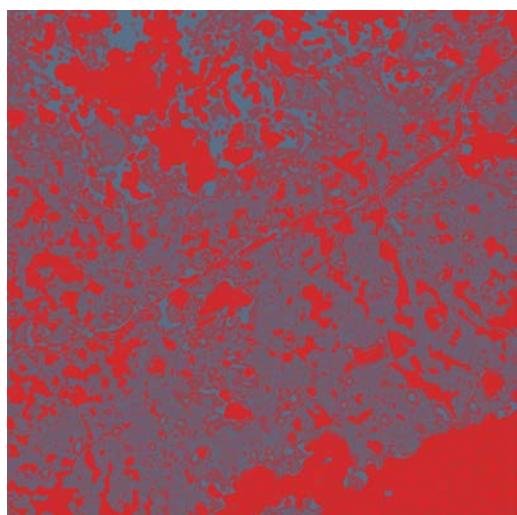


Entre acesso e excesso

Investigação sobre o aquecimento urbano na cidade de São Paulo



Entre acesso e excesso: Investigação sobre o aquecimento urbano na cidade de São Paulo

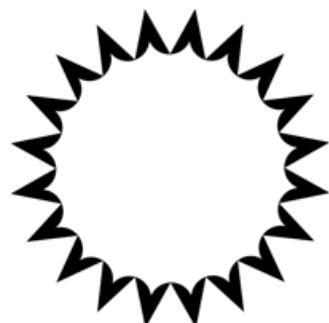
Between access and excess: understanding the
urban warming in the city of São Paulo

Ulisses Alves de Castro
lisses@usp.br

Trabalho Final de Graduação para o curso de Arquitetura e
Urbanismo apresentado à Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade de São Paulo

Orientadora: Prof^a Dra. Denise Duarte

São Paulo, dezembro de 2022



Resumo

A emergência climática global que se acentuou principalmente nas últimas décadas já é responsável pela intensificação de uma série de eventos adversos relacionados ao clima, entre eles o aumento da temperatura global. Nesse cenário, as cidades - que abrigam mais da metade da população mundial - têm necessidades urgentes por planos e ações de mitigação e adaptação frente aos eventos extremos que são cada vez mais intensos e recorrentes. Esses eventos ocorrem em todo o planeta mas, certamente, são mais perigosos para os grupos ou populações mais vulneráveis ao calor: pessoas mais expostas às altas temperaturas, mais sensíveis às mudanças climáticas e com menor capacidade de adaptação. Nesse sentido, este trabalho parte da leitura das temperaturas de superfície para entender os efeitos do aquecimento urbano na cidade de São Paulo/SP e sua relação com a situação histórica de segregação e desigualdade. Foram elaboradas diferentes leituras a partir da intersecção de mapas temáticos que visam entender os grupos mais vulneráveis, verificar os territórios com maior exposição às altas temperaturas e compreender a morfologia urbana nos distritos mais quentes e mais amenos. Essa primeira análise dos grupos mais vulneráveis às altas temperaturas indica que esses, não raro, são constituídos por populações historicamente vulneráveis, devido aos processos políticos e econômicos desiguais na configuração da cidade, fortemente refletidos no espaço urbano; além disso, percebe-se que os agravantes da vulnerabilidade ao calor são substancialmente diferentes entre os territórios, e os grupos mais vulneráveis são bastante heterogêneos quanto aos fatores de risco.

Palavras-chave: Temperatura de superfície, Vulnerabilidade, Clima urbano, Desenvolvimento urbano, Mapeamento territorial, Morfologia urbana.

Abstract

The global emergency related to climate change has been a major problem during the last decades and it's responsible for the intensification of many climate-related adverse events, like the global temperature rise. In this scenario, cities - where more than half of the world population lives - need mitigation and adaptation action plans in order to deal with recurring events. These events happen on a worldwide scale, but are certainly more dangerous to populations or groups that are more vulnerable to heat increase: these are people who are more exposed to high temperatures, more sensitive to climate changes and with less available resources to cope with their adaptation needs. In this sense, this research works with Land Surface Temperature (LST) in São Paulo to understand and map the warming effects in the city and its historical relation with segregation and inequality. Intersections were made between LST and thematic maps to better understand the most vulnerable groups and verify the spaces that are more exposed to high temperatures, according to each district morphology. This first analysis of the heat-vulnerable groups indicates that they are usually related to the overall historical vulnerable populations resulting from the unequal political and economical urban configuration process; besides, the heat vulnerability aggravating factors are substantially different between territories and the most vulnerable groups are very diverse regarding risk factors.

Keywords: Land Surface Temperature, Vulnerability, Urban Climate, Urban Development, Territorial Mapping, Urban Morphology

Agradecimentos

À professora Denise Duarte, que me mostrou o quão ricos são os estudos sobre clima urbano e que fez da minha experiência de conclusão de curso uma das mais proveitosa e tranquilas possíveis.

À professora Raquel Rolnik e toda equipe do Labcidade, por me proporcionarem dois anos de pesquisas que revolucionaram o meu entendimento sobre planejamento urbano e mostraram como é ampla e intermitente a luta contra as desigualdades na cidade.

À professora Beatriz Rufino, que me apresentou ao vasto mundo das pesquisas sobre planejamento urbano ainda no primeiro ano de graduação.

Aos meus amigos da FAUUSP, que são base de tudo isso e que me ajudaram em todos os momentos da graduação.

Aos meus pais, que não duvidaram nem por um momento que pobre pode frequentar universidade pública e enfrentaram todas as adversidades para que eu seguisse meus sonhos.

Ao Samu, por transformar esse ano no melhor entre os que já vieram e no menos excepcional entre os que estão por vir.

Lista de figuras

Figura 1 - População residente no mundo por tipo de assentamento.	7
Figura 2 - Mudança da temperatura decenal observada entre os anos 1 e 2020. O gráfico sublinha o grande salto entre o período de 1850 e 2020.	
Figura 3 - Emissões de Gases de Efeito Estufa ao longo do globo.	9
Figura 4 - Impactos da emergência climática observados em sistemas antropogênicos.	10
Figura 5 - Locais do globo onde foi observado aumento de eventos relacionados aos extremos de calor.	11
Figura 6 - Temperaturas médias anuais registradas em São Paulo entre 1933-2017.	12
Figura 7 - Número médio de ondas de calor identificadas no Brasil entre 1998 e 2003	13
Figura 8 - Esquemas teóricos em planta e corte representando o espraiamento de ilhas de calor.	15
Figura 9 - Principais métricas utilizadas na criação de índices de vulnerabilidade ao calor.	18
Figura 10 - Componentes do ecossistema urbano.	22
Figura 11 -Corte representativo da atmosfera urbana apresentando a UBL, com detalhe para a UCL.	23

Figura 12 -Unidades climáticas naturais locais da cidade de São Paulo.	26
Figura 13 - Indicadores de temperatura do ar e nível de precipitação mensal para o ano de 2017, com indicativos sobre as médias históricas para cada mês na cidade de São Paulo.	28
Figura 14 - Gráficos de temperatura média e precipitação anual entre 1933-2017 na cidade de São Paulo.	30
Figura 15 - Incremento populacional por década no Brasil e no município de São Paulo.	34
Figura 16 -Expansão da mancha urbana no município de São Paulo entre 1881 e 2002.	38
Figura 17 -Mapa do desmatamento da cidade de São Paulo durante a década de 1990.	42
Figura 18 -Relação entre crescimento e desmatamento na cidade de São Paulo durante a década de 90.	43
Figura 19 - Espectro Eletromagnético.	49
Figura 20 - Distribuição das T_{sup} na cidade de São Paulo por estação do ano (2013-2022)	61
Figura 21 - Variação na temperatura de superfície média obtida para cada distrito da capital a partir das imagens de satélite.	64
Figura 22 - T_{sup} média para cada distrito da capital a partir das imagens termais de satélite.	67
Figura 23 - Variação da T_{sup} de cada distrito do centro expandido em relação à T_{sup} média do município de São Paulo.	70

Figura 24 - Variação da T_{sup} de cada distrito da zona leste em relação à T_{sup} média do município de São Paulo.	71
Figura 25 - Índice de vegetação de diferença normalizada (1985)).	75
Figura 26 - Índice de vegetação de diferença normalizada (2021).	76
Figura 27 - Diferença entre NDVIs (185-2021)	78
Figura 28 - Diferença de NDVI (1985-2021) na região central de São Paulo.	80
Figura 29 - Diferença de NDVI (1985-2021) na zona leste de São Paulo.	82
Figura 30 - Índice de vegetação agregada por distrito de São Paulo.	83
Figura 31 - Regressão linear da relação entre vegetação e temperatura na cidade de São Paulo a partir dos dados de T_{sup} e NDVI.	84
Figura 32 - Mapa de vegetação agregada por distrito de São Paulo.	86
Figura 33 - Local Climate Zones de São Paulo (2002).	90
Figura 34 - Local Climate Zones de São Paulo (2017).	91
Figura 35 - Médias de temperatura por LCZ durante a primavera (2013-2022)	93
Figura 36 - Médias de temperatura por uso do solo durante a primavera (2013-2022)	95

Figura 37 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito da Vila Medeiros (São Paulo).	99
Figura 38 - Visão de satélite do distrito da Vila Medeiros (São Paulo).	99
Figura 39 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Aricanduva (São Paulo).	101
Figura 40 - Visão de satélite do distrito do Aricanduva (São Paulo).	102
Figura 41 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito da Ponte Rasa (São Paulo).	104
Figura 42 - Visão de satélite do distrito da Ponte Rasa (São Paulo).	104
Figura 43 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Sapopemba (São Paulo).	107
Figura 44 - Visão de satélite do distrito do Sapopemba (São Paulo).	107
Figura 45 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Limão (São Paulo).	110
Figura 46 - Visão de satélite do distrito do Limão (São Paulo).	111
Figura 47 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Brás (São Paulo).	111

Figura 48 - Visão de satélite do distrito do Brás (São Paulo).	
	112
Figura 49 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Anhanguera (São Paulo).	
	116
Figura 50 - Visão de satélite do distrito do Anhanguera (São Paulo).	117
Figura 51 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito de Perus (São Paulo).	118
Figura 52 - Visão de satélite do distrito de Perus (São Paulo).	
	119
Figura 53 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Jardins (São Paulo).	121
Figura 54 - Visão de satélite do distrito do Jardins (São Paulo).	122
Figura 55 - Densidade demográfica por setor censitário em São Paulo.	127
Figura 56 - Renda Per capita média por setor censitário em São Paulo.	129
Figura 57 - Proporção de Pretos, Pardos e Indígenas por setor censitário em São Paulo.	131
Figura 58 - Proporção de idosos por setor censitário em São Paulo.	134
Figura 59 - Proporção de domicílios com apenas 1 morador por setor censitário em São Paulo.	135

Figura 60 - Proporção de domicílios alugados por setor censitário em São Paulo.	138
Figura 61 - Favelas em áreas de temperaturas críticas em São Paulo.	140
Figura 62 - Áreas de temperaturas críticas em São Paulo.	
144	
Figura 63 - Densidade demográfica em áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	145
Figura 64 - Renda per capita em áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	146
Figura 65 - Distribuição de renda per capita entre áreas com as temperaturas mais críticas de São Paulo durante o verão.	148
Figura 66 - Percentual de idosos em áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	150
Figura 67 - Percentual de domicílios em condição de aluguel nas áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	152
Figura 68 - Percentual de domicílios com apenas 1 morador nas áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	153
Figura 69 - Favelas com temperatura de superfície acima da média durante o verão de São Paulo.	155
Figura 70 - Percentual de Pretos, Pardos e Índigenas nas áreas de temperaturas críticas de São Paulo.	157

Sumário

Introdução.....	13
Conceituando a vulnerabilidade ao calor.....	26
Entendendo o clima urbano e a escala de análise.....	31
Breve caracterização sobre o clima do município de São Paulo.....	36
Expansão da mancha urbana em São Paulo e quadro do meio ambiente urbano.....	45
Aquisição de dados de temperatura superficial, índice de vegetação, morfologia e mapeamentos temáticos.....	62
Condição de exposição ao calor na cidade de São Paulo: aspectos diferenciais entre os distritos paulistanos.....	77
Aprofundando o conhecimento da exposição ao calor na cidade: vegetação, morfologia urbana e uso do solo.....	93
Vulnerabilidade ao calor em São Paulo: entendendo os grupos mais expostos.....	152
Considerações finais.....	193
Bibliografia.....	197

1. Introdução

Durante os séculos XX e XXI foram recorrentes e intensificados os fenômenos de êxodo rural e formação de grandes cidades e/ou cidades globais ao redor do mundo; como resultado, o percentual da população mundial que vive em cidades cresce ano a ano. Atualmente, aproximadamente 55% da população mundial mora em centros urbanos com estimativa de que esse percentual chegue em 66% até 2050 (UN, 2018), entre o total, aproximadamente 11% da população mundial reside em cidades grandes ou megalópoles globais. O caso brasileiro representa uma parcela ainda maior da população em centros urbanos; segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios) PNAD contínua de 2015, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 83% dos brasileiros moram em áreas urbanas, com o número subindo para até 93% no caso da região sudeste. No Estado de São Paulo já são 96% de população urbana (IBGE, 2010)

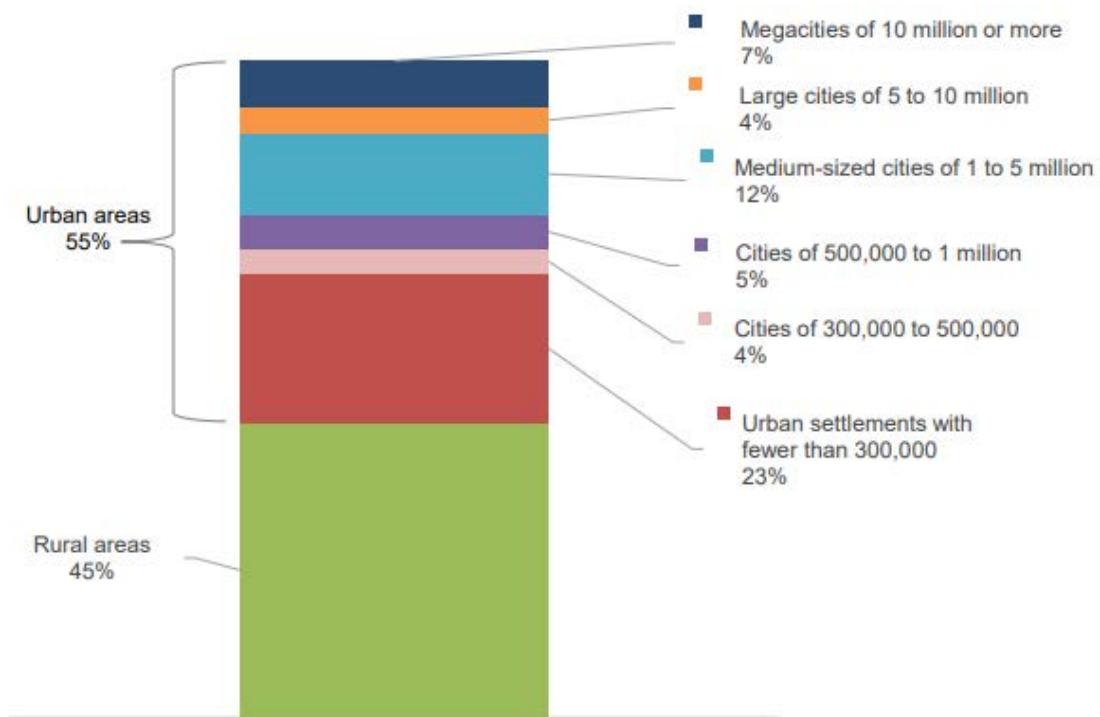


Figura 1 – População residente no mundo por tipo de assentamento. World Urbanization Prospects, United Nations. (2018).

A conformação das cidades e das grandes aglomerações urbanas está intrinsecamente relacionada ao incremento dos fenômenos de aquecimento global e crise climática. Em escala mundial, o aquecimento global aumenta as temperaturas médias do globo a cada ano e, segundo o relatório de 2021 do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) as temperaturas mundiais médias anuais aumentaram, aproximadamente, 0,99°C nas duas últimas décadas em relação aos anos de 1850-1900.^{1 2} um aumento

¹ The IPCC Glossary defines the pre-industrial period as “the multi-century period prior to the onset of large scale industrial activity around 1750. WGII Capítulo I pg 21

² Each of the last four decades has been successively warmer than any decade that preceded it since 1850. Global surface temperature in the first two decades of the 21st century (2001–2020) was 0.99 [0.84 to 1.10] °C higher than 1850–1900.⁹ Global surface temperature was 1.09 [0.95 to 1.20] °C higher in 2011–2020 than 1850–1900, with larger increases over land (1.59 [1.34 to 1.83] °C) than over the ocean (0.88 [0.68 to 1.01] °C). The estimated

descompasso e muito maior do que o observado ao longo da série histórica reconstruída pelos pesquisadores do IPCC.

(a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)

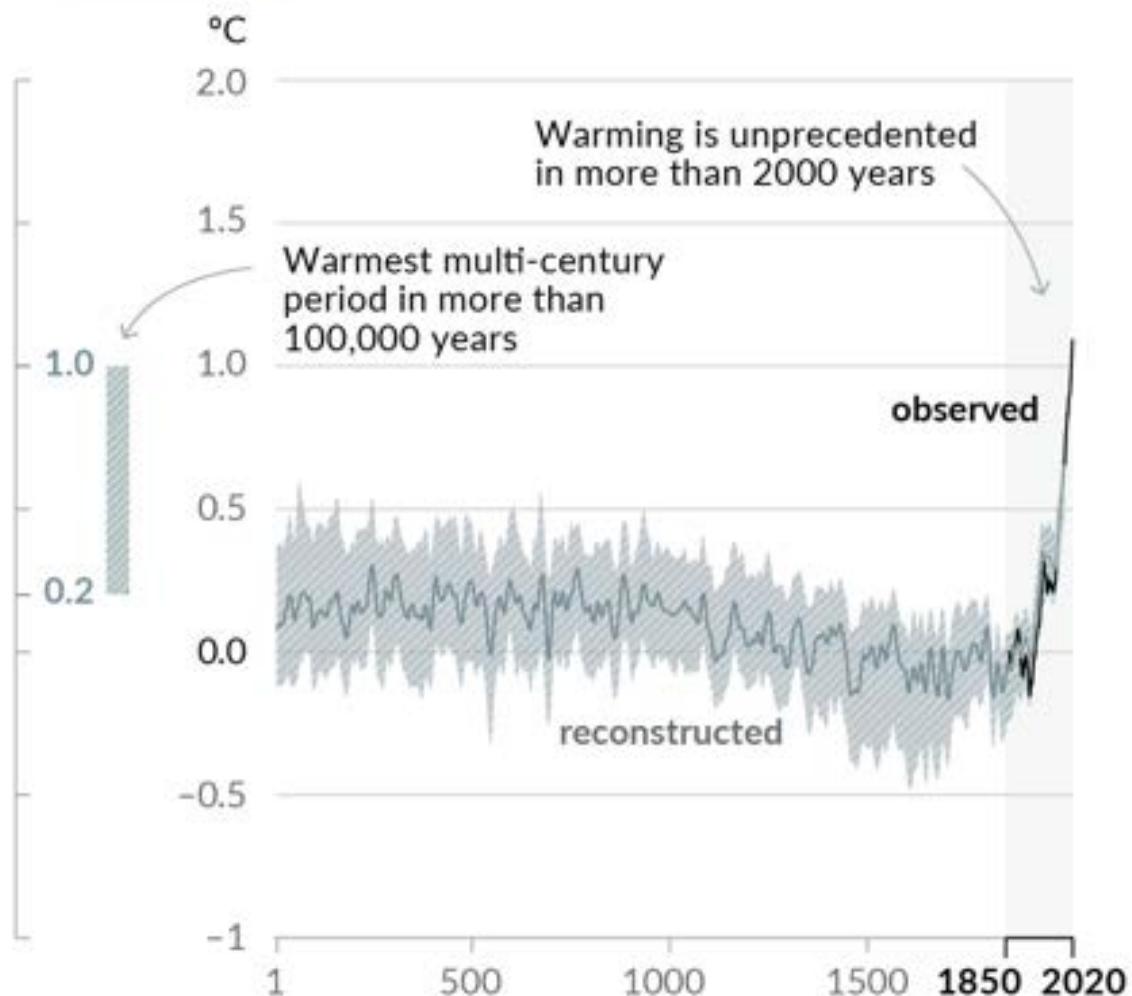


Figura 2 – Mudança da temperatura decenal observada entre os anos 1 e 2020. O gráfico sublinha o grande salto entre o período de 1850 e 2020. Fonte: IPCC 6 WG1

Nesse contexto de emergência climática, os grandes centros urbanos aparecem, paralelamente, como grandes causadores do aquecimento global - na medida que emitem

increase in global surface temperature since AR5 is principally due to further warming since 2003–2012 (+0.19 [0.16 to 0.22] °C). Additionally, methodological advances and new datasets contributed approximately 0.1°C to the updated estimate of warming in AR6.10

elevadas quantidades de gases do efeito estufa por meio de atividades antropogênicas - e grandes afetados pelo efeito cascata provocado pelo aquecimento do planeta.

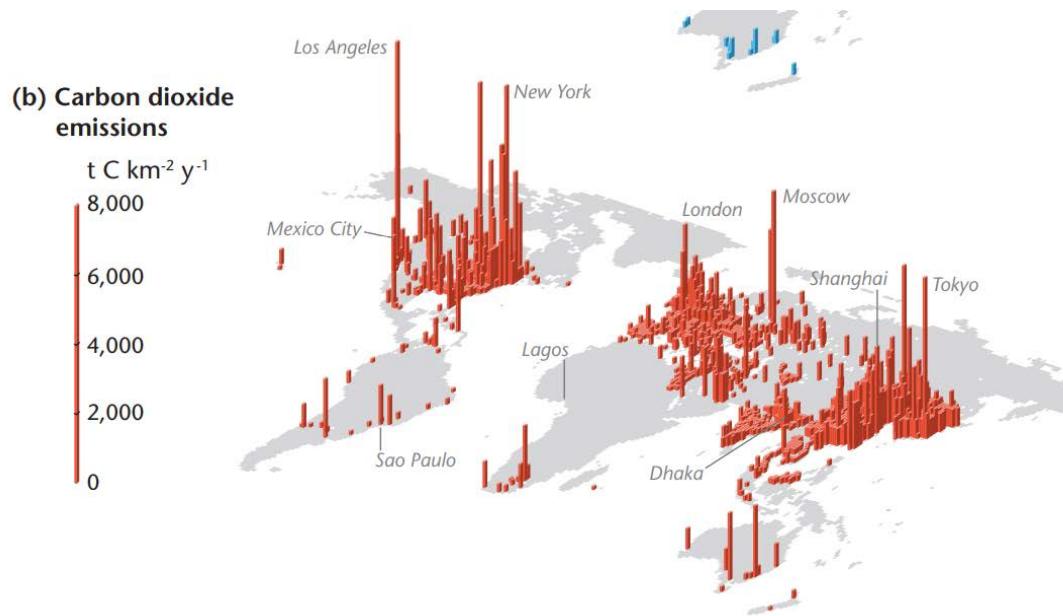


Figura 3 – Emissões de Gases de Efeito Estufa ao longo do globo. Fonte: IPCC (2021) WG1

A crise climática decorrente das emissões de CO₂ e outros gases nocivos à atmosfera afeta a permanência de ecossistemas locais, provoca o derretimento das geleiras e o consequente aumento do nível do mar. Além disso, diminui a periodicidade da recorrência de eventos extremos adversos - como secas, ondas de calor, alagamentos, furacões, ciclones, entre outros - e aumenta a insegurança hídrica e/ou alimentar de populações vulneráveis, bem como torna mais díspares desigualdades socioeconômicas.³

³ *The changes in the physical climate system, most notably more intensive extreme events, have adversely affected natural and human systems around the world, contributing to a loss and degradation of ecosystems including tropical coral reefs; reduced water and food security; increased damage to infrastructure; additional mortality and morbidity; human migration and displacement; damaged livelihoods; increased mental health issues; and increased inequality. IPCC (2022.1, pg. 6)*

(b) Observed impacts of climate change on human systems

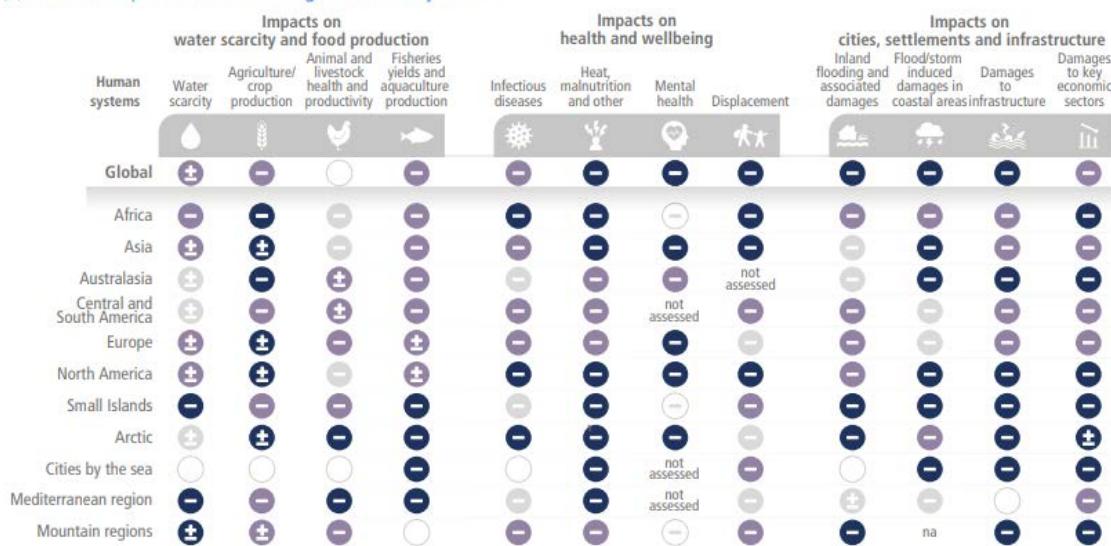


Figura 4 – Impactos da emergência climática observados em sistemas antropogênicos. Fonte: IPCC (2022) WG2.

Entre os impactos no ecossistema humano exacerbados pela crise climática, o aquecimento está entre os mais perceptíveis, especialmente em grandes cidades. Esse, embora não seja convencionalmente entendido como um evento climático extremo - como um furacão ou uma tempestade -, não representa menor perigo à saúde humana. Estima-se que, entre 2010 e 2019, aproximadamente 500.000 pessoas morreram por estresse térmico relacionado às altas temperaturas (Zhao et. al., 2021, pg. 4). Esse número é uma estimativa conservadora do potencial prejudicial do calor à saúde humana quando são considerados eventos extremos adversos, tais como as ondas de calor que assolararam a Europa durante o início do século XX, as quais mataram milhares de pessoas e contabilizaram, aproximadamente, 89% das causas de morte relacionadas a eventos climáticos no continente entre 1970 e 2012 (WMO, 2021). Além desses, Araújo (2017) pondera que uma série de

complicações de saúde respiratórias e circulatórias são acentuadas pelo calor e, no entanto, não são contabilizadas.

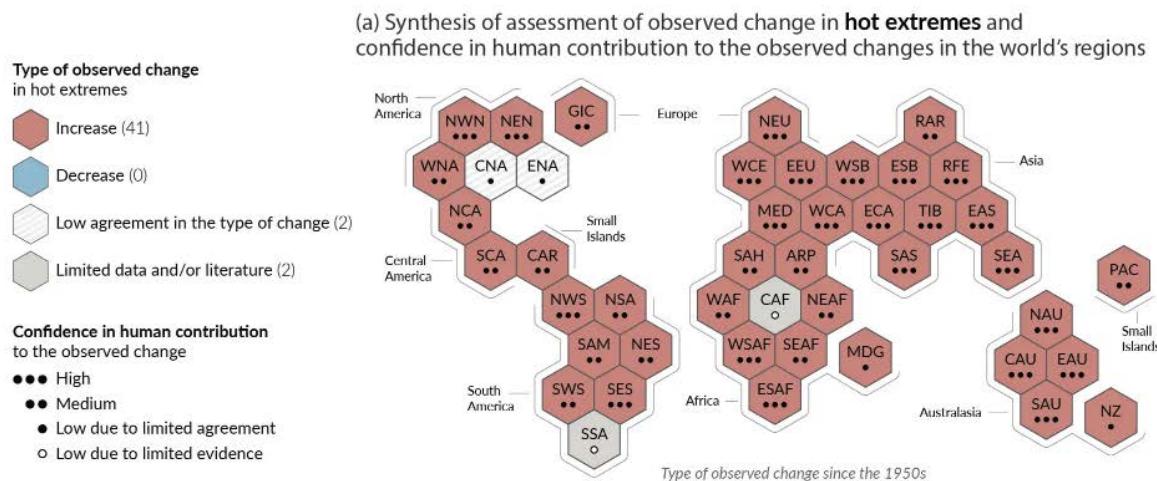


Figura 5 – Locais do globo onde foi observado aumento de eventos relacionados aos extremos de calor. Fonte: IPCC(2021)

O estado e o município de São Paulo não são exceções ao aumento generalizado das temperaturas globais. Para o município de São Paulo, a análise das temperaturas do ar captadas pela estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG USP) mostra que a série histórica representou aumento de, aproximadamente 2.3°C nas temperaturas médias anuais entre o período de 1933 e 2017 (USP, 2017).

Figura 34: Temperaturas médias anuais no Município de São Paulo – Estação Meteorológica do IAG - 1933 e 2019.

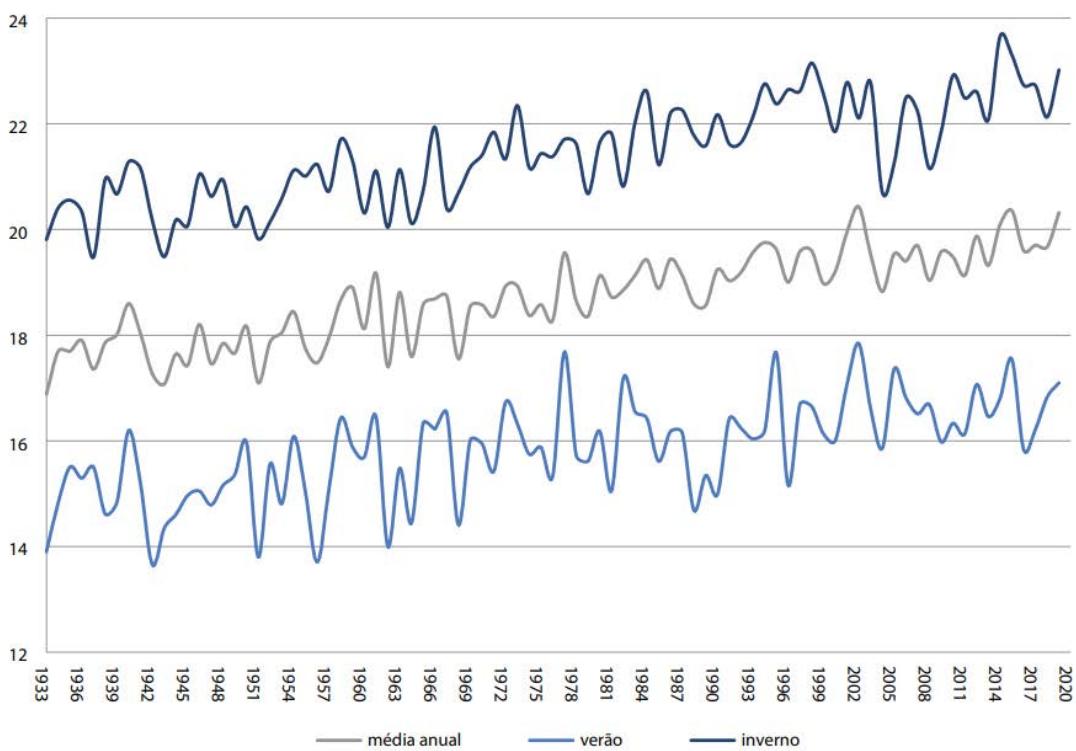
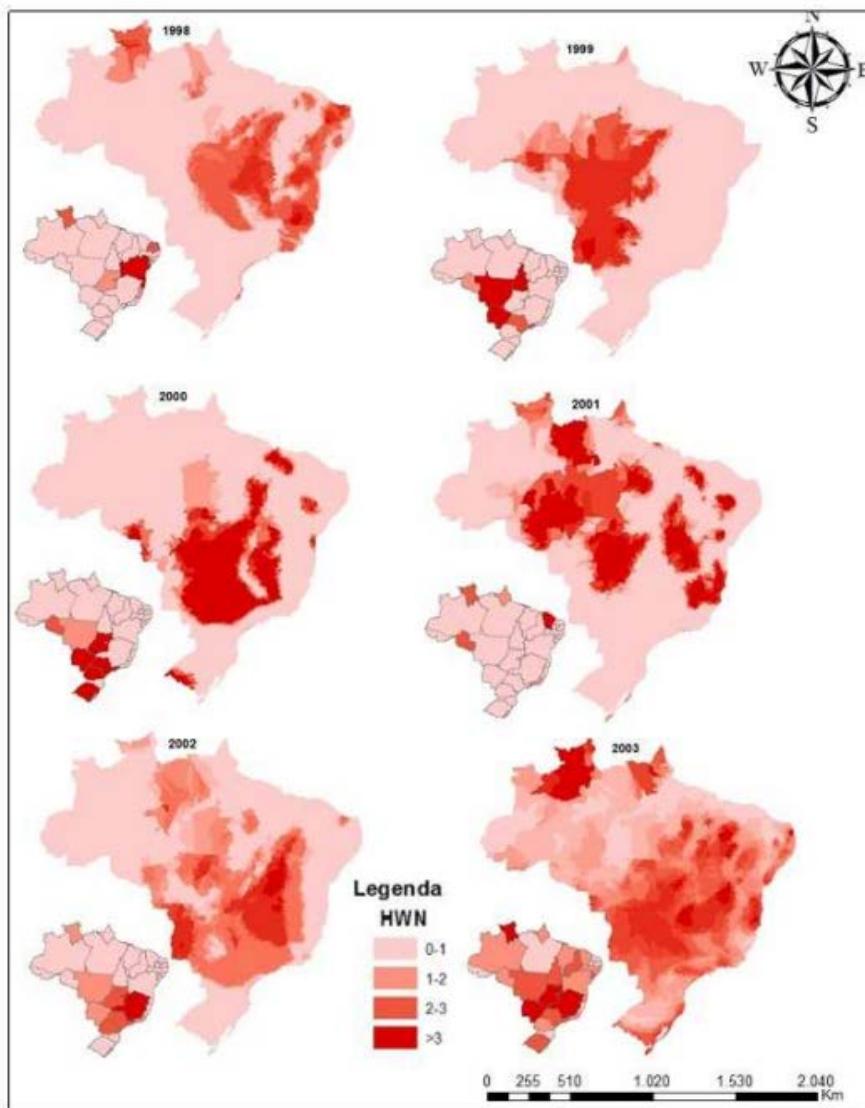


Figura 6 – Temperaturas médias anuais registradas em São Paulo entre 1933–2017. Fonte: PlanClima (2017)

Com a acentuação do quadro de emergência climática, o acréscimo da temperatura vem sendo acompanhado pelo aumento em quantidade e intensidade de eventos climáticos adversos, entre eles as ondas de calor e as ilhas de calor. Falando sobre as ondas de calor, Araújo (2017) aponta a existência de uma série de metodologias para a compreensão do evento, sendo a estatisticamente mais determinada aquela que considera uma onda de calor como um período mínimo de três dias nos quais a temperatura média fica acima das 95% das mais altas obtidas para a série histórica daquele período; no município de São Paulo tais períodos de calor intenso saltaram de aproximadamente 15 dias, durante as décadas de 1960 e 1970, para 40 dias em 2010 e 50 dias em 2014 (PLANCLIMA SP, p. 74).



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2016.

Nota: O HWN é o número médio de ondas de calor registradas em um município. Os resultados ilustrados no mapa municipal foram dimensionados em médias estaduais, conforme o mapa auxiliar na parte superior a direita. Vale ressaltar que os dois mapas seguem a mesma legenda.

Figura 7 – Número médio de ondas de calor identificadas no Brasil entre 1998 e 2003 Fonte: Araújo, 2017; pg. 41

As observações cada vez mais recorrentes no município não foram eventos isolados no país; as ondas de calor aumentaram em quantidade, duração, amplitude e intensidade em todo território nacional. No Brasil, o aumento das ondas de calor é um fator de risco para a população e incide inclusive sobre as taxas de mortalidade (Araujo, 2017; Deschenêts e Moretti, 2009; Hajat et. al., 2002; Kunst et. al, 1994; Guest et. al; 1999); o calor em excesso

pode causar problemas cardiovasculares, de fadiga e até a morte. Além dos problemas causados na saúde da população, o excesso de calor gerado por ondas de calor ainda pode causar danos às infraestruturas, como de transporte e eletricidade, além de queimadas florestais em tempos de seca (ARAÚJO, 2017. p. 55)

Ainda que o aumento da temperatura atinja todo o globo, as cidades são as principais atingidas pelo fenômeno, especialmente as cidades grandes e mega metrópoles; a grande quantidade de área construída com materiais que acumulam o calor, bem como a forma dos edifícios e a falta de área verde em relação ao entorno, criam o efeito de aquecimento denominado por Oke (2017) como ilha de calor, o qual se manifesta pela diferença de temperatura entre uma cidade e seu entorno ou mesmo em diferentes áreas de uma mesma cidade. A denominação “ilha de calor” surge a partir da semelhança entre o padrão espacial da distribuição da temperatura na altura do dossel e a conformação das alturas em uma ilha, onde tipicamente se vê um pico menor, envolto por um entorno mais disperso mas menos alto. Nesse sentido, Oke et. al. (2015) apontam que os picos dessas ilhas acontecem principalmente em grandes centros produtivos da cidade, que podem ou não se confundir com os centros geográficos destas, onde são encontradas grandes densidades construtivas e altos gabaritos dos edifícios, além de grande intensidade fluxo humano; paralelamente, regiões com menor intervenção urbana, menor área construída e grande quantidade de remanescentes naturais tendem a aprisionar menos calor, ainda que dentro dessas ilhas de calor. (Oke et. al., 2015; p. 199). É importante situar que as ilhas de calor mantém o padrão de dispersão teorizado por Oke principalmente

durante o período noturno, quando o calor aprisionado pelas estruturas é dispersado para a atmosfera. Deve-se ponderar, ainda, que esse padrão de dispersão foi conceituado a partir da observação de cidades européias e o caso brasileiro pode ser consideravelmente distinto.

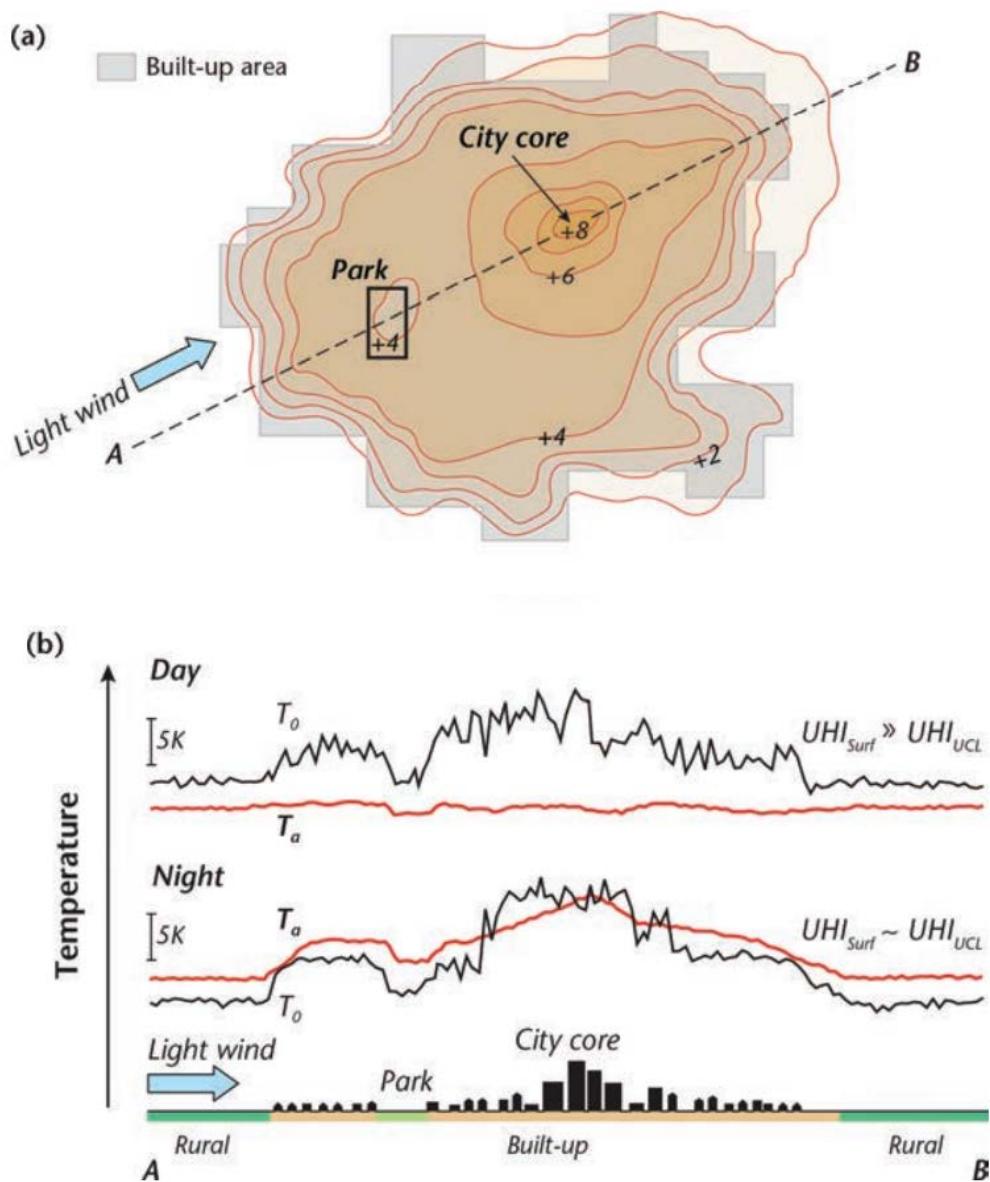


Figura 8 – Esquemas teóricos em planta e corte representando o espraiamento de ilhas de calor. É possível verificar a área de maior intensidade do efeito se confundindo com a região mais construída das cidades. Fonte: Oke (2015, p. 200)

Este trabalho estuda a relação entre temperatura e vulnerabilidade ao calor a partir do nó dos eventos de aquecimento que ocorrem em escala global e se intensificam nas cidades. Não é do interesse da pesquisa o aprofundamento sobre a decorrência de eventos de aquecimento específicos, mas sim o entendimento das intersecções entre o aumento de temperatura (ocasionado pelo conjunto desses eventos) e a condição histórica de segregação observada na cidade que pode se traduzir em vulnerabilidade às mudanças climáticas. A ideia inicial é a de que não necessariamente as áreas mais suscetíveis ao calor sejam as historicamente mais vulneráveis, mas que regiões com as maiores populações em condição de alta sensibilidade ao calor e com pouca possibilidade de adaptação, ainda assim, pode existir uma correlação forte entre essas, uma vez que várias das variáveis de vulnerabilidade socioeconômica se traduzir, também, como pontos de vulnerabilidade ao calor. Com o avanço da emergência climática é cada vez mais urgente que novos planos urbanos sejam elaborados e colocados em prática, nesse sentido, o entendimento dos casos mais críticos pode indicar áreas de ação prioritárias em trabalhos futuros; um primeiro passo em direção ao conhecimento dos casos mais críticos é a compreensão das características que tornam um grupo mais suscetível ao calor na cidade.

Essa pesquisa é trabalhada de modo a produzir uma investigação sobre o fenômeno do aquecimento urbano, a vulnerabilidade às altas temperaturas e suas especificidades na cidade de São Paulo. Desse modo, os primeiros dois capítulos - “*Conceituando a vulnerabilidade ao calor*” e “*Entendendo o clima urbano e a escala de análise*” - fazem uma apresentação conceitual sobre os dois temas principais que

se relacionam ao entendimento sobre as desigualdades no enfrentamento às altas temperaturas e à composição e heterogeneidade dessas no ambiente urbano. No terceiro e no quarto capítulo - “*Breve caracterização sobre o clima do município de São Paulo*” e “*Expansão da mancha urbana e quadro do meio ambiente urbano*” - faz-se uma aproximação ao caso da cidade de São Paulo a partir de dois aspectos importantes: primeiro, caracteriza-se o seu clima “natural”, isso é, busca-se apresentar as condições esperadas de temperada e pluviosidade da cidade a partir da averiguação de estudos anteriores, depois, seu desenvolvimento urbano da ao longo do século XX é colocado em evidência, partindo da ideia de que esse está profundamente relacionado a um quadro de desigualdade socioeconômica que afeta diretamente as condições de vulnerabilidade ao calor. O capítulo, “*Aquisição dos dados de temperatura superficial, índice de vegetação, morfologia e mapeamentos temáticos*”, é uma explicação técnica sobre vários dos métodos de trabalho que são recorrentes ao longo dessa pesquisa, como a extração das temperaturas superficiais e NDVI a partir de imagens de satélite, a definição das Local Climate Zones e a inspeção por mapas temáticos. Os primeiros resultados dessa pesquisa são apresentados no capítulo “*Condição de exposição ao calor na cidade de São Paulo: aspectos diferenciais entre os distritos paulistanos*”, onde se inspeciona o comportamento dos dados agregados de temperatura superficial e suas relações primárias com cada distrito; a continuidade dessa investigação acontece no capítulo “*Aprofundando o conhecimento da exposição ao calor na cidade: vegetação, morfologia urbana e uso do solo*”, onde esses aspectos espaciais da constituição da cidade são trabalhados ao lado das temperaturas de superfície para o entendimento de

possíveis relações. O último capítulo, “*Vulnerabilidade ao calor em São Paulo: entendendo os grupos mais expostos*” faz, primeiro, uma análise da distribuição espacial dos grupos mais sensíveis e com menor capacidade de enfrentamento ao calor na cidade de São Paulo para, posteriormente, analisar a sobreposição entre os três aspectos - exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa - rumo ao entendimento do quadro de vulnerabilidade às altas temperaturas na cidade.

