

Impactos da urbanização e da legislação na mitigação de ilhas de calor urbano em São Paulo (Brasil): um estudo sobre temperaturas de superfície e políticas climáticas

Milena Pires de Sousa 

Universidade de São Paulo – USP / São Paulo (Brasil)

milenasousa@usp.br

Impactos da urbanização e da legislação na mitigação de ilhas de calor urbano em São Paulo (Brasil): um estudo sobre temperaturas de superfície e políticas climáticas (Resumo)

A urbanização impactou significativamente as condições ambientais de São Paulo, particularmente no contexto das mudanças de temperatura da superfície. Este estudo investiga a relação entre as variações de temperatura superficial na cidade e a legislação municipal com foco no mapeamento das diferenças de temperatura e na revisão de políticas públicas relevantes para reduzir as consequências das mudanças climáticas. Utilizando imagens do satélite Landsat 8, dados do Dynamic World, Zonas Locais Climáticas e YCEO, o estudo identificou ilhas de calor urbano (ICU) e áreas com temperaturas mais baixas nesta cidade, revelando um diferencial de até 7°C entre regiões altamente urbanizadas e outras com predominância de vegetação natural. Uma revisão sobre a legislação municipal, incluindo a Lei nº 14.933/2009 e a Lei nº 17.975/2023, analisa a abordagem com relação à política climática, e revela uma desconexão entre as leis relacionadas com a mudança climática e a sua aplicação prática. As conclusões confirmam que, embora a legislação de São Paulo reconheça a importância da mitigação das alterações climáticas, falta, no seu planejamento urbano, a implementação eficaz de medidas consistentes que abordem o incremento de temperatura da superfície e suas consequências. Assim, o estudo destaca a necessidade de políticas mais robustas e aplicáveis para mitigar os efeitos das ilhas de calor urbano e melhorar a resiliência da cidade às alterações climáticas.

Palavras-chave: Ilhas de calor urbano; temperatura da superfície; política climática; políticas públicas.

Impactes de la urbanització i la legislació sobre la mitigació de les illes de calor urbà a São Paulo (Brasil): un estudi sobre les temperatures superficials i les polítiques climàtiques (Resum)

La urbanització ha afectat significativament les condicions ambientals de São Paulo, especialment en el context dels canvis de temperatura superficials. Aquest estudi investiga la relació entre les variacions de la temperatura de la superfície a la ciutat i la legislació municipal, centrant-se en el cartografia de les diferències de temperatura i la revisió de les polítiques públiques rellevants per reduir les conseqüències

Recepción: 27 de agosto de 2024

Aceptación: 25 de noviembre de 2024



Este trabajo se publica bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Copyright: Milena Pires de Sousa, 2025.

del canvi climàtic. Utilitzant imatges del satèl·lit Landsat 8, dades de Dynamic World, Local Climatic Zones i YCEO, l'estudi va identificar illes de calor urbana (UCI) i zones amb temperatures més baixes en aquesta ciutat, revelant una diferència de fins a 7°C entre regions altament urbanitzades i altres, amb predomini de la vegetació natural. Una revisió de la legislació municipal, incloent la Llei núm. 14.933/2009 i la Llei núm. 17.975/2023, analitza l'enfocament de la política climàtica i posa de manifest una desconexió entre les lleis relacionades amb el canvi climàtic i la seva aplicació pràctica. Les conclusions confirmen que, tot i que la legislació de São Paulo reconeix la importància de mitigar el canvi climàtic, el seu planejament urbanístic manca de l'aplicació efectiva de mesures coherents que abordin l'augment de la temperatura superficial i les seves conseqüències. Així, l'estudi destaca la necessitat de polítiques més sòlides i aplicables per mitigar els efectes de les illes de calor urbana i millorar la resiliència de la ciutat al canvi climàtic.

Paraules clau: Illes de calor urbana; temperatura superficial; política climàtica; polítiques públiques.

Impactos de la urbanización y la legislación en la mitigación de islas de calor urbano en São Paulo (Brasil): un estudio sobre temperaturas de superficie y políticas climáticas (Resumen)

La urbanización ha impactado significativamente en las condiciones ambientales de São Paulo, particularmente en el contexto de los cambios de temperatura de la superficie. Este estudio investiga la relación entre las variaciones de temperatura superficial en la ciudad y la legislación municipal, con un enfoque en mapear las diferencias de temperatura y revisar políticas públicas relevantes para reducir las consecuencias del cambio climático. Utilizando imágenes del satélite Landsat 8, datos de Dynamic World, Local Climatic Zones y YCEO, el estudio identificó islas de calor urbano (ICU) y áreas con temperaturas más bajas en esta ciudad, revelando una diferencia de hasta 7°C entre regiones altamente urbanizadas y otras con predominio de vegetación natural. Una revisión de la legislación municipal, incluidas la Ley nº14.933/2009 y la Ley nº 17.975/2023, analiza el enfoque de la política climática y revela una desconexión entre las leyes relacionadas con el cambio climático y su aplicación práctica. Las conclusiones confirman que, aunque la legislación de São Paulo reconoce la importancia de mitigar el cambio climático, su planificación urbana carece de la implementación efectiva de medidas consistentes, que aborden el aumento de la temperatura superficial y sus consecuencias. Así, el estudio destaca la necesidad de políticas más sólidas y aplicables para mitigar los efectos de las islas de calor urbano y mejorar la resiliencia de la ciudad al cambio climático.

Palabras clave: Islas de calor urbano; temperatura de la superficie; política climática; políticas públicas.

Impacts of urbanization and legislation on mitigating urban heat islands in São Paulo (Brazil): a study on surface temperatures and climate policies (Abstract)

Urbanization has significantly impacted the environmental conditions of São Paulo, particularly in the context of surface temperature changes. This study investigates the relationship between surface temperature variations in the city and municipal legislation, focusing on mapping temperature differences and reviewing relevant public policies to reduce the consequences of climate change. Using Landsat 8 satellite imagery, Dynamic World data, Local Climate Zones, and YCEO, the study identifies urban heat islands (UHIs) and areas with lower temperatures in this city, revealing a differential of up to 7°C between highly urbanized regions and others with predominance of natural vegetation. A review of municipal legislation, including Law No. 14.933/2009 and Law No. 17.975/2023, analyzes the approach to climate policy, and reveals a disconnect between laws related to climate change and their practical application. The findings confirm that, although São Paulo's legislation recognizes the importance of climate change mitigation, its urban planning lacks effective implementation of consistent measures to address the increase in surface temperature and its consequences. Thus, the study highlights the need for more robust and applicable policies to mitigate the effects of urban heat islands and improve the city's resilience to climate change.

Keywords: Urban heat island; surface temperature; climate policy; public policies.

Introdução

As mudanças climáticas têm se apresentado como o maior desafio da atualidade em nível global, diversos desequilíbrios presentes têm gerado uma porção muito grande e devastadora de impactos. Tal assunto tem chamando a atenção de grandes órgãos governamentais, com o objetivo de mitigar os efeitos causados por diversas fontes de poluição. Com este objetivo, foram firmados acordos globais mediados pela Organização das Nações Unidas (ONU), como o Protocolo de Kyoto (1997), Acordo de Paris e Objetivos do Desenvolvimento no Milênio (2015) e também algumas políticas à nível nacional, como a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (2009) e o Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima (2023).

Assim, apesar dos estudos realizados desde a década de 1950, que mostram que caminhamos para uma crise ambiental, propondo um conjunto de recomendações para uma sociedade sustentável, muito pouco se avançou em relação às nossas ações contra a deterioração ambiental. Na situação atual, cujo modelo econômico se baseia na exploração ilimitada dos recursos naturais, realizar medidas para controlar a poluição, e evitar a destruição da natureza pode ser uma tarefa difícil para muitos governantes devido à grande fluidez e mobilidade que o capital alcançou nas últimas duas décadas, orientado pela financeirização da economia (Zaar, 2020).

