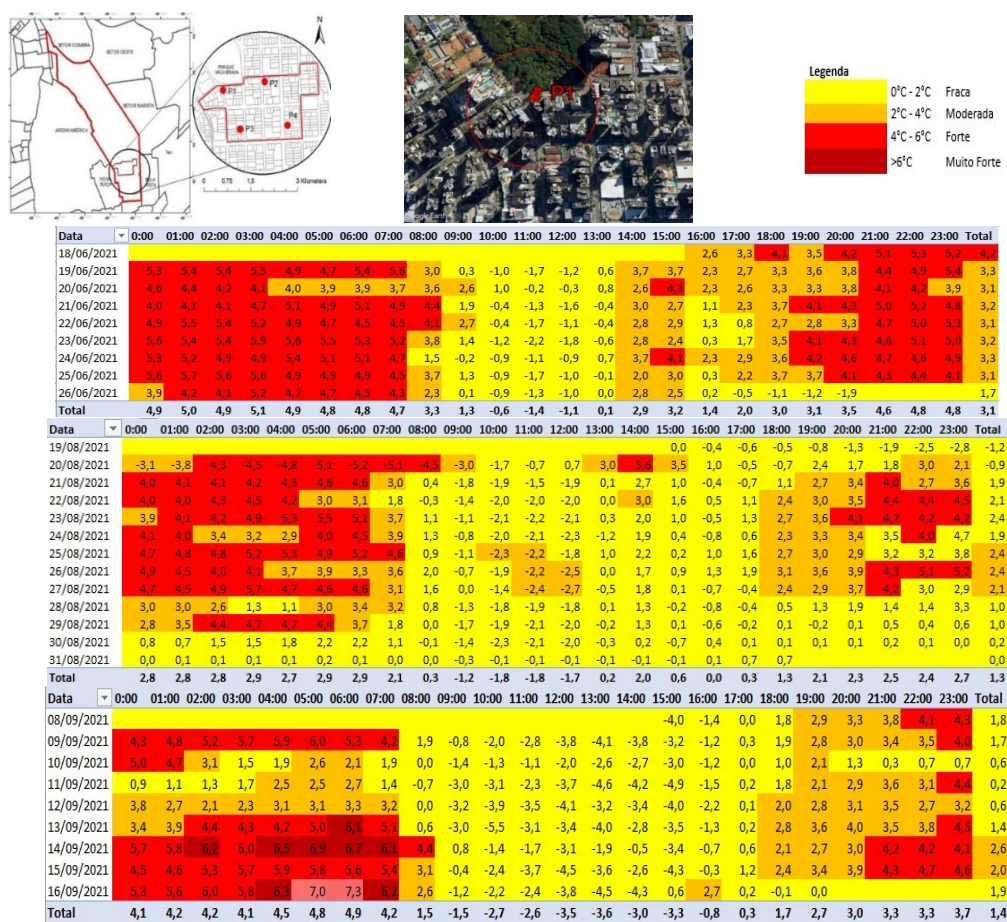


Figura 7 – Intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica no P1 – Setor Bueno.

Fonte: Autoras (2023).