2. Conceituando a vulnerabilidade ao calor

A vulnerabilidade ao calor certamente mantém relações com problemáticas socioambientais e econômicas, mas possui especificidades estudadas à exaustão e que resultaram em diversas abordagens de mensuração dos indicadores de vulnerabilidade ambiental⁴.

Em geral, a vulnerabilidade ambiental e, particularmente, ao calor, é estudada a partir da constituição de três índices principais, sendo i) o grau de exposição ao risco, ii) a sensibilidade aos efeitos adversos ocasionados pela modificação do clima ou condição do ambiente e iii) a capacidade de adaptação às intempéries e situações adversas (Moser, 1998; Alves e Torres, 2006). É importante apontar que essa definição não é uma unanimidade entre os pesquisadores; Cutter (1996), por exemplo, aponta 18 abordagens específicas sobre a vulnerabilidade aos eventos ambientais levantadas durante as décadas de 1980 e 1990. A definição mais tradicional de vulnerabilidade cabe muito bem para esse trabalho, entendendo I) o grau de exposição ao risco como o contato direto com o calor, nesse caso entendido pela temperatura superficial externa aos edifícios ii) a sensibilidade como o grau de risco à saúde ao qual a exposição ao calor implica a uma pessoa ou grupo e iii) a

⁴ Vescovi et. al (2015), Reid et. al. (2009), Rinner et. al (2010), Hondula et. al (2012), Chow et. al (2012), Tomlinson et. al. (2012), Loughnan et. al (2012), Jonhson et. al (2012), Wolf et. al (2013), Aubrecht et. al. (2013), Harlan et. al (2013), Marlan et. al (2013), Dong et. al (2014), Zhu et. al (2014) e El-Zein et. al (2015) são exemplos citados no levantamento de BAO (2015, p.g 7223). É importante situar que a grande maioria dos índices foram criados a partir da observação de cidades estadunidenses, com alguns índices feitos a partir de cidades chinesas e poucos sobre outras cidades asiáticas.

capacidade adaptativa como o grau de possibilidade de enfrentamento ao calor que dispõe uma pessoa ou grupo.



Figura 9 - Principais métricas utilizadas na criação de índices de vulnerabilidade ao calor. Fonte: Bao et. al (2018). Elaboração própria

Entre os trabalhos que propõem índices de vulnerabilidade ao calor, diversos estudos (ver nota 4) consideram distintas métricas para o entendimento de áreas com maiores valores de vulnerabilidade. Embora o objetivo deste trabalho não seja o de criar um índice de vulnerabilidade propriamente dito - isto é, o de produzir um mapa com o apontamento numérico das áreas mais ou menos vulneráveis ao calor - a consideração das métricas mais utilizadas pelos autores é certamente importante para

o mapeamento da distribuição da vulnerabilidade ao calor em São Paulo. A figura 9 aponta as métricas mais utilizadas na criação de índices: A temperatura do ar ou da superfície (T_{ar} ou T_{sup} , lembrando que são métricas distintas) aparece em quase todos os índices criados, o que é plausível, visto que é a principal métrica de exposição no entendimento da vulnerabilidade ao calor. Ainda assim, a única variável considerada em todos os índices de vulnerabilidade ao calor é a idade; nesse sentido, o índice é explorado para o conhecimento de dois casos críticos, o de crianças e idosos, os quais são grupos que, por condições fisiológicas (Basu 2009; Medina-Ramón et al. 2006; Stafoggia et al. 2006), têm maior dificuldade na estabilização do calor corporal e são mais sensíveis às mudanças de temperatura. De maneira semelhante, a categoria isolamento - aqui entendida como domicílios unipessoais (IBGE, 2010), ou seja, o fato de que a pessoa mora sozinha - também aparece em muitos estudos de vulnerabilidade, porque é entendido que a situação de risco ao calor é consideravelmente agravada pela impossibilidade de pedir ajuda em um momento crítico, por exemplo. As variáveis de renda, etnia e educação aparecem em diversos estudos, pois são algumas das mais intensamente relacionadas com a capacidade adaptativa de indivíduos ou grupos: a renda interfere diretamente na possibilidade de mudança e enfrentamento ao calor, na medida em que várias ações possíveis exigem um investimento em dinheiro (principalmente ações individuais e de rápida resposta, como a compra de um ventilador, um ar condicionado ou mesmo a manutenção dos sistemas construtivos de uma residência). A etnia e a educação estão ligadas, primeiramente, à capacidade de renda mas também às possibilidades de conhecimento

sobre adaptação e formas de acesso às melhorias, visto que populações pobres e minorias étnicas são historicamente marginalizadas nas cidades desses estudos, em um quadro muito semelhante ao cenário brasileiro nesse aspecto.

Algumas das variáveis mais estudadas no entendimento da vulnerabilidade acabam sendo desdobramentos de outras e, por isso, aparecem menos. A existência de um sistema de resfriamento (ventilação ou refrigeração) na residência, por exemplo, pode estar relacionada a boas condições de renda e educação; um indivíduo mais jovem não necessariamente é mais saudável, mas o incremento na idade certamente mantém uma correlação com a fragilidade do corpo humano, assim como o aumento da ocorrência de doenças, que aumentam o risco ao calor, como o diabetes. Outras variáveis que aparecem menos na criação de índices - como a qualidade da construção, a propriedade da moradia e o uso do solo - têm relação indireta com algumas das anteriormente citadas e fazem parte de trabalhos mais específicos. Chama a atenção o caso da variável vegetação, visto que embora a temática da relação entre temperatura e área verde seja amplamente estudada, ela não se destaca na criação de índices de vulnerabilidade; neste caso, entende-se que as poucas menções diretas ao papel da vegetação se dão porque essa leitura já é feita - de maneira indireta - com valores de temperatura do ar ou de superfície, visto que usualmente os dois fatores mantêm correlação alta e negativa.

A vulnerabilidade ao calor é uma segmentação da condição de vulnerabilidade socioeconômica de um grupo ou indivíduo e os estudos de caracterização da mesma deixam essa questão evidente, na medida em que a temperatura em si aparece apenas como um dos fatores de

monitoramento desse risco. Nesse sentido, o mapeamento temático e espacializado da temperatura do ar ou de superfície se faz imprescindível porque dá clareza a um tema amplamente estudado - o da temperatura - a partir de aspectos que complexificam as condições de enfrentamento ao calor para além do “muito” ou “pouco” quente.

3. Entendendo o clima urbano e a escala de análise

O clima é uma manifestação física de centenas de variáveis naturais e antrópicas. Em uma análise climática cujo o objetivo principal seja prever alguma característica sobre a condição humana, por exemplo, deve se considerar a inexatidão intrínseca relacionada às diferenças na sensação de variáveis como o calor, as quais são naturais do nosso corpo, que realiza pequenas alterações a todo momento para se adaptar à temperatura ambiente (OKE et. al, 2017. p. 386). Sendo assim, os estudos climáticos são realizados, principalmente, por meio do registro das variáveis (muitas vezes *in loco* com a utilização de instrumentos específicos, outras através do rastreamento e/ou sensoriamento à distância, possibilitado pelo avanço da tecnologia) ou do uso de modelos preditivos⁵, em ambos os casos, a análise deve considerar aspectos espaciais e temporais sobre a variável estudada, a fim de contextualizar a pesquisa.

Nas análises espaciais, a escala cumpre um papel crucial na análise climática. Resultados de previsão ou projeção de temperatura para um país, por exemplo, têm uma escala muito mais abrangente e menos detalhada do que os obtidos em uma escala mais local ou regional; em uma simulação climática, a existência de uma árvore com copa

⁵ O IPCC é um bom exemplo da utilização dos modelos: o último relatório lançado trabalhou com dezenas de modelos para projeção do clima global, selecionando os mais apurados entre esses para antecipação dos cenários climáticos futuros.-

densa criaria uma área sombreada com temperatura consideravelmente mais amena do que o asfalto ensolarado da rua, mas essas modificações não seriam perceptíveis em um mapa da temperatura no território nacional, nem ao menos municipal, onde a árvore ou a rua provavelmente não apareceriam. Do mesmo modo, os dados empregados nas duas análises seriam obtidos por ferramentas e técnicas diferentes (como, por exemplo, o acoplamento de modelos meteorológicos de escalas diferentes), ou levaria um tempo consideravelmente grande até realizar a medição *in loco* em âmbito nacional (e essa medição poderia nem ser válida no próximo dia). Esse trabalho é desenvolvido inteiramente a partir da análise de dados sobre clima urbano, o que já cria um primeiro recorte espacial, no entanto, o clima urbano ainda é multiescalar e a escolha da escala de análise interfere diretamente na leitura e resultado.

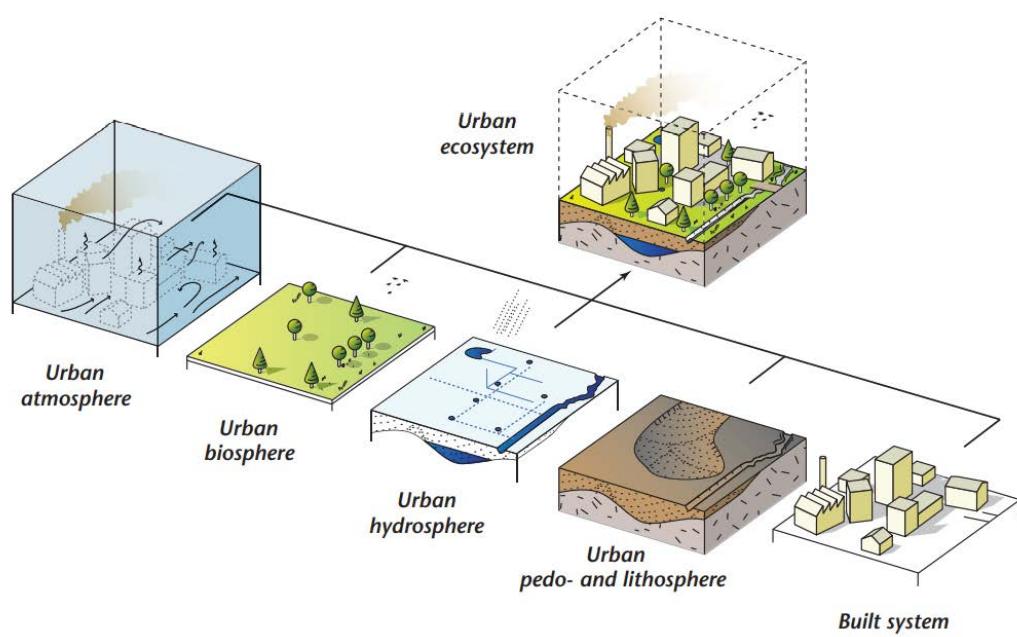


Figura 10 – Componentes do ecossistema urbano. Fonte: Oke et al. (2017)

Oke et al. (2017) fazem uma distinção interessante sobre o que chamam de “ecossistema urbano”, sendo esse um sistema ecológico constituído por seres bióticos (como seres

humanos, animais e vegetais) e abióticos (dos quais faz parte toda construção humana que é parte da cidade); nesse sentido, os autores entendem que a cidade é uma sobreposição de várias camadas, entre as predominantemente naturais e as do ambiente modificado pela ação humana (como apresentado na figura 10).

Considerando a dinâmica atmosférica urbana como toda massa de ar acima da cidade, deve ser intuitivo atentar ao fato de que as camadas de ar atmosférico mais próxima da área urbanizada são, também, as mais importante para esta pesquisa. A parte mais baixa da atmosfera, a *Urban Boundary Layer* (UBL) é consideravelmente afetada pela natureza e pela ação antrópica. Essa camada estende-se desde o terreno onde a cidade se situa até uma altura de cerca de 10 vezes a altura média dos edifícios (Erell et al., 2011).

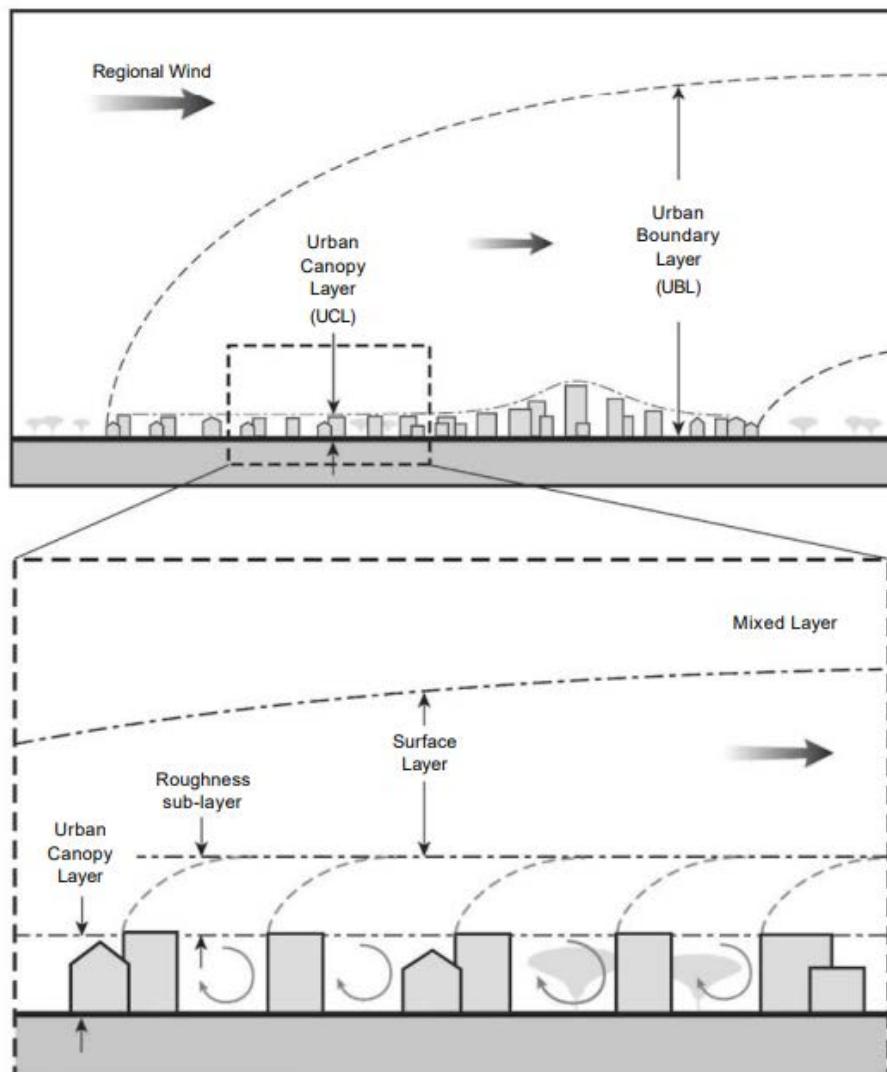


Figura 11 -Corte representativo da atmosfera urbana apresentando a UBL, com detalhe para a UCL. Fonte: Erell et al. (2011)

A Camada Limite Atmosférica é uma camada muito extensa e pode ser dividida em subcamadas, entre a camada de mistura (situada na parte superior da CLA e que é relativamente menos alterada pelas ações humanas), a camada de superfície - situada cerca de 5 vezes acima da altura média dos edifícios (Erell et al, 2011), é influenciada pela malha urbana mas sofre pouca influência de alterações morfológicas pouco expressivas na área urbanizada - e a Camada ao Nível das Coberturas (*Urban Canopy Layer*, UCL),

a camada mais baixa da atmosfera, cujo a área se limita entre o nível do solo e a altura dos edifícios e demais objetos urbanos. A UCL é mais afetada pela presença dos elementos singulares da cidade, como edifícios e árvores, e mais interessante para o entendimento da diferenciação de temperatura provocada por esses mesmos elementos. O caráter homogêneo das camadas acima da UCL torna-as menos interessantes para estudos microclimáticos em arquitetura e urbanismo, uma vez que a condição da atmosfera nessas regiões certamente mantém relações com o clima urbano, mas a sutileza da ligação entre as ações antrópicas na cidade e as modificações em grandes alturas atmosféricas exige análises que fogem do escopo desta pesquisa.

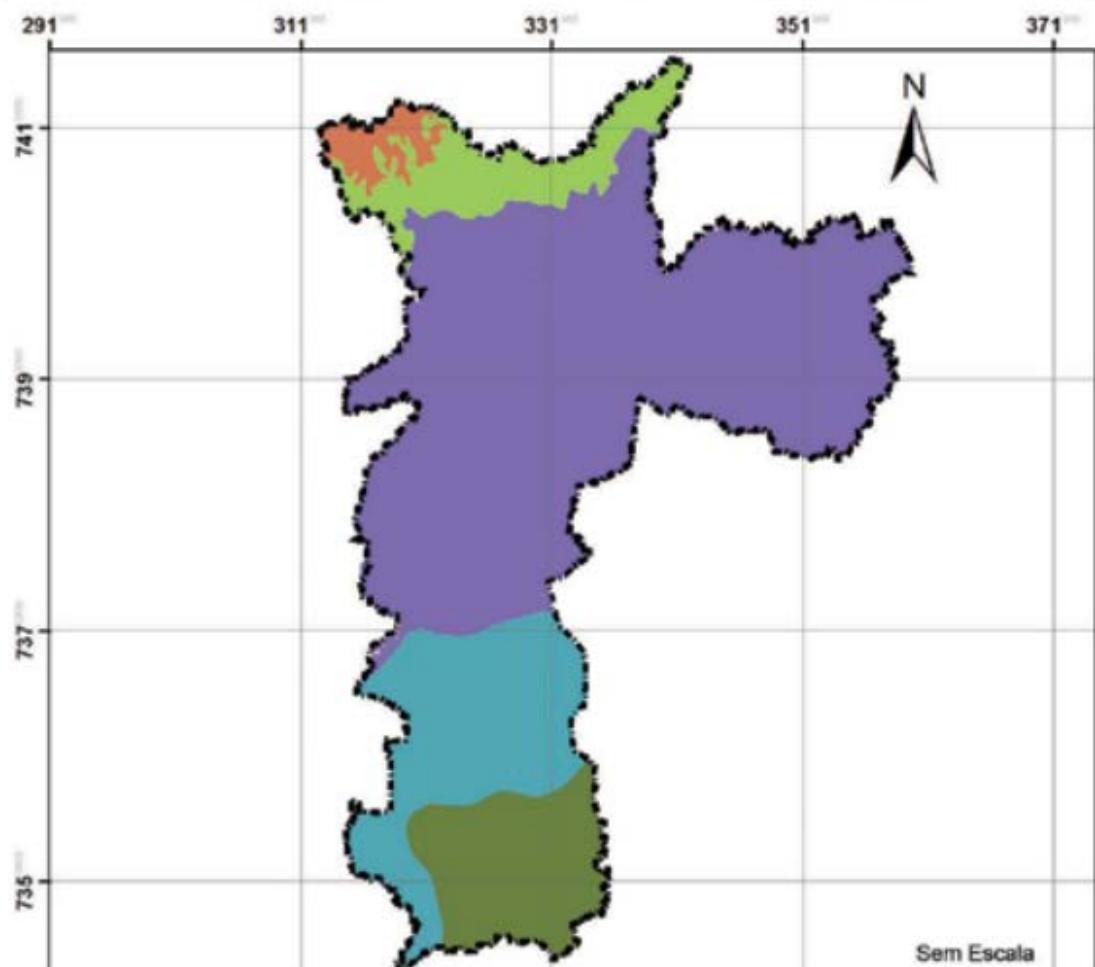
4. Breve caracterização sobre o clima do município de São Paulo

A cidade de São Paulo é a capital do estado de mesmo nome e se situa na região sudeste brasileira, aproximadamente na latitude 23° e longitude 46°, próximo ao Trópico de Capricórnio. Segundo o IAG/USP, a classificação de KOPPEN enquadra a cidade sobre o clima subtropical úmido, caracterizado principalmente pelas temperaturas relativamente mais baixas em relação às dos climas tropicais, além das estações chuvosas bem definidas no verão e períodos de seca e estiagem no inverno, com amplitudes térmicas diárias maiores do que as amplitudes térmicas médias anuais⁶. Segundo Tarifa e Armani (2001) a cidade está localizada em um contexto denominado de Planalto Atlântico (Pela proximidade da cidade com o oceano de mesmo nome, situado a uma distância de aproximadamente 45km) onde identificam "*feições como planícies aluviais (várzeas), colinas, morros, serras e maciços com as mais variadas orientações*" (SÃO PAULO, 2002. pág 108). As características relacionadas à proximidade com o oceano atlântico, a altitude e o relevo foram as principais considerações para a classificação de cinco unidades climáticas na cidade de São Paulo, sendo: i) Clima Tropical de Altitude do Planalto Paulista, ii) Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira - Jaraguá, iii) Clima Tropical Úmido de Altitude do Alto Juqueri, iv) Clima Tropical Sub-Oceânico Super Úmido do Reverso do Planalto

⁶ IAG/USP. *Informações sobre estações do ano na cidade de São Paulo.* Disponível em [Estações do ano - Estação Meteorológica do IAG/USP - Seção Técnica de Serviços Meteorológicos - IAG/USP](http://estacoesdoano.iagusp.br/). Acesso em setembro/2022

Atlântico e v) Clima Tropical Oceânico Super Úmido de Fachada Oriental do Planalto Atlântico (Serra do Mar).

Unidades Climáticas Naturais do Município de São Paulo



Unidades Climáticas Locais

- I - Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano
- II - Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira - Jaraguá
- III - Clima Tropical Úmido de Altitude do Alto Juqueri
- IV - Clima Tropical Sub-Oceânico Super-Úmido do Reverso do Planalto Atlântico
- V - Clima Tropical Oceânico Super-Úmido da Fachada Oriental do Planalto Atlântico (Serra do Mar)



Limites do Município de São Paulo

Fonte: TARIFA e AZEVEDO (2001) apud PMMA (2017) (adaptado)

Figura 12 -Unidades climáticas naturais locais da cidade de São Paulo.
Fonte: SÃO PAULO, 2002.

Essas unidades climáticas naturais mantêm grande relação com os remanescentes naturais de área verde da cidade, visto que estes influenciam diretamente no clima regional. As unidades ii) e iii) estão situadas junto à Serra da Cantareira e os remanescentes florestais densos da área e os climas locais iv) e v) situam-se em regiões vizinhas das áreas mananciais e da Serra do Mar; essas configurações influenciam na umidade do ar, bem como na amenização da temperatura, e são distintamente diferentes do clima (i), encontrado na maior parte da cidade. Nesse caso, ainda que a distância espacial e a diferenciação do relevo não configurem, sozinhos, uma diferenciação explícita em relação aos outros microclimas, *os “fenômenos climáticos devem ser redimensionados pelas práticas sociais e espaciais existentes em cada unidade climática, pois elas são representações da realidade urbana”* (TARIFA e ARMANI, 2011. p. 8), isto é, as ações antrópicas têm manifestações importantes no espaço, que acabam por influenciar enormemente a classificação climática da área urbanizada. O desmatamento e o soterramento de rios e riachos, por exemplo, são ações que provocam grande diferenciação na qualidade do ar, amenização da temperatura e regime pluviométrico no clima (i); não por acaso que nesse subclima se encontra a maior parte da população da cidade.

As observações dos regimes de chuva e temperatura realizadas pela estação climatológica do IAG/USP no Parque Cientec, na Água Funda, confirmam a classificação climática da cidade sobre o clima subtropical úmido, na medida em que mostram temperaturas do ar médias consideravelmente menores nos meses do inverno (junho, julho e agosto) em relação aos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), enquanto apontam regimes de chuva

muito intensas no verão (especialmente nos meses de janeiro e fevereiro) em contraposição aos níveis pluviométricos médios muito abaixo da média para os meses de julho e agosto.

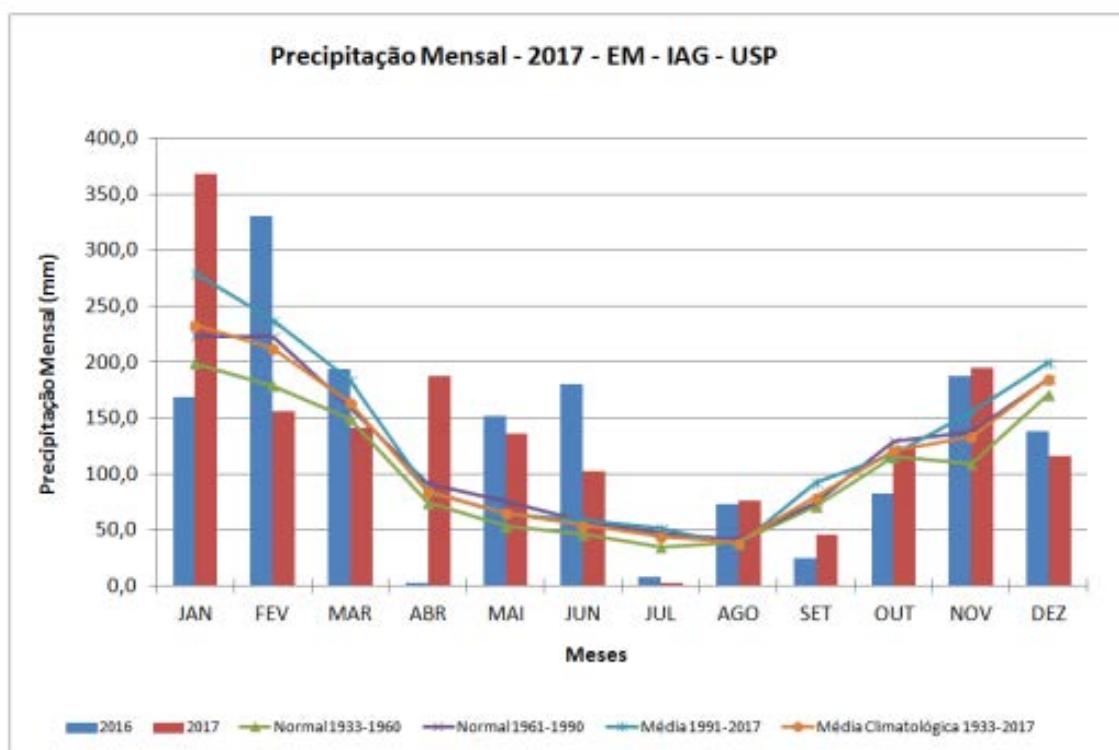
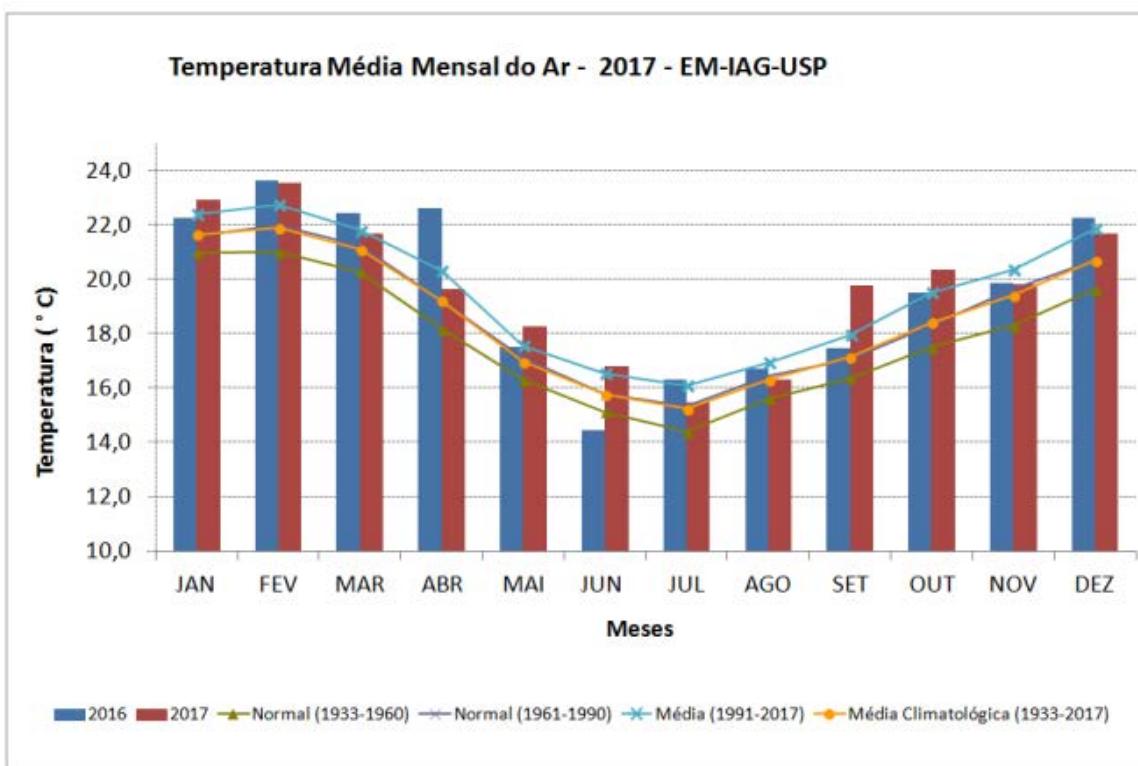


Figura 13 – Temperatura do ar e nível de precipitação mensal para o ano de 2017, com indicativos sobre as médias históricas para cada mês na cidade de São Paulo. Fonte: IAG/USP, 2017.

É importante destacar que São Paulo é uma cidade largamente afetada pela emergência climática, comentada na introdução deste trabalho, os dados do boletim climatológico do IAG/USP apontam aumento na temperatura e dos níveis pluviométricos durante a série histórica registrada pela estação:

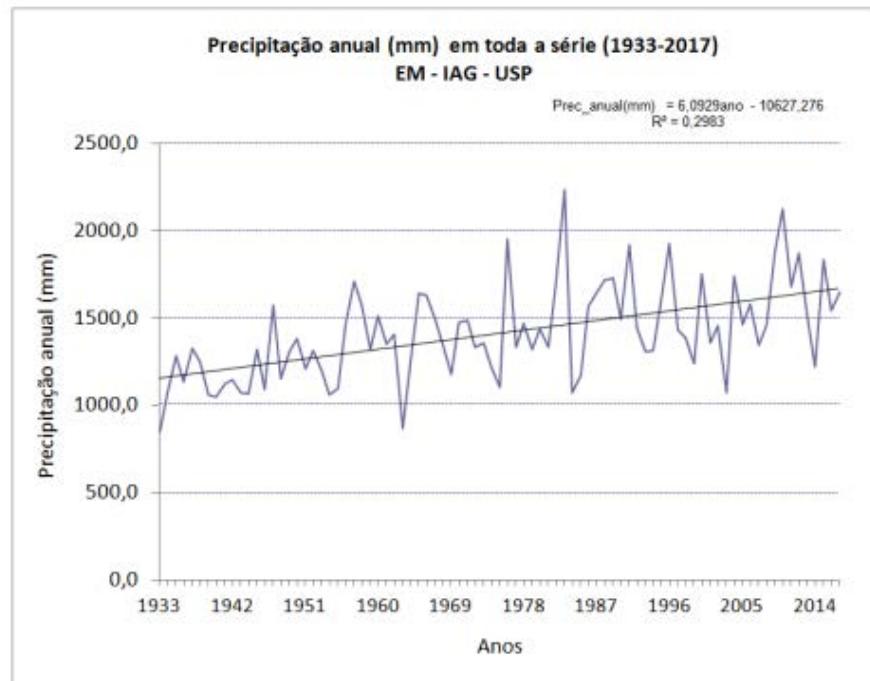
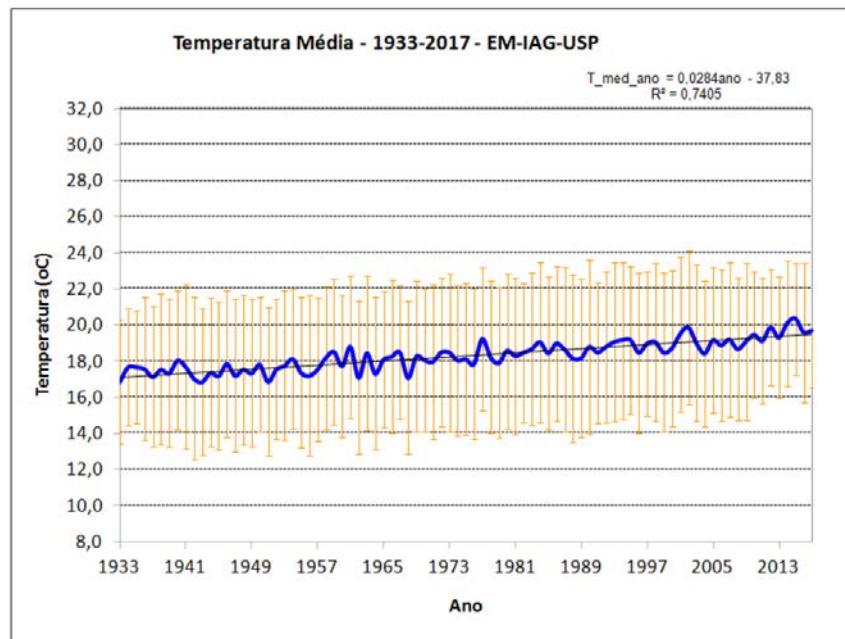


Figura 14 – Gráficos de temperatura média e precipitação anual entre 1933–2017 na cidade de São Paulo. Fonte: IAG/USP, 2017.

A temperatura do ar média anual aumentou cerca de 0,8°C entre 1933 e 1960 e 0,8°C entre 1961 e 1990; entre 1933 e 2017 o aumento acumulado de temperatura média é de cerca de 2,3°C (IAG/USP, 2017. pág. 25). O plano de ação climática do município (PLANCLIMA SP, 2021) indica uma série de mudanças no clima da cidade em um horizonte temporal próximo

“A Análise de Risco Climático realizada para São Paulo (C40, 2020a), que adotou os resultados do modelo climático regional ETA-HadGEM2-ES (Inpe/CPTEC, 2014), indica que haverá, no horizonte até 2030-2040, aumento da temperatura média, aumento do número de noites quentes, diminuição do número de noites frias e aumento de eventos de ondas de calor. Além disso, os dados sugerem um aumento na temperatura média entre 2 °C a 3 °C até o final do século. Em relação às chuvas, resultados do mesmo modelo indicam que haverá, no mesmo período, aumento da precipitação intensa, ao mesmo tempo que também haverá aumento dos dias secos consecutivos.” (PLANCLIMA SP, 2021. p. 64))

As projeções acima indicam que o clima da cidade de São Paulo está em constante mudança, muito relacionada à ação antrópica. O contexto reitera a necessidade de ações, planos e projetos de mitigação das ações humanas que influenciam no desbalanceamento do clima, bem como de adaptação aos eventos extremos climáticos que já acontecem agora e que vão aumentar no futuro. Em São Paulo, a implementação de ações para a adaptação às mudanças climáticas é crucial porque a cidade sofre - dentre outros fatores - de uma profunda desigualdade socioeconômica e ambiental, uma condição que torna diversos grupos mais suscetíveis às mudanças do clima e

mais vulneráveis aos riscos do aumento de temperatura ou de intensidade das chuvas, por exemplo. Esse quadro de fragilidade no enfrentamento às mudanças do clima é resultante de uma ocupação histórica que acentuou processos de dispersão das pessoas na cidade em direção às áreas menos propensas à urbanização, distribuição desigual de renda, modificação nos padrões de uso e ocupação do solo e segregação de acesso à infraestrutura e moradia adequada na cidade, em um processo que ocorreu principalmente durante o século XIX e que será discutido à frente.

5. Expansão da mancha urbana em São Paulo e quadro do meio ambiente urbano

O século XX foi um período histórico na constituição das cidades mundiais e definitivo na produção de centros urbanos como são conhecidos hoje. A acentuação das cadeias globais de produção e consumo (Harvey, 2005), a intensificação de processos industriais e o crescimento exponencial de populações morando em áreas urbanizadas evidenciaram o momento de aparecimento das que viriam a ser conhecidas como “megacidades” ou “cidades globais”, caracterizadas por seus índices de desenvolvimento sem igual, seu protagonismo econômico e político em escala regional e sua importância notória no processo de desenvolvimento global. Diversas cidades da América Latina cresceram exponencialmente durante o século XX e se tornaram grandes pólos econômicos e sociais em suas macrorregiões - Santos (2010) cita exemplos de cidades na Venezuela, Peru, Colômbia, Brasil, entre outros.

São Paulo é, provavelmente, um dos casos mais emblemáticos de expansão urbana ao longo do século XX no Brasil. Até o final do século XIX a região da capital paulista manteve números populacionais não extraordinários aos de outras cidades brasileiras. A população do município era de cerca de 31 mil moradores em 1872 e de 65 mil em 1890, um ano após a proclamação da república; o primeiro salto populacional constatado na cidade aconteceu entre o último decênio do século XIX e os

primeiros vinte anos do século XX, quando um incremento populacional de até 14% ao ano resultou em uma São Paulo que contabilizava aproximadamente 514 mil moradores em 1920, em um quadro de ascensão política e econômica fortemente relacionado aos ganhos provenientes da produção cafeeira. Na década de 1940 a cidade já contava mais de 1 milhão de moradores, advindos de um crescimento de 4,5% ao ano - relativamente estável em relação ao início do século - e entrava em uma fase econômica marcada pelo avanço da industrialização, pela ação desenvolvimentista do Estado e pela formação de núcleos regionais concentradores das cadeias de produção. Nesse período, São Paulo aparece como um dos principais centros de produção do Brasil. A reestruturação econômica baseada na passagem da economia agrícola para industrial, com a enorme necessidade de mão de obra - suprida principalmente a partir de trabalhadores migrantes de todo o país - produz taxas de crescimento que alcançam 5,2% ao ano durante a década de 1940 e 5,6% ao ano durante os anos de 1950, com números ainda expressivos para a década de 1960 (4,6% ao ano).

Tabela 01 - Crescimento populacional em São Paulo (1872-2010). Fonte: SMUL, IBGE, ANO.

Anos	Município de São Paulo		Região Metropolitana de SP		Estado de São Paulo		Brasil	
	População	Taxa de Crescimento (1)	População	Taxa de Crescimento (1)	População	Taxa de Crescimento (1)	População	Taxa de Crescimento (1)
1872	31.385	4,1	-	-	837.354	2,8	10.112.061	2,0
1890	64.934	14,0	-	-	1.384.753	5,1	14.333.915	1,9
1900	239.820	4,5	-	-	2.282.279	3,6	17.318.556	2,9
1920	579.033	4,2	-	-	4.592.188	2,3	30.635.605	1,5
1940	1.326.261	5,2	1.568.045	5,3	7.180.316	2,4	41.236.315	2,3
1950	2.198.096	5,6	2.622.786	6,1	9.134.423	3,6	51.944.397	3,1
1960	3.781.446	4,6	4.739.406	5,6	12.974.699	3,2	70.119.071	2,9
1970	5.924.615	3,7	8.139.730	4,5	17.771.948	3,5	93.139.037	2,5
1980	8.493.226	1,2	12.588.725	1,9	25.040.712	2,1	119.002.706	1,9
1991	9.646.185	0,9	15.444.941	1,6	31.588.925	1,8	146.825.475	1,6
2000	10.434.252	0,8	17.878.703	1,0	37.032.403	1,1	169.799.170	1,2
2010	11.253.503		19.683.975		41.262.799		190.755.799	

É a partir da década de 1970 que as taxas de acréscimo populacional começam a diminuir consideravelmente na cidade de São Paulo, uma redução na aceleração do crescimento que não deve, no entanto, ser considerada como indicativo de pequeno incremento absoluto na população. O município já contabilizava mais de 3,7mi de habitantes no início dos anos 1960 e alcançou 8,5mi de moradores no final da década de 1970, o crescimento anual

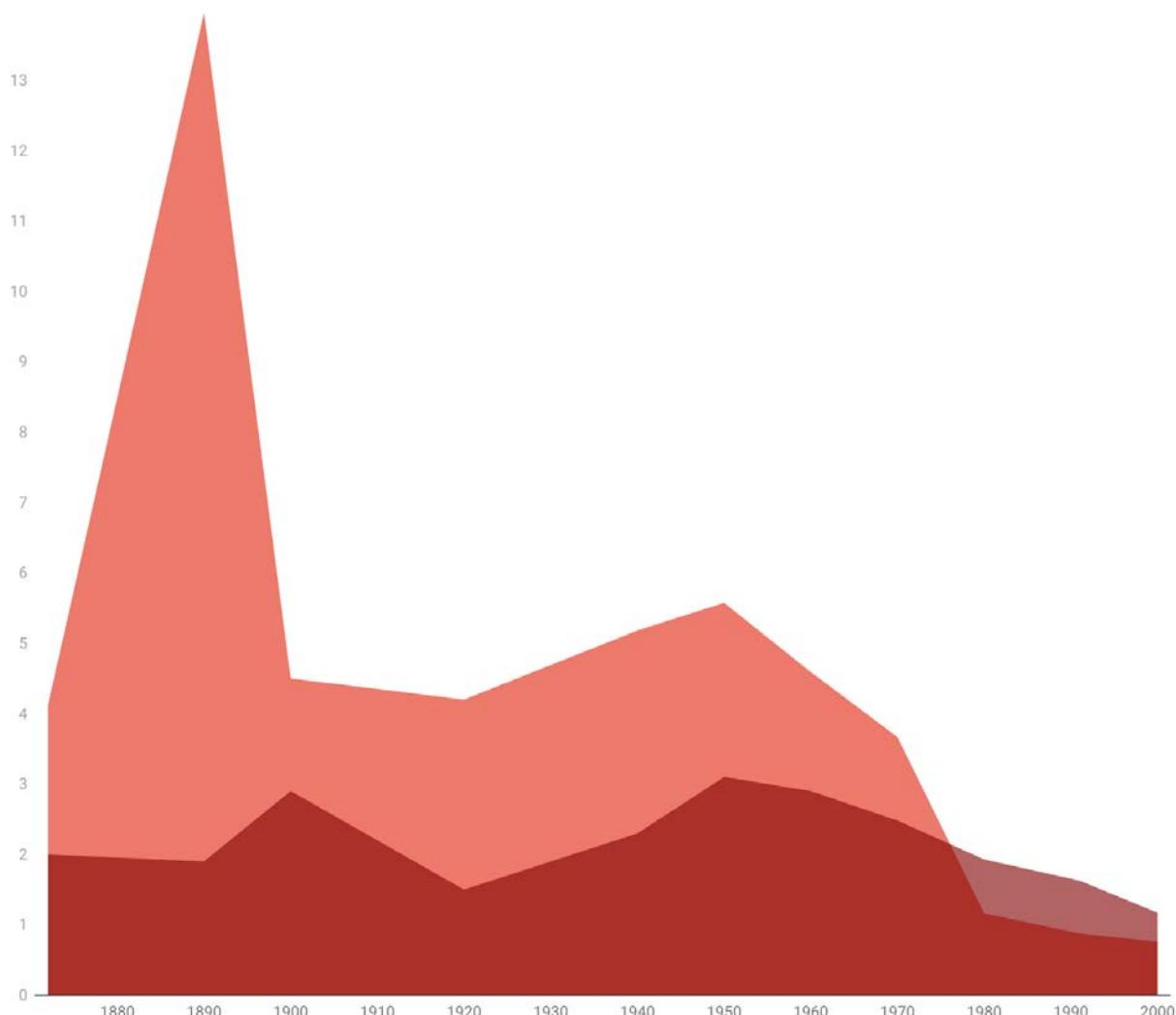
mais baixo, de 3,7% ao ano, ainda significava um grande contingente populacional relativo aos milhões de habitantes - incomuns à maioria das grandes cidades brasileiras da época - e foi distintivamente maior do que o de todas as outras capitais brasileiras ao longo da década. É durante os anos 1970 que São Paulo desponta como a maior cidade em números populacionais do país, abrindo uma margem de aproximadamente 2,6mi de habitantes sobre a cidade do Rio de Janeiro, que era a maior concentração urbana em termos demográficos do Brasil até os anos 1960 e vinha apresentando índices populacionais semelhantes a São Paulo até aquele momento⁷. Ainda que com números populacionais muito altos, o município de São Paulo manteve taxas de crescimento continuadamente maiores do que as médias nacionais ao longo de toda a primeira metade do século XX e os níveis de crescimento só se equiparam aos do restante do país a partir da década de 1980, quando a região já tem mais de 5 vezes mais habitantes do que qualquer outra capital brasileira, com exceção ao Rio de Janeiro.