Neste cenário, é nas cidades -principais assentamentos humanos do mundo e centros econômicos e financeiros-, que se observa com maior magnitude este fenômeno. O aumento da urbanização -cerca de 55% da população mundial vive em áreas urbanas, e espera-se que atinja 68% em 2050 (ONU, 2022)-, está causando inúmeros problemas ambientais, entre os quais destacam os climáticos.

Assim, as atividades desenvolvidas nos espaços urbanos foram as principais responsáveis pelo impacto antrópico na organização da superfície terrestre e na deterioração do meio ambiente (Monteiro, 1976).

No Brasil, este processo ocorreu a partir de meados do século XX, quando a população urbana cresceu de 31,30% (1940) para 81,20% em 2000 (IBGE, 2007), o que provocou o aumento da complexidade da sua malha urbana, e intensificou a degradação ambiental (Souza, 2000). No Censo de 2010, enquanto o índice de urbanização do país era de 84,4%, São Paulo, a maior metrópole brasileira, apresenta uma taxa de urbanização de 99,10% (IBGE, 2010).

No contexto atual, ainda que os dados de população urbana e rural coletados pelo Censo de 2022 não foram divulgados na sua totalidade, os dados revelam que as concentrações urbanas brasileiras abrigam 124,1 milhões de pessoas, o que equivale a 61% da população brasileira.

Com este incremento populacional, os níveis de degradação ambiental das cidades se intensificaram provocando um desequilíbrio entre os seres humanos e o meio natural. Essa desarmonia é produto da urbanização desordenada, que altera as condições ambientais e conseqüentemente o microclima local (Lombardo, 1985), cujas mudanças resultam, entre outros, em significativas variações na temperatura da superfície.

Deste modo, as variações de temperatura do ar nas camadas intraurbanas de regiões de uma mesma cidade se tornam bem maiores, principalmente devido à supressão da vegetação, à canalização dos corpos d'água e ao aumento das áreas impermeabilizadas pela pavimentação (Masiero; Souza, 2018).

Deste processo, aparecem as Ilhas de calor urbano (ICU) como áreas dentro de centros urbanos que apresentam temperaturas significativamente mais elevadas em comparação com áreas menos urbanizadas ao seu redor e áreas rurais. Esse fenômeno ocorre devido à predominância de superfícies artificiais, como concreto, asfalto e telhados, que absorvem e retêm calor, à redução de áreas verdes, e à liberação de calor por atividades humanas, como transporte e uso de energia. Além disso, a baixa circulação de ar em ambientes urbanos densamente edificadas contribui para o acúmulo de calor. As ilhas de calor urbano têm implicações importantes, como o aumento do consumo de energia para resfriamento, riscos à saúde pública, especialmente durante ondas de calor, e a intensificação dos impactos das mudanças climáticas em áreas urbanizadas, o que exige, do planejamento urbano, políticas que ajudem a mitigar seus impactos.

A cidade de São Paulo, situada no centro da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), é uma área de interesse para estudos ambientais por diversos motivos, entre eles, estão a grande diferença de infraestruturas e serviço em seu território, a concentração de população residente, a presença de áreas verdes em diferentes escalas, níveis de administração, etc.

Área de Estudo

A cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo (figura 1), é atualmente um dos principais centros econômicos e financeiros da América Latina. Antes da chegada dos colonizadores, a região era ocupada por povos indígenas que mantinham uma relação equilibrada com o meio ambiente. Com a invasão europeia, ocorreram mudanças profundas e forçadas, impulsionadas pela exploração agrícola e o comércio voltados aos interesses coloniais.

Nos séculos XVII e XVIII, a produção de açúcar e, posteriormente de café, ganharam destaque, não sem gerar consequências como a exploração de mão de obra escravizada e a apropriação de terras. Embora essas atividades tenham gerado acúmulo de riqueza para as elites locais, agravaram as desigualdades e os impactos ambientais. Esse crescimento econômico, centrado no lucro de poucos, resultou na expansão urbana de São Paulo, que, hoje, abriga grandes corporações, instituições financeiras e empresas multinacionais, sendo parte integrante de uma economia globalizada, embora marcada por desigualdades históricas.

O município de São Paulo - com uma extensão territorial de 1.521,202 km²- possui uma divisão administrativa que abrange 96 distritos. Sua área urbana equivale a $\frac{2}{3}$ do seu território e está situada no centro, enquanto as áreas rurais, ocupam seus extremos: na zona sul e na zona norte.

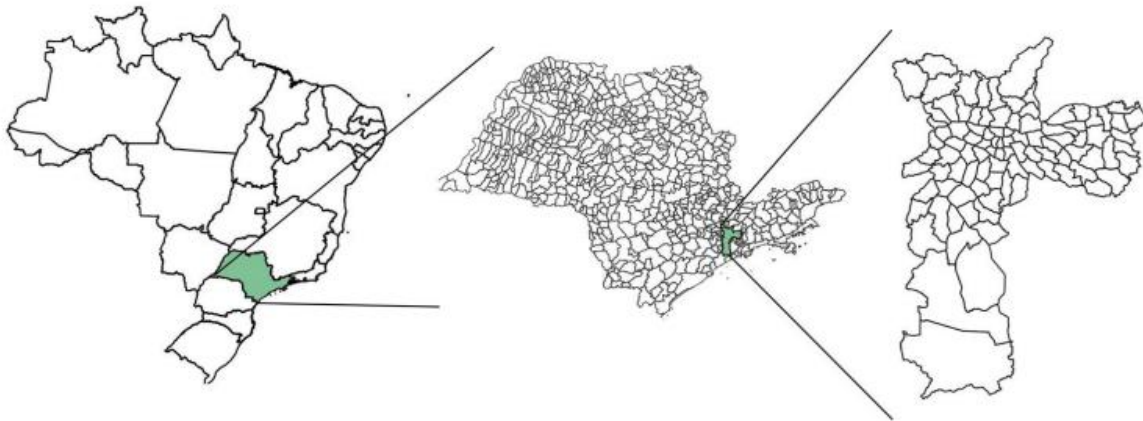
A expansão da mancha urbana em São Paulo ocorreu de forma acelerada entre 1940 e 1980, como reflexo de seu crescimento populacional, que não foi acompanhado de um planejamento urbano adequado. Muitas áreas foram ocupadas de forma irregular, levando à formação de loteamentos não regulamentados y de favelas. A falta de infraestrutura básica, como saneamento, transporte público eficiente e serviços de saúde, é uma característica marcante dessa urbanização descontrolada. Enquanto alguns bairros, especialmente os mais centrais, contam com uma infraestrutura robusta e acesso a serviços de qualidade, outros bairros enfrentam sérias carências.

As disparidades entre os distritos se tornaram evidentes, criando um contraste social significativo. Regiões ricas e bem planejadas coexistem com áreas que sofrem com a falta de recursos e oportunidades. Essa desigualdade revela não apenas os desafios enfrentados pela

administração municipal, mas também às complexidades de uma metrópole que se desenvolveu rapidamente, sem as bases necessárias para garantir um crescimento sustentável e equitativo.

Assim, o processo de urbanização de São Paulo é um reflexo de sua história dinâmica e multifacetada, marcada por tensões entre crescimento econômico e a necessidade de uma infraestrutura que atenda a todos os seus habitantes e que deveria ser um tema central nas discussões sobre o futuro da cidade e suas políticas de desenvolvimento urbano.

Figura 1. Mapa de localização do município de São Paulo, SP



Fonte: Autora (2023)

Metodologia

Este artigo apresenta duas etapas de coleta de dados para análise: 1ª) Produção de uma coleção de mapas para caracterização das diferenças de temperatura da superfície e 2ª) Revisão de literatura sobre ilhas de calor, legislação municipal e mudanças de temperatura.