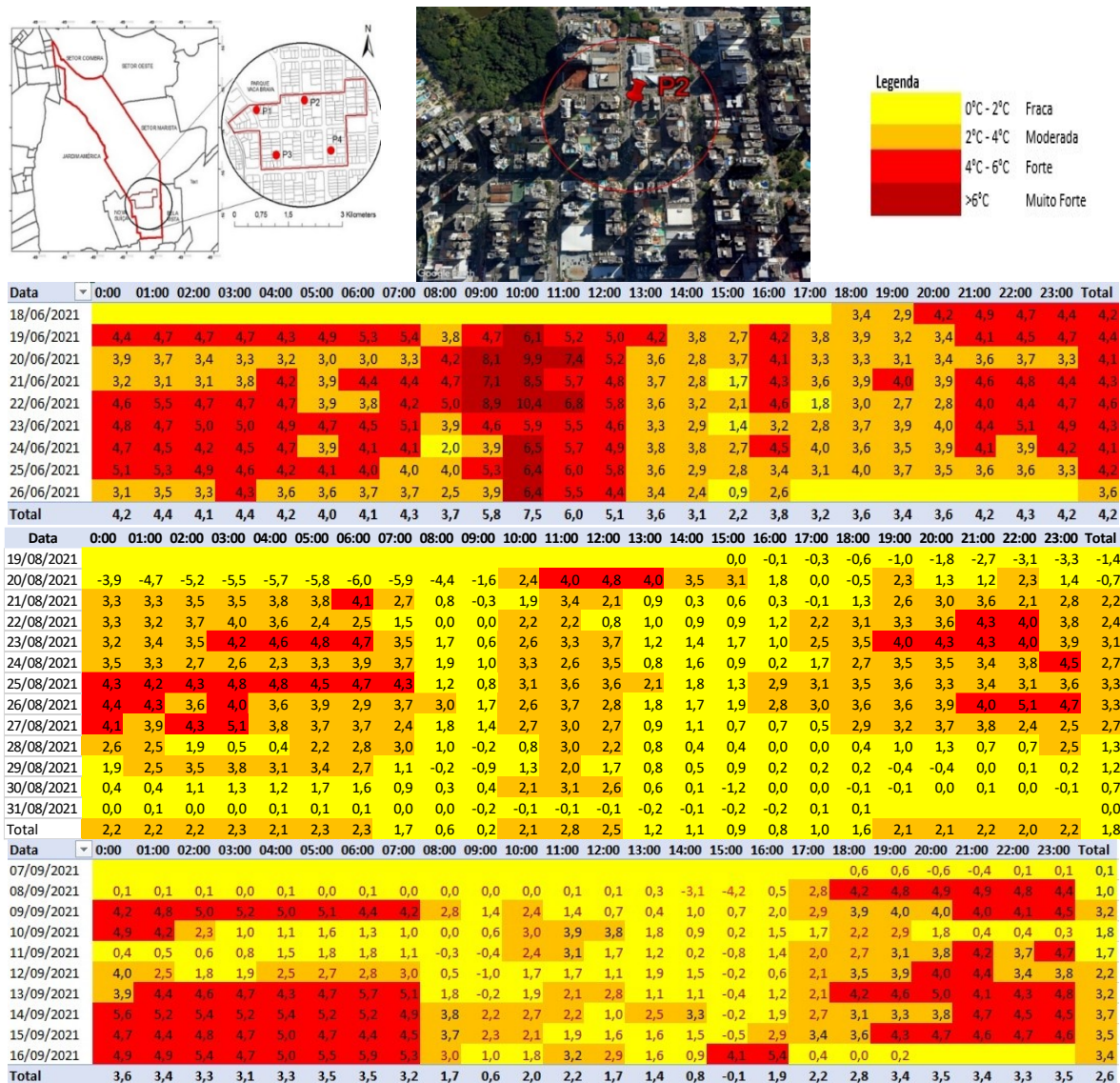


Figura 8 – Intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica no P2 – Setor Bueno.

Fonte: Autoras (2023).