⁷ No início do século XX a cidade do Rio de Janeiro contabilizava cerca de 811 mil habitantes e foi a primeira cidade do Brasil a ultrapassar a marca de 1 milhão de moradores, ainda durante a década de 1910. O censo de 1950 já indica uma proximidade populacional entre Rio de Janeiro e São Paulo (2,3mi contra 2,2mi, respectivamente) que é ultrapassada pela capital paulista ao longo da década de 1950. A diferença populacional se acentua ao longo dos anos e chega a quase 5 milhões de habitantes em 2010, segundo dados do IBGE.

Taxa de crescimento anual em cada década (em %)

Fonte: IBGE

Cidade de São Paulo Brasil



Created with Datawrapper

Figura 15 – Incremento populacional por década no Brasil e no município de São Paulo. Fonte: SMUL, IBGE, ANO.

O crescimento populacional descompassado em relação à média e desenfreado em seu ritmo ocasionou um quadro inédito de aglomeração urbana ao caso brasileiro, um episódio que não foi acompanhado por um planejamento urbano capaz de gerenciar adequadamente as mudanças de escala da cidade e garantir os direitos básicos de moradia e vida no município. É a partir da década de 1970 que a continuidade do quadro de crescimento produtivo e econômico paulistano acentua um movimento de expansão

urbana que foge explicitamente aos marcadores regulatórios estabelecidos pela legislação da cidade, a partir desse momento os impactos da falência do modelo mal planejado de crescimento urbano ficam evidentes (Hall, 1996; Villaça, 2004). O crescimento econômico profundo da cidade não resultou em uma sociedade igualmente próspera; pelo contrário, a alta concentração da produção de riqueza em um percentual ínfimo da população gerou um quadro de crescimento da pobreza urbana, segundo Maricato:

O processo de industrialização/urbanização, sob o lema positivista da ordem e do progresso, parecia representar um caminho para a independência de séculos de dominação da produção agrária.

A evolução dos acontecimentos mostrou que, ao lado de intenso crescimento econômico, o processo de urbanização com crescimento da desigualdade resultou numa inédita e gigantesca concentração espacial da pobreza. (MARICATO, ANO; p. 55)

A acentuação da desigualdade social e econômica na cidade aumentou disparidades entre as condições de acesso e vida em São Paulo em um momento marcante na definição de padrões de segregação espacial que, se não começaram naquela década, certamente foram evidenciados durante aquele período; a expansão horizontal - isso é, o incremento da mancha urbanizada da cidade - toma força como padrão de ocupação das moradias, em um processo onde as principais formas de habitação fugiam por vezes dos limites administrativos e regulatórios do território e eram relacionadas à ocupação de loteamentos irregulares⁸ para

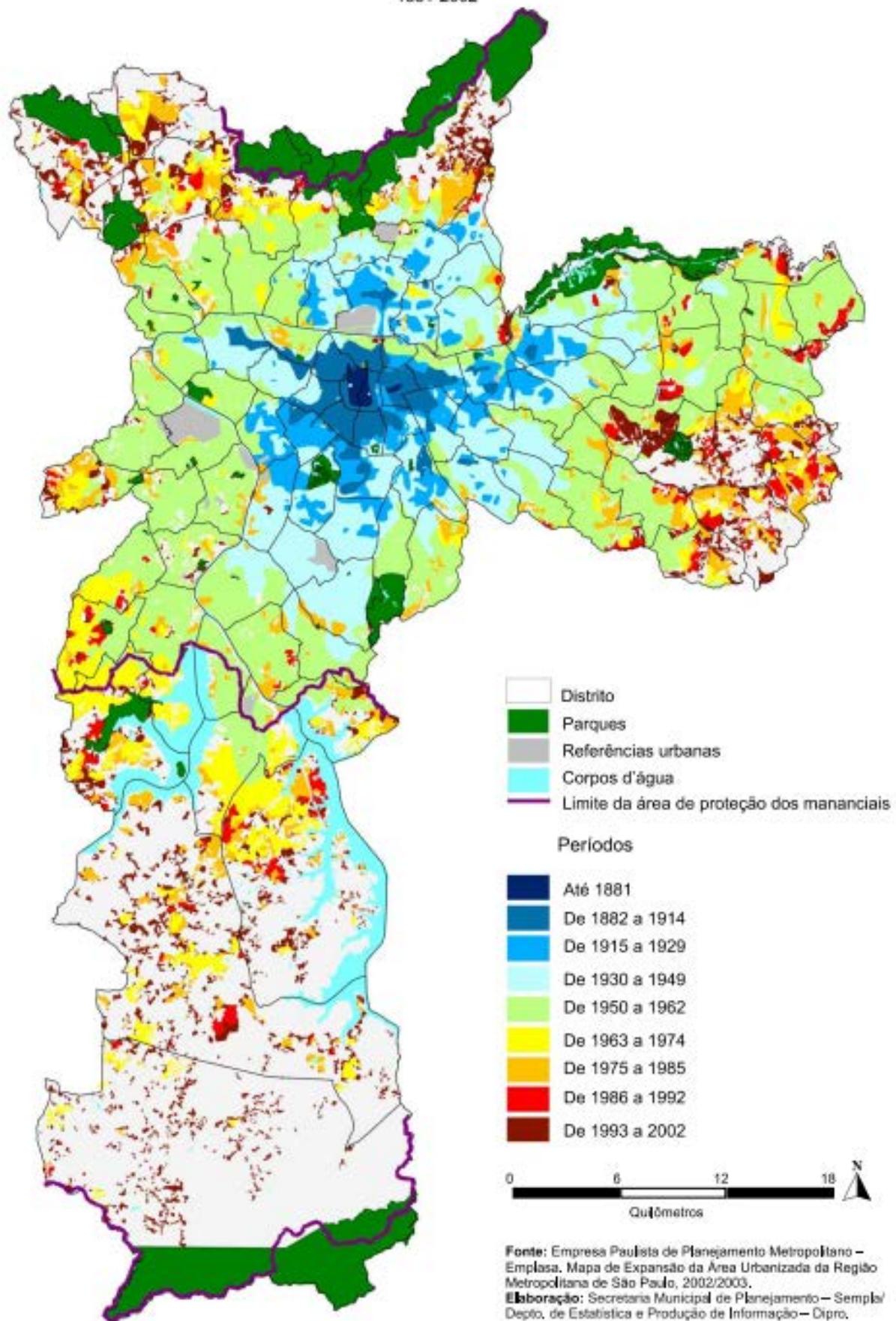
⁸ Os loteamentos irregulares são ocupações em porções de terra que não são regularizados pelo arcabouço legislativo da época ou cuja posse era desvinculada da propriedade do terreno. Nesse conjunto podem se

autoconstrução⁹ ou, quando aconteciam dentro dos limites legais, eram respaldadas por uma produção habitacional pública pautada na criação de moradia em regiões afastadas dos centros da cidade e localizadas nos limites urbanos (Bonduki, Rolnik, 1979; Kowarick 1980), por uma legislação branda sobre a ocupação de loteamentos afastados (Santoro, 2014) ou pelo preço do terreno relativamente baixo em áreas com pouca ou nenhuma inserção do mercado imobiliário, em oposição aos grandes valores encontrados nas regiões mais centrais da cidade.

enquadrar, por exemplo, ocupações em áreas desmatadas, sem título de terreno ou de terceiros, sem a devida autorização dos mesmos. (PASTERNAK, 2010)

⁹A autoconstrução é definida por Maricato como o “*processo de construção da casa (própria ou não)” por seus moradores que podem ser auxiliados por parentes, amigos, vizinhos ou por profissional remunerado*” (MARICATO, 1982; p. 74), normalmente relacionada à utilização de mão de obra do próprio morador pela necessidade de diminuição de custos na produção habitacional

Expansão da Área Urbanizada
Município de São Paulo
1881-2002



Fonte: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano – Eplasa. Mapa de Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo, 2002/2003.
Elaboração: Secretaria Municipal de Planejamento – Sempla/ Depto. de Estatística e Produção de Informação – Dipro.

Figura 16 -Expansão da mancha urbana no município de São Paulo entre 1881 e 2002. Fonte:EMPLASA, ANO

O mapa da expansão da mancha urbana indica um padrão de crescimento horizontal desde 1882, em um ritmo que cresce abruptamente entre as décadas de 1950 e 1970. Esse padrão de expansão foi intensamente estudado a partir da década de 1970, por meio e da suposição do espaço urbano delimitado pela dualidade “centro-periferia”, onde a periferia aparece como a ideia do espaço afastado do centro da cidade, com declínio nos valores da terra, nas condições de vida por acesso aos serviços públicos e nas atividades econômicas (Bonduki, Rolnik, 1982; Villaça, 1999). Essa dualidade entre periferia pobre e centro rico certamente não se verifica com tal simplicidade, visto a existência dos enclaves fortificados em zonas afastadas do centro da cidade (Caldeira, 2000) e formação de favelas em áreas próximas ao centro e dotadas de grande infraestrutura, como Paraisópolis e Heliópolis; no entanto, ainda é importante situar que embora o padrão de expansão não se caracterize restritamente como “centro-periferia”, a segregação espacial vinculada à esse modelo ainda permanece.¹⁰

Entender esse modelo de segregação espacial pautado na expansão periférica pela impossibilidade de moradia nas áreas centrais da cidade - ainda muito recorrente na metrópole paulista - é essencial para entender as relações entre desenvolvimento e meio ambiente urbano:

¹⁰ A construção teórica sobre a periferia metropolitana que a caracterizava a partir da tríade loteamento irregular + casa própria + autoconstrução (BONDUKI; ROLNIK, 1979; KOWARICK, 1980), construída a partir dos anos 1970, mudou consideravelmente nas últimas décadas. Todavia, isso não significou uma reversão do padrão de segregação socioespacial, pois se pode verificar que o investimento nas periferias foi bem menor do que os investimentos nas áreas ocupadas por famílias de rendas mais altas, geralmente mais centrais. (SANTORO, ANO)

“A persistente permanência e ampliação da irregularidade dos assentamentos urbanos, particularmente em áreas ambientalmente sensíveis, levam à identificação de que a questão ambiental urbana é intrinsecamente associada ao tema da moradia, à falta de oportunidades e de alternativas.” ()

Quando a expansão urbana ocorre de maneira horizontal, a mancha de ocupação da cidade cresce e se expande em direção às regiões limítrofes do município e vizinhas aos remanescentes da natureza. No caso paulista, a urbanização ocorreu de forma tardia em relação à ocupação dos novos terrenos, isso é, vários lugares foram ocupados nas margens da cidade antes que fossem feitos quaisquer ordenamentos urbanísticos, obras de provisão de infraestrutura e planos ou políticas de ocupação adequada das áreas ambientais; o período entre a década de 1970 e os anos 2000 representa uma modificação significativa nesse quadro, ocorrendo participação do Estado nessas áreas por meio do aumento dos indicadores sociais e da criação de serviços básicos, além da provisão de saneamento; no entanto, ainda são as áreas periféricas que concentram os quadros mais agravados de pobreza e vulnerabilidade urbana (Alves e Torres; 2006). Os padrões de crescimento que se verificaram de maneira acentuada ao longo da segunda metade do século XX não foram amenizados ao longo da década de 1990 e no início dos anos 2000. A partir desse momento há perda de população em regiões centrais da cidade (como nas subprefeituras da Mooca, Pinheiros e Sé) paralelamente ao aumento da população nas áreas periféricas, com crescimento acentuado em algumas regiões ainda durante os anos 2000.

Tabela 02 -Crescimento por subprefeitura (1872-2010). Fonte: SMUL, IBGE, ANO

Unidades Territoriais	Taxas de Crescimento					
	1950/196 0	1960/197 0	1970/198 0	1980/199 1	1991/200 0	2000/201 0
MSP	5,48	4,91	3,67	1,16	0,88	0,76
Aricanduva/Formosa/Carrão	5,64	3,16	1,16	-0,51	-0,60	0,03
Butantã	9,54	9,96	6,17	2,32	0,32	1,27
Campo Limpo	10,61	13,54	7,75	3,84	2,77	1,84
Capela do Socorro	11,38	18,29	10,47	3,40	3,72	0,54
Casa Verde/Cachoeirinha	6,18	3,45	1,68	0,43	0,02	-0,13
Cidade Ademar	9,66	11,55	6,31	1,04	1,76	1,03
Cidade Tiradentes	9,00	11,72	7,19	24,55	7,89	1,04
Ermelino Matarazzo	13,43	5,25	4,70	1,02	0,37	0,12
Freguesia/Brasilândia	9,91	8,73	3,78	1,01	1,14	0,38
Guaianases	9,94	13,20	7,21	4,49	3,13	0,47
Ipiranga	3,63	2,40	1,44	0,56	0,16	0,78
Itaim Paulista	9,87	12,17	7,03	3,23	2,50	0,38
Itaquera	9,26	13,34	7,08	4,84	1,42	0,68
Jabaquara	10,45	6,93	3,30	0,81	-0,01	0,44
Jaçanã/Tremembé	9,31	4,87	2,54	1,66	2,11	1,34
Lapa	2,73	1,95	2,20	-0,70	-0,99	1,22
M'Boi Mirim	10,93	14,69	8,39	3,18	2,67	1,51
Mooca	2,44	1,40	0,62	-1,33	-1,51	1,11
Parelheiros	6,58	15,17	10,22	4,96	6,79	2,29
Penha	6,99	5,00	3,24	0,25	0,01	-0,03
Perus	5,24	11,37	5,89	3,19	7,13	2,96
Pinheiros	3,87	1,88	2,44	-0,98	-2,41	0,61
Pirituba	10,33	7,69	3,51	2,17	2,39	1,14
Santana/Tucuruvi	7,62	4,82	2,62	0,28	-0,86	-0,07
Santo Amaro	12,20	8,57	5,73	-0,15	-0,83	0,86
São Mateus	6,93	8,80	5,12	2,81	2,70	1,12
São Miguel	12,86	13,06	6,57	1,95	1,79	-0,24
Sé	2,12	0,28	1,69	-1,24	-2,24	1,43
Vila Maria/Vila Guilherme	8,66	4,62	2,37	-0,57	-1,24	-0,22
Vila Mariana	5,55	3,27	2,38	-0,39	-0,81	0,97
Vila Prudente/Sapopemba	6,41	6,02	3,62	1,19	-0,01	0,14

Se a gestão urbana conseguiu atuar nas áreas mais longínquas da cidade para prover infraestrutura urbana,

certamente não teve o mesmo êxito para gerir a questão ambiental. A expansão das franjas da cidade se deu em direção ao cinturão verde da Mata Atlântica que rodeia o município e ali devastou grande parte da floresta, principalmente nas regiões leste e oeste da cidade, onde a topografia não aparecia como o empecilho que era constatado em outras regiões (Alves e Torres, 2007); durante a década de 1990 a cidade de São Paulo perdeu cerca de 5845 ha de cobertura vegetal, especialmente em distritos periféricos, onde apenas 10 dos 96 distritos da município concentraram cerca de 56% do total do desmatamento (SÃO PAULO, 2002. p. 66).

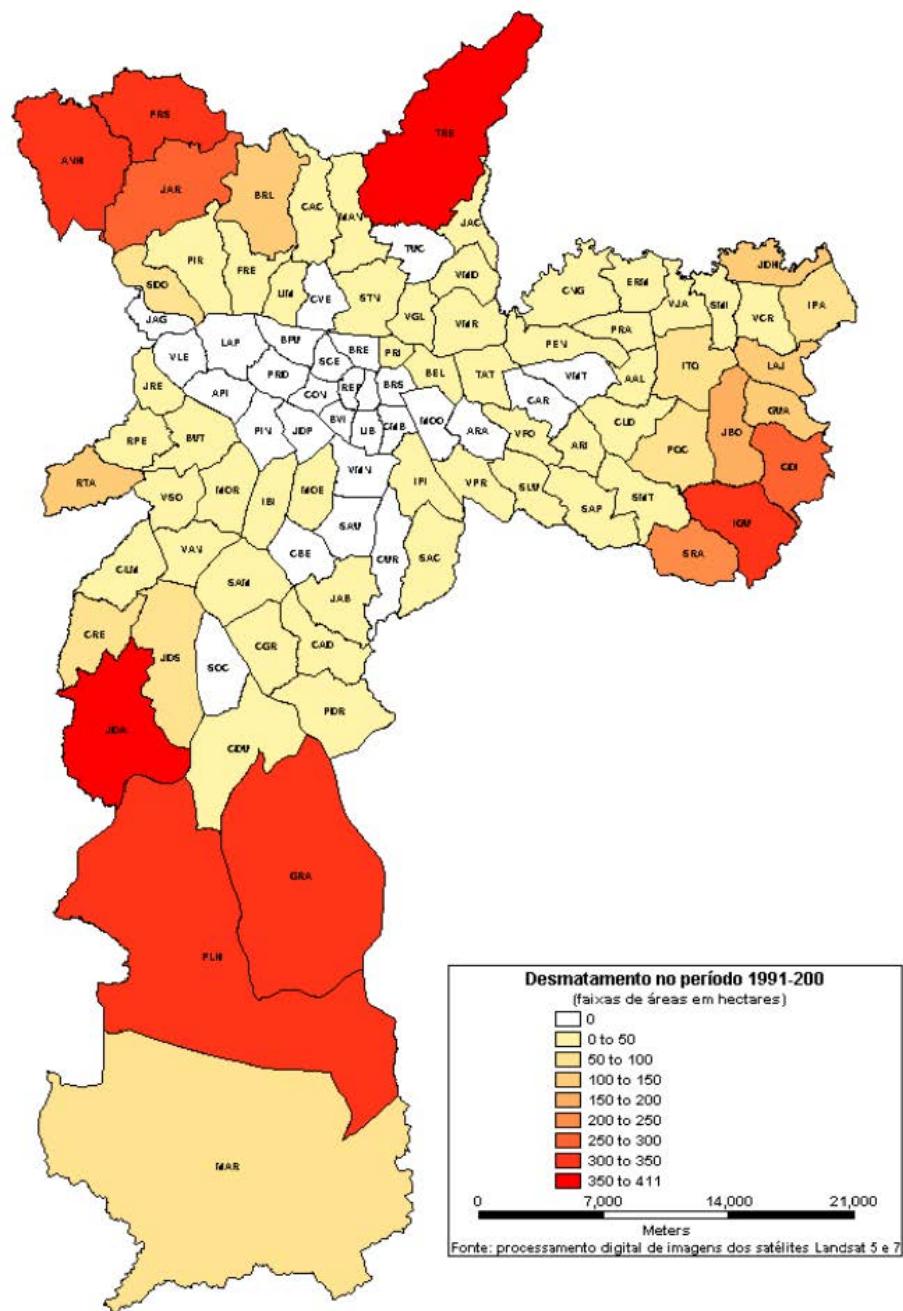


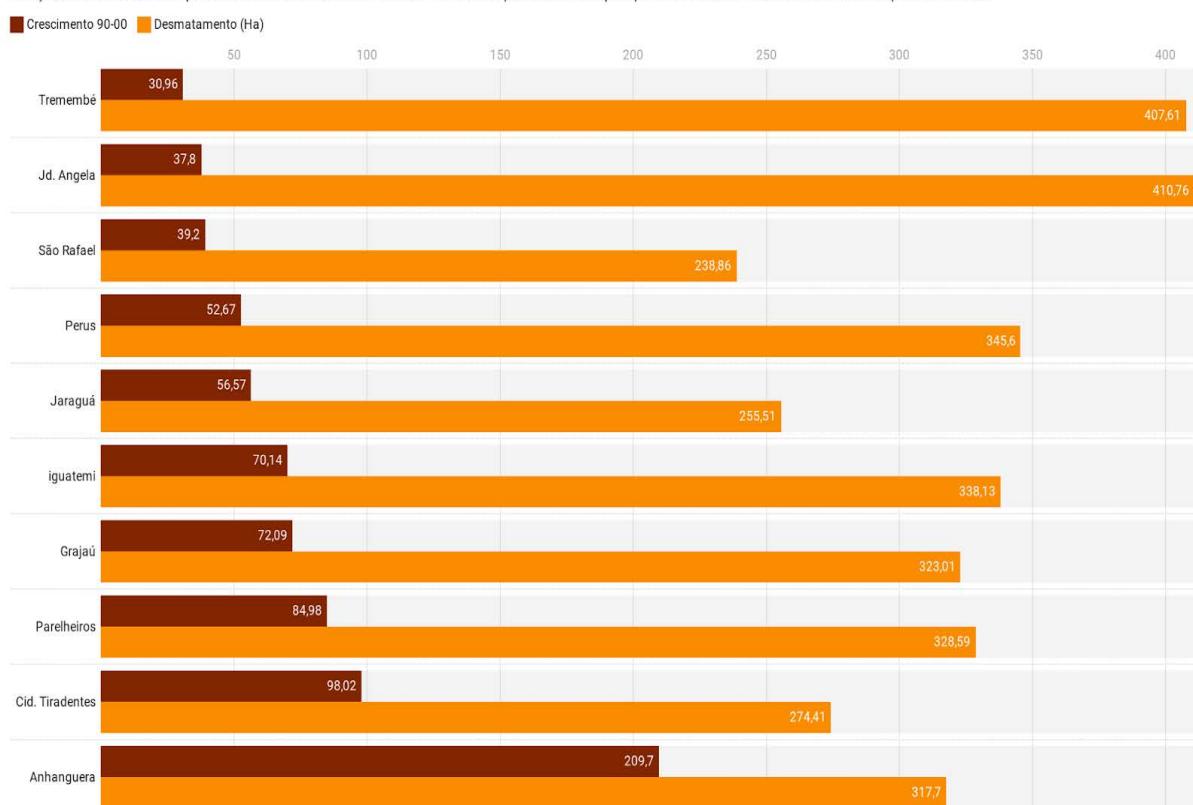
Figura 17 –Mapa do desmatamento da cidade de São Paulo durante a década de 1990. Fonte: Atlas Ambiental do município (2002)

A região das áreas de mananciais, no sul da capital, também foi local de intensa supressão da vegetação para atividades urbanas e econômicas; entre 1989 e 2007 foram desmatados 747,6 ha de mata atlântica na região, sendo

aproximadamente 31% da área total de mananciais da época ocupada para ação antrópica e 16% para ocupação urbana, a qual apresentou um aumento de cerca de 34% no período. Aproximadamente 21% da região desmatada no momento cedeu espaço para a ocupação urbana de alta densidade, em um ritmo de adensamento que se manteve significativo durante o período e que pode ser verificado através das grandes ocupações urbanas de distritos como Grajaú, Parelheiros, Capela do Socorro e M'boi Mirim (Santoro et. al. 2008)

Crescimento e desmatamento na década de 90

Relação entre o crescimento percentual total e a área desmatada em 10 distritos periféricos da capital paulista. Fonte: Atlas Ambiental do Município de São Paulo



Criado com Datawrapper

Figura 18 –Relação entre crescimento e desmatamento na cidade de São Paulo durante a década de 90. Fonte: Atlas Ambiental do município (2002)

O crescimento urbano - especialmente a expansão da mancha urbana horizontal - e a aceleração da supressão da vegetação são processos com intensa correlação e não é

difícil inferir que os locais onde ocorreram as maiores perdas de vegetação foram, também, de grande aumento populacional durante as últimas décadas. O Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2002) indica que todos os distritos periféricos com enormes índices de desmatamento tiveram taxas de crescimento muito acima da média da capital durante o período, a região sul mostra grandes discrepâncias entre taxa de crescimento da população e desmatamento, podendo este ter relação com o desmatamento para outros usos, citado anteriormente; nas regiões leste e norte. No entanto, constatam-se taxas de desmatamento significativas e acompanhadas de índices de crescimento muito acentuados; em alguns desses distritos os índices de incremento populacional continuam altos mesmo na década de 2000-2010, quando a taxa de crescimento demográfico por ano do Anhanguera (5.54%), Perus (1.27%), Jaraguá (2.47%), Cidade Tiradentes (1.04%) e São Rafael (1.42%) são maiores do que a média da capital (0.76%),

Essa situação da expansão situa a cidade de São Paulo em um quadro atípico na relação entre área ocupada e meio ambiente urbano: têm-se um modelo de desenvolvimento que permitiu a ocupação das áreas vegetadas nas franjas da metrópole por uma porção significativa da população de maneira irregular, descompassada e sem assistência adequada; assim, condicionou-se uma situação na qual a relação dos moradores com o verde vem, muitas vezes, pela supressão da mata nativa, resultante da impossibilidade de moradia em outros locais da cidade. Essa intersecção entre o ser humano e o meio ambiente cria periferias urbanas circundadas por áreas verdes, mas que devem ser entendidas pela simultânea condição de vulnerabilidade ao qual esses agentes ficam expostos. Segundo Alves e Torres

(2006) mais de $\frac{1}{3}$ dos domicílios de baixa renda da cidade de São Paulo estavam localizados em áreas de risco ambiental no início dos anos 2000 e esse percentual é proporcionalmente maior entre esses domicílios. Os autores indicam, ainda, que moradores localizados em áreas de risco ambiental têm menores índices de escolaridade, residem em domicílios em situação de precariedade construtiva, ficam mais expostos a vetores de doenças transmissíveis e localizam-se em áreas com menor acesso dos serviços públicos municipais¹¹. O desenvolvimento de décadas tendeu para uma organização espacial desigual, onde os grupos em situação de maior vulnerabilidade socioeconômica são, também, os em condição de habitação mais precária, localizados, por vezes, nas áreas de maior risco ambiental da capital. Paralelamente, as classes que detêm melhor condição de renda e trabalho usualmente se situam em zonas que, se não estão necessariamente nas áreas mais centrais da cidade, certamente detêm melhores condições de infraestrutura; nessas, o acesso às melhores condições ambientais é restrito pelos altos valores de terra e aluguel, Refinetti (2020) aponta que o centro de São Paulo tem áreas com potencial para adensamento e melhoria da questão ambiental que, no entanto, permanecem ociosas devido à práticas como a da especulação imobiliária.

Esse capítulo se ateve, principalmente, ao desdobramento da associação entre desenvolvimento urbano e vulnerabilidade, o entendimento dessa relação é importante porque a situação de suscetibilidade às

¹¹ Os moradores próximos de curso d'água são mais pobres, menos escolarizados, com menos acesso a serviços públicos, residem em domicílios mais precários do ponto de vista construtivo e estão mais expostos a vetores de doenças transmissíveis, assim como têm mais freqüentemente seus domicílios localizados em favelas (ALVES e TORRES, 2006, p.53)

intempéries ambientais e à crise climática em São Paulo é, essencialmente, um problema de desigualdade na reprodução do espaço urbano e da riqueza na cidade. Sendo esse trabalho uma leitura territorial da temperatura e vulnerabilidade ao calor na cidade, é primordial sempre manter em foco que as discussões sobre temperatura, embora envolvam uma série de variáveis naturais, não se desconectam das discussões históricas sobre reprodução dos padrões socioespaciais de desigualdade e pobreza.

6. Aquisição de dados de temperatura superficial, índice de vegetação, morfologia e mapeamentos temáticos

A literatura aponta que na leitura e análise da temperatura em áreas urbanizadas são comumente empregados métodos de mapeamento, dos quais Jenerette et. al. (2007, 2016), Ng. et. al (2010, 2015), Zhou et. al. (2014, 2021), Oke et. al. (2017), Amnipouri et. al. (2019), Ferreira (2019), Cao et. al. (2021) e Stewart (2021) são alguns exemplos. Baumuller (2011) realiza um levantamento bem explicativo sobre os principais métodos de mapeamento utilizados na criação de um Mapa de Clima Urbano¹², a partir de dados provenientes de (i) estações meteorológicas de referência, (ii) medições meteorológicas móveis ou fixas em determinadas localidades (iii) sensoriamento remoto termal, a partir de satélites ou avião e (iv) simulações computacionais (NG et. al. 2015). Esses dados possuem características distintas quanto à escala, anteriormente discutida, e o tipo de ambiente do qual fazem parte. Um mapa climático produzido a partir dos dados de estações meteorológicas de referência, por exemplo, muito provavelmente reflete o histórico de leitura de dados da temperatura do ar (Tar) obtidos por essas mesmas estações; os dados provenientes de sensoriamento remoto, por outro lado, são desdobramentos de cálculos realizados em imagens aéreas que capturam a temperatura a partir de ondas eletromagnéticas irradiadas pela superfície (T_{sup}), e que resultam em valores que normalmente são bem

¹² Urban Climate Map, tradução livre do inglês.

diferentes dos encontrados para Tar para um mesmo local e horário. Esse é um pensamento intuitivo quando pensado de forma prática: em um dia quente, em um local cuja temperatura do ar é de 35°C, seria danoso encostar as mãos em um asfalto escuro, exposto ao sol, ou mesmo no portão metálico escuro nesses casos, a temperatura da superfície desses materiais é muito maior do que os 35°C constatados pelos termômetros que se vêem na cidade.

A escolha pela ferramenta que guia a composição do mapa de clima urbano está intrinsecamente relacionada com os resultados que devem ser obtidos e com a leitura que pode ser realizada. Medições de temperatura do ar possuem grande evidência histórica e são amplamente utilizadas para percepção da diferenciação da temperatura através do tempo. O Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (PLANCLIMA SP, 2021) utiliza dados registrados pelas estações meteorológicas instaladas no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP para evidenciar o aumento da temperatura do ar durante um período que remonta ao ano de 1933.

Jenerette et. al (2017) trabalham com um exemplo de mapeamento da temperatura do ar a partir das estações de referência e coletaram temperaturas periodicamente durante os períodos de verão de 2015 e 2016. A maior limitação de pesquisa encontrada nas análises de Tar é sua restrição em caráter espacial, uma vez que os dados obtidos dizem apenas sobre a temperatura registrada pelo sensor térmico instalado na estação de referência, o qual certamente é indicativo das temperaturas próximas, mas mantém um grau de incerteza sobre as demais áreas da cidade que não é o ideal para este trabalho. O mapeamento realizado a partir das temperaturas de superfície é o mais

abrangente no sentido espacial porque é normalmente obtido através de imagens e a diferenciação espacial da superfície pode ser avaliada em diferentes resoluções, que alcançam até os 10m para o caso de satélites (a depender do canal utilizado) com valores ainda maiores em imagens obtidas por drones e aviões. Essa metodologia é espacialmente mais flexível, mas pode ser mais custosa em caso de obtenção de imagens com altíssima resolução. O mapeamento através de imagens de satélite é uma alternativa pouco custosa para a aquisição de dados de temperatura, mas é mais frágil para a apuração de análises históricas sobre o clima: A contemporaneidade desse método de sensoriamento remoto torna escassos os dados de temperatura superficial de décadas atrás, já que os modelos mais utilizados registraram imagens principalmente a partir da década de 1990, mas com metodologias de obtenção e resoluções espaciais que se modificaram consideravelmente ao longo dos anos. A obtenção de dados de T_{sup} pode dificultar, prejudicar ou encarecer mesmo os trabalhos de análise continuada em um período curto de tempo - como no caso do verão de 2015/2016, citado acima - visto que a obtenção de imagens diárias, por exemplo, pode ser custosa para aviões/drones ou inviável para a maioria dos satélites em órbita.

Este trabalho decorre de leituras socioespaciais e morfológicas relacionadas com a temperatura do ar e de superfície no tecido urbano, com ênfase no entendimento dos efeitos do aquecimento na cidade. Assim, a determinação espacial dos fenômenos relacionados ao clima urbano é muito preciosa para o processo de pesquisa e os mapeamentos sobre temperatura do ar e de superfície e vegetação são fundamentais para o processo de trabalho. A

temperatura de superfície é adquirida por meio do método de sensoriamento remoto, através do processo de extração da radiação eletromagnética (REM) emitida por qualquer superfície com temperatura maior do que o zero absoluto (0K ou -273,15°C) (Campbell; Wynne, 2011; Jenssen, 2009). A intensidade da REM emitida por um objeto é chamada de Temperatura Radiante (T_{Trad}) e Ferreira (2019) situa que a correlação entre T_{sup} e T_{Trad} é alta e positiva, com alto grau de semelhança, mas com algum nível de imprecisão em relação à temperatura real (T_{real}) pelas questões de emissividade das superfícies¹³. A extração da T_{Trad} é feita através da leitura da frequência das ondas de REM e para a obtenção dos dados de temperatura são utilizadas as ondas de comprimento entre 10.4 μm e 12.5 μm , correspondentes às bandas térmicas dos satélites¹⁴

¹³ Emissividade diz respeito a maneira como um corpo emite radiação e essa pode ser distinta entre corpos diferentes pois é atrelada a uma série de fatores, como a cor (objetos mais escuros absorvem e emitem mais energia, logo, possuem mais emissividade), a umidade (que influencia diretamente na capacidade de energia que um corpo pode absorver e emitir), a rugosidade da superfície do material, a compactação das células e as condições de imageamento do sensor (Jensen, 2009). Assim, são possíveis condições onde o material possui alta T_{real} mas baixa emissividade, o que se traduz na leitura de uma baixa T_{Trad} pelo satélite, quando a temperatura real na verdade é alta. Souza e Ferreira (2012) citam o caso de coberturas metálicas em Goiânia como exemplo.

¹⁴ Foram utilizadas a banda termal 6 nas imagens do Landsat 7 e as bandas termais 10 e 11 no caso de imagens dos Landsat 8 e 9

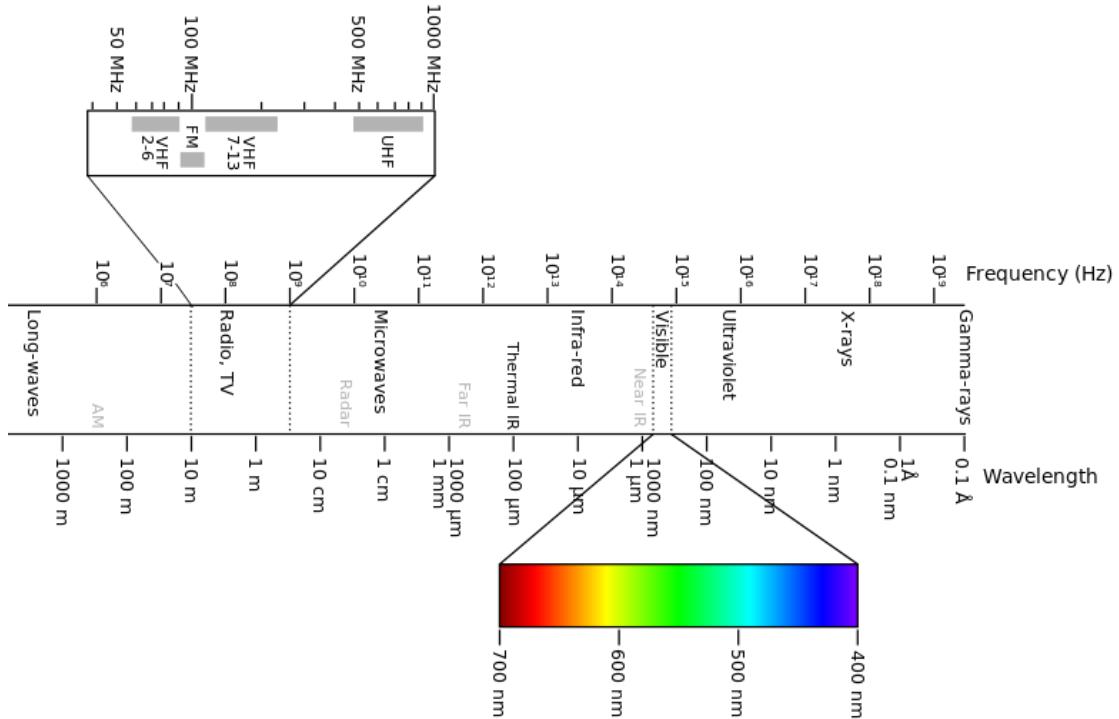


Figura 19 – Espectro Eletromagnético. Fonte: Campbell e Wynne (2011), Ferreira (2019)

No processo de obtenção da T_{sup} , cada imagem foi inserida individualmente no software QuantumGIS e tratada para a transformação dos dados de Trad. O primeiro passo no tratamento da imagem foi a correção atmosférica de cada imagem, uma prática importante porque visa minimizar a influência dos efeitos atmosféricos nas imagens obtidas por satélite, uma vez que esses podem ocasionar erros de leitura e imprecisões de análise; no caso dos satélites Landsat, a correção atmosférica foi aplicada em cada pixel pelo método DOS1 (Dark Object Subtraction), esse método entende que todo pixel com 0% de refletância (ou seja, em situação de total sombra) é um potencial erro de leitura ocasionado pelos efeitos atmosféricos, uma vez que mesmo as áreas mais escuras devem apresentar algum grau de refletância, desse modo, pixels com refletância inferior a 1% do conjunto das refletâncias identificadas em todos os pixels tem o seu valor modificado para o valor

mínimo aceitável, a aplicação da correção atmosférica foi realizada através do software Qgis, utilizando as equações descritas pelo plugin “Semi-Automatic Classification Plugin” (CONGEDO, 2022; pág. 151).

Após a etapa de correção atmosférica, os valores da Trad foram convertidos para Tsup seguindo as equações recomendadas pela United States Geological Service(USGS)¹⁵:

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad L\lambda &= MLQcal + AL \\ \text{(ii)} \quad TB &= K2/\ln[(K1/L\lambda) + 1] \\ \text{(ii)} \quad Tsup &= TB/[1 + (\lambda * TB/c2) * \ln(e)] \end{aligned}$$

onde:

- $L\lambda$ é a radiância espectral do sensor, obtida a partir dos valores de sinal digital (DN) dos pixels, a partir dos metadados de cada imagem (em $watts/m^2 * sradi * \mu m$)
- ML é um fator de escala multiplicativo, específico para cada banda, disponível nos metadados da imagem
- AL é um fator de escala aditivo, específico para cada banda, disponível nos metadados da imagem
- $Qcal$ é o valor do sinal digital de cada pixel
- TB é o valor de radiância de cada pixel
- $K1$ é a constante termal específica de cada banda de imagem dos satélites (em $watts/m^2 * sradi * \mu m$)
- $K2$ é outra constante termal específica para conversão de cada banda (em *Kelvin*)
- λ é o comprimento da onda (em μm)

¹⁵ Disponível em [Using the USGS Landsat Level-1 Data Product | U.S. Geological Survey](#). Acesso em novembro/2022.

- $c2 = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$ (a partir de uma equação prévia, envolvendo três constantes: Planck, Boltzmann e a velocidade da luz)

nesse processo, foram utilizados valores de metadados que acompanham cada imagem para a obtenção da radiância espectral dos sensores (i) e posterior apuração dos valores de Trad¹⁶ (ii). Por fim, a partir dos valores de Trad são obtidos os valores de T_{sup} , considerando algumas constantes e o comprimento da onda de cada satélite.

Na aquisição de dados de temperatura foram considerados, principalmente, os valores indicativos para as temperaturas superficiais da cidade de São Paulo, encontrados na altura da UCL. A leitura na UCL é a mais razoável para este trabalho, devido à sua escala aproximada da cidade e da possibilidade de obtenção de estimativas mais precisas sobre as condições de temperatura no nível onde as pessoas vivem, apesar dessa camada ter um caráter bem mais heterogêneo que as demais, refletindo a morfologia e as dinâmicas urbanas.

As temperaturas de superfície foram obtidas a partir de imagens dos satélites Landsat 7, Landsat 8 e Landsat 9, capturadas em todos os casos por volta de 10h30 da manhã, referentes ao período que compreende do verão de 2013 até o verão de 2022. Os três satélites fotografaram a área a cada período de 16 dias, em escalas diferentes: o satélite Landsat 9 é recente (lançado em 27 de setembro de 2021) e, por isso, as imagens intercaladas por 8 dias entre os satélites Landsat

¹⁶ Visando a consistência das equações, os nomes e símbolos dos parâmetros utilizados não foram alterados em relação aos encontrados no site da USGS, no entanto, para esse trabalho, entende-se que o valor de TB descrito nas equações é exatamente o mesmo de Trad descrito em outras partes do texto.

7 e Landsat 8 compõem a grande maioria das imagens utilizadas.¹⁷

Para a obtenção das imagens de temperatura superficial foram realizados os processos anteriormente (envolvendo correção atmosférica e extração da temperatura a partir da banda termal correspondente) em cada imagem o de satélite disponível para o período de estudo; foram desconsideradas imagens com condições ruins de visibilidade, principalmente relacionadas à presença de nuvens, o que diminuiu drasticamente o número de imagens para estações chuvosas, principalmente no verão. Foram criados, ao todo, 7 mapas para o verão, 13 mapas do outono, 21 mapas do inverno e 9 mapas da primavera.

Em um quadro ideal, a disponibilidade de maior número de imagens para a criação dos mapas de temperatura da superfície no período aumentaria a probabilidade de que esses mesmos mapas representem com acurácia os dias típicos sazonais do município; no entanto, as chuvas recorrentes durante o verão e a primavera e os períodos de imageamento espaçados dos satélites resultam em diversas imagens com nuvens de chuva pairando sobre a cidade. A baixa disponibilidade de imagens, no entanto, não prejudica a análise estatística da disposição das temperaturas no espaço, visto que cada imagem contém milhares de entradas de dados com amostragem suficiente para a significância dos dados. Resumidamente, as relações espaciais entre as temperaturas de superfície obtidas e quaisquer outras variáveis trabalhadas estão atestadas pelo grande tamanho da amostra de pixels em cada imagem deve-se, no entanto, tomar certa

¹⁷ Vale ressaltar que embora as imagens do Landsat 7 tenham sido utilizadas para todo o período de pesquisa, o satélite foi descontinuado em Maio/2022

cautela para adotar esses mapas como dias típicos de cada época do ano para o período 2013-2022. Essa constatação não afeta a veracidade deste trabalho, uma vez que as dinâmicas de temperaturas por estação fazem sentido com aquelas identificadas por análises de temperatura do ar e da superfície na literatura.

Os mapas para entendimento das superfícies de vegetação foram elaborados a partir do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), um índice de vegetação pelo qual se identifica o comportamento espectral dos raios de luz emitidos por áreas verdes que permite verificar alterações temporais na vegetação, minimizando os efeitos de radiação solar, sombra ou topografia nas leituras por satélite. O NDVI contém valores entre -1 e 1, sendo valores negativos relacionados à ausência de superfícies vegetadas ou à existência de corpos d'água e valores mais altos relacionados à abundância de vegetação, “*Para Sau et al. (2016) valores abaixo de 0,2 geralmente correspondem a áreas não vegetadas e, valores acima de 0,3, a superfícies com cobertura vegetal.*” (FERREIRA, 2019; pág 64). Uma vez obtidas as bandas termais dos satélites, a obtenção do NDVI é simples, uma vez que esse é obtido a partir da equação:

$$(iv) \text{ NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

onde:

- *NIR* é o fluxo radiante na faixa espectral do infravermelho próximo
- *RED* é o fluxo radiante na faixa espectral do vermelho

Logo, a obtenção dos valores de NDVI para cada satélite é feita através da normalização das diferenças entre

as bandas de infravermelho próximo e vermelho. Nesse caso, definindo cada uma dessas bandas, as equações para as imagens obtidas pelos satélites Landsat são¹⁸:

Landsat 7:

$$(v) NDVI = \frac{Banda4 - Banda3}{Banda4 + Banda3}$$

Landsat 8 e 9:

$$(vi) NDVI = \frac{Banda5 - Banda4}{Banda5 + Banda4}$$

É importante situar que o NDVI é um índice de diferença normalizada baseado na refletância da vegetação. Esse é amplamente utilizado no monitoramento de existência e saúde da vegetação, bem como sua atividade fotossintética, mas, conceitualmente, não é um mapeamento sobre a área verde em si, ainda que consiga captar bem as alterações em grandes massas de área verde; Ferreira (2019) pondera que o NDVI deve considerar algumas limitações, relacionadas à saturação do índice por altas densidades de biomassa e alterações de pavimento abaixo dos dosséis.¹⁹

Para a inspeção da morfologia dos distritos o mapeamento foi fortemente referenciado pelas Local Climate Zones (LCZ) (Stewart e Mills, 2012). As LCZ são um

¹⁸Fonte:

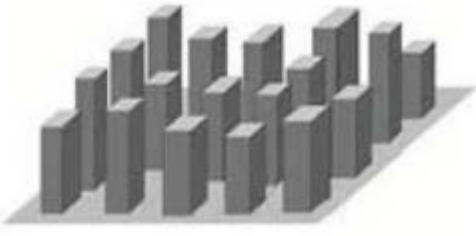
USGS.

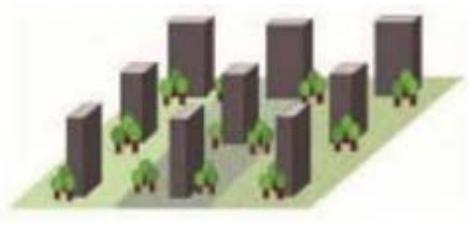
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>. Acesso em novembro, 2022.