A produção da coleção de mapas teve com objetivo caracterizar a cidade de São Paulo, através de dados abertos disponíveis sobre o tema. Para tanto, produziu-se 5 mapas: Mapa de uso e cobertura, Mapa de delimitação de áreas urbanas e rurais, Mapa de Zonas Climáticas Locais, Mapa de Ilhas de Calor Urbano (ICU) e Mapa de Temperatura da Superfície.

Para o mapa de Uso e Cobertura da terra, foram adquiridas imagens processadas pelo Dynamic World através da plataforma Google Earth Engine (GEE) em ambiente Jupyter Notebook na linguagem Python. O Dynamic World é um catálogo de imagem que disponibiliza, dados sobre uso e cobertura à nível global, processados por Deep Learning para imagens do Landsat, com resolução de 30m, para o ano de 2023.

Para o mapa de Delimitação de áreas urbanas e rurais, foi aplicado o shapefile do portal de dados geográficos abertos da prefeitura de São Paulo – GEOSAMPA, com a informação de delimitação das áreas de acordo com o Plano Diretor Estratégico (PDE), Lei 16.050/2014.

Para o mapa de Zonas Climáticas Locais, foram adquiridas imagens processadas das Zonas Climáticas Locais através da plataforma Google Earth Engine (GEE) em ambiente Jupyter

Notebook na linguagem Python. Zonas Climáticas Locais é um catálogo de imagem que fornece dados à nível global, com resolução de 100m, para o ano de 2018.

Para o mapa de Ilhas de Calor Urbano, foram adquiridas imagens processadas pelas YCEO Surface Urban Heat Islands: Composições em nível de pixel de intensidade diurna e noturna anual de verão através da plataforma Google Earth Engine (GEE) em ambiente Jupyter Notebook na linguagem Python. O YCEO Surface Urban Heat Islands é um catálogo de imagem que fornece, dados sobre Ilhas de Calor Urbano, a partir de dados processados e formados por clusters sobre a temperatura da superfície para o verão, com as variações diurna e noturna durante um ano, com resolução de 300m para o ano de 2018.

Para o mapa de Temperatura da Superfície a imagem selecionada para a análise foi adquirida do satélite Landsat 8, órbita 219/076, de 11 de março de 2023, horário central 10h00 (UTC), sem presença de nuvens. As imagens visível e infravermelho próximo/médio do sensor OLI foram utilizadas para gerar as composições de cores, com resolução espacial de 30 m. Para estimar a temperatura da superfície terrestre (TST), foi utilizada a imagem infravermelha térmica do sensor TIRS (banda 10) com faixa espectral de 10,6 a 11,19 9 μm e resolução espacial de 100 m. A imagem foi escolhida com a referida data para se obter um dado mais recente historicamente (2023), diferente dos demais obtidos com o ano de referência de 2018, e também para a visualização de diferenças de temperatura em um dia não muito quente com máximas de 27°C e mínima de 20°C registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para classificação e melhor entendimento da diferença de temperaturas no território.

A transformação TST foi realizada a partir da conversão dos níveis de cinza da banda 10 em radiância espectral (TOA) através da Equação 1 (USGS, 2019).

$$A = B \times C + D \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A = Radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

B = Fator multiplicativo de redimensionamento de banda ($3,342\text{E}-04$)

C = Valor do pixel quantizado e calibrado em nível radiométrico (Raster DN)

D = Fator aditivo de redimensionamento de banda (0,10)

A radiância espectral foi convertida em temperatura a partir da Equação 2. As constantes térmicas desta banda foram adquiridas no arquivo de metadados (MTL) onde K1 equivale a 774,89 $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ e K2 equivale a 1321,08 K.

$$T = K^2 / \ln(K1 / A) + 1) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

T = Temperatura sem correção atmosférica (Kelvin)

K1 = Constante de calibração 1 ($774,89 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

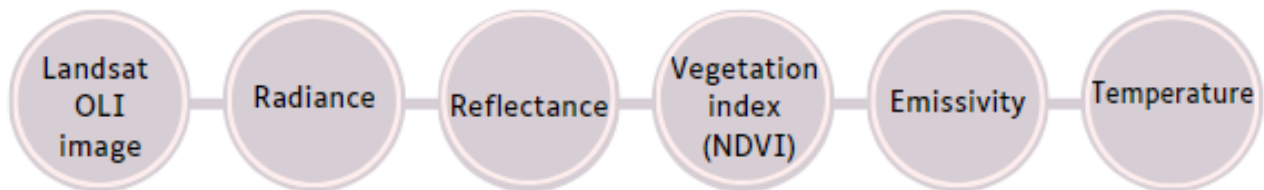
K2 = Constante de calibração 2 (1321,08 K)

A = Radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$)

O TST foi calculado pelo método USGS, posteriormente o TST foi calculado pela fórmula de Planck através do Plugin LST (Land Surface Temperature) do QGIS 3.28. Este plugin é baseado

no algoritmo METRIC desenvolvido por Allen et al. (2005) adaptado para imagens Landsat 8, conforme passos do fluxograma da Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do processo de definição da temperatura superficial



Fonte: Autora (2023)

O mapa TST foi classificado em escala linear de cores, com o objetivo de melhorar a identificação do comportamento da temperatura dos objetos na imagem.

A revisão da literatura sobre os principais temas de análise -Ilhas de Calor, Legislação Municipal e mudança de temperatura- teve como objetivo analisar como os mesmos estão sendo discutidos dentro da academia e da produção e efetivação de políticas públicas.

Consistiu na leitura de artigos, manuais, livros e trabalhos publicados em anais de eventos que se relacionam com os seguintes temas: mudanças da temperatura, ilhas de calor, impactos gerados sobre as diferenças de temperatura, legislação e políticas públicas construídas sobre a questão. Também baseou-se na busca de materiais em periódicos científicos e em legislações relacionadas às mudanças climáticas na cidade de São Paulo. Foram analisadas as leis orgânicas da cidade, promulgadas entre 2000 e 2023, bem como o Plano Diretor de 2023, com foco nas palavras "temperatura", "calor", "ilhas de calor" e "clima", a fim de examinar como o tema vem sendo discutido no âmbito político.

Através dos métodos descritos, obteve-se como resultado vários mapas temáticos, correspondentes às figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

Resultados e Discussão

Revisão da Literatura sobre Ilhas de Calor

Dentre os parâmetros climáticos urbanos, um dos que mais exerce pressão sobre o ser humano são as mudanças na distribuição espacial do calor armazenado no ar, que muitas vezes se manifestam como Ilha de Calor Urbana (ICU). O fenômeno da ICU, detectado pela primeira vez na cidade de Londres em 1810 (Howard, 1820), é definido como áreas urbanas onde as temperaturas do ar e da superfície são mais altas (Oke, 1987; Gartland, 2008). As ICUs são o resultado da alteração antrópica do balanço de radiação, ou seja, alteram a forma como a energia é recebida e emitida pela superfície terrestre (Oke, 1987; Gartland, 2008).

A ICU tem sido foco de estudos em ciências relacionadas à geografia, áreas urbanas e saúde.

Segundo Magda Adelaide Lombardo (1985), Timothy R. Oke (1987) e Lisa Mummery Gartland (2008) as causas da ICU são:

- A capacidade térmica e a condutividade das áreas superficiais, que resultam na absorção de radiação durante o dia e na sua libertação para a atmosfera durante a noite;
- A adição de calor proveniente da combustão, aquecimento ambiente e metabolismo do corpo humano;
- A retirada do escoamento superficial em favor dos sistemas de esgotos, a ausência de áreas verdes ou extensas águas que reduzam a evapotranspiração, implicando a utilização da maior parte da energia para aquecimento do ar;
- A diminuição do fluxo de vento devido ao atrito com estruturas de áreas urbanas;
- O efeito estufa da camada de poluição sobre as áreas urbanas, que impede que a radiação infravermelha escape para o espaço durante a noite;
- Utilização de materiais de construção com propriedades térmicas inadequadas ao clima tropical: alumínio, aço galvanizado, vidro fumê, que agregam conservação de calor.