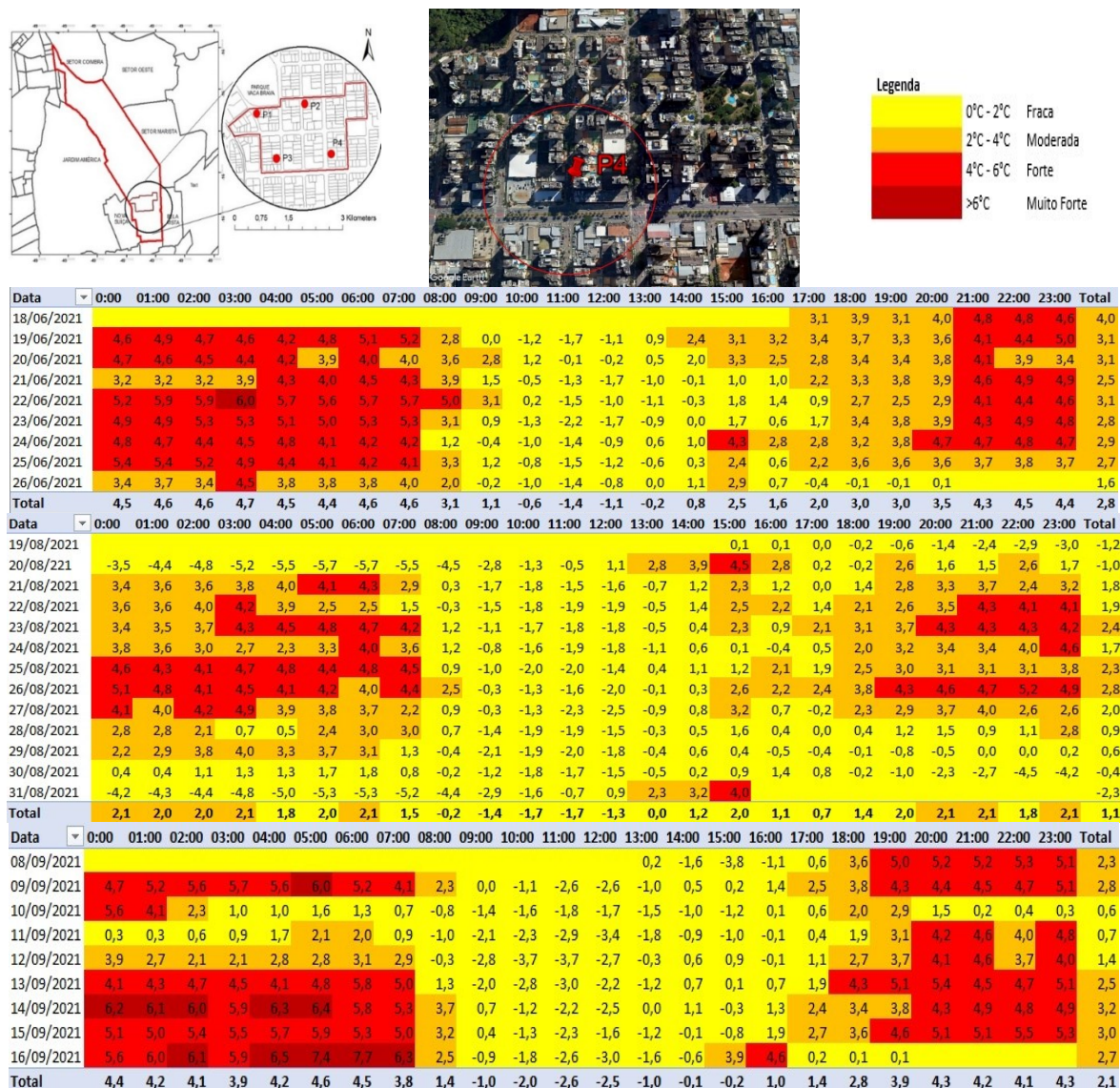


Figura 10 – Intensidade e evolução da ilha de calor atmosférica no P4 – Setor Bueno.

Fonte: Autoras (2023).

O ponto P3 apresentou a segunda maior intensidade de ICU entre todos os períodos. Ressalta-se que, conforme mencionado anteriormente, os dados incompletos causados por problemas no equipamento, impedem uma leitura mais precisa deste ponto.

Por fim, o ponto P4 teve a segunda menor ICU média (1,9 °C). Embora o termômetro estivesse situado em uma avenida de grande fluxo de veículos, a grande arborização do trecho fez com que o fenômeno de ilha de calor fosse um pouco mitigado. De qualquer forma, mesmo com a arborização mais intensa, por ser o ponto mais distante do parque, foi o local que apresentou a segunda ICU máxima, ficando apenas atrás do ponto localizado no estacionamento (P2).

Entretanto, quando se analisam o conjunto de dados, observa-se que os pontos P1 e P4 registraram maior intensidade de ilhas de calor urbanas, registrando 41% dos eventos entre 4 e 5°C, entretanto estes pontos foram significativos visto que são pontos próximo ao parque com altas edificações e ruas arborizadas.