¹⁹ “Apesar da ampla utilização do NDVI por pesquisadores das mais diversas áreas, a interpretação desse índice deve considerar, segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) e Jensen (2009), as seguintes limitações: a) o NDVI é altamente correlacionado com a densidade da vegetação; porém, para determinadas densidades pode ocorrer uma saturação do NDVI, alterando o comportamento esperado deste índice; b) o NDVI apresenta sensibilidade às variações de substrato do dossel. Com substratos mais escuros, o NDVI pode ser mais alto, assim, alterações de pavimento sob o dossel podem provocar alterações no NDVI sem que a quantidade de biomassa tenha sido alterada.”. (FERREIRA, 2019; pág 63)

tipo de mapeamento da morfologia que procura categorizar as regiões a partir da cobertura do solo, estrutura, materiais e atividades humanas, ainda essas diferem quanto à densidade, porcentagem de área impermeável, rugosidade, fator de visão do céu, materiais de revestimento, entre outros (Ferreira, 2019. pág 70), as LCZ são classificadas a partir de tipologias construídas e tipologias de cobertura do solo, sem construção, como à seguir:

Tabela 3 -Classificação de LCZ para tipologias construídas. Oke e Stewart (2012), adaptado por Ferreira (2019)

Classe LCZ	Definição (Por Stewart e Oke, 2012; traduzidas por Ferreira, 2019)
LCZ 1. Alto-compacto 	Edifícios altos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.
LCZ 2. Médio-compacto 	Edifícios de altura média em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios de 3 a 9 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos e materiais cerâmicos.
LCZ 3. Baixo-compacto 	Edifícios baixos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios de 1 a 3 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou

	nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos e materiais cerâmicos.
LCZ 4. Alto-aberto 	Edifícios altos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.
LCZ 5. Médio-aberto 	Edifícios de altura média em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios de 3 a 9 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.
LCZ 6. Baixo-aberto 	Edifícios baixos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios de 1 a 3 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos, madeira e materiais cerâmicos.
LCZ 7. Baixo-precário 	Edifícios baixos e leves, com pouca inércia térmica. Áreas densamente construídas, pouco consolidadas, com edifícios de 1 pavimento. Pouca ou nenhuma vegetação arbórea. Cobertura do solo predominantemente compacta. Materiais predominantes: madeira, palha e metal corrugado.
LCZ 8. Baixo-grande	Grandes construções de baixa altura em arranjos abertos. Edifícios de 1 a 3 pavimentos,

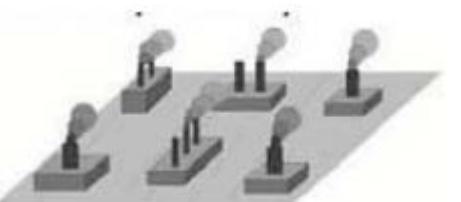
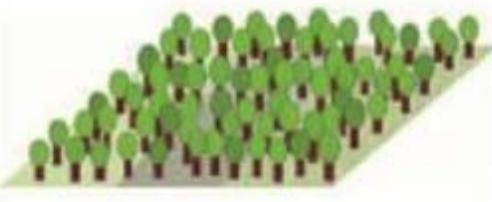
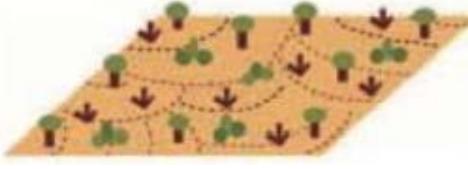
	com cobertura do solo predominantemente impermeável. Materiais predominantes: aço, concreto, metal ou pedra.
LCZ 9. Ocupação esparsa 	Arranjos esparsos de edifícios de baixa ou média altura em ambientes naturais. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa).
LCZ 10. Indústria pesada 	Estruturas industriais de altura baixa e média (torres, tanques etc.). Cobertura do solo predominantemente impermeável ou compacta. Materiais predominantes: aço, concreto ou metal.

Tabela 4 -Classificação de LCZ para cobertura do solo. Oke e Stewart (2012), adaptado por Ferreira (2019)

Classe LCZ	Definição (Por Stewart e Oke, 2012; traduzidas por Ferreira, 2019)
LCZ A. Veg. Arbórea densa 	Áreas densamente cobertas por vegetação arbórea decídua e/ou perene. Cobertura de solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. Exemplos: florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.
LCZ B. Veg. Arbórea esparsa 	Áreas cobertas por vegetação arbórea esparsa decídua e/ou perene. Cobertura de solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. Exemplos: florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos
LCZ C. Veg. arbustiva	Áreas cobertas por esparsa vegetação arbustiva e vegetação arbórea de pequeno porte. Cobertura de solo

	predominantemente permeável (solo exposto ou areia). Exemplo: áreas arbustivas naturais ou áreas de cultivo agrícola.
LCZ D. Veg. herbácea 	Áreas cobertas por vegetação herbácea. Exemplo: pastagens naturais ou cultivadas, áreas agrícolas ou parques urbanos.
LCZ E. Rocha ou pavimento 	Áreas cobertas por rochas ou pavimentos impermeáveis. Pouca ou nenhuma vegetação. Exemplo: rochas expostas e áreas destinadas a transporte.
LCZ F. Solo exposto 	Áreas cobertas por solo exposto ou areia. Pouca ou nenhuma vegetação. Exemplo: desertos ou áreas agrícolas.
LCZ G. Água 	Corpos d 'água: oceanos, lagos, rios, represas e lagoas.

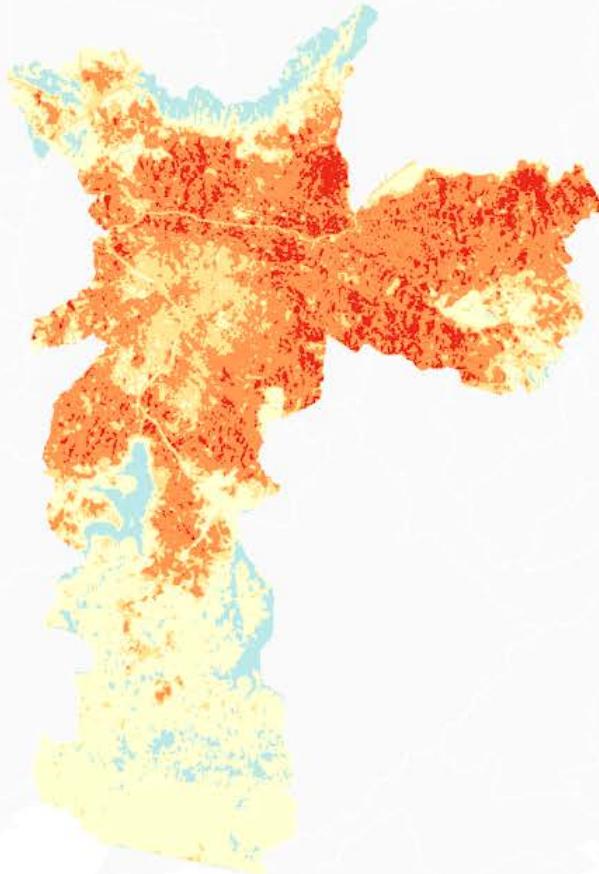
Os mapas de LCZ vêm sendo amplamente utilizados em trabalhos de climatologia, clima urbano, geografia e urbanismo porque constituem uma classificação extensa e bem difundida sobre a composição da morfologia nas cidades, segundo Ferreira (2019, pág 73), esses mapas oferecem uma combinação satisfatória de precisão na escala local e facilidade de atualização.

Os mapas de temperatura da superfície, morfologia e índice de vegetação constituíram a base de análise para praticamente todas as leituras deste trabalho, nesse processo, grande parte da leitura foi produzida a partir da intersecção entre mapeamentos temáticos diversos e as variáveis de temperatura ou vegetação. Os mapeamentos temáticos foram realizados a partir de dados georreferenciados de limites administrativos e variáveis socioeconômicas, sobrepostos com a utilização do software QuantumGIS; para a melhor determinação entre as variáveis de T_{sup} e os mapas temáticos foram extraídas, por vezes, estatísticas zonais que entendiam o conjunto das T_{sup} a partir de determinados recortes geográficos, normalmente indicados pelos vetores trabalhados nos mapas temáticos. A linguagem Python foi utilizada para o tratamento das estatísticas zonais dos dados, uma vez que as informações de T_{sup} estão contidas em um grande número de pixels.

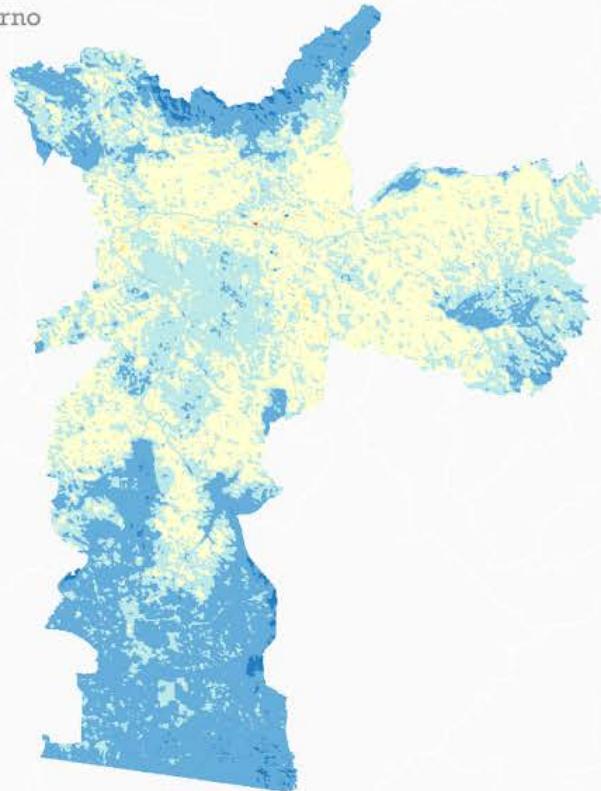
7. Condição de exposição ao calor na cidade de São Paulo: aspectos diferenciais entre os distritos paulistanos

Dadas as bases de dados públicos disponíveis e a representatividade espacial das mesmas para os objetivos deste estudo, um primeiro passo para o entendimento dos imbricamentos do aquecimento urbano com os aspectos morfológicos e populacionais em São Paulo é o mapeamento da temperatura de superfície, visto que essa é uma das variáveis que sugerem a severidade do calor ao qual a população está exposta. Assim, a partir dos desdobramentos metodológicos explicados anteriormente, foram produzidos mapas-resumo das temperaturas superficiais do município de São Paulo em cada uma das estações do ano, com resolução espacial de 30m, para o período compreendido entre o verão de 2013 e o inverno de 2022, lembrando que as imagens Landsat são sempre capturadas por volta de 10h30 da manhã, em horário local. Os mapas foram produzidos utilizando todas as imagens disponíveis mencionadas anteriormente, respectivas ao período entre 2013-2022 e sem cobertura de nuvens na região.

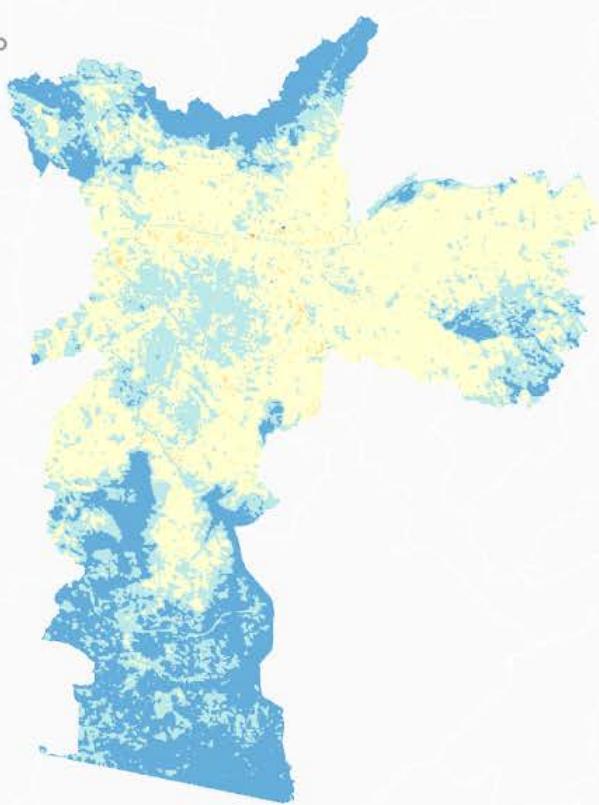
Verão



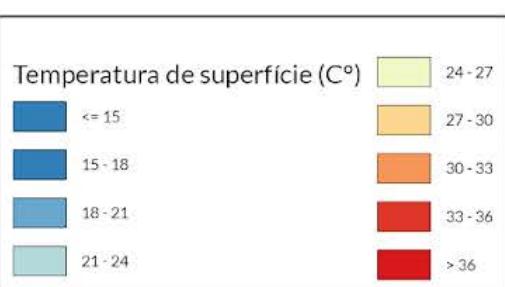
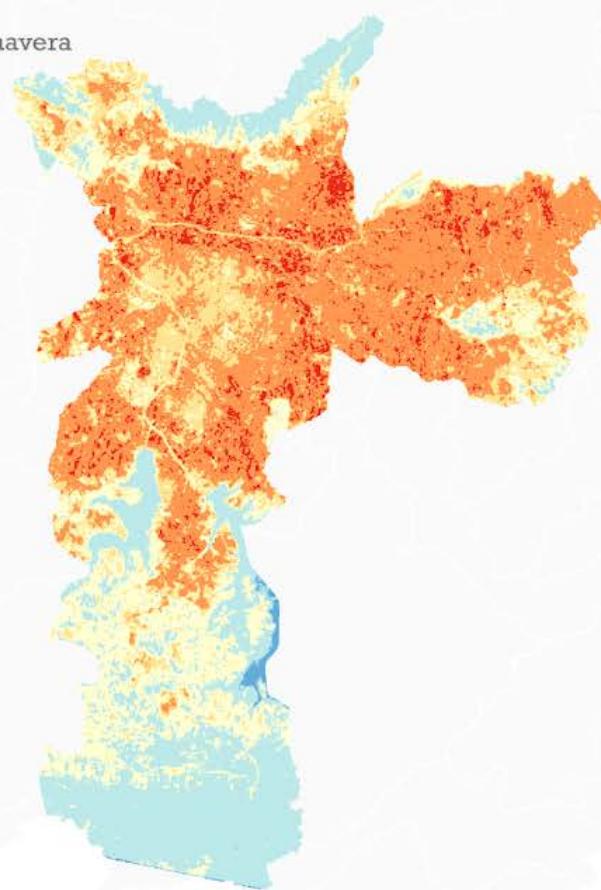
Inverno



Outono



Primavera



0 5 10 km

Figura 20 – Distribuição das Tsup na cidade de São Paulo por estação do ano (2013–2022)

O quadro das temperaturas confirma dois aspectos fundamentais para a análise do clima na cidade: primeiro, indica diferenças substanciais entre dois períodos do ano, sendo um período quente e úmido (primavera e verão) e outro mais ameno e seco (outono e inverno); além disso, demonstra que a espacialização das temperaturas é bastante heterogênea na cidade e locais diferentes podem condicionar a sensações térmicas muito distintas para as pessoas em um mesmo dia e horário.

Tabela 5 - Estatísticas das médias de T_{sup} por estação do ano em São Paulo. Fonte: Landsat. Elaboração própria.

Estatísticas das médias de T_{sup} por estação do ano em São Paulo (em C°)

Dados dos mapas agregados das temperaturas de superfície obtidas a partir das imagens dos satélites Landsat entre 2013 e 2022

Estação	Média	5th Percentil	95th Percentil	Desvio Padrão	Amplitude
Verão	28.64	27.8	33.3	3.4	5.5
Outono	23.24	19.75	26.22	2.24	6.47
Inverno	22.46	18.43	25.63	2.42	7.2
Primavera	27.92	22.1	33.13	3.8	11.03

A medida dessa diferenciação de temperatura de superfície pode ser relevante em uma mesmo conjunto de estações; no conjunto primavera-verão as temperaturas superficiais da primavera tem amplitude consideravelmente maior do que a de outras estações, o verão, no entanto, apresenta a menor amplitude térmica, embora registre

valores muito altos para os percentis²⁰; de maneira semelhante, entre outono e inverno a amplitude térmica do outono é menor, mas ainda notória. A leitura comparada dos mapas e da tabela mostra que existe alguma regularidade entre a distribuição das temperaturas superficiais em cada estação, com extremos relacionados às áreas mais amenas e mais quentes e uma porção de superfícies com temperaturas intermediárias. Entendendo uma distribuição semelhante entre as estações de um mesmo conjunto, optou-se por trabalhar, principalmente, com os dados de T_{sup} relacionados ao verão, considerando essa a época de maior magnitude das temperaturas e umidade do ar, logo, o período do ano onde o cuidado com a vulnerabilidade ao calor é mais preocupante.

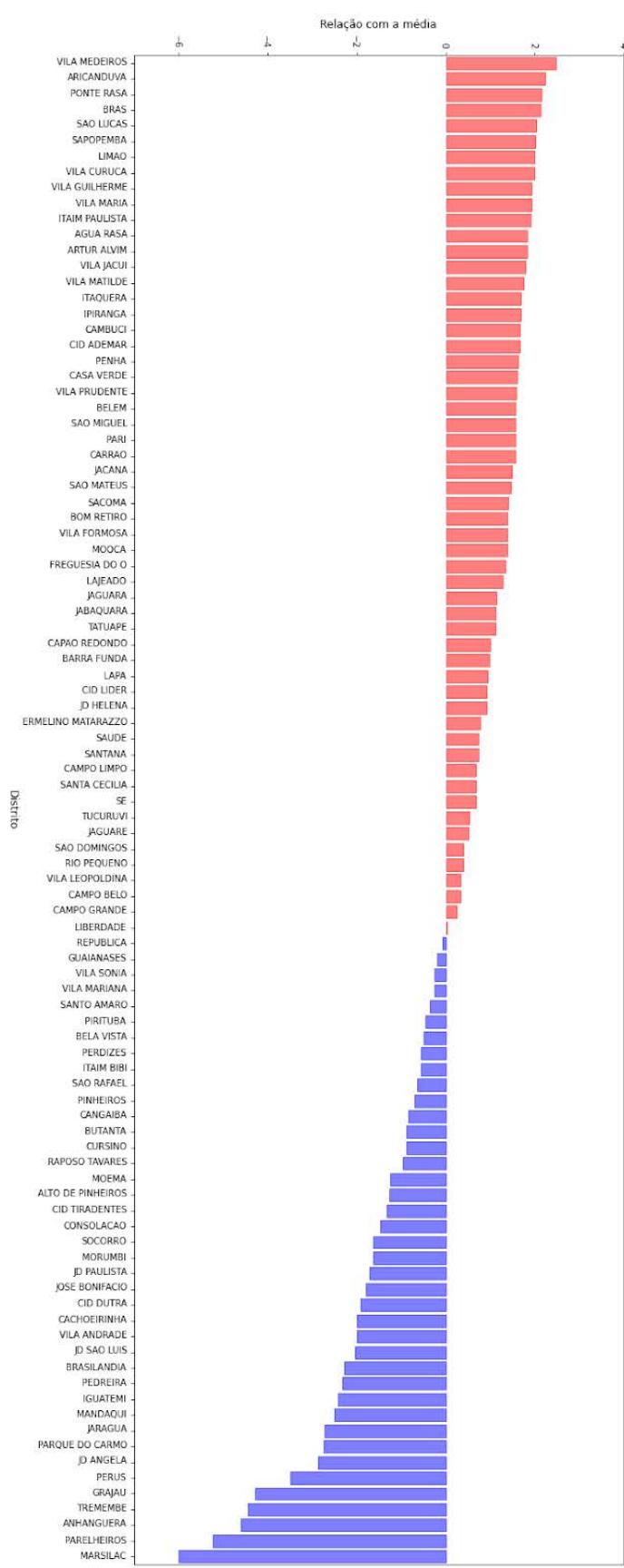
Não é esperado que os limites administrativos refletem as condições de T_{sup} em sua totalidade e heterogeneidade, visto que esses limites são mais políticos do que geográficos e dizem respeito a um conjunto de fatores que determinam a T_{sup} e que se distribuem de maneiras distintas em cada espaço, com concentrações de zonas com altas ou baixas temperaturas em cada distrito. No entanto, resguardadas as devidas considerações, em uma primeira abordagem, os dados agregados de temperatura por distritos podem facilitar a leitura e a comparação desses dados com outros

²⁰ Os percentis indicam sobre o total numérico do conjunto dos dados até aquela marcação, entre 0 e 100. Isso significa que os dados presentes no 5º percentil indicam o conjunto dos valores equivalentes aos 5% menores de todo o conjunto (ou 95% maiores), do mesmo modo, o 95º percentil fala sobre os dados que estão entre os 5% maiores do conjunto (ou 95% menores). A adoção dessa variável estatística se deu porque foi considerada muito mais consistente do que os valores de mínimas e máximas, visto que temperaturas extremas podem indicar quadros que não são tão usuais e ocorrer em dias atípicos, que podem confundir a leitura sobre uma determinada estação do ano.

correlatos aos objetivos deste trabalho.²¹ Agregando-se os dados de T_{sup} por zonas, percebem-se variações de T_{sup} de mais de 11°C entre os distritos da capital. Os dados agregados indicam que durante o período de 2013-2022 os distritos mais quentes da capital durante o verão foram, em ordem decrescente: Vila Medeiros, Aricanduva, Ponte Rasa, Brás, São Lucas, Sapopemba, Brás, Vila Curuçá, Vila Guilherme e Vila Maria. Simultaneamente, os distritos mais amenos - isso é, com as menores médias de temperatura de superfície - foram, em ordem decrescente: Marsilac, Parelheiros, Anhanguera, Tremembé, Grajaú, Perus, Jardim Ângela, Parque do Carmo, Jaraguá e Mandaqui. O distrito “Vila Medeiros” - o mais quente da capital - apresentou uma média pouco acima de 2°C graus mais quente que a média da capital, enquanto Parelheiros - um dos distritos mais amenos de São Paulo²² - indicou T_{sup} aproximadamente 6°C graus inferior à média da cidade.

²¹ É importante apontar que neste trabalho não foram utilizadas máscaras para recortar as regiões de água nos mapeamentos de T_{sup} . Essa escolha não modifica os valores gerais de temperaturas de superfície, mas se reflete nos valores de dados agregados, como é o caso das T_{sup} s por distrito. Assim, distritos com altos índices de corpos d’água (como os da região sul) podem aparecer mais amenos no mapa do que são na realidade.

²² O caso do Marsilac deve ser observado com cautela, pois as imagens dos satélite Landsat utilizadas não capturam o distrito por inteiro na mesma imagem; assim, a verificação numérica que se obtém diz respeito apenas a uma parte do mesmo. Como as imagens obtidas do distrito são da parte mais urbanizada, prevê-se que uma análise de toda sua extensão revelaria médias de temperatura de superfície ainda menores e uma variabilidade maior em relação aos outros distritos. No entanto, devido ao grande trabalho envolvido na obtenção de toda extensão do distrito (relacionado com a obtenção e junção de todas as imagens de satélite) e ao peso relativamente pequeno no escopo e leitura geral da pesquisa, optou-se pela não utilização de outros conjuntos de imagens que revelariam a parte mais ao sul do Marsilac.



Temperatura dos distritos da capital em relação à média para o verão (2013-2022)

Figura 21 – Variação na temperatura de superfície média obtida para cada distrito da capital a partir das imagens de satélite. Fonte: Dados Landsat (2013-2022). Elaboração própria

A visualização das temperaturas por distrito aponta uma assimetria na distribuição das T_{sup} durante o verão. Em

uma distribuição simétrica da T_{sup} , esperar-se-ia que as máximas das médias de temperatura oscilassem numericamente de forma equivalente em relação à média geral (os distritos seriam 2°C mais quentes ou 2°C mais frios, por exemplo). No entanto, identifica-se que os locais com menores médias temporais de temperatura da superfície possuem decréscimos de T_{sup} de até, aproximadamente, -6°C que são, portanto, mais acentuados do que os incrementos máximos de temperaturas identificados nos distritos mais quentes, os quais alcançam variação máxima de pouco mais de +2°C. A diferença entre os máximos e mínimos da amplitude térmica é acompanhada de uma curva de distribuição da T_{sup} desigual entre os distritos; assim, o que se verifica é que a distribuição do aumento (ou diminuição) das temperaturas de superfície é gradativa entre aquelas dos distritos mais quentes, indicando uma variabilidade da temperatura menor dentro desse conjunto.²³

Na prática, essa distribuição indica que a **espacialização do aquecimento urbano mantém alguma regularidade entre os distritos da capital**, observada pela distribuição gradativa das T_{sup} médias, sem que exista algum distrito que é exacerbadamente mais quente que todos os outros, em média, no horário da captura das imagens. Esse fato, no entanto, não anula a condição de disparidade entre as temperaturas que é evidenciada dentro do município, visto que mesmo entre os distritos com T_{sup} maior do que a média, uma variação de 2°C, em média, na T_{sup} é significativa.

²³ O incremento médio entre os distritos mais quentes seria obtido pelo aumento da T_{sup} em relação à média dividido pelos n distritos com temperatura maior que a média (para o caso, $n = 56$);

As temperaturas de superfície obtidas nessa série temporal indicam que entre o conjunto de distritos com as menores médias de T_{sup} para o período, existe uma diferença notória entre os valores das T_{sup} ; Entre os seis distritos mais amenos da cidade (Perus, Grajaú, Tremembé, Anhanguera, Parelheiros e Marsilac), a diminuição em relação à média geral é consideravelmente maior do que aquela identificada entre os outros distritos; assim, contrariamente ao caso dos distritos mais quentes, entre os distritos mais amenos percebe-se uma **quebra na regularidade espacial da diminuição da temperatura de superfície no município**.

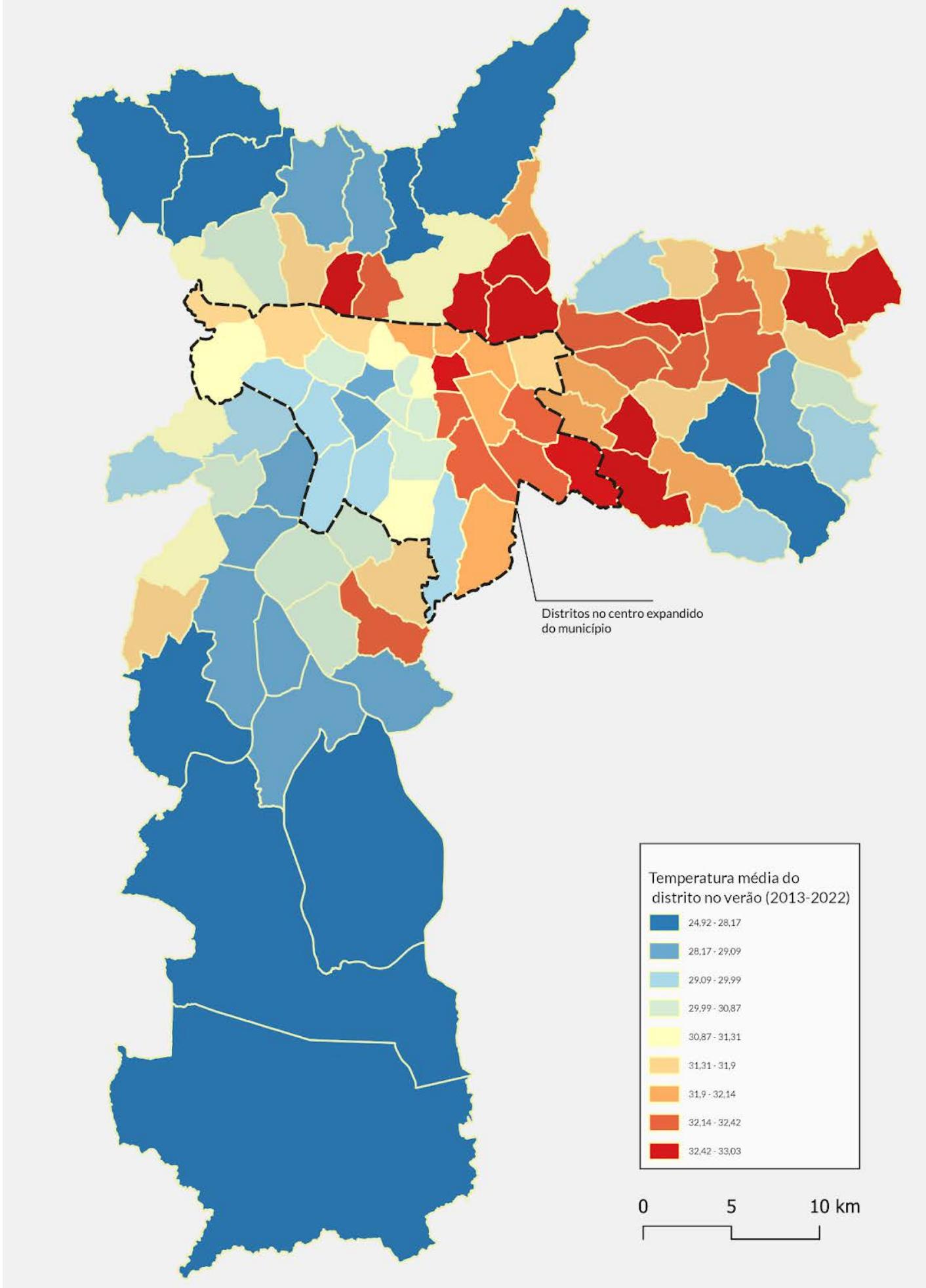
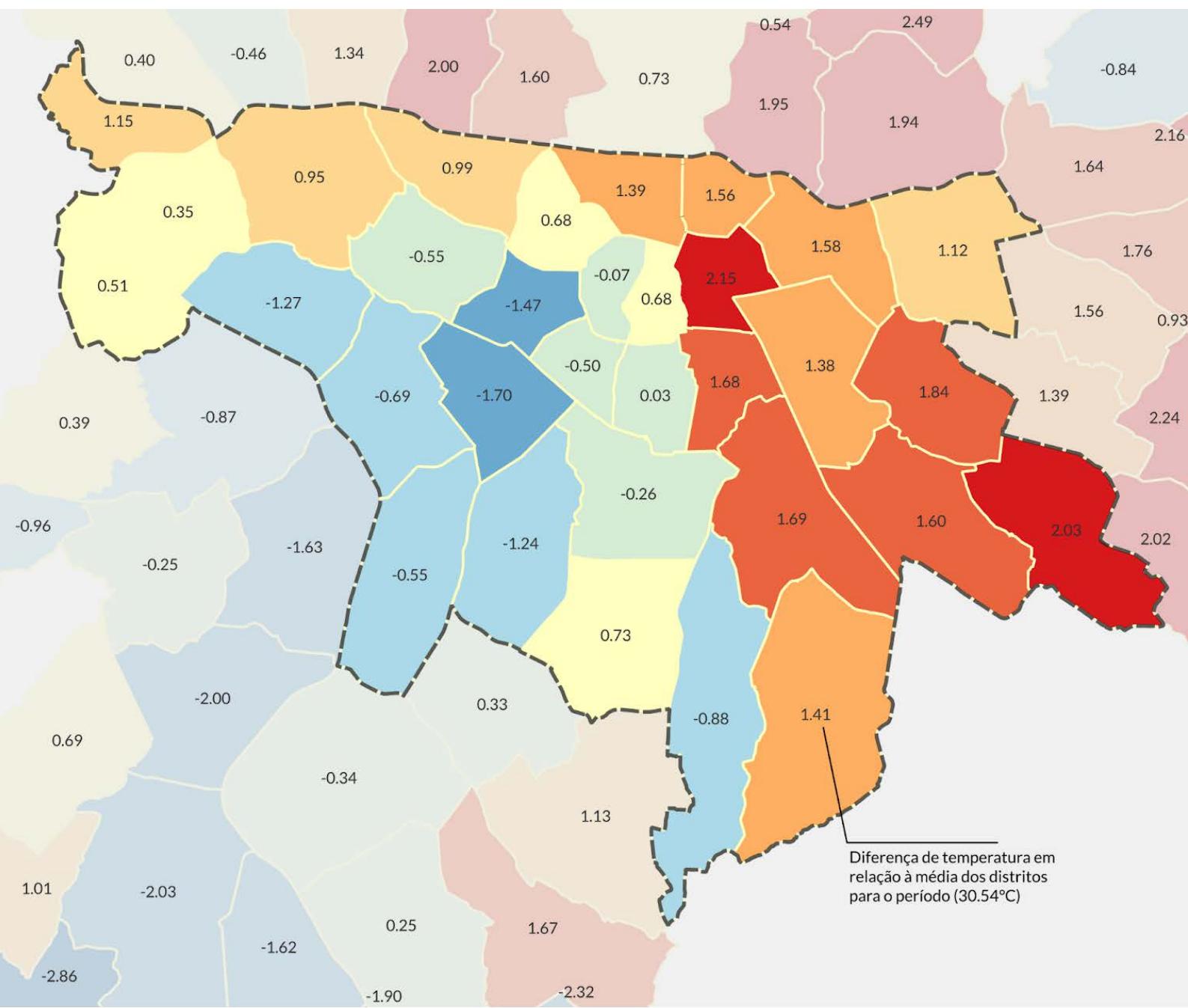


Figura 22 – Tsup média para cada distrito da capital a partir das imagens termais de satélite. Fonte: Dados Landsat (2013–2022). Elaboração própria

Os distritos com as maiores temperaturas de superfície médias estão localizados nas regiões leste (Aricanduva, Brás, Ponte Rasa, Sapopemba, São Lucas e Vila Curuçá) e norte (Limão, Vila Guilherme, Vila Maria e Vila Medeiros) da capital paulista; dentre esses distritos, Brás, Limão, São Lucas, Vila Guilherme e Vila Maria estão inseridos ou se avizinham ao Centro Expandido²⁴. Os distritos Aricanduva, Ponte Rasa, Vila Curuçá e Vila Medeiros não se situam nas proximidades do centro da capital; os três primeiros, inclusive, localizam-se em uma porção mais afastada na parte leste da cidade. Paralelamente, todos os dez distritos com as menores T_{sup} observadas localizam-se nas periferias sul e norte do município, em áreas distantes do centro e que se avizinham dos parques municipais ou estaduais, com grandes áreas verdes preservadas, além da região dos mananciais e áreas verdes remanescentes, onde há grande influência, também, da brisa marítima (FREITAS, 2004). A **localização dos distritos com maiores e menores T_{sup} dentro da cidade de São Paulo** mantém uma conformação que compreende, em partes, a **distribuição de ilhas de calor de superfície**, no sentido de que várias das regiões mais quentes encontram-se no centro densamente construído da cidade, enquanto as áreas de menores T_{sup} fazem fronteira com trechos não urbanizados da capital paulista. Essa suposição, no entanto, não é integralmente verificada para o caso paulistano pois se verificam, simultaneamente, distritos com altas temperaturas de superfície e afastados do centro, assim como distritos com baixa ou média T_{sup} completamente inseridos no centro do município.

²⁴ O centro expandido de São Paulo é a divisão político-administrativa da cidade delimitada pelas subprefeituras da Sé, Lapa, Pinheiros, Vila Mariana, Ipiranga, Mooca e Vila Prudente.

O mapa de verão indica que a variação da T_{sup} acontece em todas as áreas da cidade, mas uma aproximação de escala em direção à visualização dos distritos localizados no núcleo do centro urbano pode auxiliar no entendimento das diferentes dinâmicas de aquecimento urbano. Na região central da cidade onde, teoricamente, deveriam ser encontradas as maiores temperaturas de superfície do município, esses números aparecem, de fato, em alguns distritos (como o Brás, por exemplo), mas dentro de um conjunto com alta variabilidade de temperatura, devido, em grande parte, às questões morfológicas da cidade além da distribuição muito desigual de vegetação no meio urbano.



Temperatura média e variação da média para cada distrito no verão (2013-2022)

■	24,92 - 28,17
■	28,17 - 29,09
■	29,09 - 29,99

■	29,99 - 30,87	■	32,14 - 32,42
■	30,87 - 31,31	■	32,42 - 33,03
■	31,31 - 31,9		
■	31,9 - 32,14		

0 2 4 km

Figura 23 – Variação da Tsup de cada distrito do centro expandido em relação à Tsup média do município de São Paulo. Fonte: Dados Landsat (2013-2022). Elaboração própria

Os distritos centrais com T_{sup} mais elevadas são vizinhos a outros distritos com temperaturas consideravelmente menores; interessante notar que essa região não registra nenhum distrito com as menores T_{sup} do município, mas concentra temperaturas médias agregadas muito menores que as do restante da cidade, como nos casos dos distritos Jardins Paulista (com variação de -1,7°C em relação à média), Consolação (variação de -1,43°C), Alto de Pinheiros (-1,27°C) e Itaim Bibi (-1,24°C). A existência dessas regiões paralelamente aos distritos mais quentes na região central cria uma situação onde os distritos mencionados tornam-se espécies de oásis urbanos, locais onde a T_{sup} , observada dessa escala, tem uma variação expressiva em relação à sua vizinhança (exemplo é a variação de 2.46°C entre a Consolação e a Barra Funda).

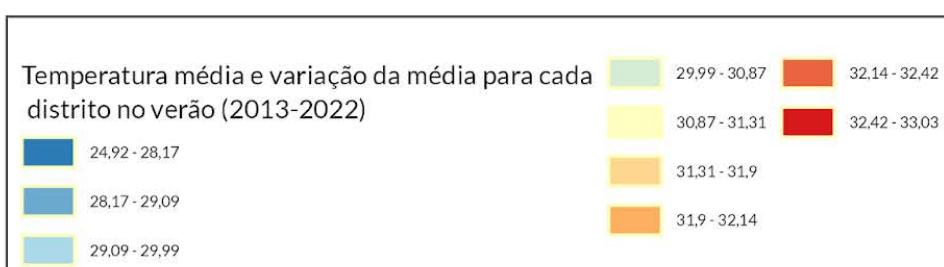
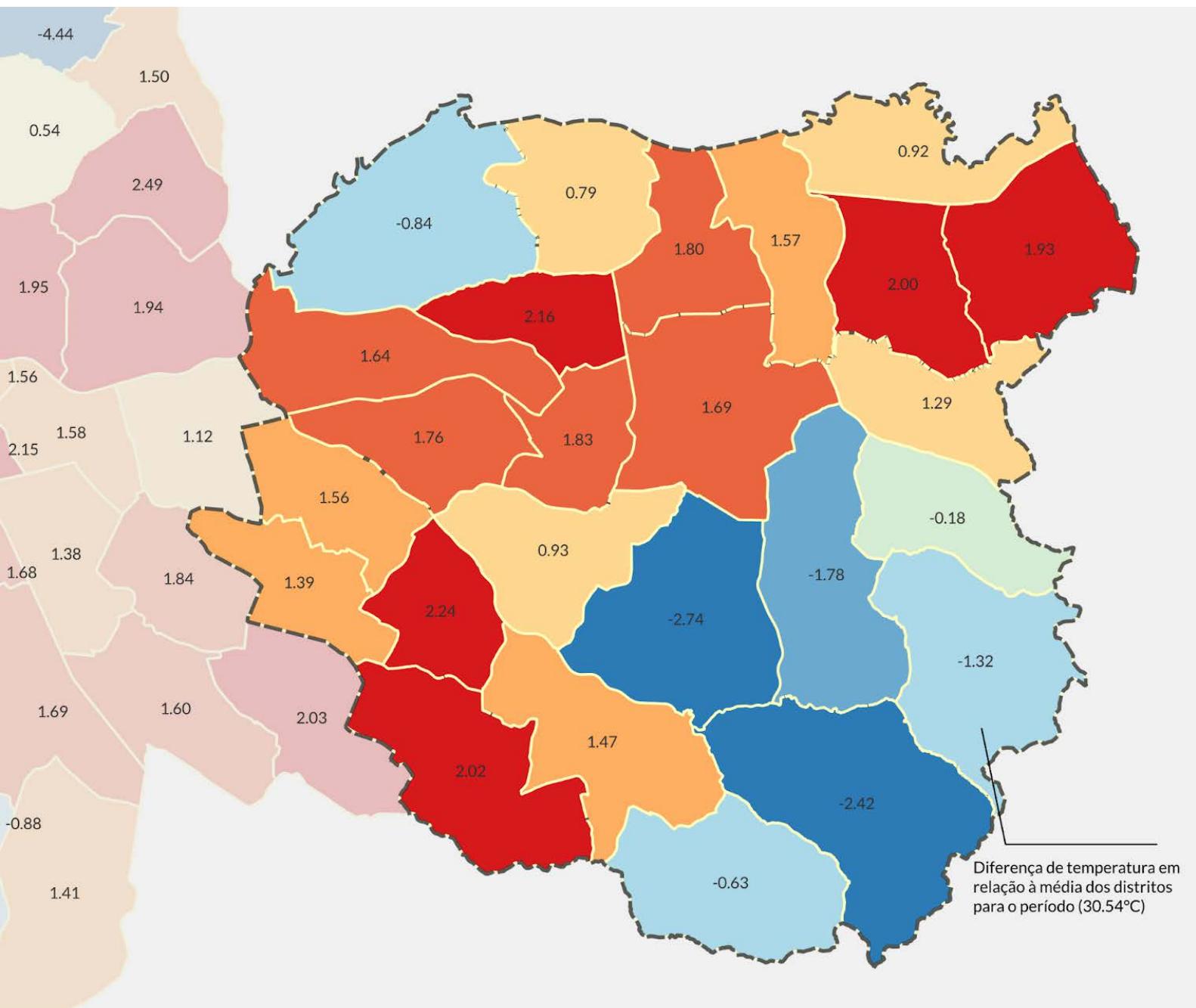


Figura 24 – Variação da Tsup de cada distrito da zona leste em relação à Tsup média do município de São Paulo. Fonte: Dados Landsat (2013-2022). Elaboração própria

A leitura da T_{sup} na zona leste da capital exibe um quadro que se assemelha, quanto à disparidade da distribuição das médias, com a área central de São Paulo. Na região sobressaltam distritos com altíssimas temperaturas, entre os quais os mais quentes da cidade, mencionados anteriormente, que se avizinham ou estão próximos de regiões de oásis urbanos, totalmente inseridos na malha urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo (na medida em que localizam-se na periferia da cidade de São Paulo e que fazem fronteira com outras cidades do ABC Paulista). Nesse caso, alguns distritos, como Itaim Paulista e Vila Curuçá, embora distantes do centro da capital paulista, apresentam T_{sup} aproximadamente 2°C mais altas que as médias da cidade; essas regiões estão próximas de alguns dos distritos mais amenos da cidade, como José Bonifácio (-1.74°C) e Cidade Tiradentes (-1.32°C). O caso da zona leste apresenta, ainda, alterações de T_{sup} entre distritos vizinhos maiores do que as encontradas na região central, com diferenças de 4.43°C entre o Parque do Carmo (-2.74°C) e Itaquera (1.69°C).

Nos casos apresentados, os contrastes de T_{sup} parecem recorrentes na medida em que as zonas podem ser caracterizadas, a partir do seu clima urbano, como áreas com grande amplitude térmica entre distritos vizinhos que concentram extremos de temperaturas (baixas ou altas). Essa constatação indica que existem aspectos diferenciais de T_{sup} a serem considerados além da posição geográfica dos espaços. Deve-se considerar que do ponto de vista climático, o aumento da T_{sup} acontece a partir de uma série de fatores e eventos, com alguns que extrapolam a escala

dos distritos e mesmo a escala de análise deste trabalho²⁵, e outros que mantêm maior relação com o microclima e a escala urbana. As ilhas de calor urbana, anteriormente explicadas, são fenômenos que podem estar relacionados com as condições de calor ao longo da cidade e que mantêm relação com características encontradas nos distritos; Os tipos de materiais das superfícies construídas, a pavimentação viária e a disposição dos edifícios são características que podem exacerbar as condições de T_{sup} na escala analisada. Por outro lado, a presença de área verde (e a densidade dessa vegetação), a proximidade aos rios ou fontes de água e a existência de espaços livres são características que podem atenuar a sensação de calor nos diferentes distritos. Uma série de variáveis pode estar relacionada à amenização ou exacerbação do calor na cidade e, nesse sentido, é interessante o estudo de algumas delas.

²⁵ A mudança do clima global, ocorrida pela emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, e as ondas de calor – fenômenos naturais exacerbados pela mudança do clima e que são os períodos de mais de três dias nos quais a temperatura atinge valores extremos, segundo Araújo (2017) – são exemplos de fenômenos e eventos que contribuem para o aumento das temperaturas do ar e da superfície em áreas urbanas mas que extrapolam os limites estabelecidos de análise.

8. Aprofundando o conhecimento da exposição ao calor na cidade: vegetação, morfologia urbana e uso do solo

Os mapas anteriores indicaram que as T_{sup} na cidade de São Paulo acontecem de maneira heterogênea. Nesse momento importa analisar alguns dos fatores que podem estar relacionados à amenização ou exacerbação do calor em São Paulo. Em última instância, uma modificação da superfície seria um dos fatores preponderantes para a T_{sup} ; no entanto, na escala deste trabalho, esse tipo de variável perde espaço para outras, que podem ter mais relação com as condições microclimáticas.

A escolha pelas variáveis de vegetação e morfologia se deu pela extensa revisão da literatura nas relações com efeitos de aquecimento (Ng. et. al. 2010; Zhou et. al., 2021; Oke et. al., 2017; Amnipouri et. al., 2019; Ferreira, 2019; Stewart, 2021, IPCC 2022), além da possibilidade de mapeamento, por tratarem-se de variáveis predominantemente espaciais. As mesmas variáveis têm, ainda, um imbricamento histórico com a expansão horizontal da cidade de São Paulo, discutida anteriormente. Assim, sua leitura ajuda a compreender os efeitos do aquecimento no ambiente urbano, enquanto situa a relação entre o processo de urbanização e a caracterização desses mesmos fenômenos.