Assim sendo, as ilhas de calor urbano afetam o meio ambiente e a qualidade de vida no cotidiano da população: aceleram a deterioração das estruturas urbanas pelo intemperismo químico, aumentam o consumo de energia para resfriamento, diminuem a qualidade da água, comprometem o conforto e a saúde humana, aumentam a emissão de poluentes e gases de efeito estufa (Lombardo, 1985; Oke, 1987; Gartland, 2008; Climate Protection Partnership, 2010). Além disso, a ICU potencializa ondas de calor, expondo a população a condições extremas de estresse térmico e aumentando a mortalidade (Mcmichael et al., 2008b; Hajat; Kosatky, 2010; Tan et al., 2010; Wang et al., 2012). Estes efeitos podem ser reduzidos através de um planejamento urbano adequado.

Assim, as mudanças climáticas são percebidas e detectadas, principalmente, na escala local e a oscilação geográfica das Ilhas de Calor admitem análises da fragilidade da população, que sofre de maneira diferenciada, diante das intensidades percebidas (Silva et. al. 2023).

As ilhas de calor atmosféricas e superficiais não apresentam as mesmas características e a dinâmica de cada ilha de calor varia não apenas ao longo do dia, mas também depende do clima da região, da situação meteorológica, da localização e da região (Lima et. al. 2021).

Dentre os estudos de Clima urbano, as Zonas Climáticas Locais (LCZs) surgiram, em 2012, como um novo padrão para caracterizar paisagens urbanas, proporcionando uma abordagem de classificação que leva em consideração a cobertura do solo em microescala e propriedades físicas associadas. Apresentando uma tipologia com 17 classes. Das 17 classes LCZ, 10 refletem o ambiente construído e 7 apresentam classes naturais de ocupação do solo. As classes são descritas no quadro 1.

Quadro 1. Tipologias de Zonas Climáticas Locais

TIPOS DE CONSTRUÇÕES
Arranha-céus compactos
Edifícios médios compactos
Edifícios baixos compactos
Edifícios altos com espaço aberto
Edifícios médios com espaços abertos
Edifícios baixos com espaços abertos
Adensamento de edifícios baixos leves
Grandes edifícios baixos, galpões
Escassamente construído
Indústria pesada
TIPOS DE COBERTURA DE TERRA
Árvores adensadas (LCZ A)
Árvores dispersas (LCZ B)
Arbustos (LCZ C)
Plantas baixas (LCZ D)
Pavimentação/ Pedra exposta (LCZ E)
Solo exposto/ Areia (LCZ F)

Fonte: Demuzere et. al. (2022).

Simon Chapman et. al (2017), em um mapeamento bibliométrico sobre o tema, elenca 3 temas principais de como as ilhas de calor urbano vem sendo discutidas, sendo elas:

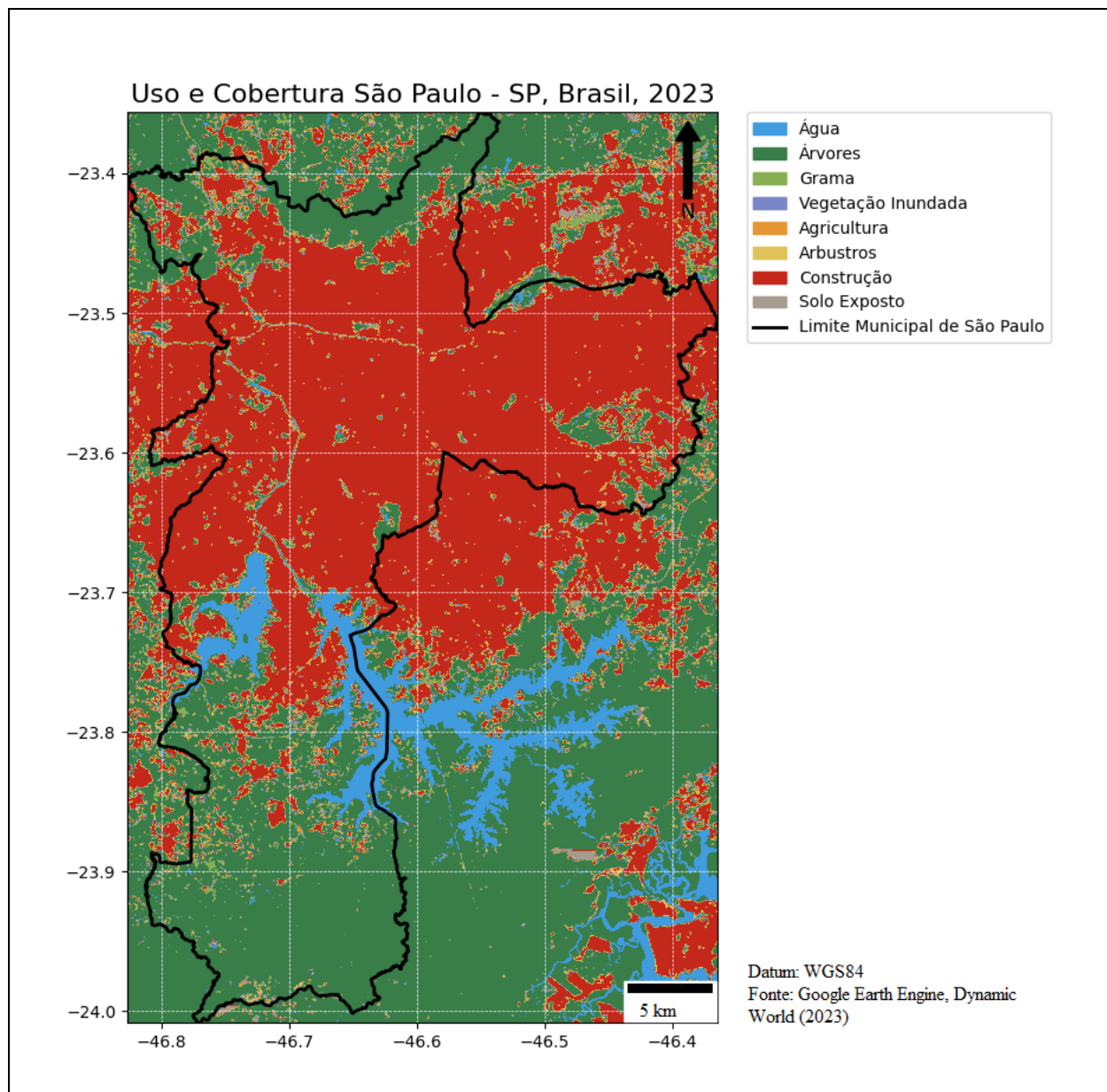
- (1) impacto do crescimento urbano na ilha de calor urbano em estudos de mudanças climáticas;
- (2) estresse térmico;
- (3) variação na densidade urbana e seus impactos no calor antropogênico.

Coleção de mapas para caracterização das diferenças de temperatura da superfície

Ao analisar a coleção de mapas, podemos entender como a forma de ocupação reflete na diferença de temperatura encontrada. Temos então, uma relação entre a área construída, com a consolidação da Ilha de Calor Urbano, e dentro do limite da escala disponível, como essa reflete e acompanha a realidade da cidade.