O ponto P4 e P2 registraram um maior aquecimento diurno. O ponto P1 e P3 o menor aquecimento diurno. A explicação para as maiores intensidades de ilhas de calor nos pontos P4 e P2 pode ser encontrada em Garland (2009) ao dizer que as

diferenças no comportamento térmico são distinguidas pela forma urbana, onde o vento exerce um papel fundamental, além do que são pontos com maior fluxo de veículos e pedestres localizados em um estacionamento em frente a um shopping center – P2 e uma avenida de pista dupla de principal acesso do bairro – P4.

Em média a intensidade da ilha de calor noturna ficou entre 5 a 6°C em comparação com o ponto rural P5. O ponto P1 registrou um maior aquecimento noturno. A explicação para as maiores intensidades de ilhas de calor no ponto 1, pode ser justificada pela ausência de ventilação já que o ponto confronta-se com um parque, mas localiza-se entre os edifícios mais altos da área de estudo, entre 60 a 90m. Segundo Akbari (2001), a edificação influencia na direção dos ventos, por meio do sombreamento. O ponto P3, o menor aquecimento noturno, por ser um ponto localizado em um corredor de ventilação que dá acesso ao parque, onde há ausências de barreiras de circulação dos ventos, o que favorecem maiores perdas de calor por convecção.

Em relação ao número de ocorrências de ilhas de calor urbanas, foi demonstrado por Garcia e Alvares (2008) a classificação da intensidade das ilhas de calor conforme é apresentado na Tabela , onde verificou-se um maior número de ocorrências com 28% dos casos para ilhas de calor de fraca magnitude e 21% dos casos para ilhas de calor com magnitude muito forte.

Os dados obtidos no estudo, corroboram com os dados do Relatório do IPCC (2019), onde modelos climáticos projetam diferenças nas características climáticas regionais entre os dias atuais e o aquecimento global de variando entre 1,5°C e 2°C. Que por sua vez, de acordo com a pesquisa seria ilhas de calor de fraca magnitude, correspondendo a 28% dos episódios registrados na área de estudo.

Os pontos diurnos apresentaram a magnitude muito forte, onde P1 (6 a 7°C), P2 (7 a 9°C), P3 (7 a 8°C) e P4 (9 a 10°C). Já os pontos noturnos apresentaram magnitude forte, P1 (5 a 6°C), P2, P3 e P4 (4 a 5°C). Desse modo, ilhas de calor classificadas como forte e muito forte ocorreram em 100% dos dias observados.

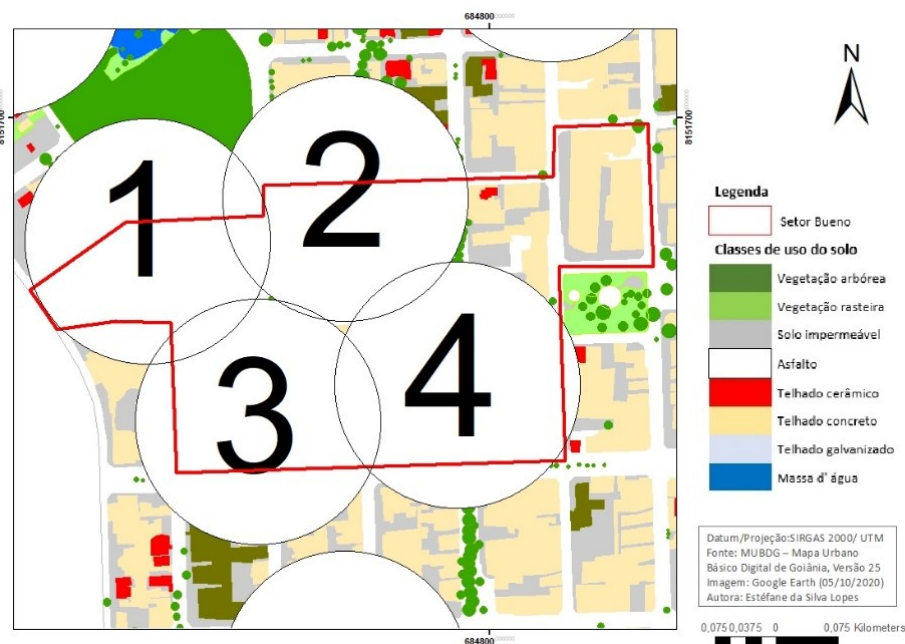
Tabela 4 – Episódios de Ilhas de calor urbanas.