O desenvolvimento da cidade, o crescimento demográfico e construtivo e a expansão horizontal da franja urbana estão profundamente relacionados com a diminuição da área verde na capital paulista, em um

processo que ocorreu desde antes da república, mas que certamente foi muito intensificado durante o século XX, especialmente durante a segunda metade desse período.

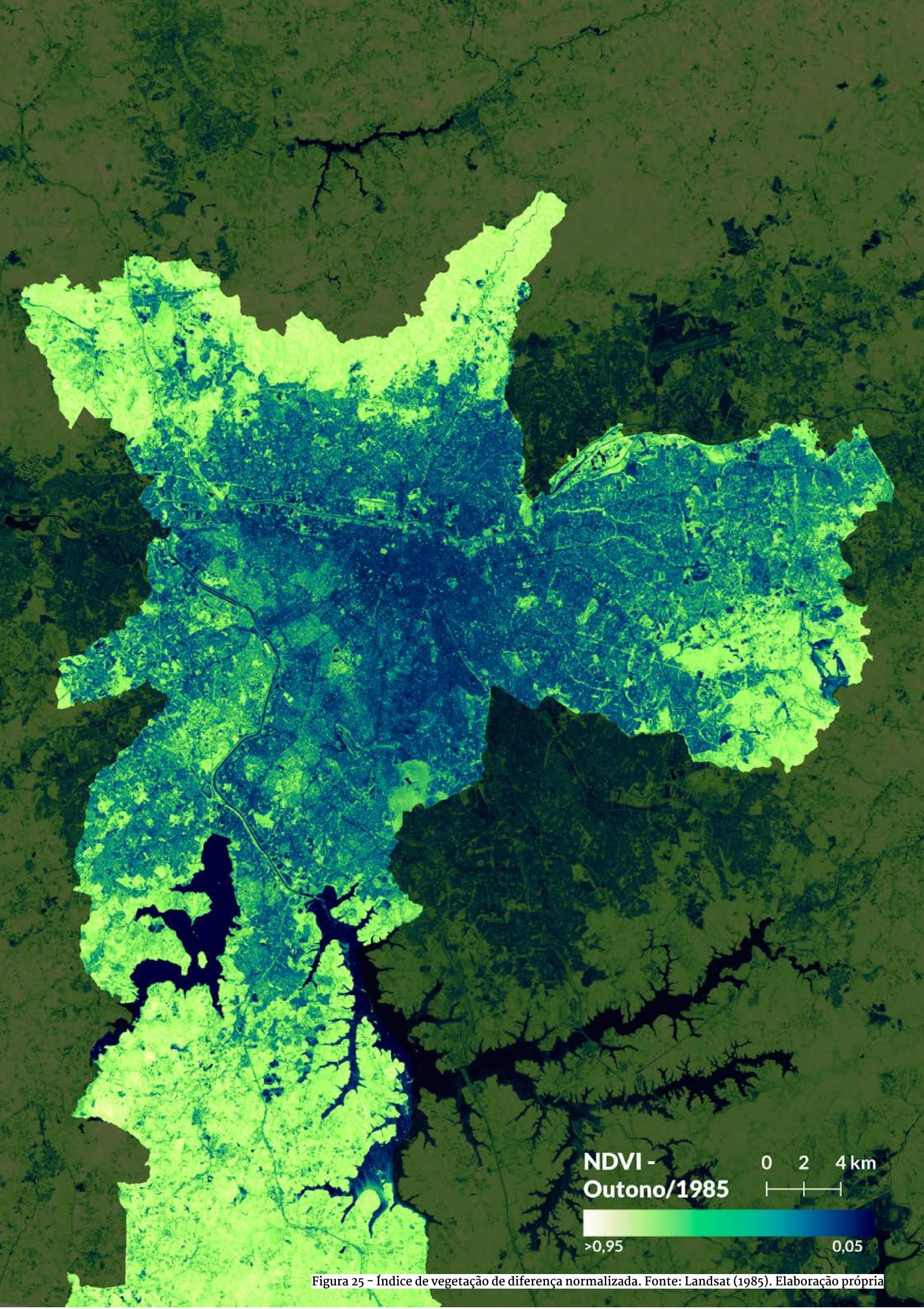


Figura 25 – Índice de vegetação de diferença normalizada. Fonte: Landsat (1985). Elaboração própria

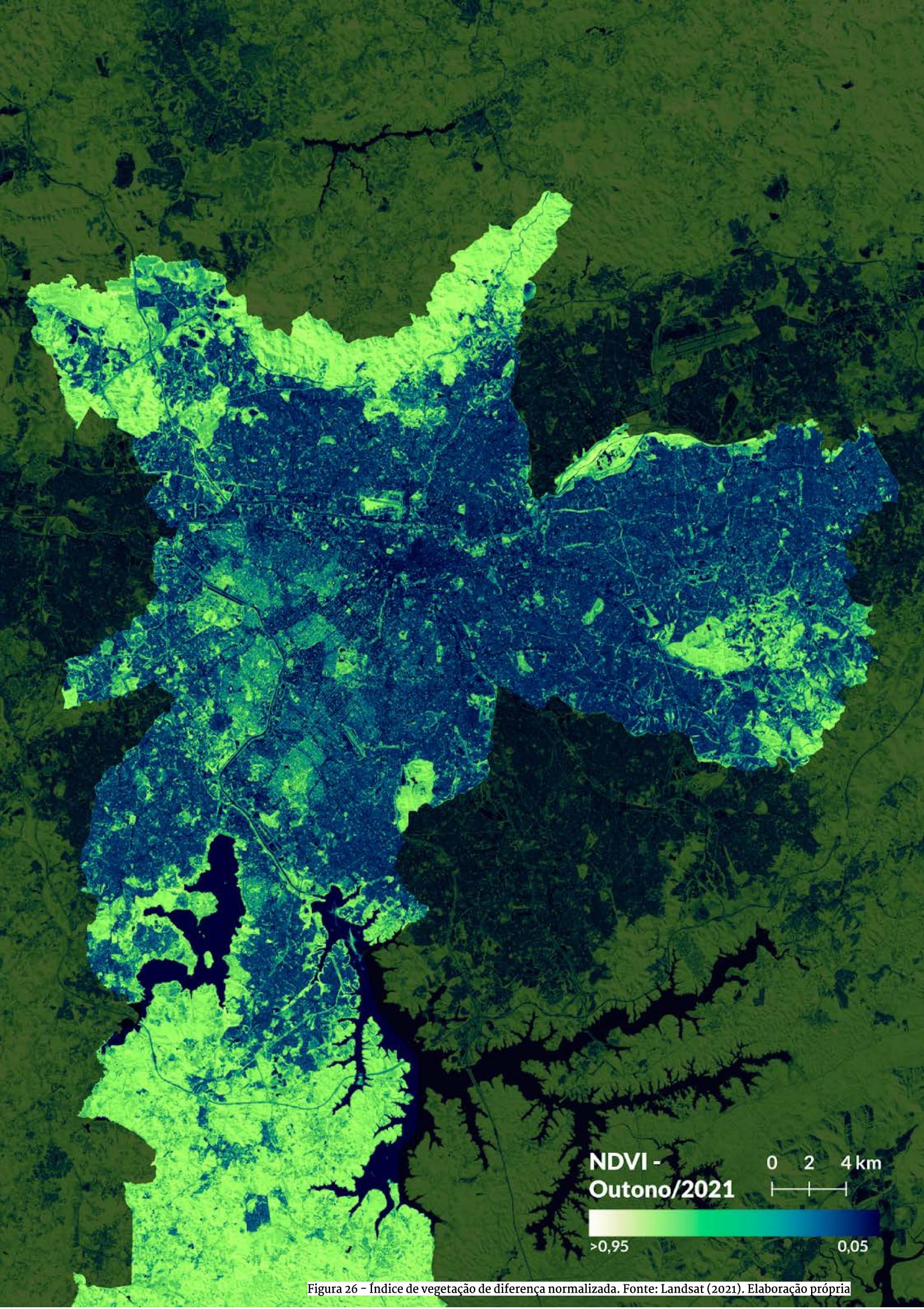


Figura 26 – Índice de vegetação de diferença normalizada. Fonte: Landsat (2021). Elaboração própria

Os mapas de índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI devem ser tomados com cautela, pois representam a luminosidade emitida pelas superfícies verdes (como explicado no capítulo 6) mas dão dimensão, com alguma segurança, à presença de área verde na capital paulista e nos arredores próximos na região metropolitana. Pelos mapas, é possível observar uma diminuição da vegetação em toda a cidade, acompanhada de um aumento da área construída, nesse caso podendo ser a cobertura dos edifícios, a pavimentação viária ou apenas a supressão da vegetação. A figura de 1985 indica uma concentração de mancha urbana intensa no centro da cidade, vizinha a algumas manchas verdes, isso é, áreas inseridas na malha urbana, mas com índice de vegetação maior do que as redondezas; no período, a região leste já aparece densamente construída, mas mantinha área verde significativa na porção mais extrema do município. Já o NDVI de 2021 mostra um quadro bem diferente do primeiro: em grande parte do município a área construída é mais densa do que as maiores do período anterior; além disso, as manchas verdes se destacam mais, provavelmente devido ao contraste ainda maior das áreas verdes com o entorno urbanizado e uma descontinuidade mais evidente da vegetação na cidade. Algumas regiões - como a porção centro-sul da cidade - mantêm manchas verdes ainda muito semelhantes ao período anterior, mas são certamente uma minoria frente à perda nítida de vegetação no extremo leste, na porção norte, em direção às áreas remanescentes, e na porção sul, nas fronteiras com as regiões de mananciais

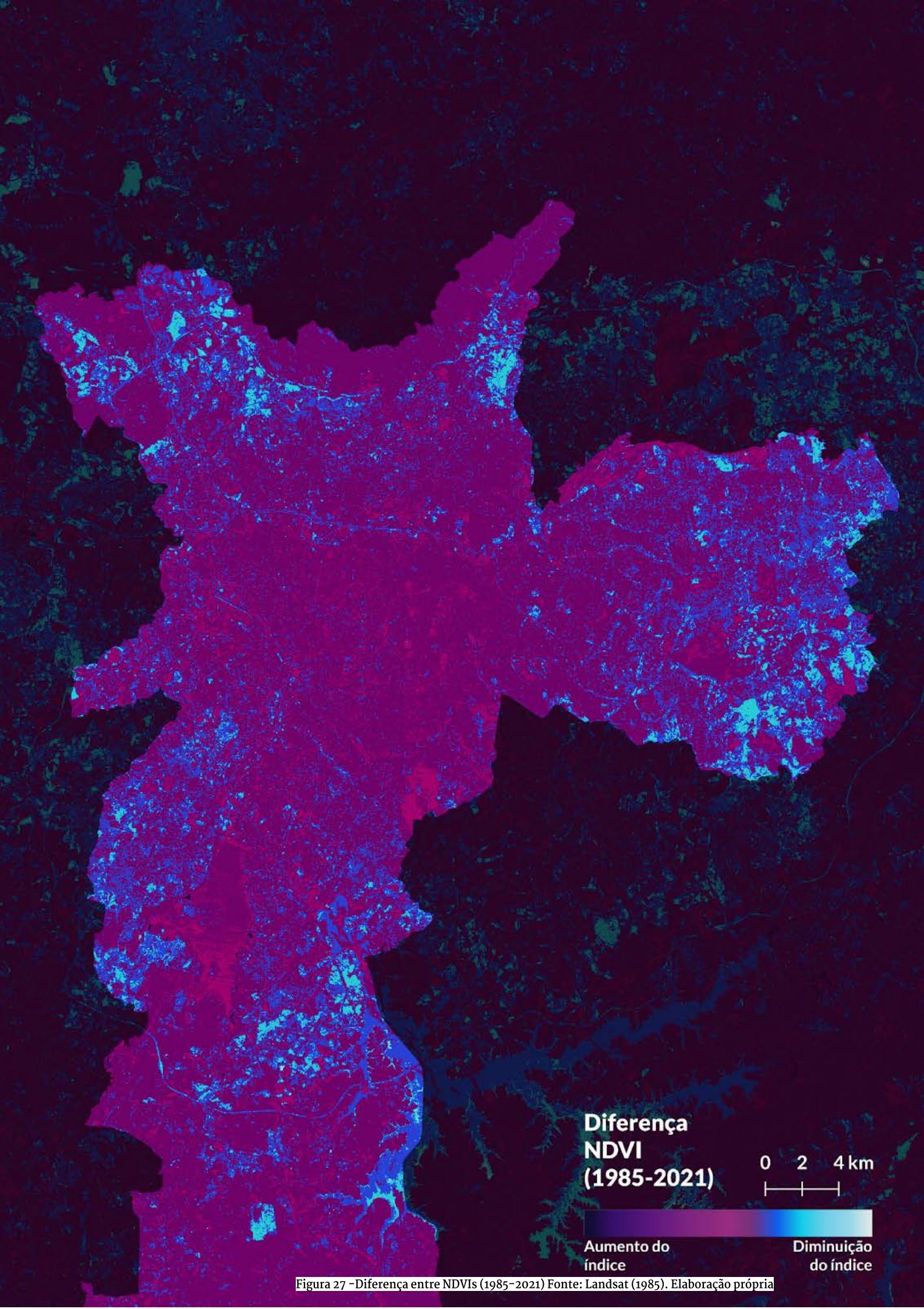


Figura 27 -Diferença entre NDVIs (1985-2021) Fonte: Landsat (1985). Elaboração própria

Analisando-se o mapa da diferença entre os índices de vegetação dos dois períodos, é possível observar mais detalhadamente onde ocorreram os ganhos e perdas de vegetação na capital durante o período, o incremento de vegetação não foi muito grande e ocorreu, principalmente, na região central da cidade e em parques urbanos próximos às áreas adensadas, como no Parque Ecológico do Tietê, na zona leste, e na região do Jabaquara, na área que compreende o Zoológico de São Paulo. Nos últimos dois casos, o ganho de vegetação está provavelmente relacionado aos cuidados na relação com a criação de áreas de preservação da fauna e da flora. O Parque Ecológico do Tietê, por exemplo, é um projeto de 1983, proposto como bacia de contenção do Rio Tietê - a fim de minimizar enchentes - e foi revitalizado a partir de 2004, com projeto de preservação dos cerca de 14 milhões de m² que se estendem entre a Penha e São Miguel Paulista.²⁶ O zoológico data da década de 1950 e, desde então, mantém diversos projetos de preservação e qualificação da fauna da flora²⁷

²⁶ Fonte: [História do Parque Ecológico do Tietê - PET \(parqueecologicodotiete.com.br\)](http://parqueecologicodotiete.com.br). Acesso em outubro/2022

²⁷ Fonte: [Zoológico SP - Sobre o ZOO \(zoologico.com.br\)](http://zoologico.com.br). Acesso em outubro/2022

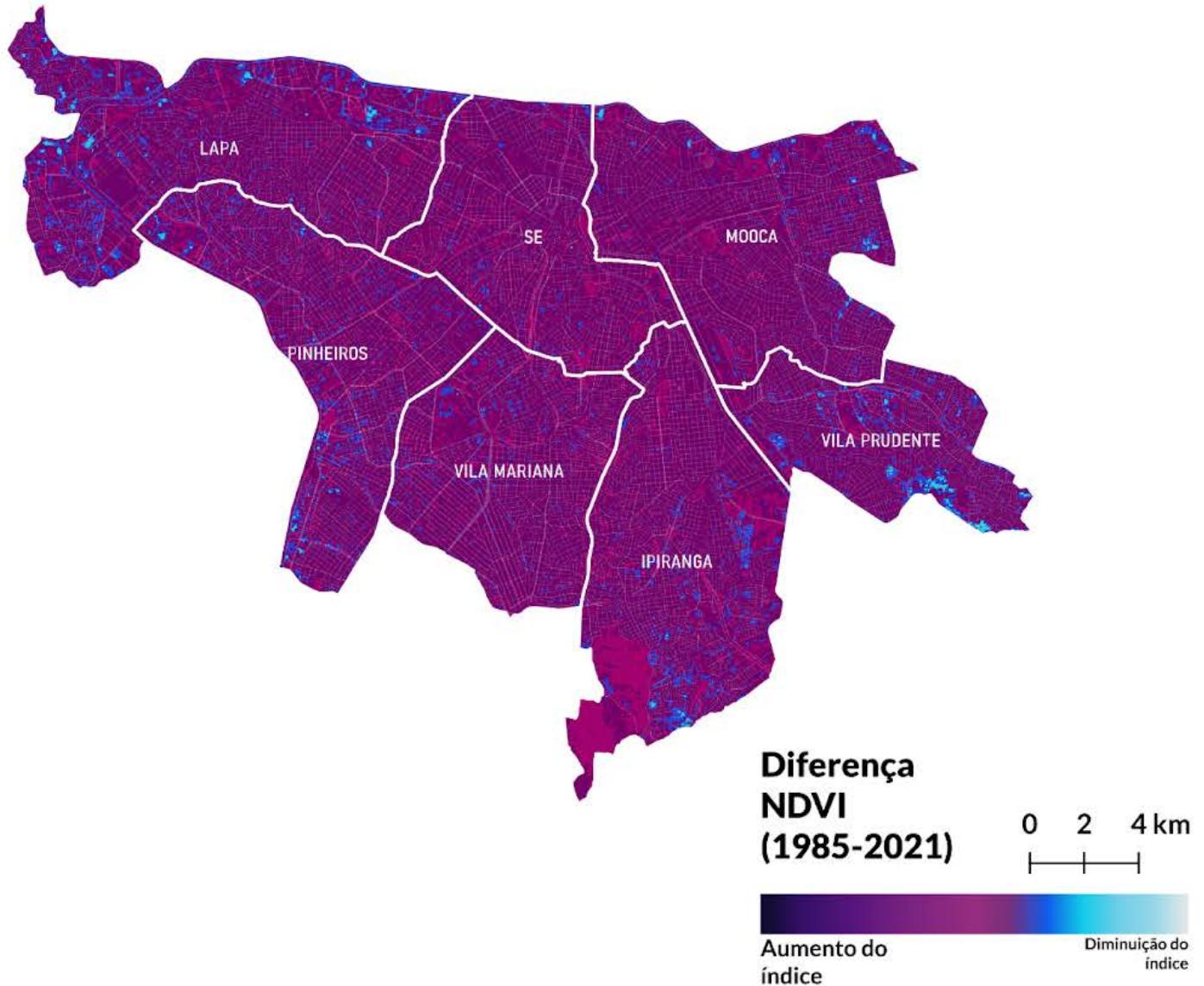


Figura 28 – Diferença de NDVI (1985–2021) na região central de São Paulo.
Fonte: Landsat. Elaboração própria

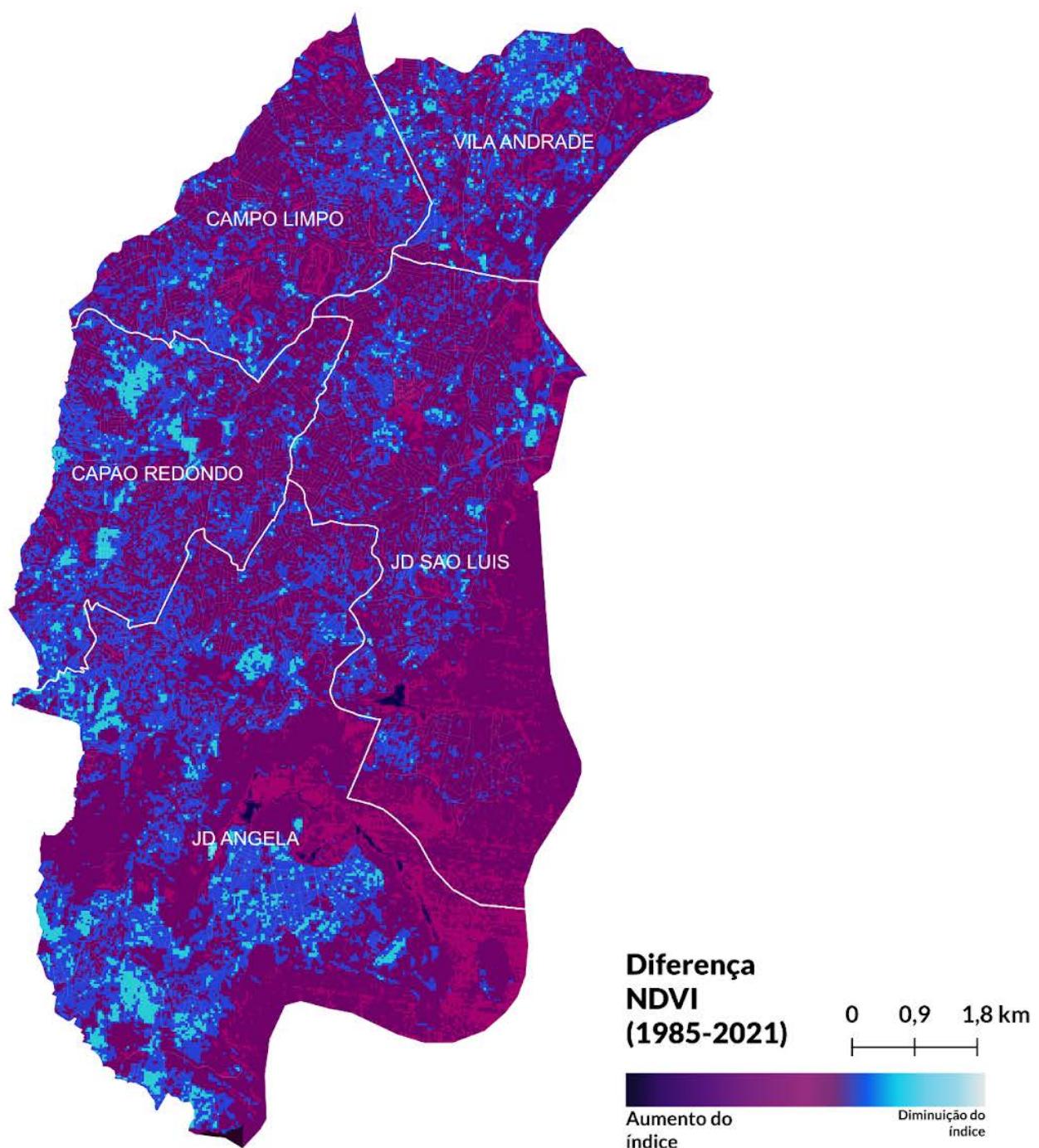
Na região central as áreas com aumento da vegetação são mais numerosas, mas menos densas; esse aumento tem relação com regiões que diferem dos grandes parques lineares com intenso projeto de revitalização aplicado. Nesse caso, a distribuição da área verde segue grandes avenidas locais, como o Corredor Norte-Sul, na subprefeitura da Sé, as avenidas Nazaré e Almirante Delamare, no Ipiranga e na Rua Henrique Schaumann, em Pinheiros. Essas avenidas são vias de conexão ao bairro ou mesmo grandes eixos residenciais; nesse caso, a investigação das áreas por imagens de satélite indica que o aumento de área verde se deu pelo aumento no número de árvores.

As áreas de perda de vegetação foram certamente mais numerosas e maiores do que aquelas de ganho; essas regiões se localizam, principalmente fora do centro da capital, especialmente nas regiões de franja urbana, como apontado anteriormente pela literatura. Nas porções leste e norte, estendem-se até o limite com a área verde nativa, em locais de grande ocupação ao longo do século XX; na região sul, no entanto, importa notar que, além das áreas desmatadas próximas aos mananciais, existe uma região de perda de vegetação muito intensa que compreende desde distritos mais próximos do centro - como a Vila Andrade - até regiões vizinhas a áreas verdes nativas e zonas de mananciais, como o Jardim Ângela. Esse caso é importante porque aponta que, embora a ocupação periférica da cidade tenha grande relação com a perda de vegetação, essa não foi a única dinâmica concorrente no período, tampouco a perda de vegetação se deu apenas para a ocupação de áreas irregulares. No distrito da Vila Andrade, por exemplo, grande parte da terra arrasada foi ocupada por condomínios de luxo e edifícios altos, paralelamente à ocupação de

Paraisópolis, que manteve um tipo de ocupação totalmente distinto. Ainda assim, nessas áreas a perda de vegetação foi principalmente relacionada à constituição de um tipo de moradia ligado à proximidade da infraestrutura do centro, ainda que essas moradias sejam caracterizadas de maneiras distintas em relação a outros aspectos, como a condição

socioeconômica de seus residentes, o padrão de ocupação e a constituição material dos edifícios.

Figura 29 Diferença de NDVI (1985-2021) na zona leste de São Paulo.
Fonte: Landsat. Elaboração própria



A literatura já apontou extensivamente uma relação entre a T_{sup} urbana e a existência de área verde. Nesse sentido, os distritos com pouca área verde são, também, os mais quentes da capital? A compatibilização entre os dados de T_{sup} dos distritos - apresentados no capítulo anterior - e a categorização dos distritos com maiores índices de NDVI aponta alguma correlação.

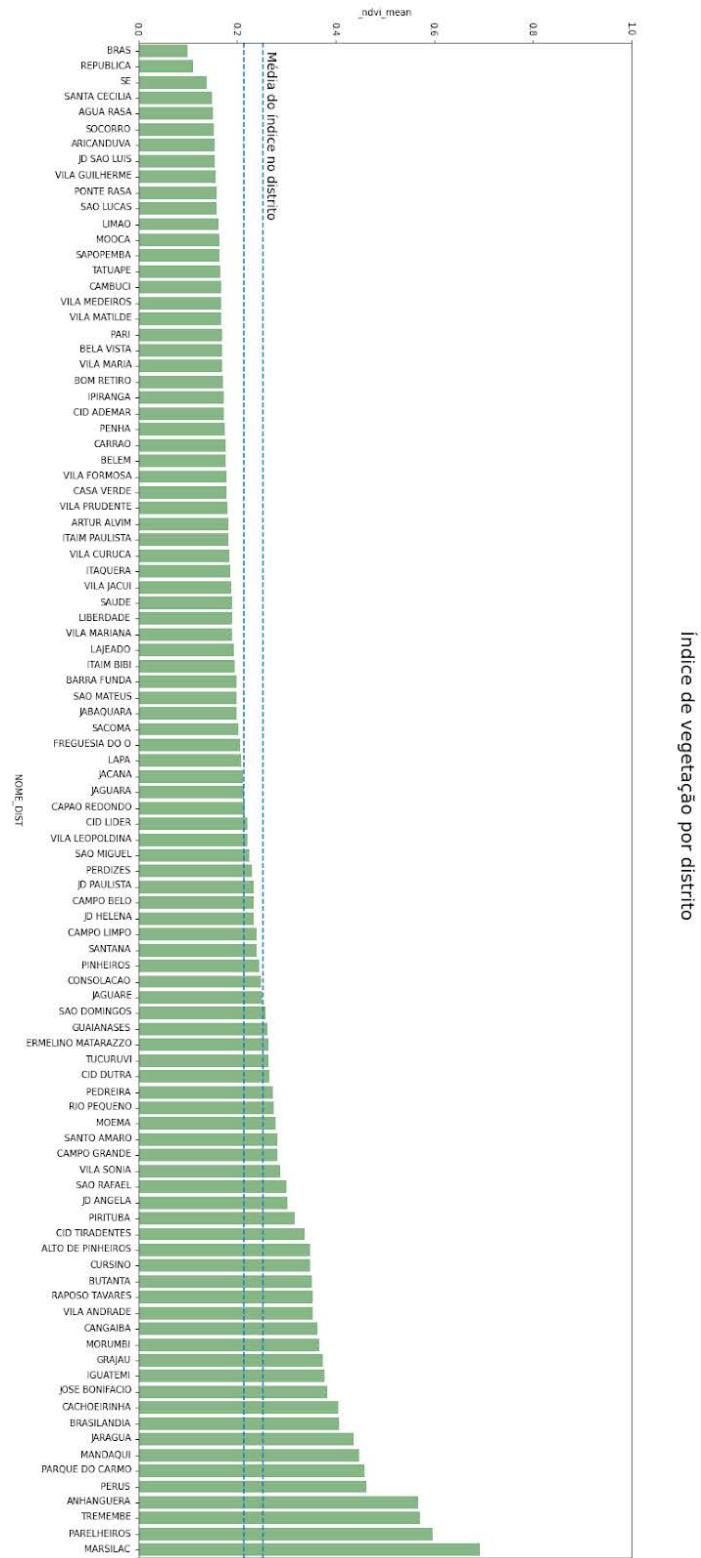


Figura 30 – Índice de vegetação agregada por distrito de São Paulo. Fonte: Dados Landsat (2013–2022). Elaboração própria

Entre os dez distritos com as menores T_{sup} da capital, oito estão entre os com maiores índices de NDVI

(excetuando-se apenas Grajaú e Iguatemi). A grande maioria dos distritos mais quentes estão entre os com menores valores de NDVI, mas nem todos os com menores NDVI aparecem entre os distritos mais quentes, no caso dos distritos "Jd São Luís" e "Socorro" o problema foi causado pela metodologia adotada e, como são distritos com grandes corpos d'água, o NDVI resultou como próximo a -1 quando, no entanto, são áreas mais amenas pela proximidade dos mananciais.

Analizando numericamente os índices de T_{sup} e vegetação na capital paulista, obtém-se uma correlação numérica negativa muito forte entre as duas variáveis, isto é, na cidade de São Paulo, a presença de área verde em uma determinada área influencia diretamente e intensamente na diminuição das T_{sup} daquela mesma região

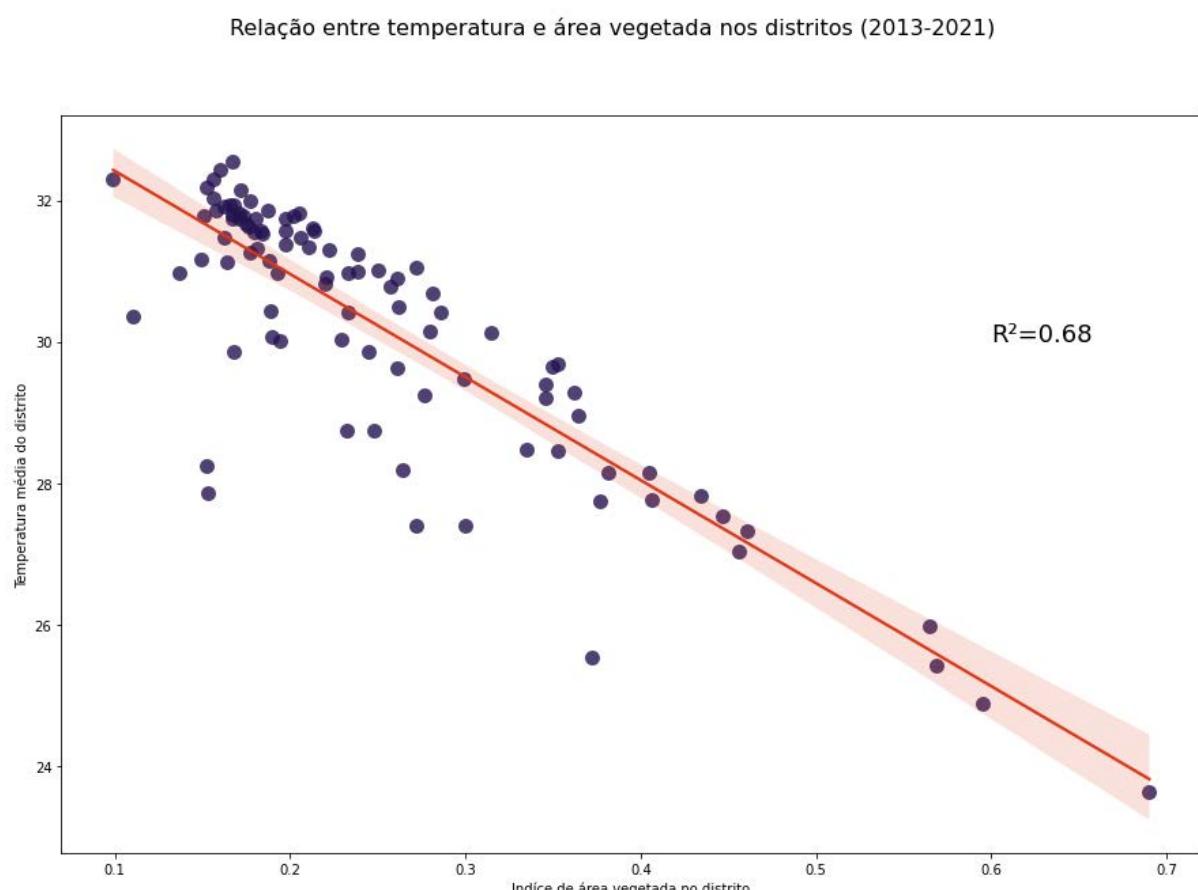


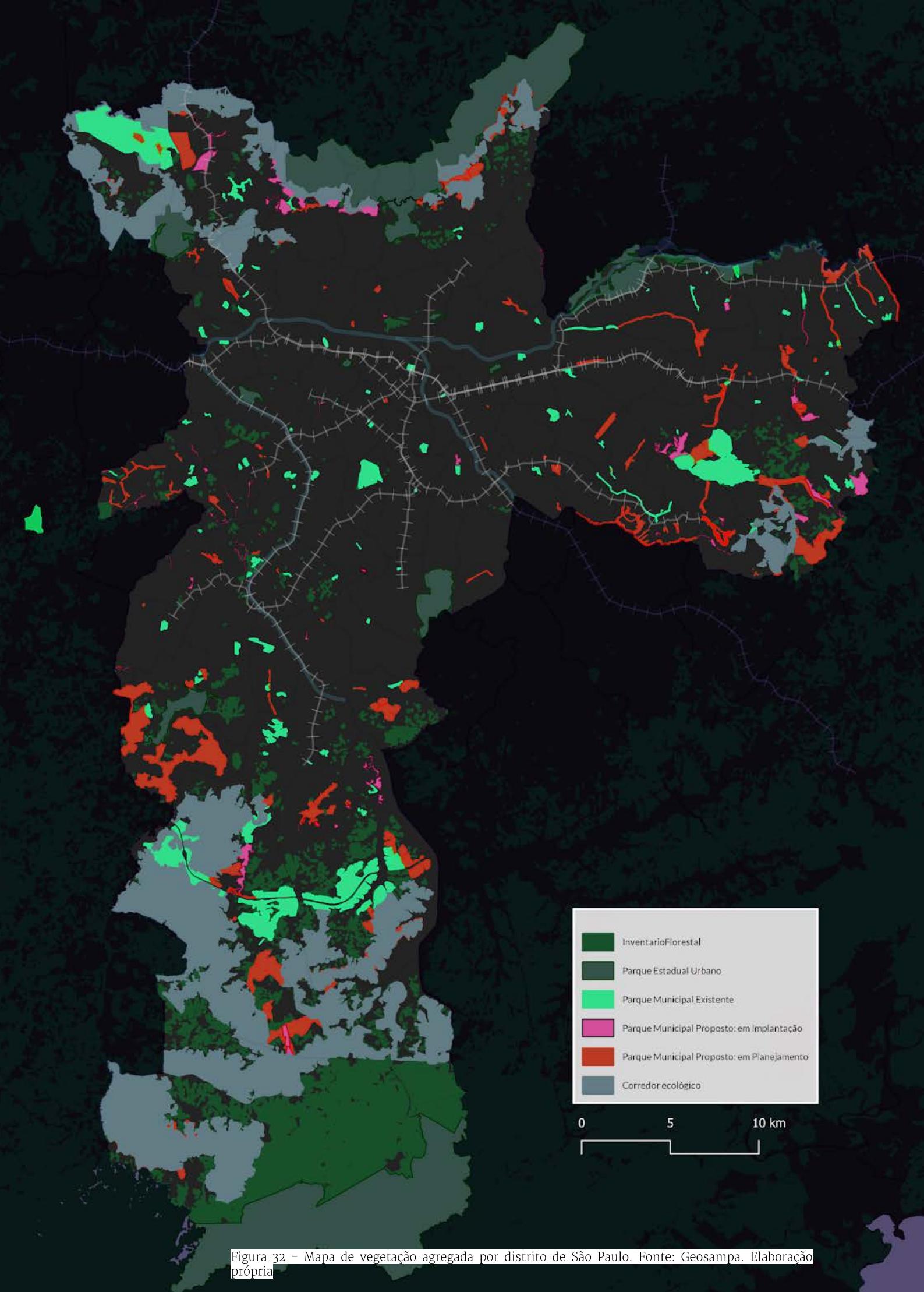
Figura 31 – Regressão linear da relação entre vegetação e T_{sup} na cidade de São Paulo a partir dos dados de T_{sup} e NDVI. Fonte: Landsat. Elaboração própria

Essa correlação que i) é forte entre a quantidade de área verde e a diminuição de T_{sup} , ii) aparece na relação entre os distritos mais amenos e com mais vegetação iii) é pouco expressiva na relação entre distritos com NDVI menores (na medida em que vários distritos com NDVI parecidos e baixos tem temperaturas muito diferentes) é indicativa de um quadro apontado por Zhou (2021), no qual a presença de vegetação aumenta geometricamente os efeitos de amenização de intensidade da T_{sup} , isto é, T_{sup} diminui com maior intensidade conforme o aumento de área verde. Na cidade de São Paulo esse indicativo é evidente quando são observadas as áreas com maiores valores de NDVI, onde os valores de T_{sup} média são muito distantes do restante da cidade, em uma relação que não é linear em relação à quantidade de área verde.

É mais fácil perceber a diminuição da T_{sup} pela presença de vegetação do que o aumento da temperatura de superfície pela ausência de área verde, uma vez que a maior parte da cidade não possui área verde significativa na escala de análise urbana. Nesse sentido, é possível distinguir a relação dos distritos com a vegetação a partir de 3 casos distintos: um primeiro grupo está associado aos distritos que estão no limiar na mancha urbana da cidade e, por isso, tem grande presença de área verde, boa parte dessa vegetação é de remanescentes nativos e conectada com grandes porções de mata, nesses locais a temperatura de superfície é drasticamente menor do que no restante da capital. Um segundo grupo de distritos faz referência àqueles completamente inseridos na mancha urbana, em que há pouca ou nenhuma vegetação e a T_{sup} é muito alta porque, do ponto de vista da relação T_{sup} -vegetação, o potencial de amenização do clima é muito baixo. O último

grupo de distritos se caracteriza pela existência de áreas verdes significativas encontradas no meio da mancha urbana; esses são bairros-jardins ou regiões de parque, onde a área verde parece atuar significativamente na amenização da T_{sup} em relação aos distritos do primeiro tipo. Essa classificação tem o fim de entendimento da relação entre vegetação e temperatura na cidade e, certamente, uma série de outras características, como a espécie das plantas, o tipo de vegetação, a formação dos dosséis, entre outros, influenciam na T_{sup} de uma região, ainda que consideradas só as duas variáveis. Ainda assim, essa é uma distinção importante entre os distritos, visto que evidencia o impacto que a área verde possui na amenização das temperaturas de superfície.

Ao longo das últimas décadas, houve algum esforço da gestão urbana no sentido de conservar ou preservar as áreas verdes da capital através, principalmente, da criação de parques estaduais e municipais de conservação ou preservação, essa política de proteção de vegetação significativa pode ser, também, uma política de contenção das ilhas de calor urbanas e do aquecimento da cidade, dada a correlação entre verde e T_{sup} identificada anteriormente. Nesse sentido, percebe-se que a grande maioria dos parques propostos estão nas regiões de mata atlântica e de mananciais, situadas principalmente nas bordas do município; essa ação é estratégica e importantíssima no sentido de regeneração da mata nativa e contenção da mancha urbana. Esses remanescentes também são altamente significativos para a amenização do calor em escala urbana, uma vez que estão intrinsecamente relacionados ao clima na mesoescala urbana, como indicado no capítulo 3. Existem vários parques municipais que são pequenos na escala urbana, mas certamente fazem um papel importantíssimo na amenização do clima em escala regional; o distrito “Parque do Carmo” - onde situa-se o parque com mesmo nome - por exemplo, é emblemático por estar em um meio adensado construtivamente e



relacionadas à existência do parque. Com relação aos parques municipais, sua estratégia espacial é nitidamente atrelada à expansão de numerosas áreas verdes significativas, mas menores, ao longo do tecido urbano, ainda assim, deve-se ponderar que tais áreas são relativamente pequenas face ao tamanho da mancha urbana e, por vezes, a presença de parques municipais nos distritos é escassa (como será verificado mais a frente). Alguns dos parques planejados pelo Plano Diretor Estratégico de 2014 estão em locais de grande perda recente de vegetação e com altas temperaturas, nas regiões sul e leste, nesse sentido, atuam em locais estratégicos do ponto de vista da amenização da temperatura; o mapa aponta, no entanto, que a grande maioria dos parques planejados para o município ainda não estão nem em fase de implementação.

Para o entendimento da morfologia, foi utilizado o mapeamento baseado na categorização da cidade a partir das classes de LCZ, descritas anteriormente, a elaboração dos mapas requer o treinamento de inteligência artificial utilizando imagens de satélite para posterior classificação; assim, para a obtenção das leituras foram utilizados recortes do mapa de LCZ de Ferreira (2019)²⁸. A autora explica extensamente a elaboração das leituras em seu trabalho, mas importa relembrar que existe alguma imprecisão no mapa, principalmente na região próxima ao rio Tietê, que é classificada como “Alto Compacto”, Segundo Ferreira, a imprecisão pode ter sido ocasionada pela quantidade de

²⁸ Os dados dos mapas, bem como os pdfs, feitos pela autora estão disponíveis de forma aberta e gratuita em [Local Climate Zone \(LCZ\) map of the São Paulo Metropolitan Region – 2002 \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/333717185/Local_Climate_Zone_LCZ_map_of_the_Sao_Paulo_Metropolitan_Region_-_2002). Acesso em novembro/2022.

pavimentos nas margens do rio, bem como a poluição do mesmo (FERREIRA, 2016).

A visualização do mapa indica que a maior parte da cidade é classificada como LCZ 3 - “baixo compacto”, um tipo de morfologia que compreende uma densidade grande de edifícios térreos ou de até 3 pavimentos, com pouca vegetação, muita área pavimentada e construída. Esse tipo de região apresenta um quadro preocupante do ponto de vista do enfrentamento do calor, uma vez que a grande quantidade de área construída e a falta de árvores para provisão de sombra e processos de evapotranspiração pode condicionar a um aquecimento exacerbado. A conformação das vias é fundamental no entendimento desse tipo de morfologia: em vias muito largas, a relação entre altura dos edifícios e largura da via é pequena e, sem vegetação existente, a superfície do leito carrosável fica desprotegida e exposta aos raios solares; no caso paulista, não raro a superfície é asfaltada por um material que, pela cor e material, acumula muito do calor recebido e aumenta a temperatura ambiente. Por outro lado, em regiões com uma diferença muito grande entre altura do edifício e largura da via, em um caso de altos gabaritos em vias estreitas, o calor pode ser refletido entre os edifícios e ficar aprisionado, aumentando os efeitos de aquecimento na escala do usuário, além disso, a ventilação é densamente prejudicada.

Em alguns locais da cidade são encontradas morfologias do tipo LCZ 6 - “Baixo-aberto”, essa é caracterizada por edifícios com baixo gabarito mas difere da anterior pela disposição das construções, em um entendimento de que essas mantêm maior espaçamento entre si, provavelmente pela

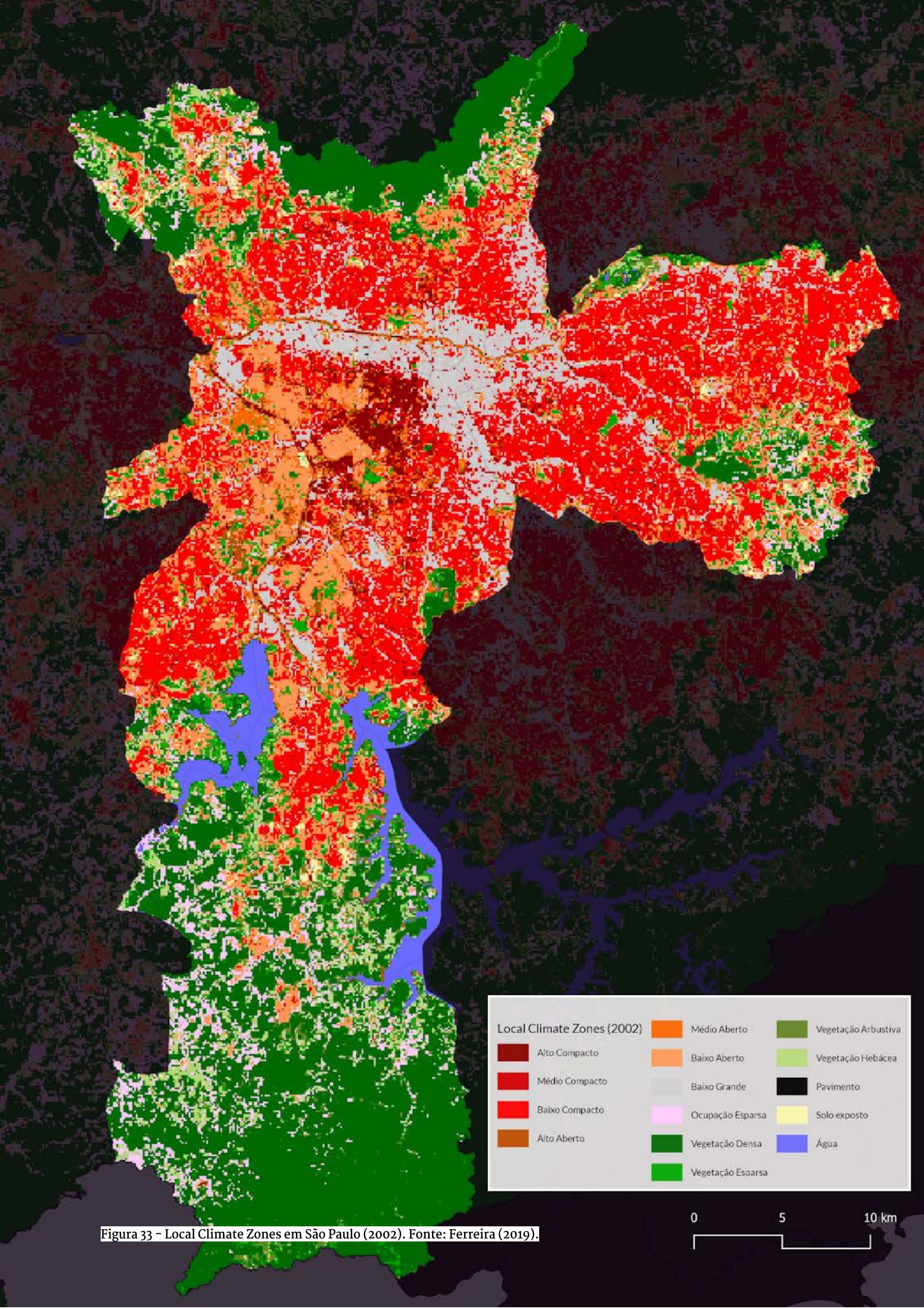


Figura 33 – Local Climate Zones em São Paulo (2002). Fonte: Ferreira (2019).