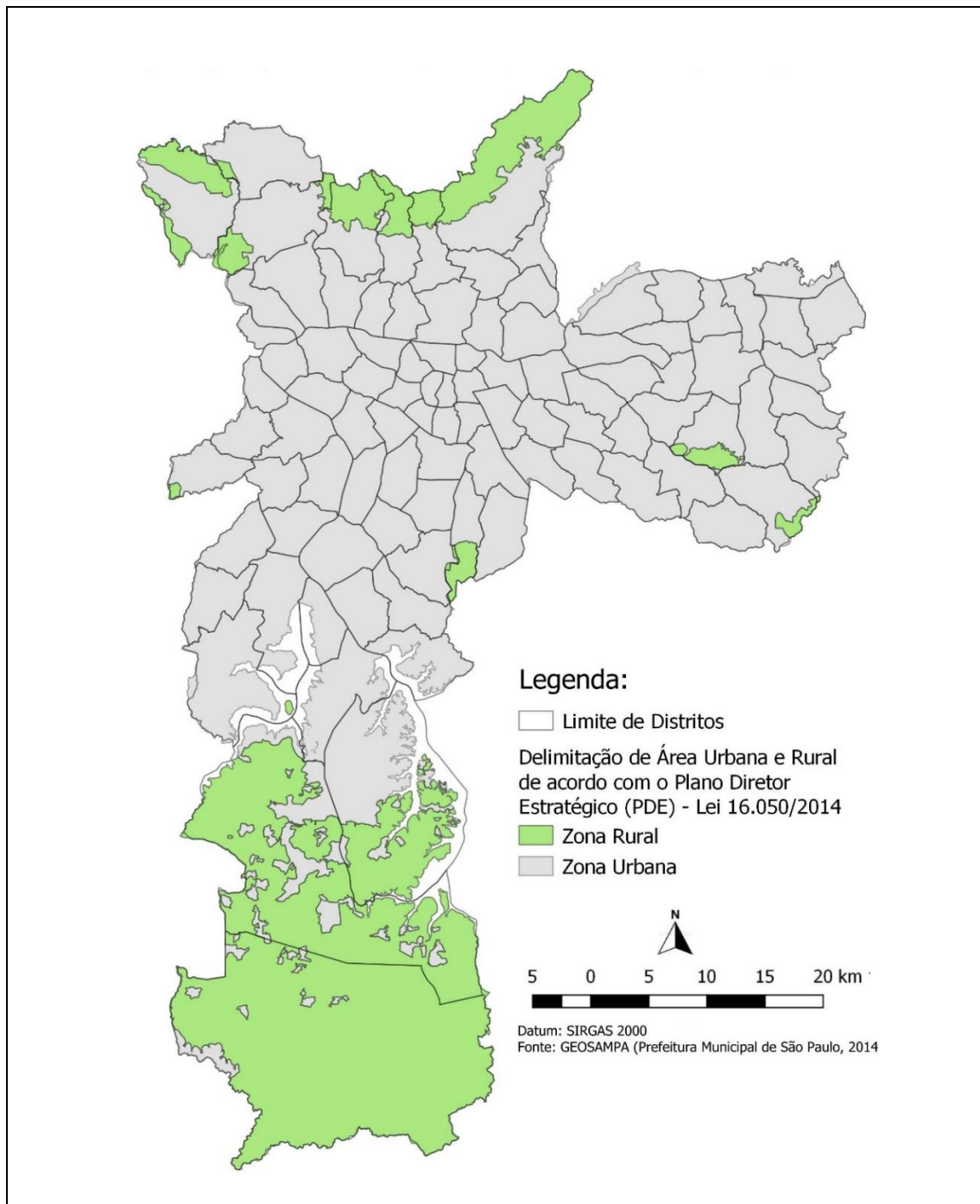
Ao analisarmos as figuras 3, 4, 5 e 6 em conjunto, podemos ver que a mancha de ilha de calor, bem como a concentração de classes das zonas climáticas locais estão caracterizadas com uma ocupação mais extensa do solo, coincidindo com as áreas construídas indicadas no mapa de uso e ocupação, e que as áreas rurais, ocupadas com um padrão de construção baixo e outras lógicas de ocupação do espaço, são áreas de alívio nas ilhas de calor urbano.

Figura 3. Mapa Uso e Cobertura de São Paulo-SP, Brasil 2023



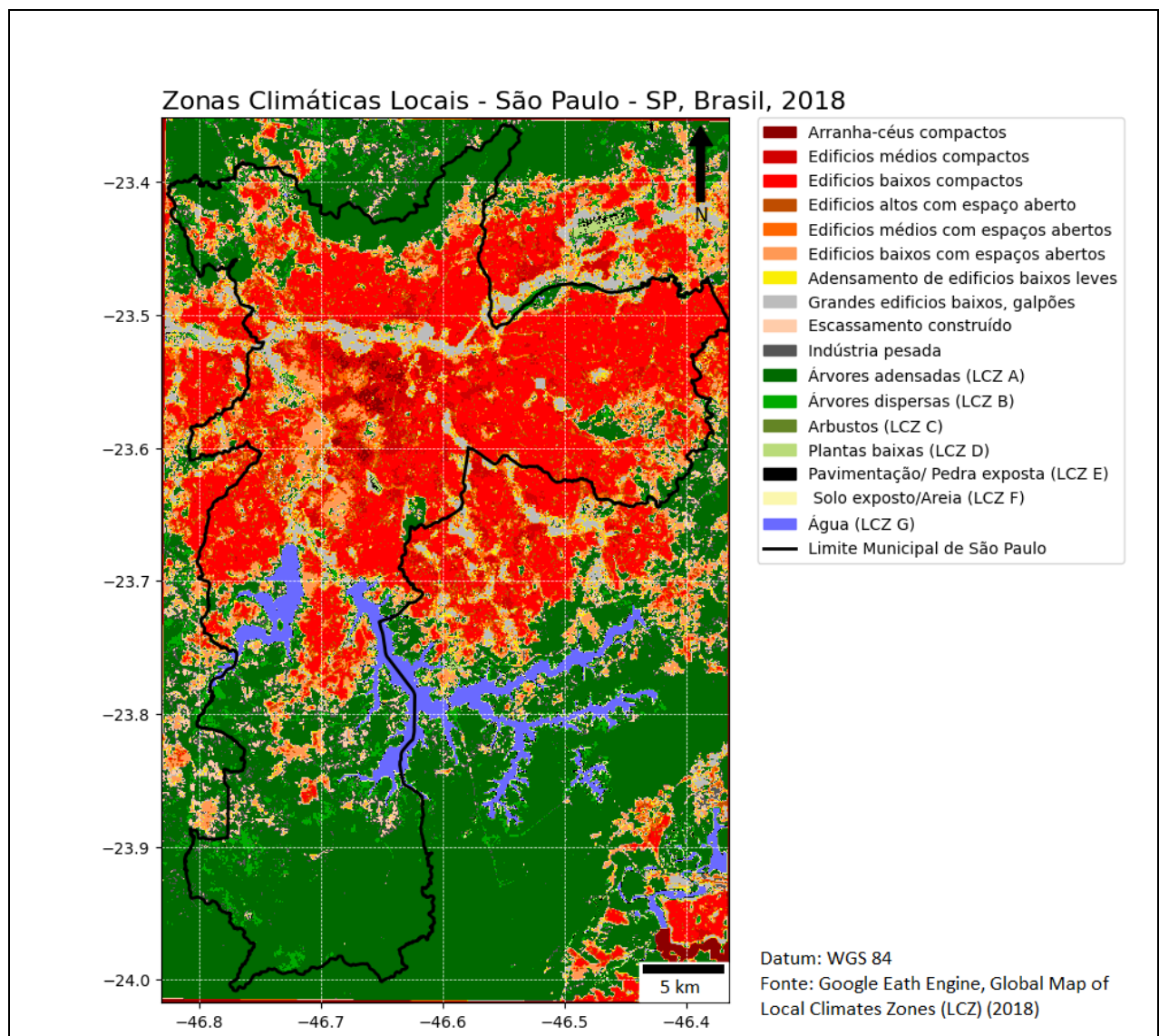
Organização: Autora (2024).