Variação (°C)	Magnitude	Nº de ocorrências	%
0°C - 2°C	Fraca	22	28%
2°C - 4°C	Moderada	21	26%
4°C - 6°C	Forte	20	25%
>6°C	Muito Forte	17	21%
Total		80	100%

Fonte: Autoras (2023).

3.2. Permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais

Pouco se sabe sobre como as cidades impactam a evolução diária das ilhas de calor urbanas e como estas estão distribuídas ao longo do dia (Moreira et al., 2019).



Fonte: Autoras (2023).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi apresentado os entornos dos Pontos 1, 2, 3 e 4. As Figuras 11 a Figura 4 mostram o entorno de cada ponto da coleta, por meio de imagens de satélite Landsat 8 com a temperatura superficial do ponto, assim como suas respectivas permeabilidades de acordo com o uso do solo.

Figura 11 – Classificação de localização dos pontos urbanos.

Fonte: Autoras (2023).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** foi apresentado os entornos dos Pontos 1, 2, 3 e 4. As Figuras 11 a Figura 4 mostram o entorno de cada ponto da coleta, por meio de imagens de satélite Landsat 8 com a temperatura superficial do ponto, assim como suas respectivas permeabilidades de acordo com o uso do solo.

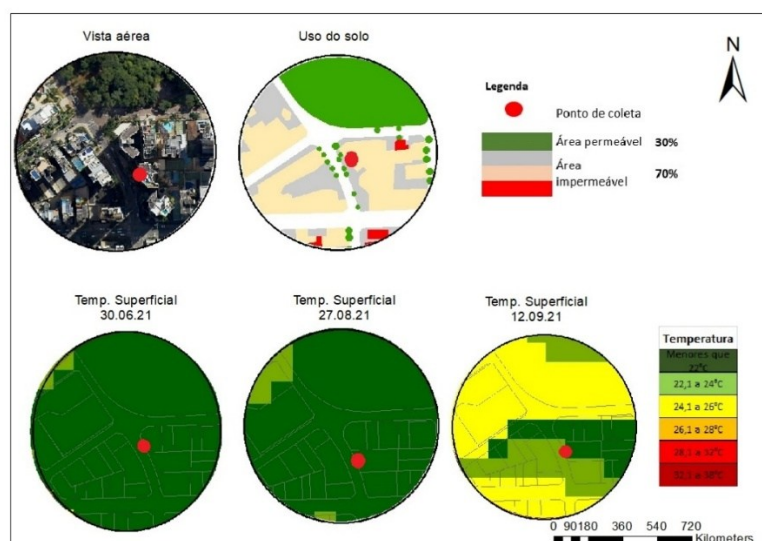


Figura 1 – Classificação de permeabilidade e temperatura superficial no entorno do Ponto 1.
Fonte: Autoras (2023).