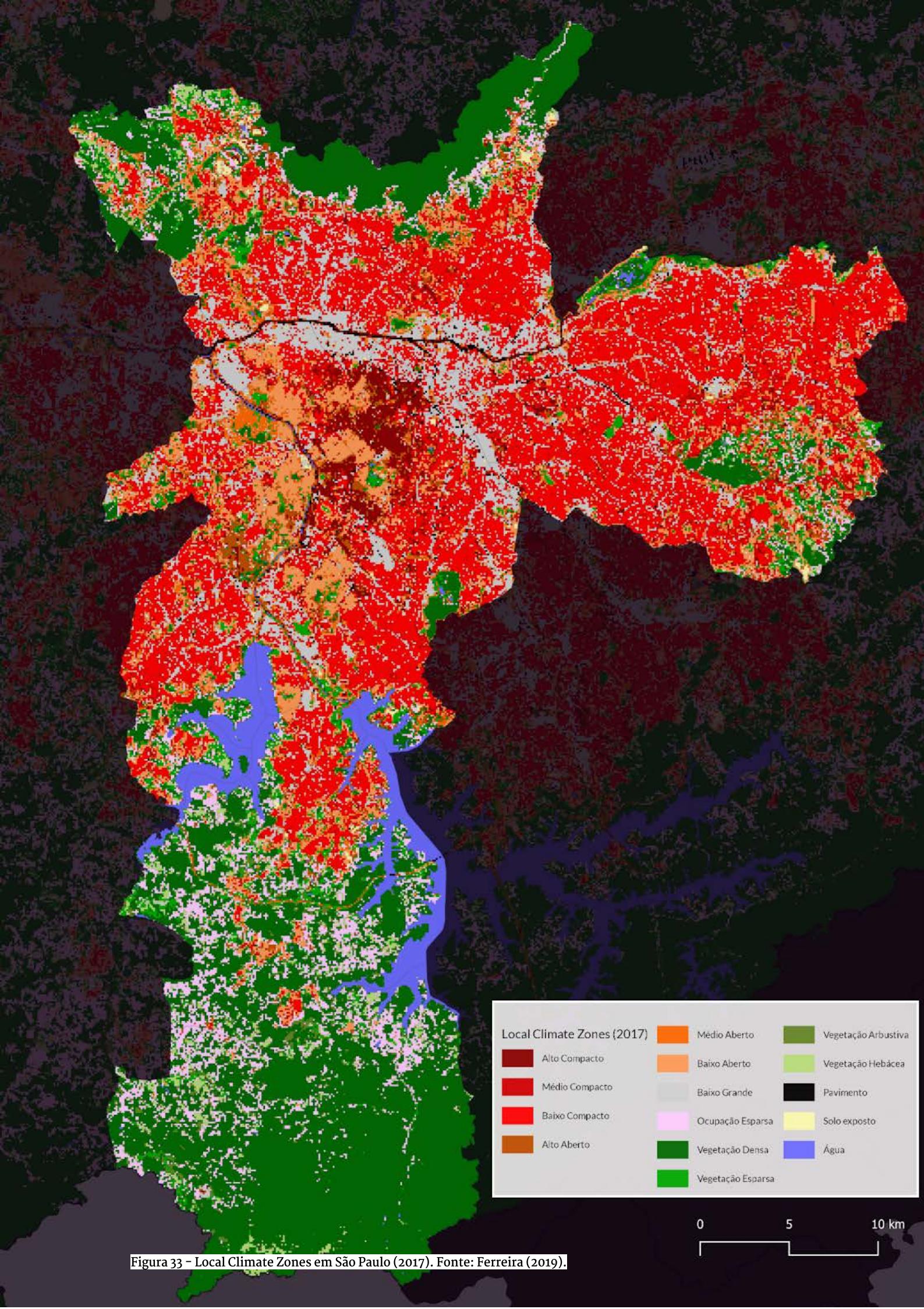


Figura 33 – Local Climate Zones em São Paulo (2017). Fonte: Ferreira (2019).

condição do lote ou mesmo das vias. Nessas regiões ainda são predominantes as áreas pavimentadas e construídas, com pouca área verde. Os problemas que podem ser ocasionados pela relação entre largura das vias e tamanho dos edifícios permanecem; no entanto, a conformação dos edifícios possibilita um cenário melhor da ventilação natural, que pode amenizar o clima local. Na região central é preponderante a morfologia do tipo LCZ 1 - “Alto-compacto”, entendida por edifícios com alto gabarito, e sem grande espaçamento entre si; em alguns distritos mais históricos - como a região da Sé - é possível encontrar edifícios com pouco ou nenhum espaçamento em relação aos limites do lote. essa condição - de altos gabaritos e pouco espaçamento entre os edifícios - facilita o aprisionamento do calor, uma vez que a dispersão da radiação de onda longa se torna mais difícil; ainda assim, a temperatura dessas regiões pode ser consideravelmente amenizada pela sombra causada pelos edifícios, em alguns períodos do dia.

As características das morfologias indicadas nas LCZ dão dimensão da T_{sup} em cada uma delas; no entanto, agregando os dados de temperatura da superfície por classe de LCZ, fica mais explícita a relação entre cada morfologia e o aumento da T_{sup} .

Médias de temperatura durante a primavera por LCZ no município de São Paulo

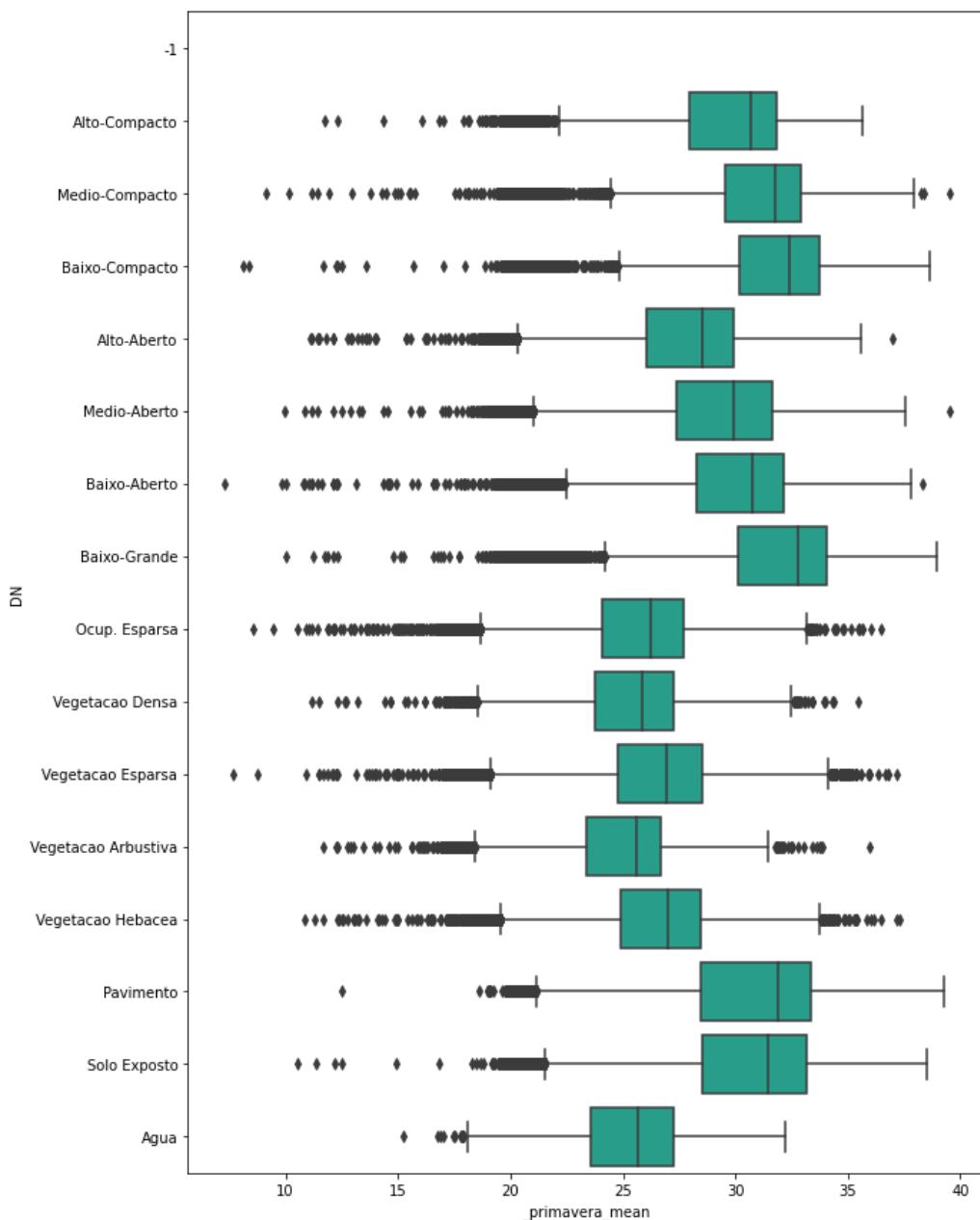


Figura 35 – Médias de temperatura por LCZ durante a primavera (2013–2022)
Fonte: Landsat, Ferreira (2019). Elaboração própria

As morfologias com algum tipo de vegetação mostram medianas de temperatura consideravelmente mais baixas que o restante das classes de LCZ, o que é esperado, visto a relação entre T_{sup} e vegetação discutida anteriormente. Nas LCZ 9, A, B, C e D a variação de T_{sup} é consideravelmente mais baixa.

Por outro lado, algumas das maiores temperaturas medianas se situam em áreas de pavimentos ou de solos expostos; essas são áreas nas quais, na escala de análise da LCZ, podem não estar totalmente relacionadas com a T_{sup} ao redor de um edifício, por exemplo, mas indicam a T_{sup} durante o dia em uma rua sem árvores, por exemplo. Duas das morfologias que aparecem muito na cidade - Baixo compacto e Alto compacto - estão entre as com maiores valores médios de temperatura da superfície. As maiores T_{sup} entre as morfologias construídas são encontradas no tipo “Baixo Grande” (ou “Baixo Largo”), entendida pela literatura como uma morfologia de edifícios pequenos em altura e largos, dispostos de maneira bem espaçada entre si, e em locais com pouca presença de vegetação; pelas características, é plausível imaginar que as altas temperaturas de superfície nesses são ocasionadas pela incidência de radiação sobre as coberturas de grande edifícios horizontais, que não é mitigada por sombra ou áreas verdes.

As caracterizações de classes de LCZ são úteis porque leem a morfologia urbana e criam uma relação com a T_{sup} que é evidente e ajuda na compreensão dos impactos da ocupação no clima urbano. Pelo caráter referencial que os mapas de LCZ tem nesse estudo²⁹, é essencial uma aproximação de escala para um melhor entendimento da relação entre o território e a T_{sup} assim, a conformação espacial dos distritos mais quentes e mais amenos foi estudada a fim de compreender essas intersecções.

²⁹ Primeiro, por sua formulação intrínseca, já relacionada à simplificação de leitura de um território; segundo, pela resolução dos pixels, levemente alterada em relação a das temperaturas de superfície obtidas.

Médias de temperatura durante a primavera por uso do solo no município de São Paulo

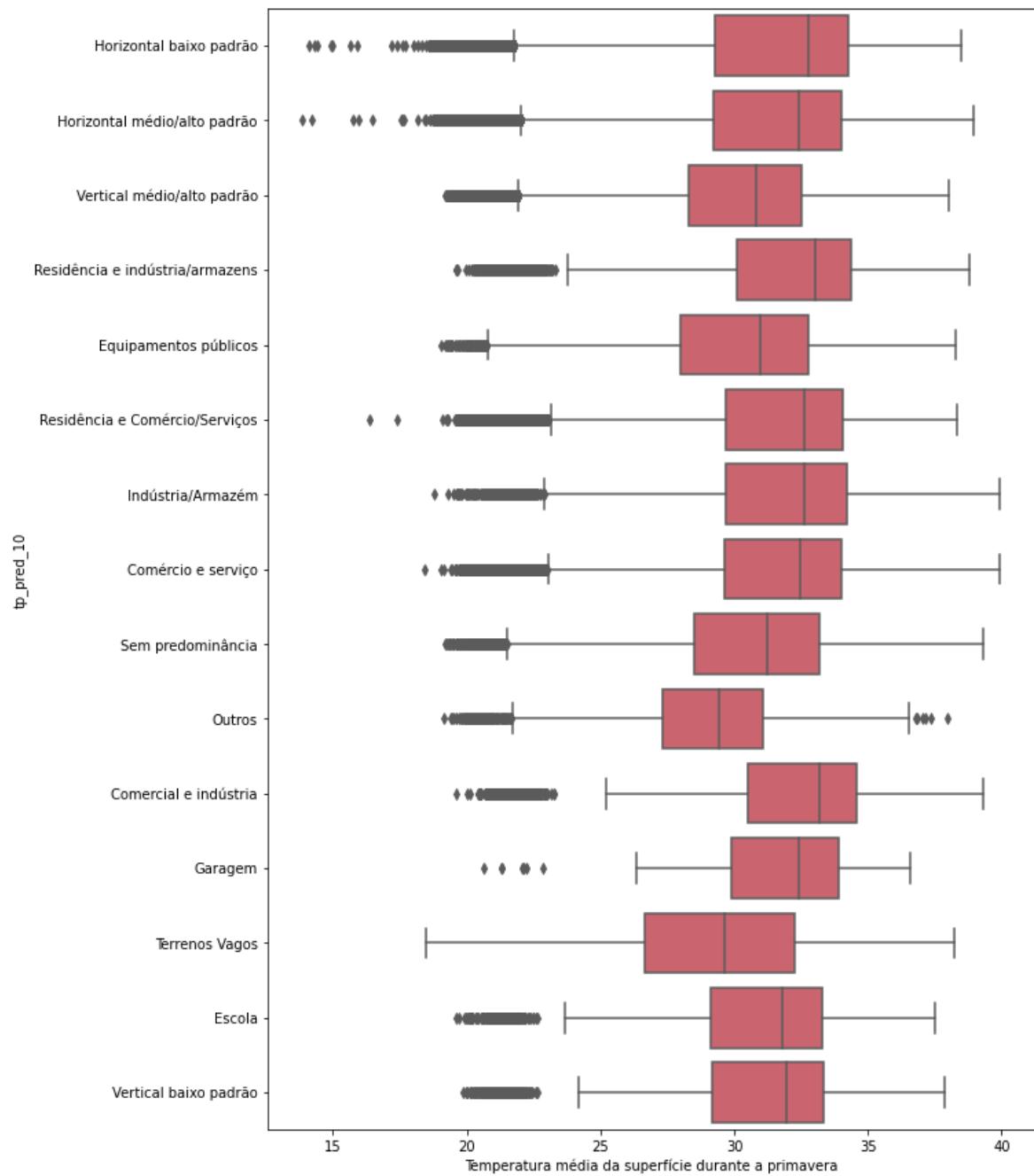


Figura 36 – Médias de temperatura por uso do solo durante a primavera (2013–2022) Fonte: Landsat, Geosampa. Elaboração própria.

Uma primeira aproximação na interpretação da tipologia e morfologia dos distritos mais emblemáticos do trabalho é o conhecimento sobre o tipo de uso do solo nas

regiões. Pensou-se que o uso do solo poderia estar intrinsecamente relacionado às condições de aquecimento de uma rua ou bairro, uma vez que conhecidamente são atribuídas diferentes tipologias de construção a diferentes tipos de uso; nesse caso, um uso relacionado ao comércio e prestação de serviços poderia abrigar, por exemplo, um edifício que agiria sobre a temperatura de superfície de maneira diferenciada em relação a um equipamento público ou um terreno vazio.

Os dados agregados de temperatura da superfície por uso do solo apontaram, no entanto, que não é possível determinar uma correlação forte entre aumento ou diminuição da T_{sup} para qualquer um dos usos, estando eles muito aproximados nos resultados. Ainda que os usos em uma região sejam determinantes para as formas de morar e trabalhar na mesma, eles provavelmente não explicam bem a T_{sup} porque, primeiro, há de se atentar que não raros são os casos de usos diferentes que resultam em tipologias de edificação muito semelhantes - como edifícios residenciais ou comerciais, que podem ter diferenças que não aparecem na escala desse mapeamento - ou até no uso misto, compartilhado em um mesmo edifício; além disso, existem usos que podem não se refletir espacialmente (ou pelo menos não na superfície), como garagens.

Até esse momento, os dados de temperatura da superfície ajudaram a entender a relação entre aquecimento urbano, área verde e morfologia dentro da cidade de São Paulo a partir das características diferenciais entre cada distrito. Assim, foi possível traçar correlações entre temperatura e o aumento/diminuição de área verde ou a categorização de uma determinada classe de LCZ. Um aprofundamento do estudo compreende uma aproximação

de escala, não com a pretensão de determinar a T_{sup} , mas com o ímpeto de compreender melhor a relação entre forma e função da cidade, nos possíveis processos de aquecimento urbano. São Paulo é uma cidade construída a partir de uma diversidade de processos históricos e econômicos, abrigando o maior aglomerado populacional do Brasil; uma formação urbana tão grande e complexa se reflete espacialmente de diferentes formas no território, nesse sentido, cabe inspecionar mais a fundo alguns dos distritos - os com conformações espaciais consideradas emblemáticas de determinadas espacialidades encontradas na cidade - para entender melhor como a disposição espacial advinda do processo de urbanização se relaciona com a T_{sup} .

A aproximação de escala procura averiguar a morfologia dos distritos a fim de entender seu território e a relação com a T_{sup} ; essa morfologia tem relação com o uso do solo - explorado anteriormente - e com aspectos construtivos da configuração urbana, tais como a presença de área verde, a conformação e altura dos edifícios, bem como a largura e disposição das vias. Para a melhor visualização dos distritos no mapa e equidade na comparação entre as regiões de tamanhos diferentes, foram selecionadas amostras com o raio de 1km a partir do centro geométrico de cada distrito, representativas da porção restante da área. Não necessariamente o centro de cada distrito é representativo da conformação de toda a divisão, visto que existem casos onde a área habitada se localiza em outra área geográfica dentro da forma do distrito; no entanto, o estudo considerou a área completa dos distritos e a maior parte das amostragens foram consideradas

representativas. A escolha de trabalho pela amostra se deu, principalmente, para facilitar a visualização do mapa.

Vila Medeiros e Aricanduva são os distritos notadamente mais quentes da capital paulista, ambos com médias acima de 2°C acima do restante da cidade, durante o período de 2013-2022; como discutido anteriormente, ambos estão em áreas adensadas de São Paulo, completamente inseridos na malha urbana e distantes de área verde significativa.

Vila Medeiros



Edificações - Altura (m)

0 - 3.1
3.11 - 6.2
6.21 - 9.3
9.31 - 15.5
15.5 - 31
31+

Árvores

Área verde

0 250 500 m

Figura 37 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito da Vila Medeiros (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Vila Medeiros

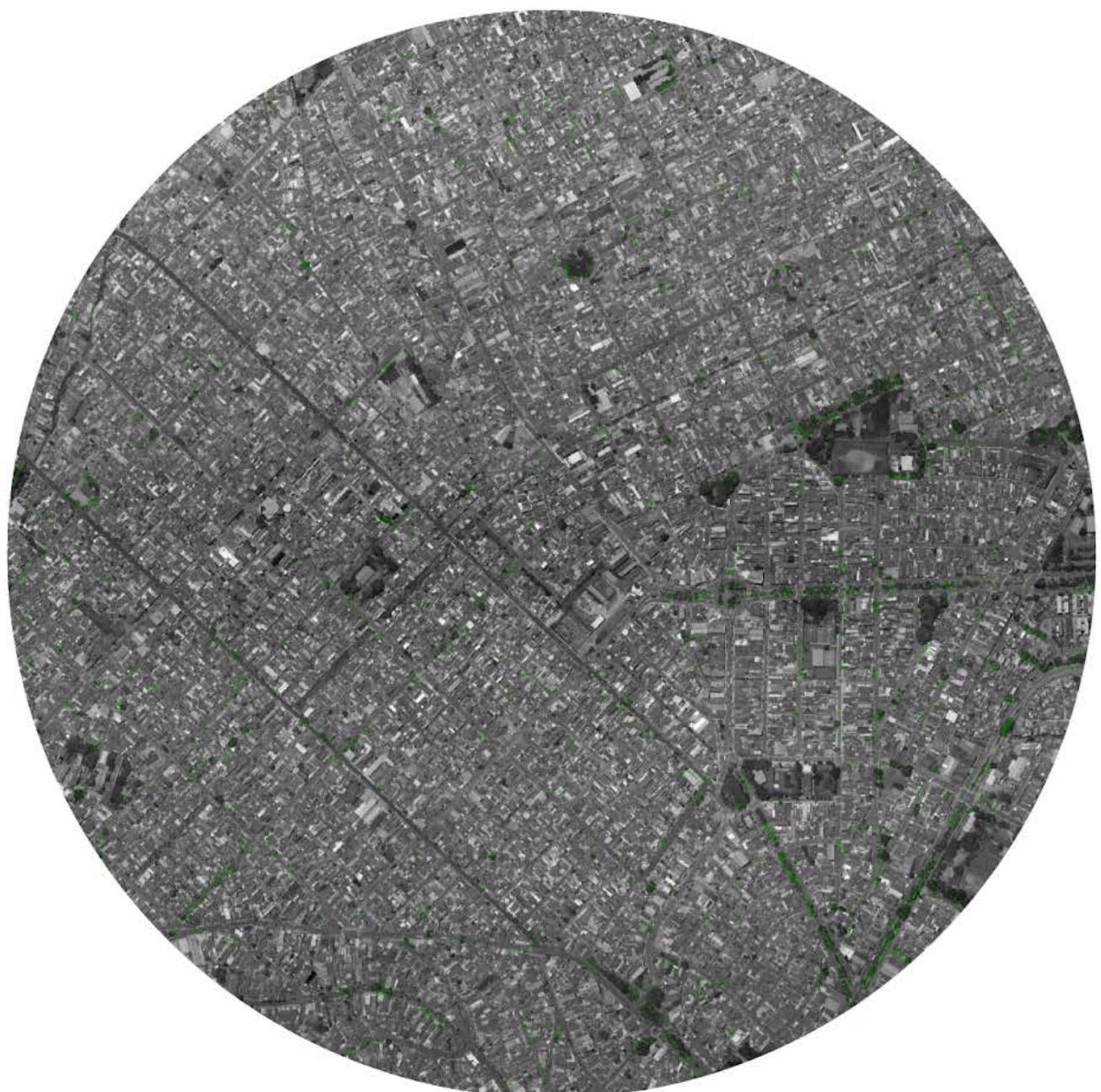


Figura 38 – Visão de satélite do distrito da Vila Medeiros (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Aricanduva



Figura 39 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Aricanduva (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Aricanduva

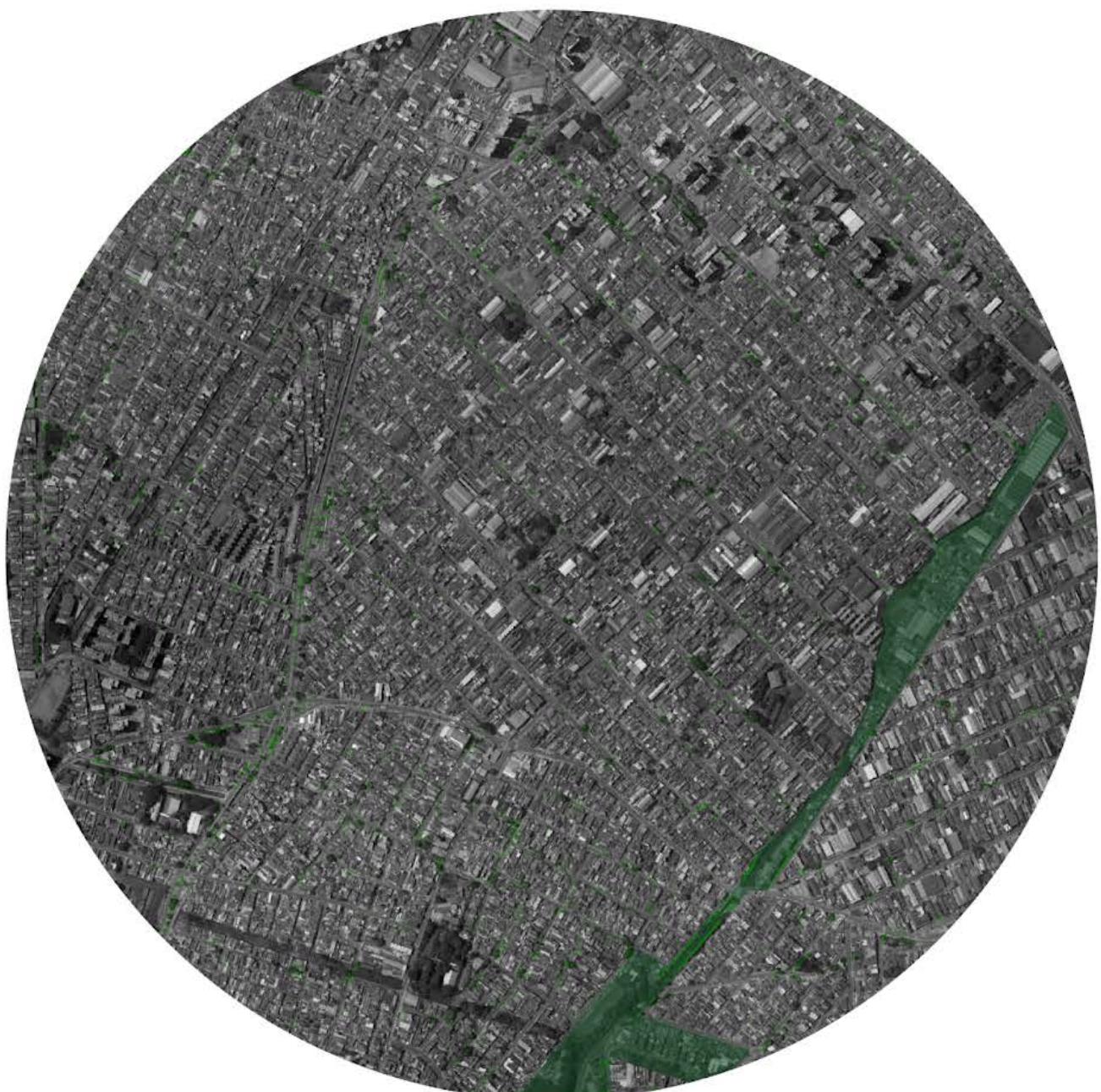


Figura 40 – Visão de satélite do distrito do Aricanduva (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Os dois distritos são semelhantes quanto ao uso residencial e a tipologia mais verificada é a unidade residencial entre 3,1m e 6,2m de altura, isto é, a casa que tem um pavimento acima do térreo, apenas; na Vila Medeiros, no entanto, a tipologia é mais heterogênea, com presença significativa de casas térreas e edifícios entre 6 e 15 m (provavelmente entre dois e cinco pavimentos), localizados principalmente em centralidades de bairro, como nas avenidas Nossa Sra. do Loreto e Milton da Rocha; nessas, uma busca com a ferramenta “Google Street View” indica que grande parte das edificações - especialmente as mais altas - são comércios locais ou edifícios de uso misto. A área verde é configurada, principalmente, por árvores esparsas; na Vila Medeiros há quantidade significativa de árvores atreladas às grandes vias locais, como a Avenida João Simão de Castro, que contém canteiros centrais utilizados como praças e áreas de estar; no Aricanduva a área verde indicada pelo mapa se trata, na verdade, de um parque linear proposto no Plano Diretor Estratégico da cidade, o “Parque Linear Córrego do Tapera”, uma região com aproximadamente 148 mil metros quadrados para proteção de um córrego e atualmente, existem habitações assentadas em grande parte da área prevista para localização do parque. A avenida Aguiar da Beira é outra via que chama atenção pela quantidade de árvores; nessa, a disposição do verde se dá em um canteiro central no meio de uma via predominantemente residencial de baixo gabarito.

Ponte Rasa



Figura 41 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito da Ponte Rasa (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Ponte Rasa



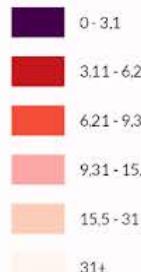
Figura 42 – Visão de satélite do distrito da Ponte Rasa (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

A tipologia das edificações na região da Ponte Rasa é muito semelhante à dos distritos anteriores, com edificações predominantemente habitacionais e com baixo gabarito, com pouquíssimos edifícios com mais de dois pavimentos. A quantidade de edificações no raio do edifício é muito alta e resultante de uma ocupação da malha urbana que se deu por edificações com áreas reduzidas e sem recuo em relação aos vizinhos. Essa conformação cria blocos adensados nas quadras que são aglomerados de edificações justapostas e que, por vezes, não mantêm os padrões mínimos de espaços previstos na legislação do município. Do ponto de vista microclimático, essa forma é prejudicial para a ventilação e indiretamente catalisadora do aquecimento das vias urbanas; ademais, essa formação espacial é encontrada em vários distritos periféricos de São Paulo. Parcela significativa da vegetação do distrito se dá pelas árvores dispostas no canteiro central da Estrada de Mogi das Cruzes, uma avenida de 6 pistas que corta a região e mantém usos comerciais e residenciais que não apresentam muita distinção quanto ao gabarito; no distrito está prevista a implantação do “Parque Linear Nascente da Ponte Rasa” (localizado na porção norte das firulas 39 e 40), em um conjunto de vias predominantemente residenciais de baixo gabarito, paralelas à Avenida São Miguel; no entanto, as visualizações de satélite e da ferramenta “Google Street View” indicam que o perímetro indicado para o parque está densamente edificado e com pouca área verde.

Sapopemba



Edificações - Altura (m)



Árvores

Área verde

0 250 500 m

Figura 43 - Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Sapopemba (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Sapopemba

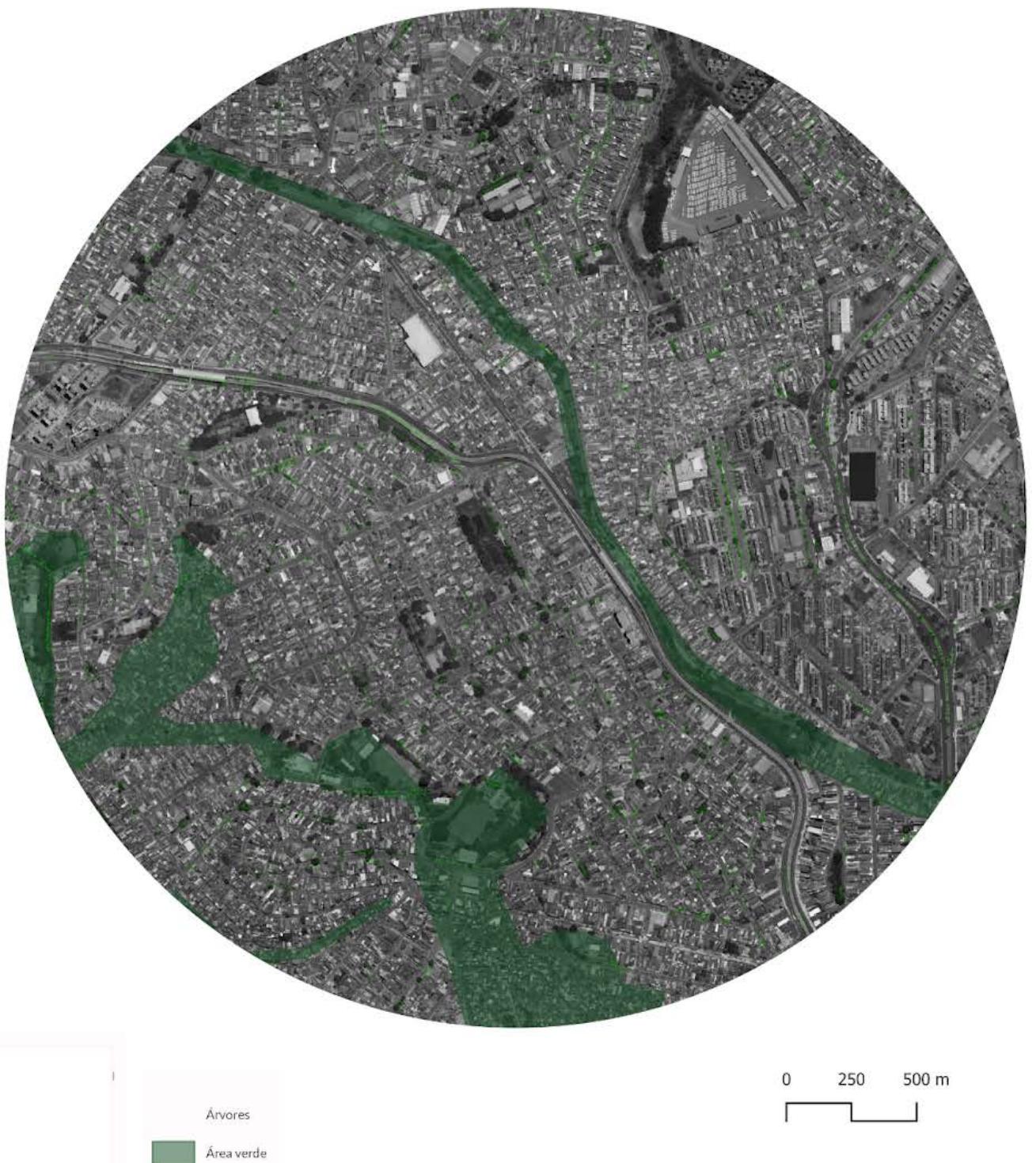


Figura 44 – Visão de satélite do distrito do Sapopemba (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

O distrito do Sapopemba é outro emblemático no entendimento da relação entre morfologia urbana, vegetação e clima. Com médias 2°C acima da média da T^{sup} da cidade, a morfologia apresenta, a priori, algumas das características anteriormente observadas nos distritos anteriores, como o tamanho e a disposição das edificações. A diferenciação aqui se dá pela quantidade aparentemente notória de área verde em parques municipais e um gabarito de média altura, identificado por um conjunto de edifícios residenciais de aproximadamente 6 pavimentos, que se diferenciam não apenas pela altura, mas também pelo espaçamento entre os edifícios e a disposição das quadras. A área verde é escassa na maior parte do distrito e se localiza principalmente em vias de centralidade local, como a Avenida Professor Luís Inácio Anhaia Mello e a Avenida Arquiteto Vilanova Artigas. Em ambas as árvores localizam-se principalmente nos canteiros centrais das vias. Os dois parques municipais marcados são a “ciclovia-parque adutora de Rio Claro” - uma área gramada existente e adjacente à avenida de mesmo nome - e o “Parque Linear Ribeirão Oratório”, uma área verde de mais de 1 milhão de metros quadrados que, no entanto, é majoritariamente ocupada por habitações dentro do perímetro proposto; essas habitações não aparecem no mapa porque, provavelmente, não se tratam de edifícios legalizados ou cadastrados na base da prefeitura, mas presentes no tecido urbano. Na região localizam-se as favelas “Jd. Maria Terezinha”, “Jardim Alzira”, “Parque Santa Madalena”, “Jardim Planalto” e “Palmeira de Vinho”.³⁰ Essa

³⁰ A verificação dessas favelas se deu pela identificação dos polígonos inseridos dentro da área, na leitura de dados da prefeitura. Os nomes utilizados foram os mesmos que os cadastrados na base e não

incompatibilidade entre o mapa e a visão de satélite revela, também, uma inconsistência entre projeto e realidade no parque previsto pela prefeitura, uma vez que a área planejada não apenas não tem vegetação como também é o território de moradia de milhares de famílias. A relação entre assentamentos como esses e as condições de T^{sup} serão discutidas mais à frente, no capítulo de vulnerabilidades.

necessariamente refletem os verdadeiros nomes pelos quais esses espaços são conhecidos.

Limão



Edificações - Altura (m)

0 - 3.1

Árvores

3.11 - 6.2

Área verde

6.21 - 9.3

9.31 - 15.5

15.5 - 31

31+

0

250

500 m

Figura 45 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Limão (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Limão

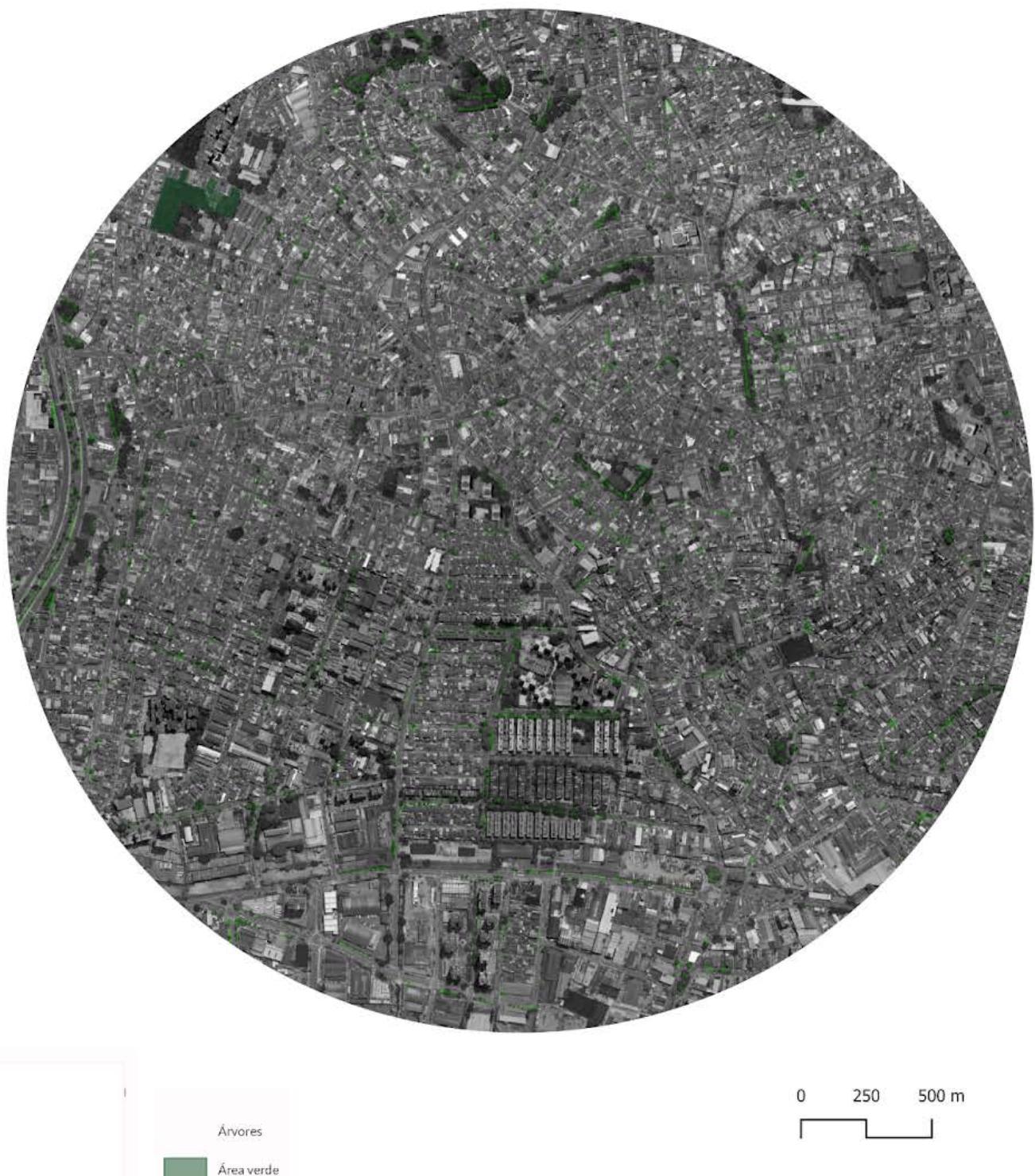


Figura 46 – Visão de satélite do distrito do Limão (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Brás



Figura 47 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Brás (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Brás

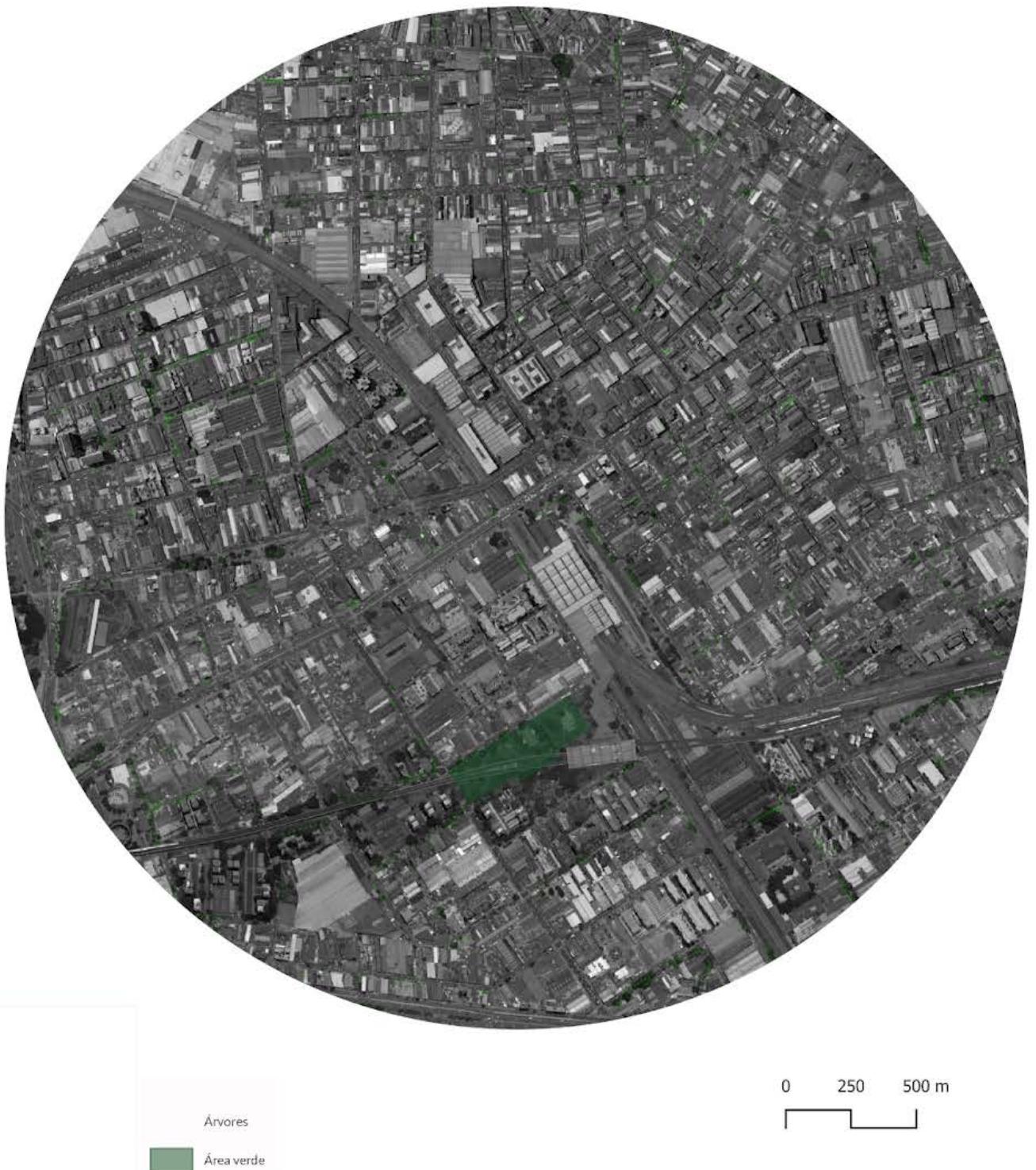


Figura 48 - Visão de satélite do distrito do Brás (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

A análise em conjunto do Brás e do Limão, dois dos distritos mais quentes da capital, permite analisar dois

territórios próximos em localização, mas com morfologias consideravelmente distintas, a partir de suas diferenças. Os dois distritos se localizam nos arredores da Marginal Tietê, uma das principais vias expressas de São Paulo e local de grande uso comercial pela indústria. Entre os distritos mais quentes, o Brás é o único que não possui uso predominantemente residencial. A região é uma das mais antigas da cidade e é conhecida como polo comercial, principalmente relacionado com o setor de varejo; do ponto de vista da tipologia, existe uma distinção notória entre a região e os distritos analisados anteriormente. A amostra do raio de 1km - que nesse caso diz respeito a quase toda a área do Brás - aponta uma manifestação espacial dos edifícios na malha urbana consideravelmente diferente dos casos anteriores, com edifícios com áreas construídas muito maiores e em quantidade muito menor do que nos distritos residenciais observados. Os edifícios são consideravelmente maiores e vários deles têm mais de 10 pavimentos; no entanto, o espaçamento entre os edifícios ainda é pequeno ou inexistente; nesse caso, são perceptíveis as vias consideravelmente mais largas, como a Avenida Rangel Pestana, a Rua Domingo Paivas (que segue a linha férrea dos trens do Metrô e CPTM), a Rua Oriente e a Rua Torquato Neto (localização de linha férrea do Metrô). No distrito do Limão as alturas das edificações são consideravelmente mais baixas, sendo encontrada a maior porção de edifícios térreos (com menos de 3m de altura).³¹ A maior parte dos

³¹ É difícil estipular a altura de casas térreas, mas uma aproximação muito utilizada é a do pé direito de 3m. Os mapas fizeram divisão por 3,1 m considerando alguma imprecisão nessa estimativa. Certamente podem existir edifícios térreos com mais de 3,1m que são indicados como de 1 pavimento no trabalho, no entanto, para a averiguação de edifícios térreos a marca dá muita precisão, uma vez que dificilmente edifícios com mais de um pavimento não atingiriam tal altura.

edifícios de alto gabarito diz respeito à produção habitacional e é encontrada em áreas como as dos arredores da Rua Paulo Vidigal Vicente de Azevedo; nessas, as edificações têm entre 5 e 15 pavimentos. A conformação espacial difere dos casos analisados anteriormente; no entanto, é uma configuração encontrada em diversos distritos paulistanos, especialmente em regiões localizadas em zonas mais periféricas, onde a ocupação se dá por casas baixas em quadras que não possuem um ordenamento viário claro como o observado na Vila Medeiros ou no Aricanduva; a largura das vias é irregular e as principais vias locais não se manifestam geograficamente com tanta força como em outros distritos analisados; uma porção significativa do distrito aparece vazia na amostra do mapa temático mas é, na verdade, o bairro “Vila Santista”, nesse caso ocorre uma incompatibilidade entre o verificado no mapa e na imagem de satélite - assim como no caso do Sapopemba. Entretanto, essa região não é indicada como favela; a busca pelo Google Street View indica uma conformação espacial ordenada, atípica ao distrito, com vias estreitas e casas predominantemente de 2 ou mais pavimentos. Os dois distritos convergem no fato de possuírem pouquíssima área verde, sendo que o Brás é o distrito com o menor índice de NDVI verificado na cidade. A única vegetação significativa identificada no perímetro está no Parque Benemerito José Brás, uma área de 21 mil m²; no bairro do Limão se verificam apenas árvores esparsas, com alguns conjuntos próximos às ruas com edifícios mais altos, e no distrito há apenas um parque municipal proposto - O Parque Mata da Rua dos Rodrigues - com uma área prevista de pouco mais de 8 mil m².