Figura 4. Mapa com a delimitação da Área urbana e rural de acordo com o plano diretor estratégico (Lei 16.050/2014), São Paulo-SP, Brasil, 2014

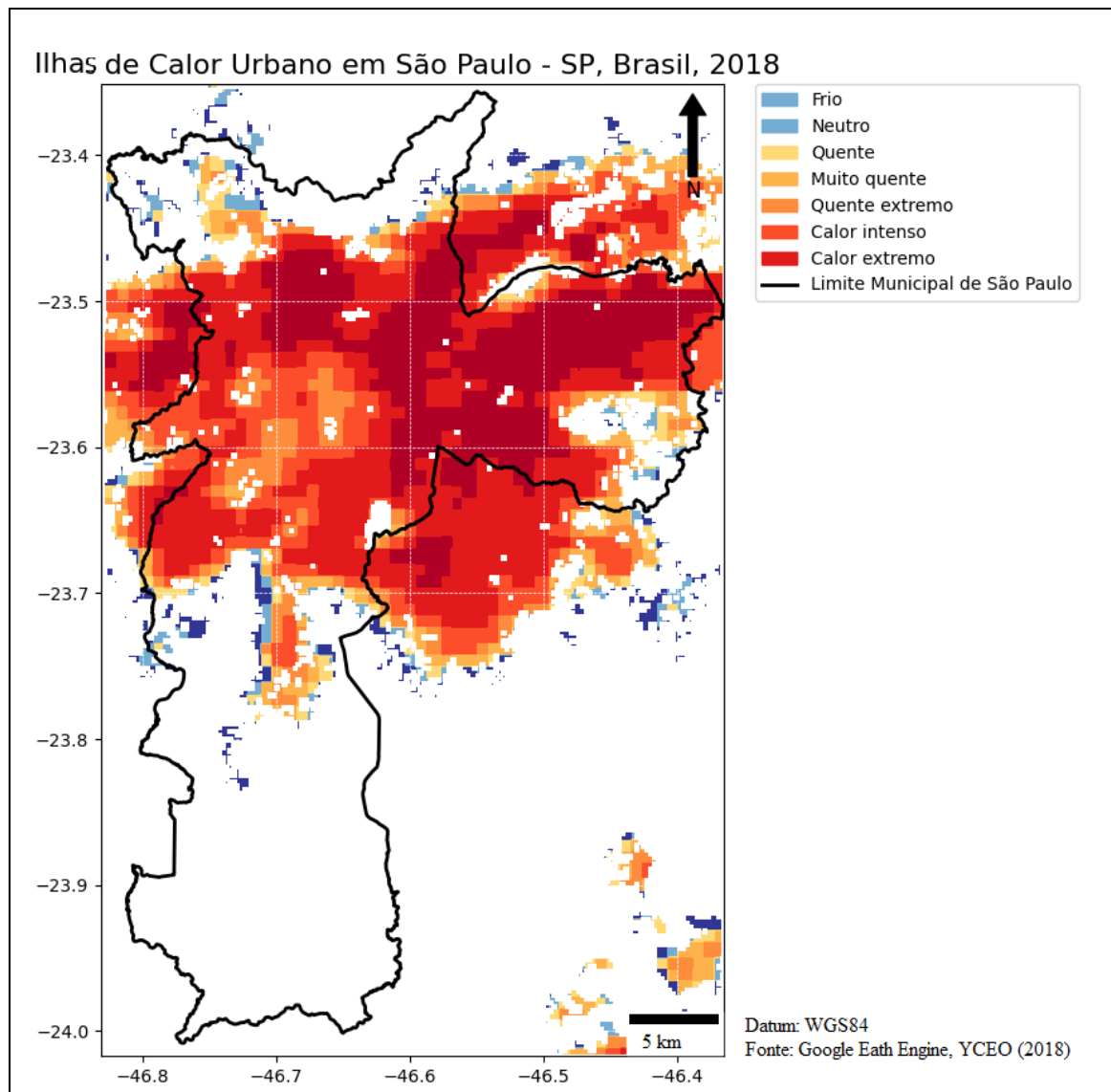


Organização: Autora (2024)

Figura 5. Mapa das Zonas Climáticas Locais de São Paulo-SP, Brasil 2018



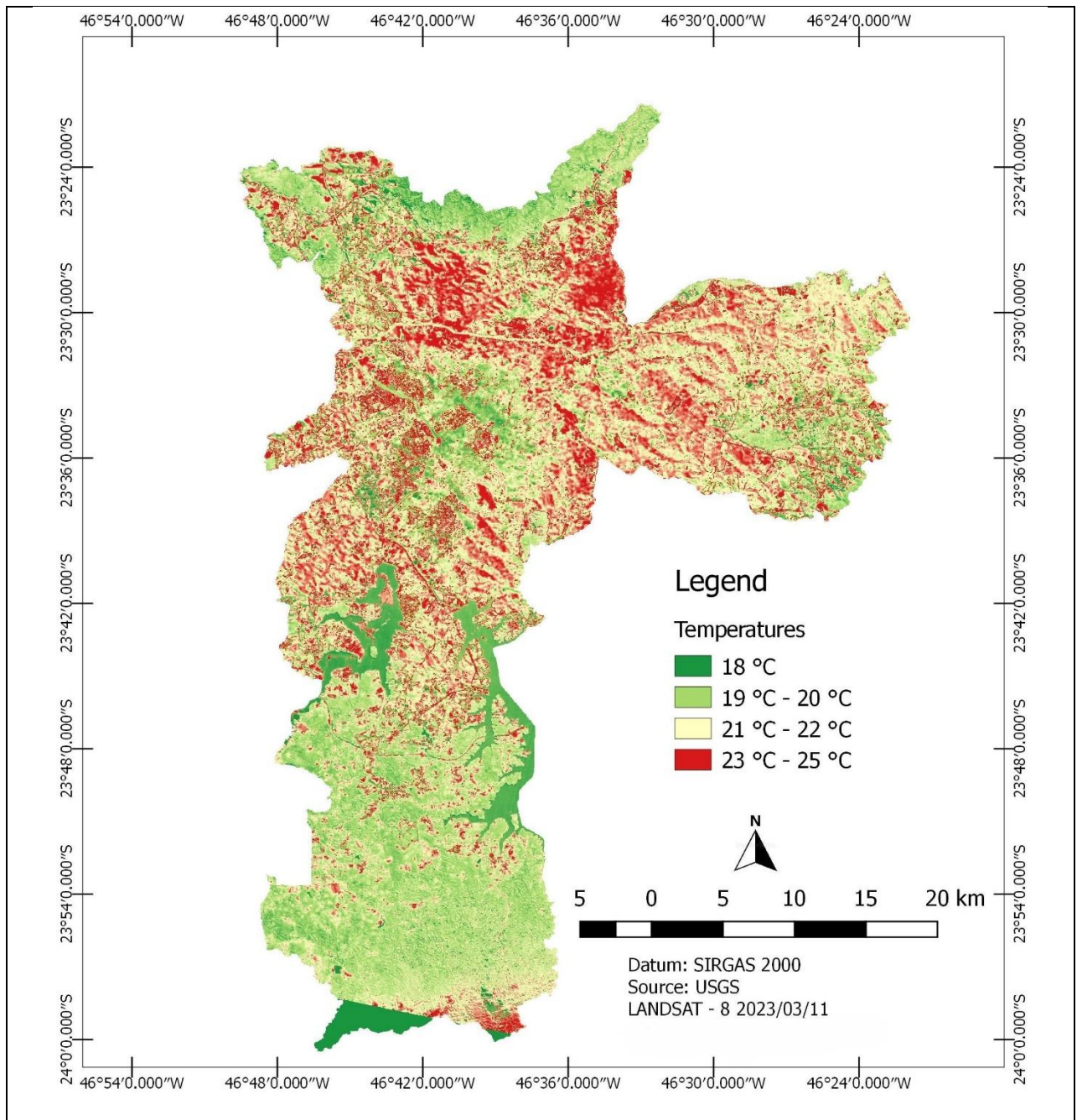
Organização: Autora (2024)

Figura 6. Mapa das Ilhas de Calor Urbano em São Paulo-SP, Brasil 2018

Organização: Autora (2024)

Os resultados obtidos durante a passagem do satélite, expresso na figura 7, apontam para áreas que demonstram efeitos de calor, com temperatura superficial diferencial da ordem de 7°C para o método USGS. Através do mapa podemos observar uma grande concentração de temperaturas mais elevadas em áreas que coincidem com uma grande ocupação urbana, como a que ocorre nos distritos mais centrais da cidade -República, Sé e Liberdade-, e no eixo Norte -Jacaquã, Santana e Vila Medeiros.