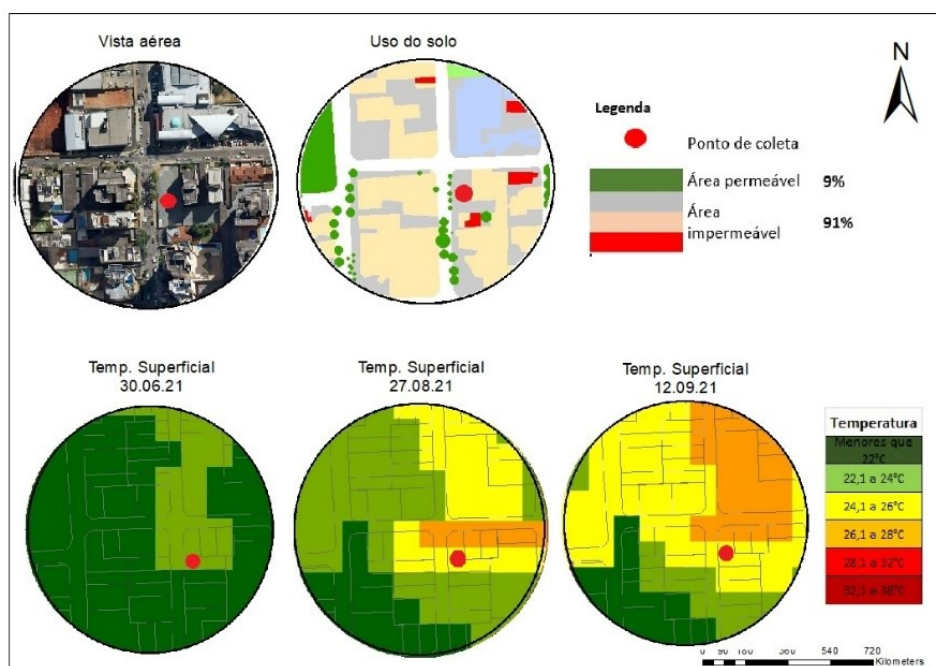


Figura 2 – Classificação de permeabilidade e temperatura superficial no entorno do Ponto 2.
Fonte: Autoras (2023).

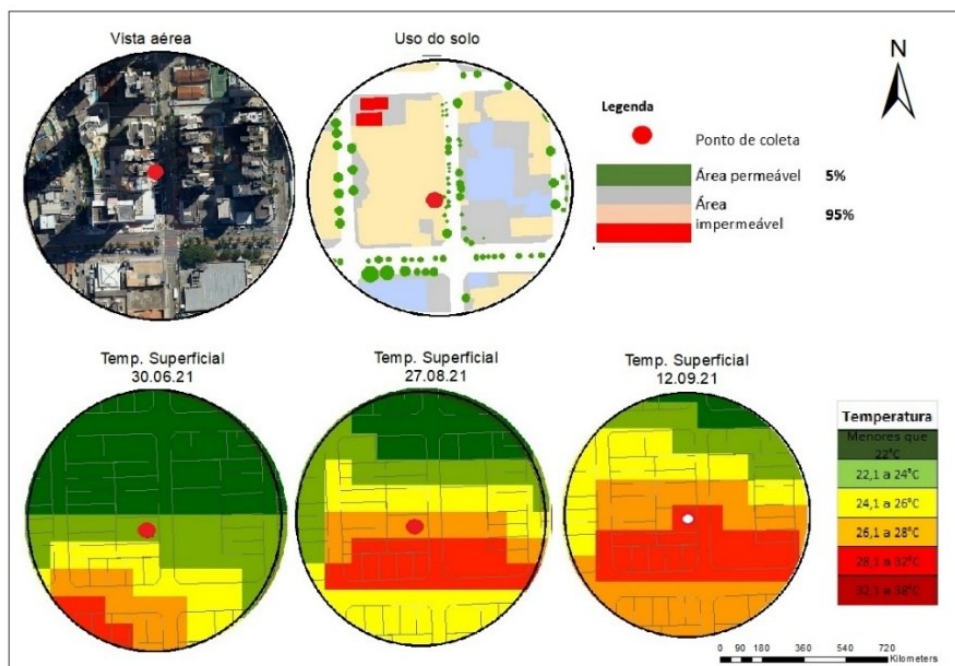


Figura 3 – Classificação de permeabilidade e temperatura superficial no entorno do Ponto 3.
Fonte: Autoras (2023).