Anhanguera

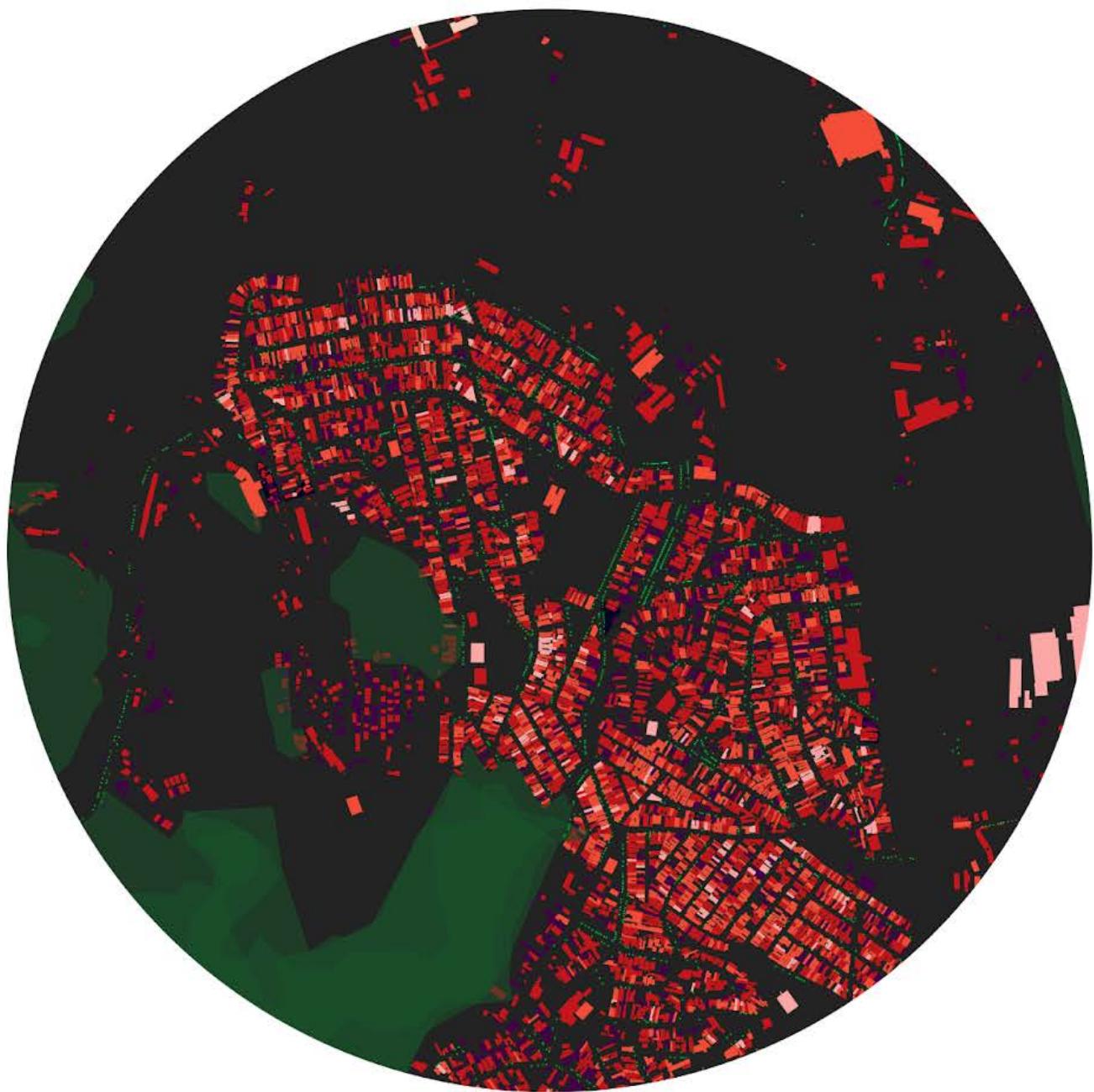


Figura 49 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Anhanguera (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Anhanguera



Figura 50 – Visão de satélite do distrito do Anhanguera (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Perus

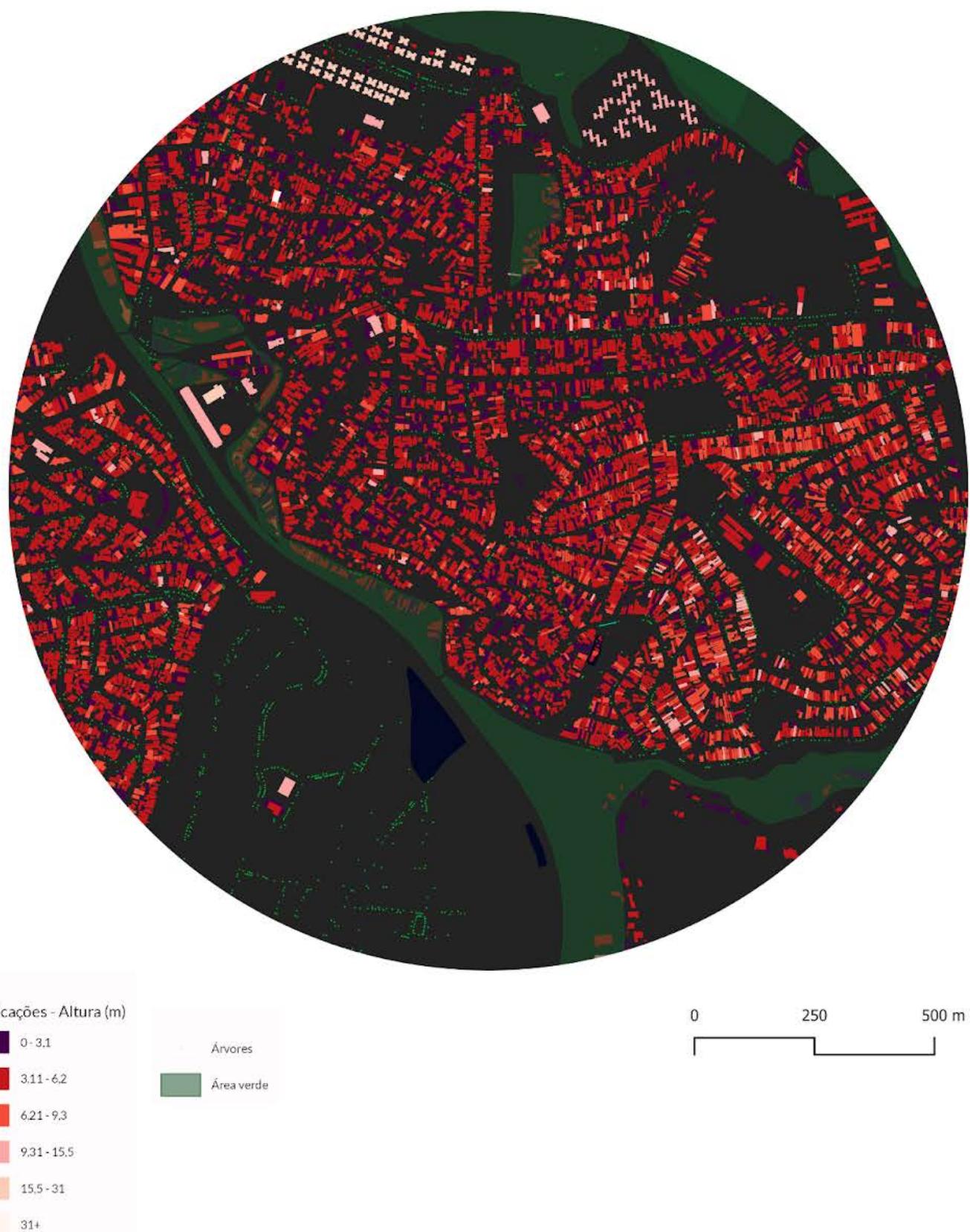


Figura 51 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito de Perus (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Perus



Figura 52 – Visão de satélite do distrito de Perus (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Entre os distritos mais amenos de São Paulo cabe situar os casos do Perus e do Anhanguera, ambas regiões de ocupação recente e de uso predominantemente residencial. Nesse sentido, várias das edificações identificadas por satélite nos dois distritos não aparecem nos mapas temáticos porque não tinham cadastro na base da prefeitura na época de levantamento dos dados. Os dois distritos têm tipologias de edificação parecidas, com uma quantidade muito grande de habitações térreas - relativamente mais presentes, inclusive, do que nos distritos mais quentes - e com pequenas áreas de ocupação, mas numerosas e próximas entre si. A conformação dos distritos na malha urbana lembra muito a de regiões analisadas previamente, como o Sapopemba e o Limão, estando as quadras em ocupações distintas em relação à malha urbana, sem uma ordenação viária clara; em ambos os casos os distritos são abruptamente cortados por rodovias largas, mas com pouco ou nenhum uso próximo. A maior distinção entre esses distritos e as regiões mais quentes da cidade reside na relação entre a ocupação urbana e a área verde. Perus contém áreas verdes significativas ao longo de todo o distrito, com o extenso Parque Linear do Ribeirão Perus ao longo da linha férrea, bem como áreas remanescentes na porção norte do distrito; no Anhanguera a relação entre área verde e área construída é ainda maior e a ocupação de mancha urbana é relativamente tímida quando comparada com outros distritos da capital. A relação entre área verde e área construída observada nesses distritos é notória em outras porções da cidade, como nas regiões do Marsilac e de Parelheiros, por exemplo; no entanto, é prudente notar que essa relação com o verde não se deu de fato pela provisão de infraestrutura verde pela gestão municipal - através de

parques, por exemplo - ela é, antes de tudo, uma relação de ocupação de áreas protegidas ou de unidades de conservação feita, em muitos casos, de maneira insegura e advinda de um processo de ocupação urbana que minou as possibilidades de moradia em outros locais de São Paulo.

Jardins



Figura 53 – Altura das edificações, área verde e parcelamento da via no distrito do Jardins (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Jardins

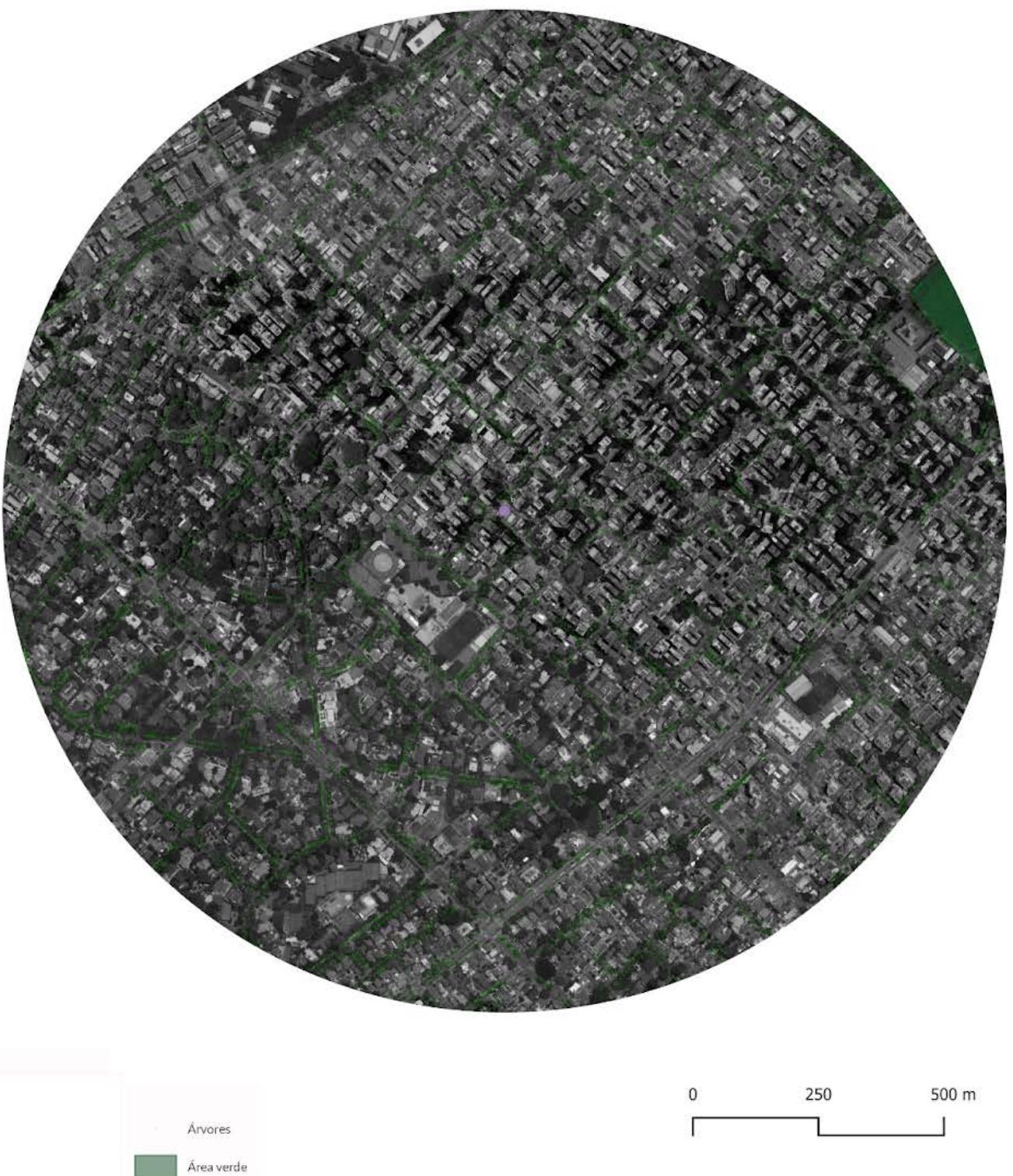


Figura 54 – Visão de satélite do distrito do Jardins (São Paulo). Fonte: Geosampa. Elaboração própria.

Cabe um contraponto à dualidade até agora mencionada entre mancha urbana e área verde na caracterização da T_{sup} . A correlação entre área verde e T_{sup} é

alta e forte para todo o distrito, como verificado anteriormente, e até esse momento foram verificadas áreas com pouca área verde inseridas na mancha urbana e áreas com muita área verde, mais díspares. No entanto, foram verificados alguns distritos onde essas características convergem - estão em área densamente urbanizada e têm concentração notória de vegetação - esses distritos foram apontados anteriormente, quando falando dos “oásis urbanos” que eles são, por agregarem temperaturas de superfície consideravelmente menores do que a de seus vizinhos, mas cabe uma inspeção de sua morfologia. O caso do Jardins Paulista é especialmente emblemático: o bairro predominantemente residencial está localizado no centro de São Paulo, em uma das regiões de ocupação mais antiga da cidade, e possui uma temperatura de superfície média relativamente baixa, em uma área consideravelmente adensada por prédios, mas com baixa densidade demográfica. A inspeção da área mostra a evidente predominância de edificações habitacionais com altíssimo gabarito, em uma configuração que não foi encontrada nas análises anteriores, apesar da altura, os edifícios possuem espaçamentos consideráveis entre si e em poucas situações estão justapostos aos vizinhos; é notória a mudança drástica das edificações demarcada a partir da Rua Estados Unidos e da Avenida Brasil, nesse caso, a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo pode ser claramente verificada pela mudança das tipologias construtivas atreladas às permissões de zoneamento. O parcelamento das vias é regular e quadriculado, derivado de loteamento realizado antes da ocupação do bairro, mesmo na porção que não tem malha quadriculada é possível verificar uma conformação organizada das ruas em direção à Praça América, na

Avenida Brasil. Na região não são verificados grandes parques, sendo o único existente o Parque Municipal Tenente Siqueira Campos, com área total de aproximadamente 72 mil m²; no entanto, a área verde é muito presente em todo o distrito por meio de arborização viária, que se prolonga por todo o trecho residencial da área.

As limitações metodológicas, principalmente relacionadas à resolução das imagens de satélite e, consequentemente, das regiões das temperaturas de superfície, impossibilitam uma averiguação detalhada da temperatura na escala dos mapas temáticos de edificações ou das imagens de satélites apresentadas. Uma análise mais aproximada provavelmente apontaria que essas conformações são, na verdade, muito heterogêneas quanto à sua T_{sup}, mostraria - por exemplo - regiões mais amenas próximas às áreas vegetadas ou com árvores. Nos distritos mais quentes, poderia apontar as avenidas centrais como zonas mais aquecidas, pela quantidade de pavimento exposto, ou como áreas menos quentes, pela existência de árvores em vizinhanças onde não se verifica o verde com tanta intensidade. A aproximação da escala para averiguação detalhada do impacto da morfologia urbana no clima é, sem dúvidas, uma ideia rica para pesquisa; porém, no caso deste trabalho, o que importa é o conjunto da morfologia observada. Os mapas apresentados no conjunto foram uma simplificação da complexidade dos processos climáticos na tentativa de estabelecer relações preliminares entre conjuntos de ocupação e T_{sup} na cidade. Tomada a devida cautela sobre a escala e a simplificação da análise, cabem algumas considerações sobre a forma espacial e a condição de temperatura observadas na cidade:

i) nos distritos de maior T_{sup} raramente são observadas infraestruturas verdes relevantes face à área ocupada por edifícios. Nessas regiões, os parques normalmente são pequenos ou estão previstos em área verde inexistente ou consideravelmente menor do que as indicadas em projeto;

ii) os distritos de maior T_{sup} não são os de ocupação mais recente e possuem algum grau de consolidação das habitações; no entanto, em nenhum caso se verifica habitações de gabarito alto equivalente às áreas centrais da cidade. Nesses, a grande maioria das edificações são de até 2 pavimentos e os gabaritos mais altos se restringem a cerca de 6 pavimentos;

iii) não foi possível estabelecer uma relação clara entre a ocupação da malha viária pelos lotes das edificações e o aumento da T_{sup} na escala proposta, uma vez que existem exemplos de distritos com loteamento ordenado entre os mais quentes e também entre os mais amenos. Sobre a implantação do edifício no lote para melhor circulação de ar, existem exemplos de distritos com taxa de ocupação total do lote tanto com T_{sup} mais elevadas como mais amenas, no entanto, baixas taxas de ocupação do lote são verificadas principalmente nas áreas mais amenas;

iv) nos distritos com maior T_{sup} se nota pouca arborização viária em ruas predominantemente centrais; os agrupamentos de árvores mais significativos aparecem em canteiros centrais de largas avenidas ou em ruas de centralidade local, com uso normalmente comercial ou misto. Entre os distritos mais amenos também não é usual a existência de arborização viária densa em ruas residenciais; no entanto, alguns distritos localizados em zonas mais abastadas da cidade possuem densa arborização nas vias e estas parecem ter grande relação com a diminuição da T_{sup} ,

uma vez que tratam-se de distritos localizados no tecido urbano da cidade e afastados de área verde densa como as de parques ou matas nativas.

v) Não é clara a relação entre altura dos edifícios e largura das vias (relação H/W) no aumento ou diminuição da T_{sup} , essa constatação é um desdobramento direto do fato de serem encontrados gabaritos e vias semelhantes para os dois conjuntos de áreas analisadas. Em alguns casos - como o do Brás - é perceptível que a grande relação entre altura e largura não ocasionou diminuição da T_{sup} de forma significativa em outros - como o Jardins - essa relação pode ser verdadeira, uma vez que a grande altura dos edifícios pode estar relacionada ao sombreamento das vias e diminuição da radiação ao longo do dia.

A análise conjunta de vegetação e morfologia é importante para o entendimento das questões de exposição às quais diferentes grupos populacionais estão expostos na cidade. Uma vez verificadas tais condições, um último segmento para o estudo - igualmente importante para o entendimento das intersecções entre vulnerabilidade e calor - é o de compreender quais são os grupos mais sensíveis ao calor na cidade e onde estão localizados.

9. Vulnerabilidade ao calor em São Paulo: entendendo os grupos mais expostos

Em uma etapa anterior deste trabalho foi interessante a conceituação sobre vulnerabilidade, mais especificamente sobre vulnerabilidade ao calor, por meio da revisão da literatura, bem como o levantamento dos principais índices de exposição e sensibilidade ao calor, bem como capacidade de adaptação. A exposição ao calor foi densamente estudada através das intersecções entre temperatura de superfície, vegetação e morfologia; nesse momento importa caracterizar a população residente nas áreas críticas de temperatura em São Paulo - nesse caso, as regiões com maiores temperaturas - a fim de compreender onde estão os grupos mais vulneráveis, isto é, os grupos que simultaneamente estão mais expostos ao calor, sofrem mais pelo aquecimento do clima e dispõem de menores condições de adaptação.

A elaboração de mapas temáticos sobre condições socioeconômicas é uma abordagem recorrente no conhecimento sobre situações de vulnerabilidade nos estudos urbanos e este trabalho não foge à regra nesse sentido. O levantamento realizado pelo Censo demográfico de 2010 - infelizmente defasado mas, até o momento, o mais recente - dá alguns indicativos sobre a distribuição espacial da população na cidade de São Paulo e um bom ponto de partida para estabelecer posteriores relações entre T_{sup} e população.



Figura 55 – Densidade demográfica por setor censitário em São Paulo. Fonte: IBGE (2010).
Elaboração própria

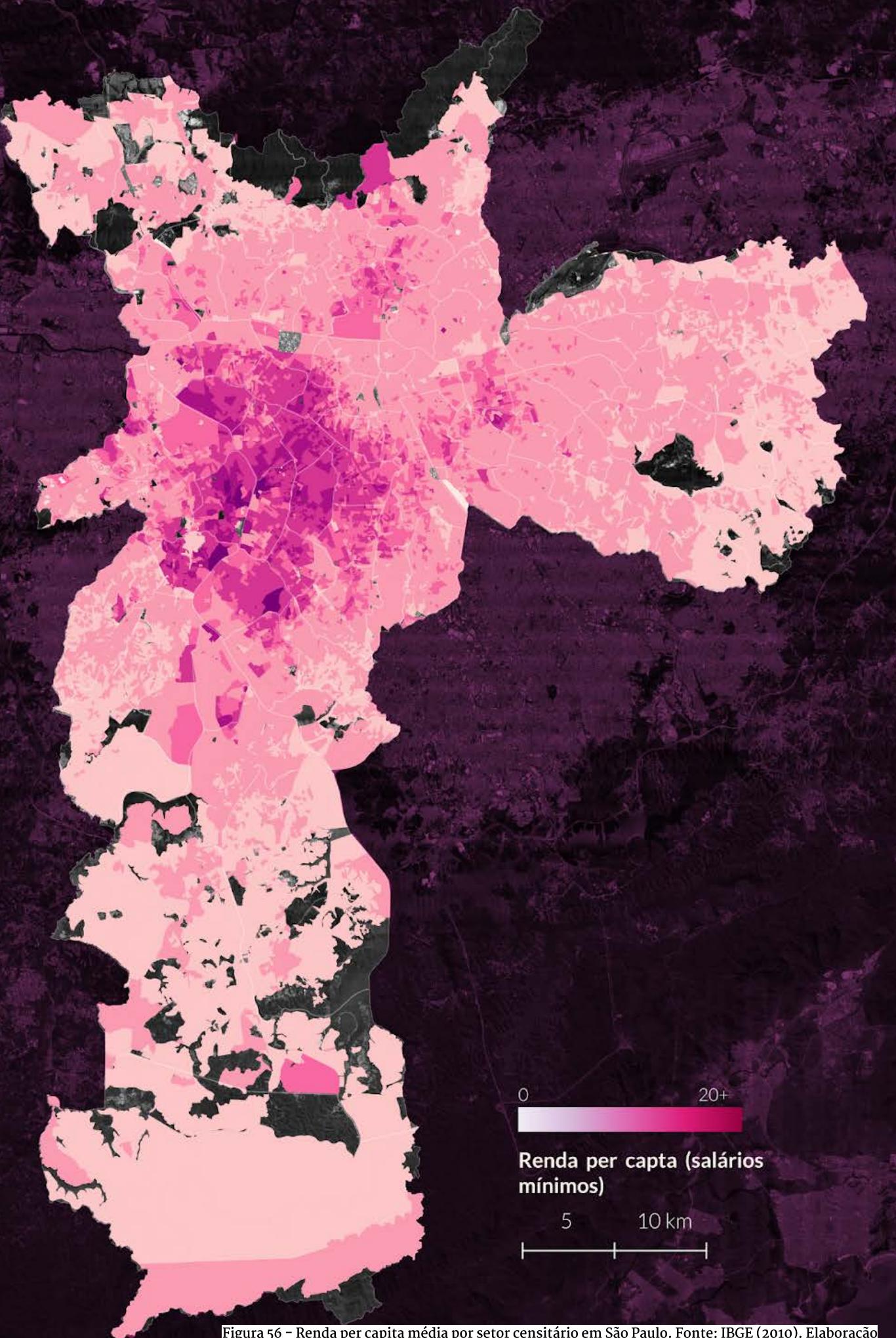


Figura 56 – Renda per capita média por setor censitário em São Paulo. Fonte: IBGE (2010). Elaboração própria

Não raro os mapas de densidade demográfica e renda são apresentados em conjunto nos estudos urbanos, possivelmente pela relação mútua que mantêm e pelo processo de ocupação urbana que apontam. Relembrando o capítulo 5, o processo de ocupação da cidade aconteceu intensivamente de maneira horizontal, fortemente atrelado aos altos valores de terra e moradia nas áreas centrais, que impossibilitaram a ocupação desses espaços por grupos de menores rendas; os mapas indicam muito bem essa relação, uma vez que as maiores densidades demográficas são verificadas nas bordas do município, em regiões onde a literatura aponta intensas dinâmicas de ocupação em áreas com baixo valor da terra, onde - por vezes - o loteamento ocorreu de maneira irregular e a edificação foi autoconstruída. A região central concentra alguma densidade demográfica em regiões onde a densidade construtiva é grande pela verticalização - exemplo é o distrito da Santa Cecília -, no entanto, é majoritariamente composta de relativos vazios urbanos, uma vez que mantém densidades demográficas consideravelmente menores do que de outras áreas. Sendo o fator de valor de terreno ou aluguel restritivo para as áreas centrais, é correto concluir que as áreas com famílias com maiores disponibilidades de renda são mais escassas em população, enquanto as áreas com grandes aglomerados urbanos concentram grande parte das famílias com baixos ganhos de renda per capita.

O mapa da proporção de pretos, pardos e indígenas (PPI) também é usualmente estudado em conjunto com os dois mapas anteriores, uma vez demonstra uma correlação espacial muito forte entre as variáveis, especialmente entre as variáveis de renda e proporção de PPI. A análise aponta que a maior parte da população PPI se localiza

principalmente nas franjas urbanas da capital, com setores censitários contando áreas com mais de 72% das pessoas como sendo pertencentes a esses grupos; paralelamente, na região central da cidade - especialmente a região sudoeste - são verificados setores censitários onde a população PPI não comprehende nem 10% do total da região. A verificação em conjunto dos mapas é indicativa de um quadro histórico que é intensamente estudado pela literatura dos estudos urbanos de São Paulo, onde ocorre uma espacialização clara da renda, onde se verifica melhores valores de renda per capita em espaços com menos moradores, onde a maioria das pessoas é branca. Paralelamente, existe uma associação positiva entre as áreas de menores rendas e com maiores índices de pessoas pretas, pardas ou indígenas, várias dessas áreas estão localizadas nas franjas do município, onde a densidade demográfica é muito alta e a ocupação é mais recente.

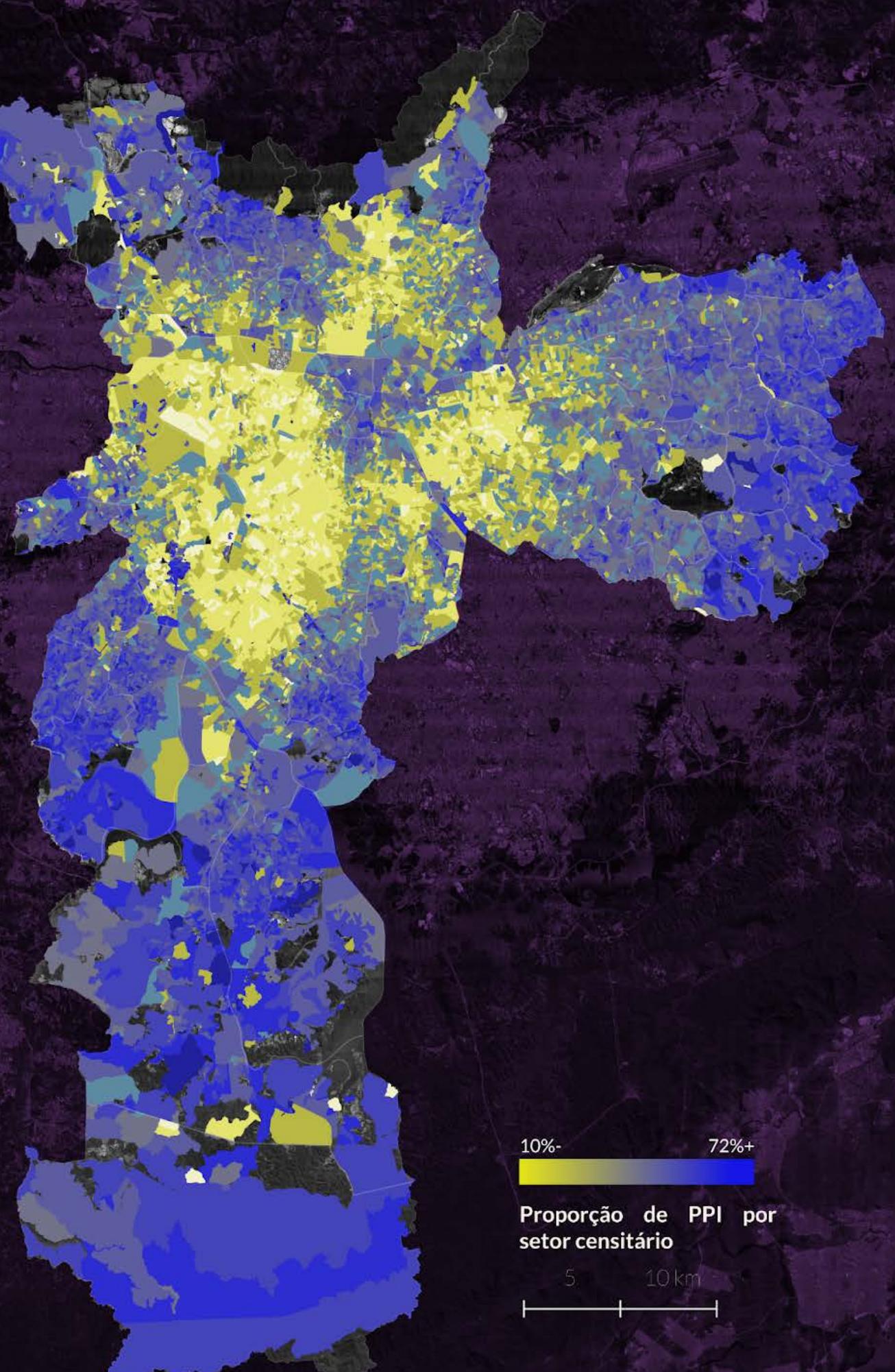


Figura 57 – Proporção de Pretos, Pardos e Indígenas (PPI) por setor censitário em São Paulo. Fonte: IBGE (2010). Elaboração própria

Os índices inspecionados no capítulo 2 indicam uma série de caminhos possíveis para a avaliação da vulnerabilidade ao calor urbano. Entre os índices mais avaliados, dois chamam a atenção: a idade dos moradores e a condição de domicílios unipessoais. A verificação da idade é importante porque existem situações críticas de crianças e idosos, grupos cujo a sensibilidade às mudanças de climáticas é ainda maior e as possibilidades de estabilização da temperatura corporal são reduzidas; o mapeamento de crianças a partir dos dados do censo provavelmente não seria muito elucidativo, uma vez que neste momento o levantamento já completou mais de 12 anos de idade, no entanto, ainda é possível realizar o mapeamento do grupo de pessoas mais velhas, considerando todos os respondentes de 2010 com mais de 48 anos, essa consideração obviamente não é uma constatação precisa, no sentido de que uma série de fatores podem ter modificado as dinâmicas dessa população no período, no entanto, considerou-se que a leitura do grupo ainda seria proveitosa e fundamental para o entendimento das condições de vulnerabilidade às altas temperaturas na cidade.

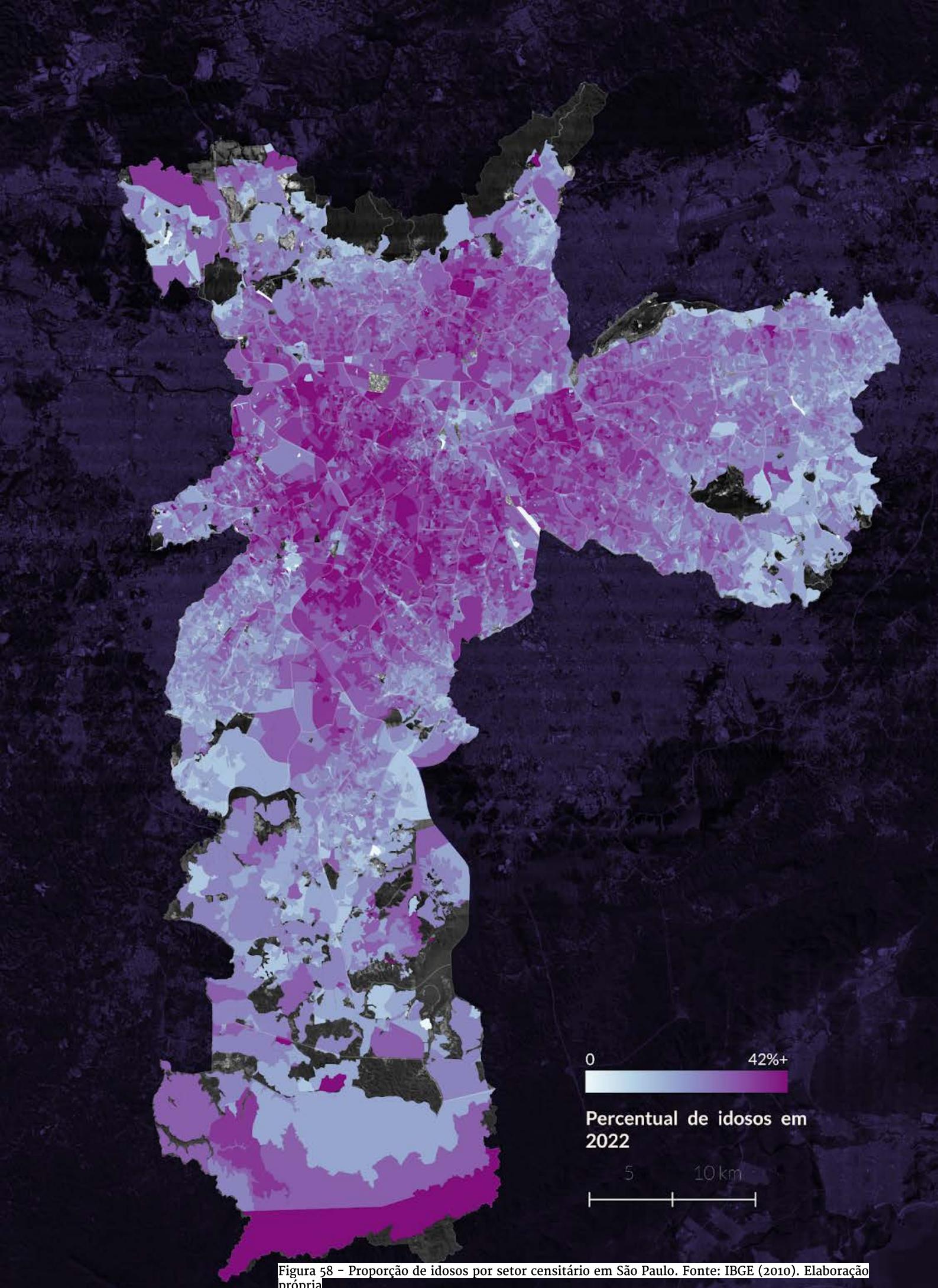


Figura 58 – Proporção de idosos por setor censitário em São Paulo. Fonte: IBGE (2010). Elaboração própria

Figura 58 – Proporção de idosos por setor censitário em São Paulo. Fonte: Censo 2010. Elaboração Própria

O mapa aponta que a distribuição de idosos por setor censitário na cidade é mais homogêneo do que outras distribuições identificadas nos mapas temáticos apresentados anteriormente, no entanto, ainda aponta ainda algumas concentrações nas áreas centrais da cidade e se correlaciona - de maneira mais sutil - com os mapas de renda e população PPI, apresentando índices relativamente grandes nas regiões de população branca e maior renda per capita, enquanto mantém menores percentuais nas franjas urbanas.

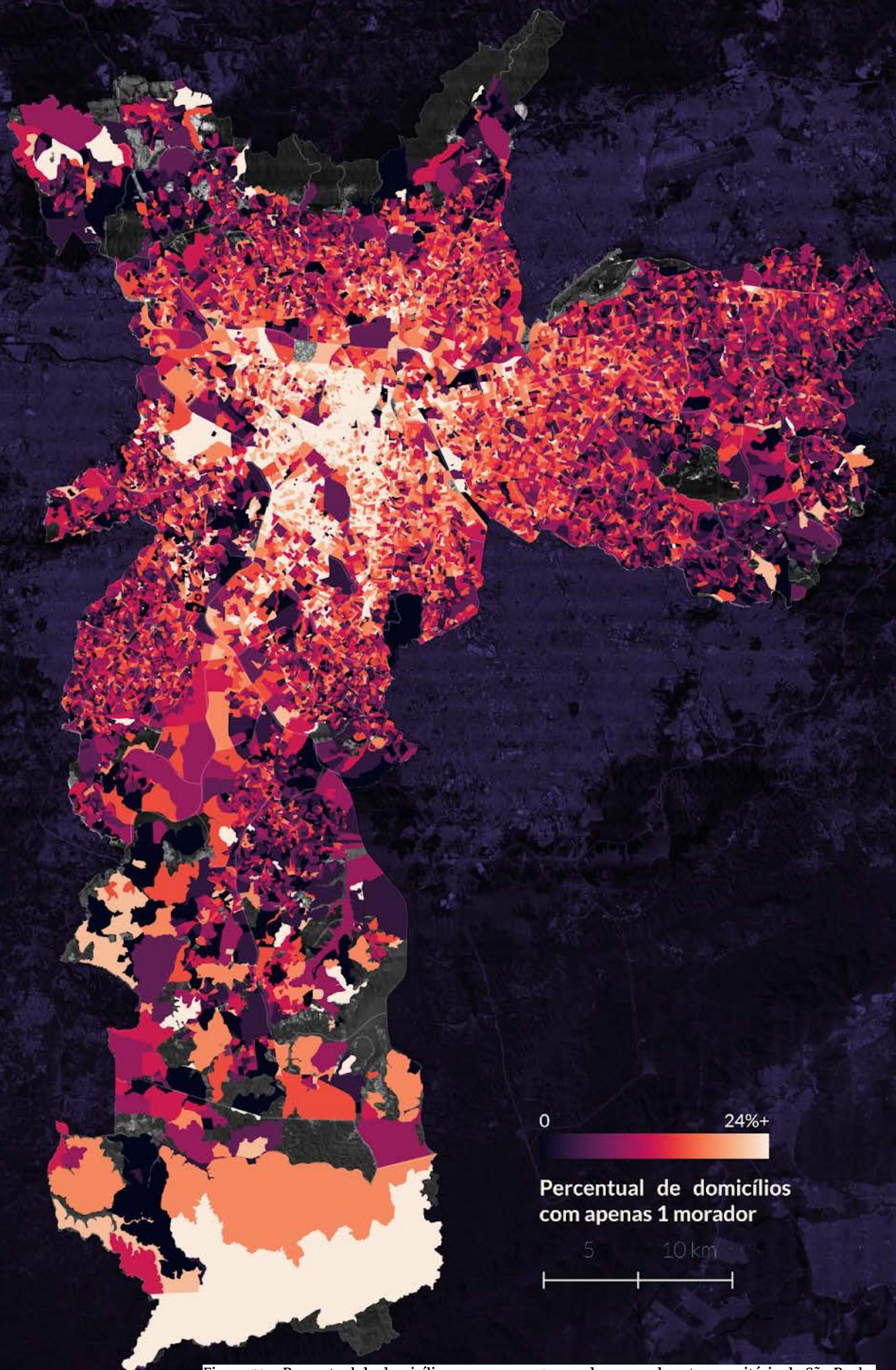


Figura 59 – Percentual de domicílios com apenas 1 morador em cada setor censitário de São Paulo.
Fonte: IBGE (2010). Elaboração própria

A análise do mapa de pessoas morando sozinhas na edificação aponta uma concentração desse grupo na parte mais central da cidade e um menor percentual de domicílios com apenas 1 morador por setor censitário nas porções mais periféricas de São Paulo. Sozinho, o mapa de domicílios unipessoais na habitação indica que a região central é uma área de atenção em relação à possibilidade de resposta dos moradores aos possíveis eventos críticos de temperatura, mas é ainda mais preocupante a averiguação de que existe uma correlação espacial visível entre os domicílios com apenas um morador e as regiões da cidade com maior concentração de idosos, a correlação mais forte desses grupos se encontra em uma porção com grandes rendas per capitais da cidade; no entanto, embora o incremento de renda auxilie substancialmente na possibilidade de adaptação às mudanças climáticas, ainda deve ser tomada atenção quanto ao quadro de alta vulnerabilidade que esses grupos podem estar expostos, especialmente os grupos localizados nos distritos que concentram altas temperaturas.