As áreas com temperaturas mais baixas são as represas, seguidas das áreas com ocupações com características mais rurais localizadas ao extremos da cidade na zona sul e na zona norte, podendo-se usar como referência a figura 4. Além de variações, as áreas com temperaturas mais amenas coincidem com grandes áreas arborizadas da cidade, como exemplos os distritos de Butantã, Pinheiros, Moema e Perdizes, que coincidem com áreas onde residem populações de maior renda e a presença de áreas arborizadas.

Figura 7. Mapa de temperatura da superfície terrestre (TST) de São Paulo, Brasil 2023

Fonte: Autora (2023)

As áreas com modificações antrópicas mais intensas apresentam valores de temperatura elevados, principalmente devido à supressão da cobertura vegetal, que é substituída por superfícies impermeáveis. A impermeabilização do solo, comum em áreas urbanizadas, impede a infiltração de água e favorece o acúmulo de calor, o que intensifica o desconforto térmico. Isso ocorre porque os materiais artificiais como asfalto, concreto e edificações têm uma capacidade significativamente maior de absorver e reter energia solar em comparação com a vegetação natural, elevando as temperaturas locais e contribuindo para o fenômeno conhecido

como ilhas de calor urbano. Durante o dia, essas superfícies liberam lentamente o calor acumulado, prolongando o aumento de temperatura até o período noturno.

Por outro lado, as áreas verdes e os corpos hídricos desempenham um papel crucial na regulação térmica dos espaços urbanos. A presença de vegetação contribui para a redução das temperaturas, principalmente através da evapotranspiração, processo em que a água das plantas e do solo é liberada para a atmosfera, causando um efeito de resfriamento. A umidade presente nesses ambientes, tanto da vegetação quanto dos corpos d'água, age como um regulador natural do clima, proporcionando temperaturas mais amenas em comparação às áreas urbanizadas (Coelho, 2003). Podemos observar que essas áreas apresentam uma presença reduzida dentro dos limites da cidade de São Paulo.

Além disso, os corpos d'água apresentam uma inércia térmica maior que as superfícies sólidas artificiais. Isso significa que, durante o dia, eles aquecem mais lentamente do que o solo impermeabilizado, armazenando menos calor. À noite, a temperatura da água também se mantém mais estável, contribuindo para a regulação climática em seu entorno. O efeito conjunto da vegetação e dos corpos hídricos no ambiente urbano é essencial para a criação de microclimas mais confortáveis, que ajudam a mitigar os efeitos adversos da urbanização e melhorar a qualidade de vida das populações que vivem em áreas densamente construídas. Dessa forma, a presença desses elementos naturais tem um papel fundamental na sustentabilidade das cidades e na promoção de um ambiente urbano mais saudável e equilibrado.

Legislação Municipal de São Paulo sobre as mudanças de temperatura de superfície

As Ilhas de calor urbano, vem sendo discutidas na literatura acadêmica de forma abrangente, geralmente associadas com reflexões sobre a saúde coletiva.

Na legislação municipal de São Paulo, há duas leis que tratam dos assuntos, sendo elas:

- A Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2009, que estabelece a política de mudanças climáticas;
- A Lei 17.975 de 8 de julho de 2023, que constitui o plano diretor em vigor.

A Lei 14.933 traz um discurso condizente com o conhecimento científico e possui conteúdo discursivo sobre metas e diretrizes para mitigação das mudanças climáticas. Destaca-se :

Capítulo IV, Seção VI, “Art. 21. No licenciamento de empreendimentos, observada a legislação de loteamento, uso e ocupação do solo, deverá ser reservada área permeável sobre terreno natural, visando à absorção de emissões de carbono, à constituição de zona de absorção de água, à redução de zonas de calor, qualidade de vida e melhoria da paisagem.” (Prefeitura do Município de São Paulo, 2009, p.10).

Já no Plano Diretor de São Paulo, observam-se contradições. Por um lado, ele contempla o Capítulo I, Seção II, Art. 13, Inciso XLIX, que trata da mitigação das ilhas de calor, por outro não restringe o limite de altura para construções prediais, como previsto no Capítulo II, Seção III, Art. 24, § 7º, alínea b. Estas são as passagens ambíguas:

Capítulo I, seção II “Art. 13, Inciso XLIX - criar incentivos urbanos para edifícios que adotem medidas de sustentabilidade, como cogeração de energia renovável, pré-tratamento de esgoto, reúso de água, uso de materiais sustentáveis, entre outros, e melhorias climáticas que contribuam para a redução de ilhas de calor e poluição, como arborização horizontal e vertical, entre outros” (Prefeitura do Município de São Paulo, 2023, p. 3).

Capítulo I, Seção, II “Art. 9. Inciso VIII “d) ampliação das calçadas, dos espaços livres, praças urbanas, das áreas verdes e permeáveis nos lotes” (Prefeitura do Município de São Paulo, 2023, p. 2).

A lei em questão, cita o território do Arco Tietê, que é uma porção da Macroárea de Estruturação Metropolitana do Plano Diretor Estratégico de São Paulo. Esta área central da planície fluvial do Rio Tietê, apresenta um grande potencial de desenvolvimento urbano, porém está situada na área mais consolidada e urbanizada da cidade, dentro da ilha de calor urbana expressa nos mapas.

Capítulo II, Seção III, Art. 24, § 7º. Até a aprovação pela Câmara Municipal do projeto de lei mencionado no inciso II do § 3º deste artigo (projeto de lei tratando da disciplina especial de uso e ocupação do solo) incidirão sobre as áreas de influência dos Eixos de Estruturação da Transformação Urbana existentes e previstos no território do Arco Tietê não abrangido por Operações Urbanas Consorciadas ou por Projetos de Intervenção Urbana em curso os seguintes parâmetros e índices urbanísticos:

a) coeficiente de aproveitamento máximo: igual a 4,0 (quatro);

b) gabarito de altura máxima: sem restrição (Prefeitura do Município de São Paulo, 2023, p. 9).

Apesar de constatada a existência de leis que discutem e trazem o tema das mudanças climáticas para o planejamento urbano, pode-se concluir que elas não surtem efeito, ou se contradizem. A Lei 14.933 enfrenta desafios para a sua implementação, devido à sua complexidade política e administrativa, já que foi promulgada em 2009 e não gerou modificações no espaço urbano, e nem medidas de controle das propostas elencadas. Carvalho, Wanessa Karoline Maciel et. al. (2020) investigam a legislação de toda a região metropolitana de São Paulo, e no seu estudo onde elencam aspectos destas políticas, concluem que as legislações urbanísticas juntamente aos planos diretores, precisam de mais robustez.

As políticas públicas têm o papel fundamental de orientar o planejamento e a gestão das cidades, promovendo um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável. No entanto, quando aplicadas em ambientes urbanos marcados por dinâmicas complexas e desiguais, a sua implementação enfrenta desafios significativos. A desigualdade social e territorial, a ocupação desordenada e a falta de infraestrutura adequada são alguns dos fatores que dificultam a efetivação dessas políticas. Além disso, as ações de planejamento urbano acabam sendo fragmentadas, desarticuladas ou direcionadas por interesses econômicos específicos, o que agrava os problemas existentes. Em cenários como esse, medidas inadequadas ou insuficientes podem contribuir para a intensificação de fenômenos como as ilhas de calor urbano, já que a expansão descontrolada de áreas urbanizadas, a redução de vegetação, a não redução da altura dos edifícios, e o aumento de superfícies impermeáveis promovem um microclima desfavorável, aumentando os efeitos das mudanças climáticas.