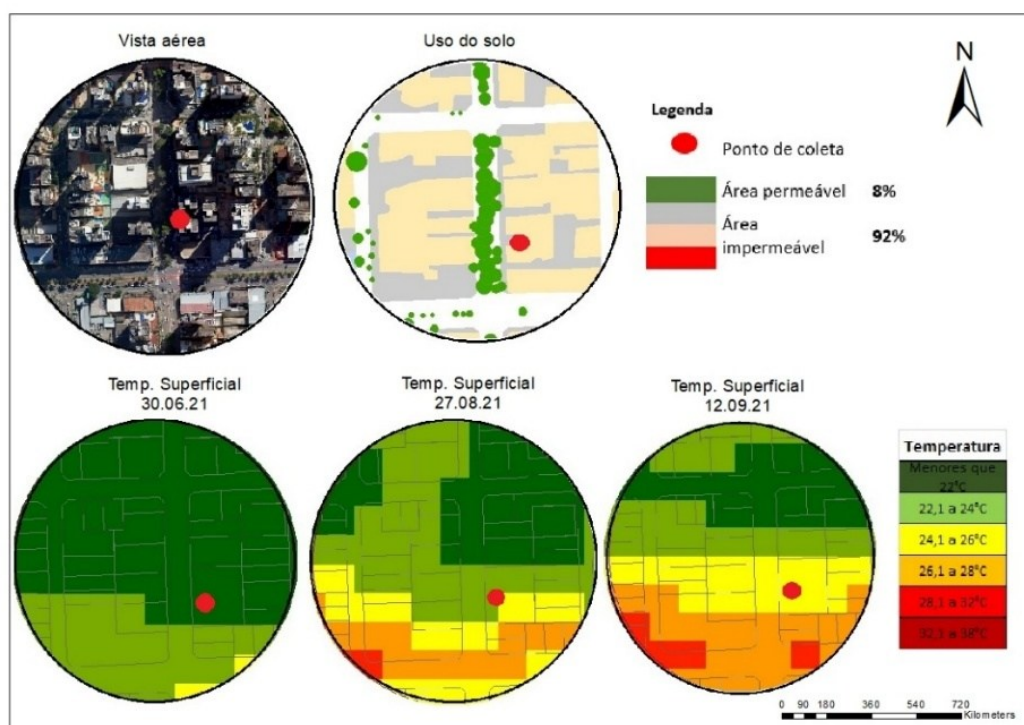


Figura 4 – Classificação de permeabilidade e temperatura superficial no entorno do Ponto 4.

Fonte: Autoras (2023).

Considerando a permeabilidade dos revestimentos urbanos no entorno de cada ponto, é possível os Pontos 3 e 4 apresentam apenas 5% e 8% da superfície permeável respectivamente, sendo os menores valores de permeabilidade de todos os pontos coletados, registrando os maiores valores de temperatura superficial em relação aos meses de junho, agosto e setembro de 2021.

Já o ponto 1 apresenta 30% da área permeável, sendo o local com a porcentagem mais alta da superfície permeável e a menor temperatura superficial em relação aos meses de junho, agosto e setembro de 2021.

4. Considerações finais

Entre os três períodos do clima urbano: uso e ocupação do solo, propriedades termo físicas do solo, vegetação, presença de corpos d'água, geometria urbana, ventilação e permeabilidade, esta última destaca-se por permitirem a infiltração da água, que evapora e resfria o ambiente, enquanto a vegetação proporciona sombreamento e reduz a reflexão de radiação solar. Além disso, a disposição adequada de parques, praças e corredores verdes facilita a circulação de ventos, dissipando poluentes e melhorando a qualidade do ar, por outro lado, superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, absorvem e retêm calor, elevando as temperaturas locais e criando microclimas hostis.

A falta de áreas verdes e a predominância de superfícies impermeáveis exacerbam desigualdades socioambientais, afetando principalmente populações vulneráveis em bairros adensados. Estratégias como a criação de zonas de infiltração, a ampliação de coberturas vegetadas e o planejamento de corredores de ventilação devem ser incorporadas às políticas públicas e aos projetos arquitetônicos, assegurando que o crescimento vertical não comprometa o conforto térmico e o bem-estar coletivo. Exemplos como o High Line em Nova York e os parques elevados de Seul ilustram como a requalificação de espaços urbanos pode transformar áreas cinzas em refúgios verdes, reduzindo ilhas de calor e promovendo a resiliência climática. Assim, a permeabilidade deve ser entendida como um pilar indispensável para cidades que almejam equilibrar desenvolvimento urbano e sustentabilidade ambiental.