Conclusões

A pesquisa investigou as variações de temperatura na cidade de São Paulo e como elas estão sendo abordadas pelo poder público. A metodologia utilizada demonstrou eficiência no uso de ferramentas de geoprocessamento para o mapeamento dessas diferenças de temperatura. Tanto a coleta de dados, como a análise das imagens de satélite, foi realizada de forma simples, tornando a análise acessível, apesar da diferença de escala dos dados disponíveis, e a ausência de dados mais recentes.

A revisão da literatura sobre políticas públicas, constata que as questões das diferenças de calor superficial contemplam a legislação, porém não existem formas de monitoramento e implementação para sua eficácia como questão central no planejamento urbano para a mitigação da atual situação de diferença de temperaturas.

Pode-se concluir que o poder local da cidade de São Paulo apresenta uma discussão ineficaz sobre as Ilhas de Calor e as diferenças de temperatura em seu território, o tema ainda não está sendo considerado parâmetro de planejamento e traz diversas contradições em seu texto, sem incluir as metas e os parâmetros de um ambiente equilibrado. As leis citam passagens de mitigação de efeitos, sem propor infraestruturas para a sua realização, além de incentivar práticas, como a inexistência de limite de altura de edifícios, que são contrárias a mitigação das ilhas de calor urbano.

Referências bibliográficas

ALLEN, Richard G.; TASUMI, Masahiro; MORSE, Alden; TREZZA, Ricardo. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 19, p. 251-268, 2005.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm> [Consulta em: 01 out. 2024].

CARVALHO, Wanessa Karoline Maciel; SILVA, Andrea Oliveira da; BON, Frederico Pedro; Fernandes, Ricardo Augusto Souza. Mudanças climáticas na metrópole paulista: uma análise de planos diretores e leis urbanísticas. *Ambientalmente Construído*, Edição especial ENCAC, v. 20, n. 4, p. 385-400, out./dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400464>

CHAPMAN, Simon; WATSON, James E. M.; SALAZAR, Andrés et al. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecol*, v. 32, p. 1921–1935, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>

CLIMATE PROTECTION PARTNERSHIP. *Reducing urban heat islands: compendium of strategies urban heat island basics*. USA: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/hiri/about/index.htm>> [Consulta em: 28 set. 2024].

COELHO, André Luís Nogueira. *O histórico da ocupação e impactos socioambientais no eixo norte da RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte) em áreas do município de Ribeirão*

das Neves – MG (dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

DEMUZERE, M.; KITTNER, J.; MARTILLI, A.; MILLS, G.; MOEDE, C.; STEWART, I. D.; van Vliet, J.; BECHTEL, B. A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 3835–3873, DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-14-3835-2022>

FERNANDES, Ricardo; NASCIMENTO, Viviane; FREITAS, Marcus; OMMETTO, Jean Pierre. Local Climate Zones to Identify Surface Urban Heat Islands: A Systematic Review. *Remote Sensing*, v. 15, n. 4, p. 884, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15040884>

GARTLAND, Lisa. *Heat Island: understanding and mitigating heat in urban areas*. London: EarthScan, 2008.

GOOGLE EARTH ENGINE. Disponível em <<https://earthengine.google.com/>> [Consulta: 30 set. 2024].

HAJAT, Shakoor; KOSATSKY, Tom. Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of epidemiology and community health*, v. 64, n. 9, p. 753–760, 2010. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19692725/>>.

HOWARD, Luke. *The climate of London deduced from meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis*. Londres: W. Philips & G. Yards, 1820.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em <<https://portal.inmet.gov.br/>> [Consulta: 27 set. 2024].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Tendências demográficas: uma análise da população com base nos resultados dos censos demográficos 1940 e 2000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=282733>> [Consulta: 20 out. 2023].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Síntese dos indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. *Agência de Notícias*. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>> [Consulta: 01 out. 2024].

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Lei nº 14.933 de 5 de junho de 2009*. Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-14933-de-05-de-junho-de-2009>> [Consulta: 23 out. 2023].

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Lei nº 17.975 de 8 de julho de 2023*. Disponível em: <<https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-17975-de-8-de-julho-de-2023>> [Consulta: 23 out. 2023].

LIMA, Thaís H.; SOUSA, Mariana R.; ARAÚJO, Luis S.; MARTINS, Ana A.; GOMES, João F. Urban heat island: the impact of the built environment on thermal comfort. *Sustainable Cities and Society*, v. 69, p. 102853, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095521001486>>.

LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de calor nas metrópoles*. São Paulo: Hucitec, v. 16, 1985.

MASIERO, Edson; SOUZA, Luiz Carlos L. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 4, p. 177-197, 2018. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/78002>>.

MCMICHAEL, Anthony J.; WILKINSON, Paul; KOVATS, R. Sari; PATTENDEN, S.; HAJAT, Shakoor; ARMSTRONG, Ben; VAJANAPOOM, Nongluck; NICIU, Elena M.; MAHOMED, Hussein; KINGKEOW, Chamlong; KOSNIK, Myron; O'NEILL, Marie S.; ROMIEU, Isabelle; RAMIREZ-AGUILAR, Maria; BARRETO, Mauricio Lima; GOUVEIA, Nelson; NIKIFOROV, Boris. International study of temperature, heat and urban mortality: the "ISOTHERM" project. *International journal of epidemiology*, v. 37, n. 5, p. 1121–1131, out. 2008. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18522981/>>.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: USP, 1976.

Organização das Nações Unidas (ONU). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>.

OKE, Timothy R. *Boundary layer climates*. 2. ed. London: Methuen, 1987.

SILVA, Fernando Diniz Abreu; FERREIRA, Marcio Antônio Couto. Ilha de calor urbana: diagnóstico como ferramenta de gestão ambiental urbana nas cidades de pequeno e médio porte. *Semana acadêmica*, Fortaleza-CE: Edição 233, v. 11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.35265/2236-6717-233-12602>. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/ilha-de-calor-urbana-diagnostico-como-ferramenta-de-gestao-ambiental-urbana-nas-cidades-de-0>>.

SOUZA, Marcelo Lopes de. *O desafio metropolitano: um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. v. 4.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Using the USGS Landsat 8 Product*. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php> [Consulta: 25 out. 2023].

WANG, Xianyang; BARNETT, Adrian G.; YU, Wei; FITZGERALD, Gerry; TIPPETT, Vivienne; AITKEN, Phil; NEVILLE, Greg; MCRAE, David; VERRALL, Karen; TONG, Shilu. The impact of heatwaves on mortality and emergency hospital admissions from non-external

causes in Brisbane, Australia. *Occupational and environmental medicine*, v. 69, n. 3, p. 163–169, 2012. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21719563/>>.

ZAAR, Miriam-Hermi. Cambio Climático antropogénico e decrecimiento. *Ar@cne Revista Electrónica de recursos em internet sobre geografia y ciencias sociales*. núm. 250, enero de 2021. DOI: <https://doi.org/10.1344/ara2021.250.33232>

Ficha bibliográfica:

SOUZA, Milena Pires de. Impactos da urbanização e da legislação na mitigação de ilhas de calor urbano em São Paulo (Brasil): um estudo sobre temperaturas de superfície e políticas climáticas. *Ar@cne. Revista Electrónica de Recursos de Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de enero de 2025, vol. XXIX, n° 298. DOI: <http://doi.org/10.1344/ara2025.298.47532>

Menú Geo Crítica