A integração de pavimentos permeáveis, jardins de chuva, telhados verdes e parques urbanos em bairros verticalizados não só mitiga os impactos das enchurradas, mas também melhora o microclima, reduzindo ilhas de calor e aumentando a biodiversidade. Além disso, espaços permeáveis promovem a valorização imobiliária e o bem-estar social, criando áreas de convívio e lazer que humanizam o ambiente construído.

Políticas públicas que incentivem a retenção e infiltração de águas pluviais - como a revisão de coeficientes de aproveitamento e a exigência de áreas verdes em novos empreendimentos - são cruciais para um desenvolvimento urbano equilibrado. A falta de permeabilidade agrava não apenas problemas ambientais, mas também sociais, afetando principalmente comunidades periféricas, mais suscetíveis a inundações. Portanto, repensar a ocupação do solo em bairros adensados, priorizando a infraestrutura verde, é um passo indispensável para cidades mais saudáveis, resilientes e preparadas para os desafios do século XXI.

Referências

- CHEN, Liang; YU, Bailang; YANG, Feng; et al. Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heat waves: A GIS-based approach. *Energy and Buildings*, v. 130, p. 829–842, 2016.
- DENG, J. S. et al. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, v. 92, n. 3–4, p. 187–198, set. 2009.
- DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical continental climate. *Urban Climate*, v. 28, p. 100461, jun. 2019.
- DUARTE, D.; SERRA, G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos. *Techne*, São Paulo, n° 64, p.46-49, 2002.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Heat Islands and Equity. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-islands-and-equity>. Acesso em junho de 2020.

-
- HU, L.; BRUNSELL, N. A. The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring. *Remote Sensing of Environment*, v. 134, p. 162–174, jul. 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - cidades. Disponível em: www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=520870. Acesso em: 30jul. 2020.
- IPING et al. (2019), Contribution of soil erosion to PAHs in surface water in China, v. 686, P.497-504, 10 October 2019.
- LUAN, X.; Yu, Z.; ZHANG, Y.; WEI, S.; MIAO, X.; HUANG, Z.Y.X; TENG, S. N.; XU, C. Remote Sensing and Social Sensing Data Reveal Scale-Dependent and System-Specific Strengths of Urban Heat Island Determinants, *Remote Sensing*, v. 12, n. 3, p. 391, 2020.
- NASCIMENTO, D. T. F. Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2011
- NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. THIS – Tool for Heat Island Simulation: A GIS Extension Model to Calculate Urban Heat Island Intensity Based on Urban Geometry. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 67, p. 157–168, jan. 2018.
- ONU. Divisão de População do Departamento de Assuntos Sociais Econômicos das Nações Unidas. Perspectivas mundiais de urbanização: A revisão de 2018; Edição Online; Nações Unidas: Nova York, NY, EUA, 2018.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, London, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>>. Acesso em: 20 agosto. 2020.
- OKE, T. R. *Boundary layer climates*. 2 nd ed. London and New York: Routledge. 1987.
- PESAVENTO, Sandra Jatahy. Muito além do espaço: por uma história cultural dourbano. *Revista Estudos Históricos*, Rio de Janeiro, vol.8, n.16, 1995 (p.279-290)
- RAJAGOPALAN, Priyadarsini; LIM, Kee Chuan; JAMEI, Elmira. Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. *Solar Energy*, v. 107, p. 159–170, 2014.
- SOUSA, S. B. DE; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 – 2011). *Confins*, n. 15, 23 jun. 2012. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/7631>>. Acesso em: 13 maio 2019.
- VALIN JR, M. O.; SANTOS, F. M. M. ; NOGUEIRA, M. C. J. A. ; DE MUSIS, C. R. ; NOGUEIRA, J. S. Utilização de Abrigos Termo-Higrométricos Alternativos. *Revista Caminhos de Geografia* (UFU), v. 17, p. 74-91, 2016.
- WANG, Z F, The Relationship Between Land Use, Land Cover Change, And The Heat Island Effect In Xi'an City, China, *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 17,