É importante notar, também, que a região central da cidade concentra as maiores quantidades relativas de domicílios alugados na capital paulista, a análise por setor censitário revela que não são raros os setores na região que concentram mais de 60% dos domicílios em condição de aluguel, esse quadro ocorre em uma região da cidade que é densamente verticalizada e acompanhada por uma alta densidade demográfica. Alguns dos distritos com altos índices de aluguel - como Bom Retiro, Pari, Sé e Brás - são áreas de moradia historicamente ocupadas por grupos que procuram aproveitar da infraestrutura do centro da cidade mas não tem boas condições de renda (como as

verificadas em alguns distritos próximos, exemplo são os localizados na porção sudoeste de São Paulo); essas são regiões onde a residência em moradia não-proprietária foi intensa ao longo do século XX (através do pagamento de cortiços, por exemplo) e a lógica de ocupação da área central em condições financeiras mais viáveis ainda permanece, sendo o aluguel de quartos, apartamentos ou residências uma das principais formas de acesso.

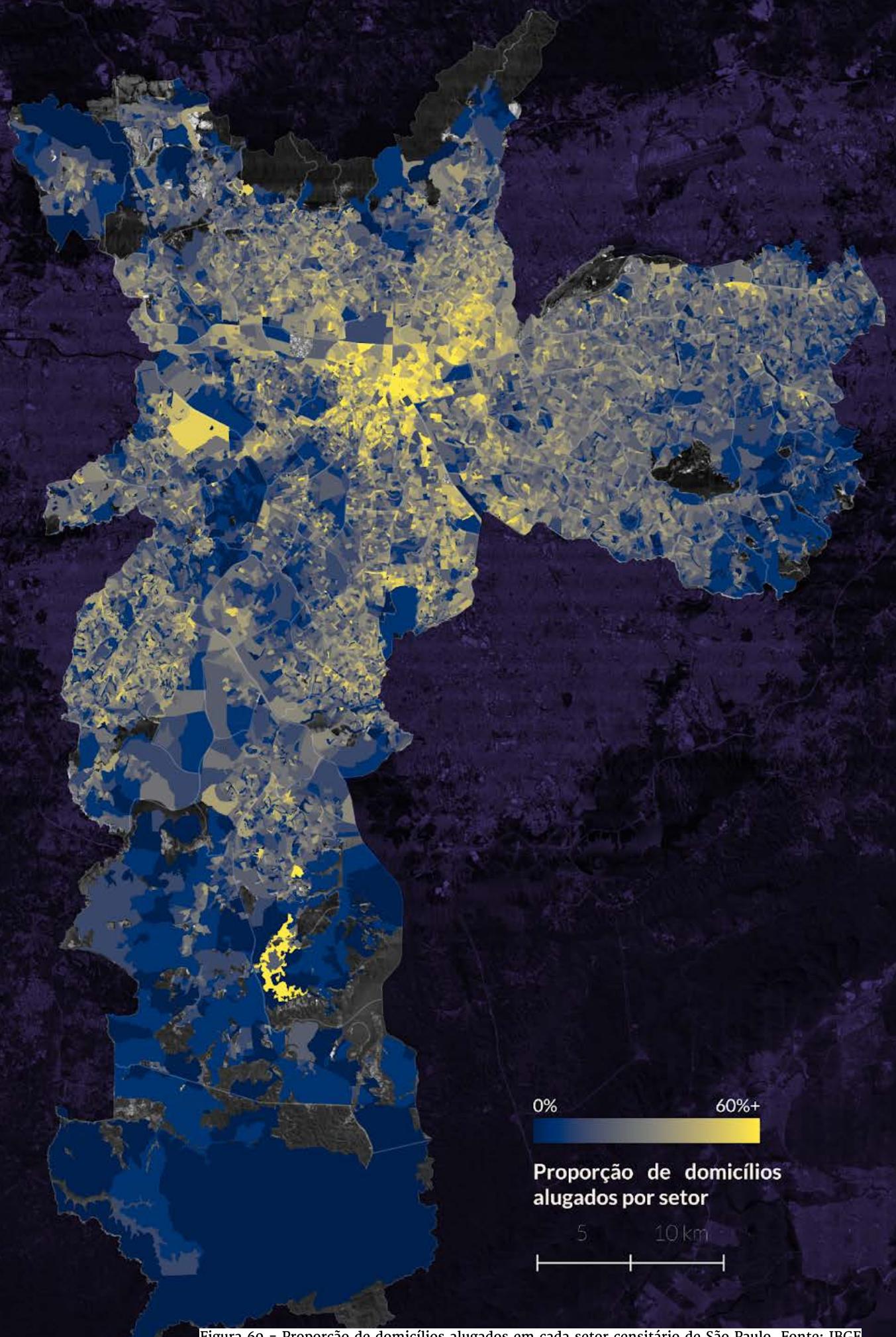


Figura 60 – Proporção de domicílios alugados em cada setor censitário de São Paulo. Fonte: IBGE (2010). Elaboração própria

O índice de domicílios em condição de aluguel certamente aponta possibilidades sobre a capacidade adaptativa no território e a literatura aponta que esse já foi considerado em alguns casos mas, para o caso brasileiro, um índice que também pode indicar muito sobre a capacidade adaptativa dos moradores e da residência é o de domicílios do tipo favela. A inspeção de domicílios do tipo não aparece com tanta frequência nos escritos internacionais consultados mas, para o caso de São Paulo, ela é essencial, porque domicílios desse tipo são parte substancial da cidade e podem concentrar precariedades habitacionais ou socioeconômicas devido ao processo de urbanização da capital paulista, onde o surgimento das favelas esteve fortemente atrelado às impossibilidades de acesso habitacional dos grupos mais vulneráveis.

A espacialização dos domicílios do tipo favela na capital é muito clara, estando grande parte desses localizados em regiões fronteiriças da cidade, como nas limites das regiões norte e leste; no entanto, é notório o número de domicílios do tipo na região sul, especialmente próximos ao centro sul da cidade. Nessa região se concentram algumas das maiores favelas de São Paulo, como Heliópolis e Paraisópolis. O primeiro ponto de atenção sobre as áreas de favela é a quantidade moradores nessas áreas, uma vez que os valores de densidade demográfica estão entre os maiores em várias das favelas da capital e a correlação espacial entre áreas de favelas e altos índices de densidade demográfica é perceptível pelos mapas. A quantidade de moradores em áreas tão pequenas é um reflexo de residências muito adensadas e, nesse sentido, não deve se verificar um grau de unipessoalidade tão grande nessas residências, mas deve-se atentar para o fato de que moradias com espaço

subdimensionado para o número de moradores também podem ser prejudiciais à condição de enfrentamento do calor, uma vez que podem aumentar a exposição dos mesmos. As áreas de favelas também se interseccionam com as regiões de mais baixos níveis de renda na capital e são os espaços da cidade com maiores índices de população PPI; o mapa de aluguel indica baixos índices gerais de domicílios nessa condição nessas áreas; no entanto, deve-se ponderar que existem contrapontos a essa constatação, uma vez que a dinâmica imobiliária nas favelas ocorre de maneira não inusual em comparação às outras áreas da cidade e existem casos de favelas com altos índices de residências para aluguel, como as favelas de Heliópolis e Paraisópolis (Meyer et. al; 2017)



A sobreposição dos mapas elaborados a partir dos dados do censo de 2010 permite identificar as áreas da cidade quanto ao seu caráter de vulnerabilidade ao aumento do calor a partir da leitura conjunta dos dados, entendendo as áreas mais críticas como sendo aquelas que concentram grupos com características que aumentam a sensibilidade ao calor ou reduzem as possibilidades de adaptação e enfrentamento ao aumento das temperaturas. Uma região de atenção é o centro de São Paulo, uma vez que concentra grande parte da população mais velha da cidade, além dos maiores percentuais de aluguel e de domicílios unipessoais; há uma correlação espacial visível entre as três variáveis, no entanto, não é possível determinar, neste estudo, o grau de correlação entre as variáveis, ou mesmo se é notório o grupo que concentra duas ou mais dessas características na região; ainda assim, essa é uma possibilidade a ser investigada em estudos futuros mais detalhados. Falando sobre o perfil socioeconômico dessa população, é interessante notar que esse grupo é composto - em grande parte - de pessoas ou famílias com renda per capita alta ou acima da média, o que aumenta as possibilidades de adaptação às mudanças de temperatura, por exemplo, por meio da compra de ventiladores ou ar-condicionados, ou mesmo de melhoria da residência para amenização da temperatura ambiente. Ainda assim, deve-se levar em conta que a região com os maiores índices de aluguel na cidade é, também, uma exceção às maiores rendas da área, na medida em que concentra grupos com rendas médias menores. Essa constatação é importante porque, levando-se em conta a renda mediana em um possível quadro de aluguel e domicílio unipessoal (inferido pela correlação espacial das variáveis), é possível que esses grupos tenham possibilidade

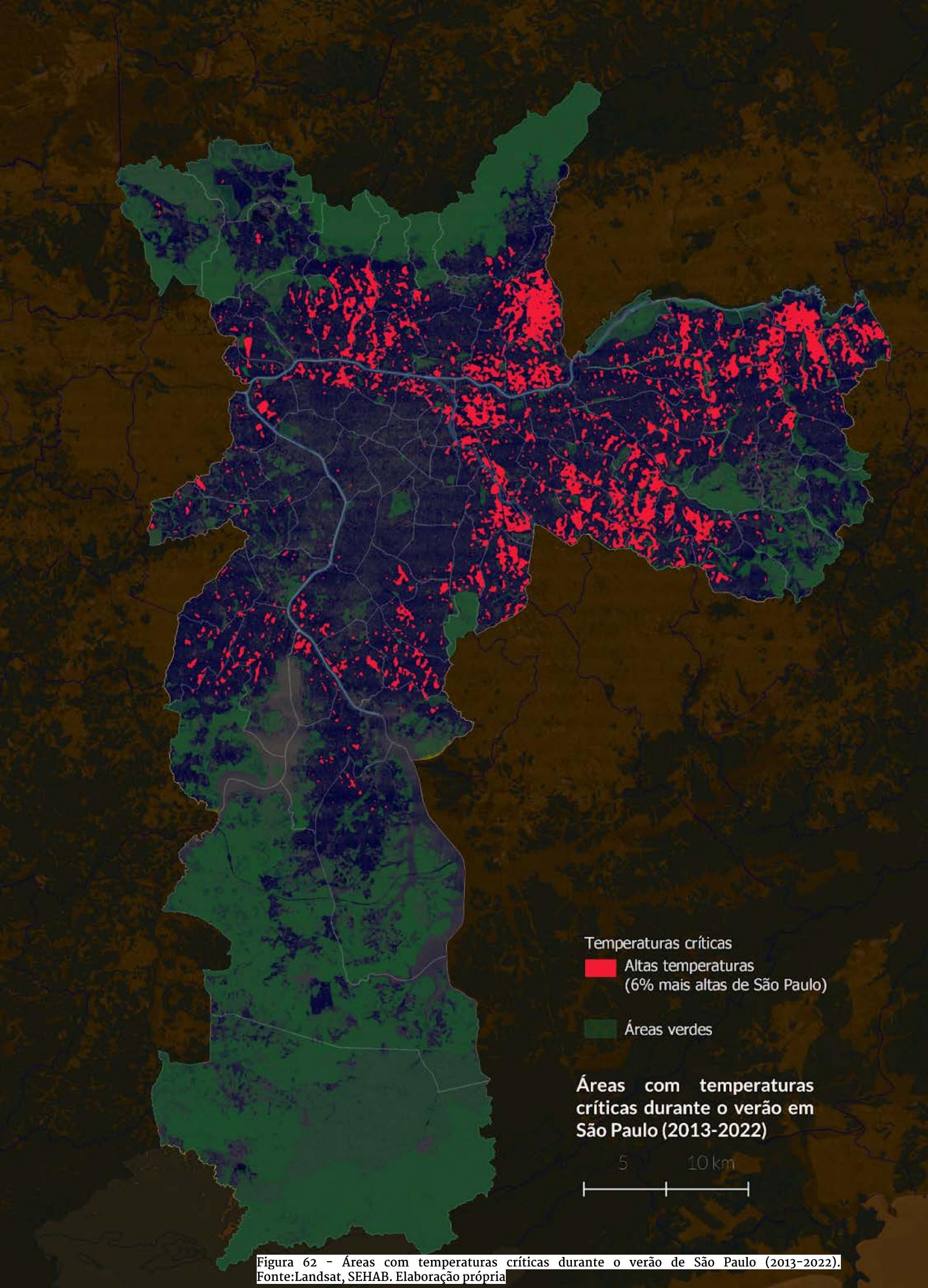
de adaptação ao calor reduzidas, ainda que não sejam parte dos grupos de menores rendas per capita de São Paulo. Uma última correlação socioeconômica importante é o fato de que a área central da cidade é majoritariamente branca, com exceção a uma faixa no hipercentro da cidade, localizada parcialmente entre os distritos Sé, Brás, Bom Retiro, República, Liberdade, Pari e Cambuci. Nessa região - onde a população de PPIs, segundo o censo, é alta - chamam a atenção os altos índices de domicílios em situação de aluguel e unipessoais. Assim, apesar de verificarem-se altos índices de população branca no centro da cidade, as regiões com maior possibilidade de concentrarem alta vulnerabilidade ao calor (pela grande correlação entre os casos críticos de capacidade adaptativa) são majoritariamente compostas por pessoas PPI.

A região norte próxima ao centro, composta por porções dos distritos Santana, Tucuruvi, Vila Guilherme e Vila Medeiros indica uma concentração muito alta de população mais velha, de maneira semelhante ao centro, mas com uma condição de renda consideravelmente menor. O índice de domicílios em situação de aluguel é mediano, mas a região possui densidade demográfica alta, o que indica uma possibilidade de altos números absolutos dos grupos em situação crítica. As regiões denominadas como favelas são especialmente críticas para essa situação, pois exacerbam os índices de idosos, densidade demográfica e baixas rendas. As regiões do extremo leste e do sudoeste da capital apresentam condições semelhantes quanto às variáveis, uma vez que são intensamente adensadas - com densidades populacionais entre as maiores da capital - além de possuírem grandes partes do território em condição de precariedade habitacional. Nessas ocupações se verifica um

perfil socioeconômico com altos índices de pessoas PPI e com baixas rendas per capita; no entanto, não se verificam altos índices de aluguel ou de pessoas mais velhas, como nas regiões anteriormente descritas.

O último passo no conhecimento dos grupos vulneráveis é entender as relações espaciais entre exposição, sensibilidade e possibilidade de adaptação às altas temperaturas. Uma vez analisadas as condições de exposição ao calor na cidade (por meio do estudo das temperaturas de superfície e da vegetação, bem como caracterização da morfologia) e indicados os grupos com menores possibilidades de resistência às altas temperaturas (através da averiguação da distribuição espacial de perfis socioeconômicos sensíveis ou de domicílios com possibilidades restritas de amenização das temperaturas) deve-se entender onde se concentram as maiores vulnerabilidades aos efeitos de aquecimento na cidade através da intersecção desses fatores, isto é, da investigação dos espaços da cidade que mantêm simultaneamente altas temperaturas e grupos vulneráveis às mesmas. Para facilitação da leitura dos grupos mais vulneráveis em São Paulo, foram realizadas sobreposições de leituras entre as áreas que concentram os 6%³² das T_{sup} mais altas da cidade e as leituras socioeconômicas e territoriais feitas anteriormente.

³² O valor mais exato é o de 6,25% e esse foi escolhido por uma questão prática de trabalho no software Quantum Gis. As T_{sup}s da capital foram divididas em 12 grupos diferentes, (sendo 100% a totalidade dos pixels com temperatura, cada grupo concentrou 100/12% dos pixels de T_{sup}) e, entre esses, foi selecionado como referência espacial o grupo que concentra as maiores temperaturas da cidade, isso é, as 6,25% mais altas para um dia de verão, aproximadamente às 10:30 da manhã.



Até então, as T_{sup} foram estudadas de maneira agregada por distrito, o que facilitou o entendimento sobre as intersecções entre vegetação, morfologia e desenvolvimento urbano nos processos de aquecimento da cidade; nesse momento a especialização da análise pede um aprimoramento da leitura das áreas expostas, no sentido de que as áreas mais quentes da cidade desconhecem limites administrativos. Como esperado, há grande correlação espacial entre as áreas com maiores T_{sup} da cidade e os distritos mais quentes, uma vez que tratam-se essencialmente dos mesmos dados, no entanto, o mapa com as T_{sup} críticas evidencia a localização de numerosas áreas de altas temperaturas principalmente ao longo das regiões norte e leste da cidade. Na região leste, áreas de altas temperaturas se estendem desde a periferia, na região nordeste da capital - próximas a distritos como Itaim Paulista e Vila Curuçá - até áreas mais próximas de cidades do sudeste paulista que compõem a região ABC da Região Metropolitana de São Paulo. Na região norte as áreas de T_{sup} críticas estão localizadas principalmente em regiões próximas do centro, sem que existam áreas do tipo nas bordas da cidade; nesta zona é perceptível a grande mancha de áreas críticas que cobre grande parte dos distritos de Vila Medeiros, Vila Maria e Vila Guilherme, distritos que também foram identificados com altas temperaturas. As áreas de temperatura críticas são relativamente menos aparentes na região central e na porção sul da cidade, nessas zonas as áreas encontradas se mantêm em distritos mais próximos da mancha urbana densa da capital e distantes da área verde nativa.

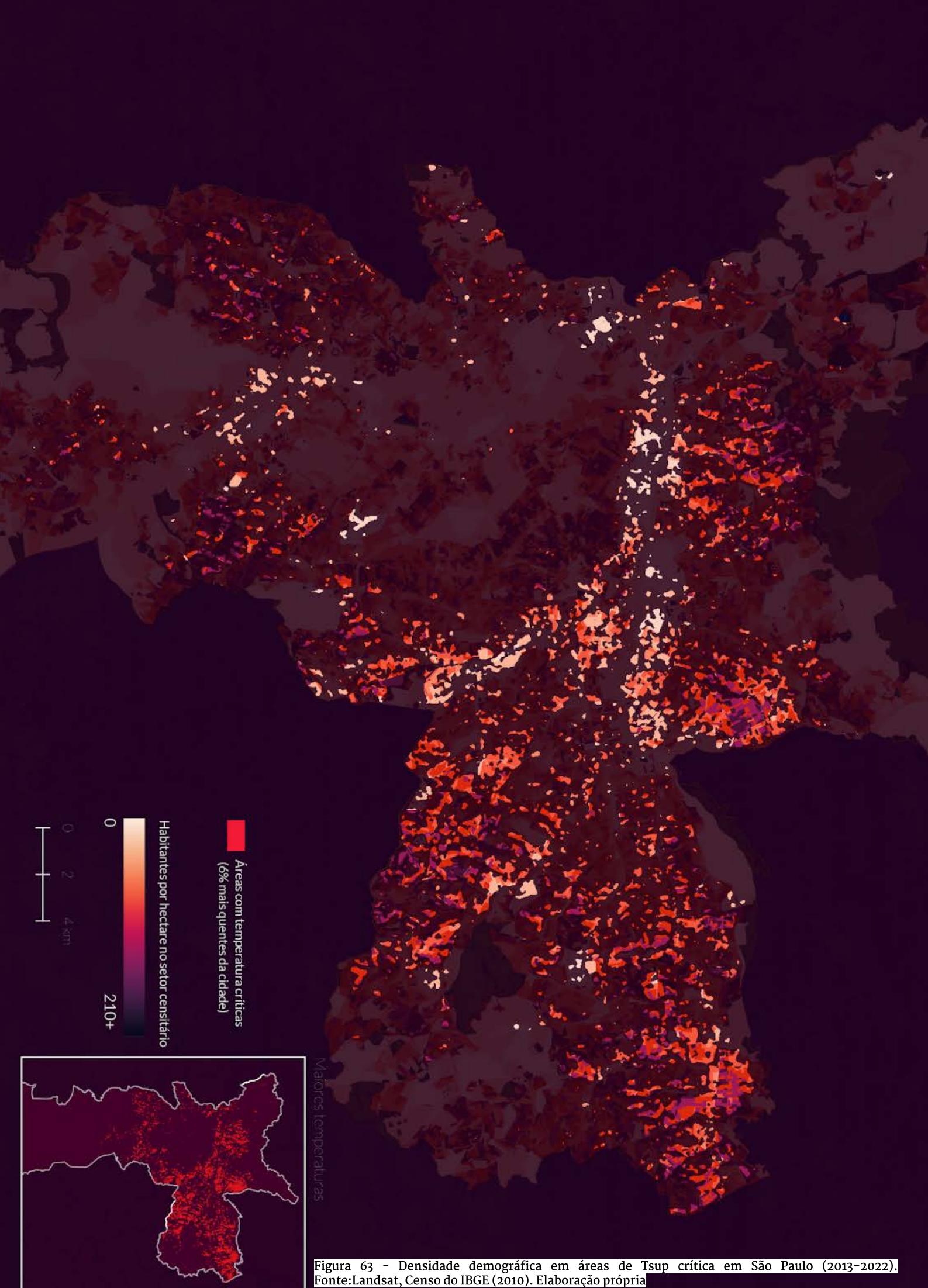
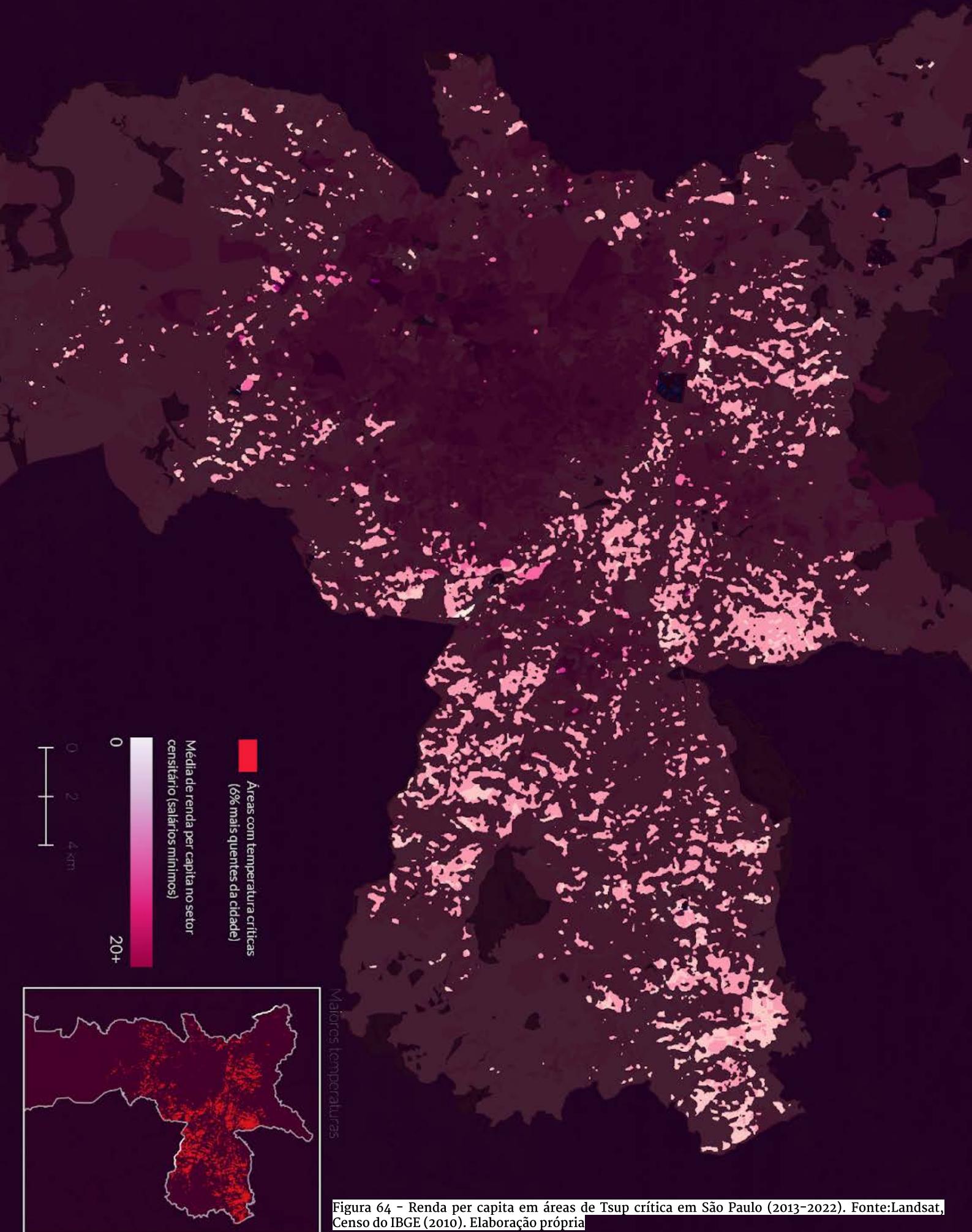


Figura 63 - Densidade demográfica em áreas de Tsup crítica em São Paulo (2013-2022).
Fonte:Landsat, Censo do IBGE (2010). Elaboração própria



É crucial que a análise das áreas críticas de temperatura da capital leve em conta a densidade populacional dos espaços com maiores temperaturas de superfície a fim de entender em que grau o montante da população está sendo afetado. Muitas das menores T_{sup} da cidade estão em regiões sem ocupação urbana de fato, onde os limites da cidade compreendem, na verdade, parques ou áreas nativas de preservação e conservação; entre as áreas de T_{sup} mais altas o caso é diferente. Embora saia do escopo deste trabalho traçar correlações entre densidade demográfica e aumento da temperatura, o que se percebe pela leitura espacial é que alguns dos setores censitários com maiores números de habitantes por hectare possuem, também, T_{sup} entre as maiores da capital. Paralelamente, na região norte mais central são encontradas áreas que mantêm T_{sup} críticas, mas com densidade demográfica relativamente baixa se comparada com o restante da capital; ainda, as menores densidades demográficas são verificadas em regiões que não compõem as de maiores temperaturas da cidade, como as localizadas no centro-sul e extremo sul.

A intersecção entre as áreas de altas temperaturas de superfície e o mapa de renda indica uma leitura muito homogênea sobre a renda per capita média dos mais expostos aos efeitos de aquecimento na cidade; é difícil traçar distinções nesse sentido e o único aspecto diferencial é o menor índice de renda per capita verificado no extremo leste e na zona sul. De forma geral, as áreas críticas de temperatura estão fortemente associadas às regiões com rendas per capita entre 1 e 3 salários mínimos, aparecendo também as áreas de rendas menores, é interessante evidenciar que nenhuma das regiões com maiores rendas per capita em São Paulo compõe o quadro das T_{sup} mais

altas da cidade; certamente a renda tem relação com esse fator de exposição, uma vez que algumas das regiões centrais da cidade que agregam muita área verde mantêm altos valores de aluguel ou compra de imóveis, no entanto, não é o fator preponderante para a definição de áreas de exposição, uma vez que regiões com baixas temperaturas também são identificadas em locais de baixa renda, principalmente nas franjas da cidade.

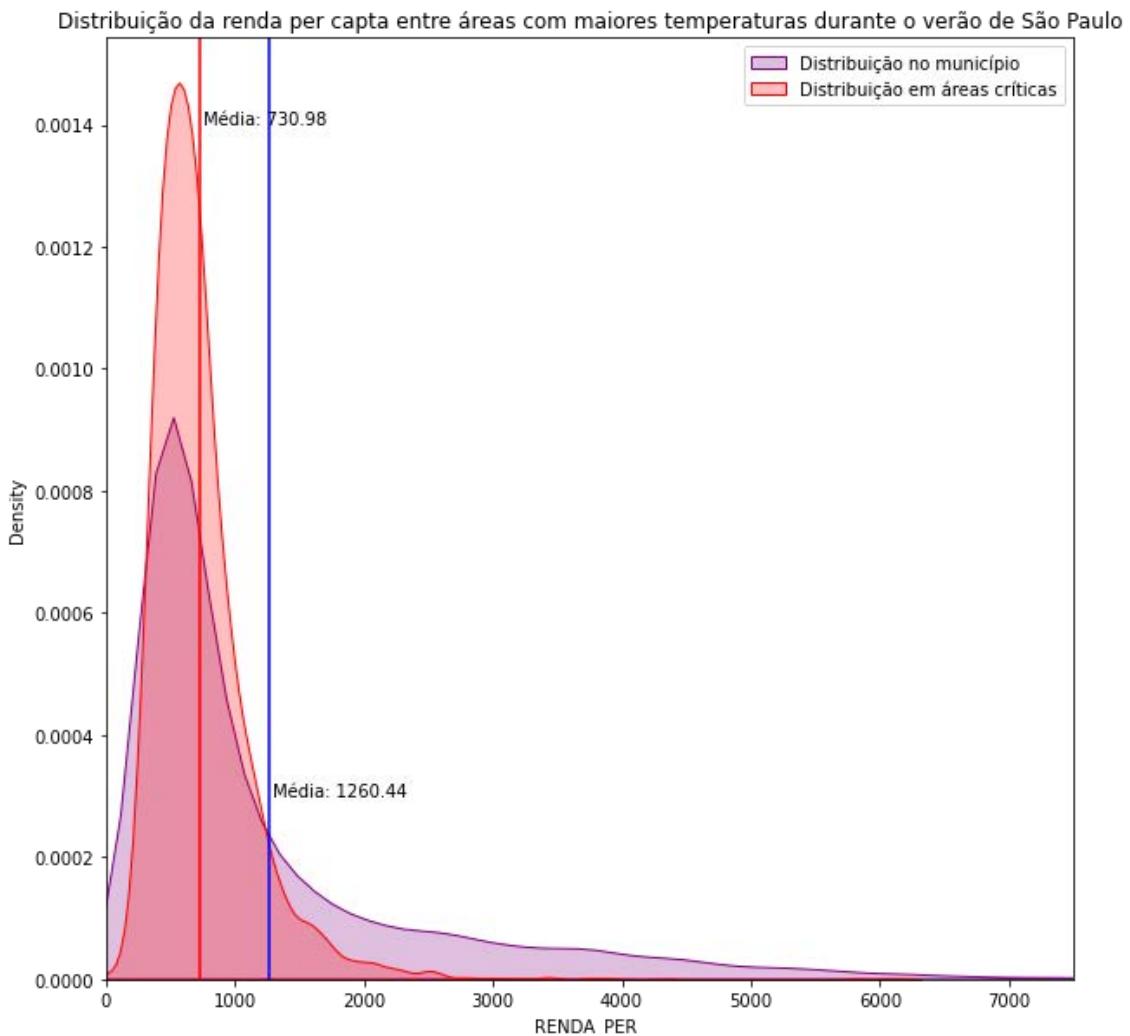
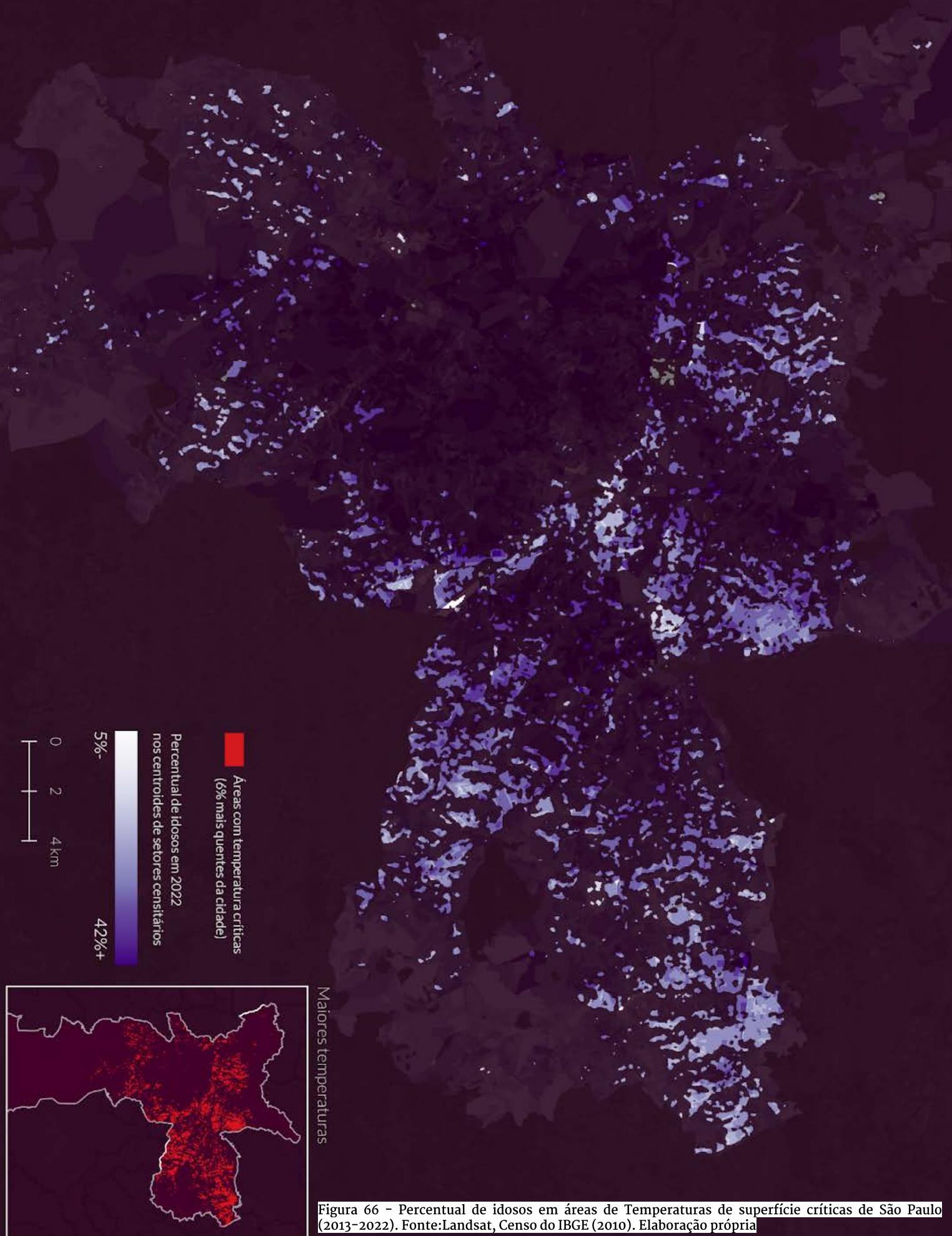


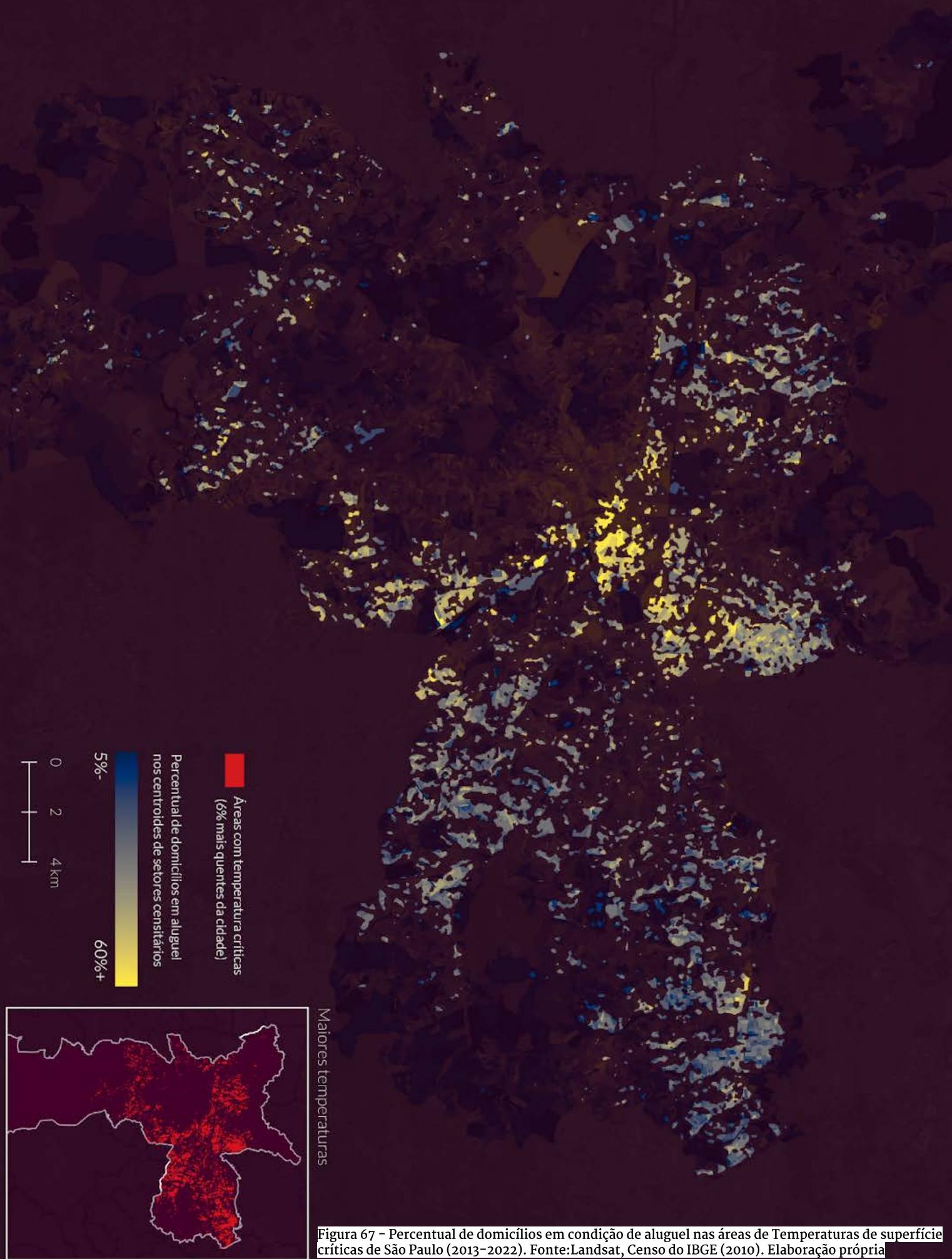
Figura 65 – Distribuição de renda per capita entre áreas com as temperaturas mais críticas de São Paulo durante o verão. Fonte: Landsat, Censo do IBGE. Elaboração Própria

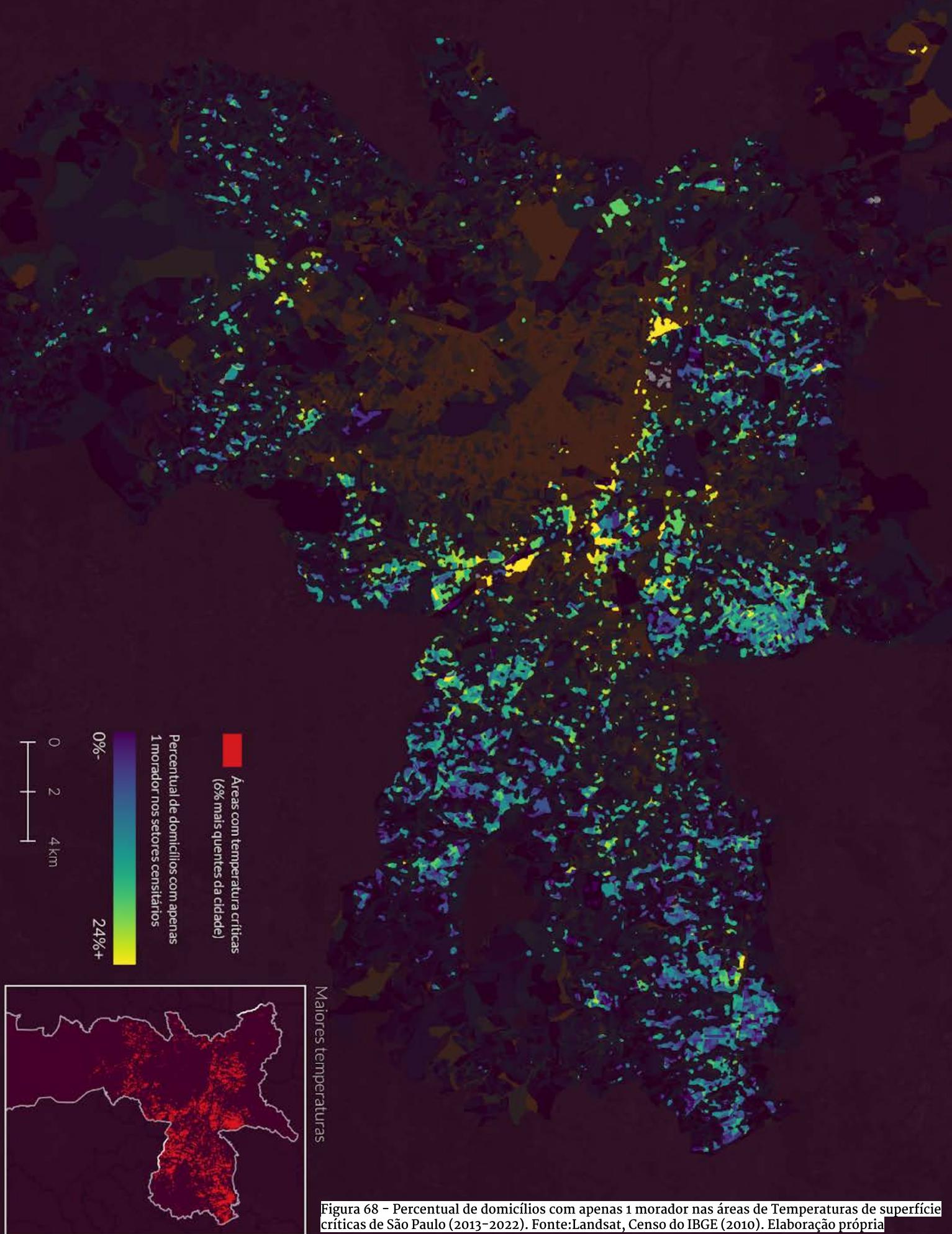
Mais importante do que a correlação entre renda e exposição - para esse trabalho - é a constatação que do ponto de vista da capacidade adaptativa, considerando a

renda per capita como um dos principais fatores para adaptação ao clima (uma vez que abre possibilidades para uma série de intervenções em vista da mitigação de calor, indicadas anteriormente), todas as áreas mais expostas aos aumentos de temperatura na cidade são, também, áreas com baixa capacidade de mudança para enfrentamento às altas temperaturas. De fato, o gráfico da distribuição de renda ao longo do município aponta que a média de renda das pessoas em áreas críticas é de aproximadamente 1,5 salários mínimos da época, substancialmente menor do que a renda média do município.



A maior parte dos setores censitários que concentram altos percentuais de população idosa estão fora das regiões de temperaturas mais altas, o que é um bom indicativo, uma vez que esses estão entre os grupos mais sensíveis a altas temperaturas. É perceptível a composição de uma população muito jovem na maior parte das áreas, como nas porções da região norte e extremo leste; no entanto, há uma porção considerável de população idosa em alguns trechos da zona leste mais próximos da região central de São Paulo. Como pontuado anteriormente, a passagem de tempo desde o último censo demográfico dificulta a verificação dos grupos mais jovens que também são vulneráveis ao calor - como crianças ou bebês - no entanto, nesse aspecto, é possível definir áreas de atenção quando são verificados setores censitários com altas densidades demográficas e população jovem, o que pode ser um indicativo de zonas com maior números de famílias com filhos mais jovens; nesse sentido, os baixos índices de população idosa podem indicar áreas interessantes para investigação sobre a faixa etária dos grupos. No entanto, as limitações deste trabalho não permitem apontar que essas regiões são de fato concentradoras de outros grupos sensíveis ao aumento de temperatura por sua faixa etária.





Investigando os aspectos de intersecção entre condição habitacional e T_{sup} , percebe-se uma mudança na visualização dos grupos mais críticos em relação aos aspectos anteriores, na medida que esses se localizam, principalmente, ao redor da região central da cidade. Na área que concentra os maiores índices de domicílio em situação de aluguel, uma grande parte destes estão localizados em áreas de altas temperaturas e, simultaneamente, se relacionam espacialmente com áreas de apenas um morador. Essa constatação agrava um quadro indicado anteriormente, em que existe uma grande possibilidade da existência de um grupo definido por pessoas que moram sozinhas no centro, vivem de aluguel e estão expostas às maiores temperaturas da cidade; paralelamente, esses mesmo grupos não possuem renda per capita muito díspar do resto da cidade. Por estarem em uma área com muitos serviços, infraestrutura e altos valores de aluguéis, em uma condição de moradia unipessoal e renda mediana, esses grupos podem encontrar-se em uma situação onde, paralelamente estão muito expostos ao calor e possuem pouca capacidade de adaptação para enfrentamento das altas temperaturas; uma análise mais aprofundada nesse território pode indicar um caminho interessante para pesquisas futuras, visto que esses grupos devem ser analisados mais a fundo para o melhor entendimento dessa condição de vulnerabilidade.

É possível verificar a condição de exposição às T_{sup} das favelas de São Paulo na figura 59, que aponta uma correlação espacial visível entre as áreas de favela e as regiões mais quentes da cidade, especialmente na porção leste de São Paulo e em algumas partes da região norte. A visualização das temperaturas médias de superfície

agregadas apenas para áreas de favelas aponta que a grande maioria dos domicílios do tipo se situa em regiões com temperatura acima das T_{sup} médias da capital

Favelas com temperatura do solo acima da média durante o verão no município de São Paulo

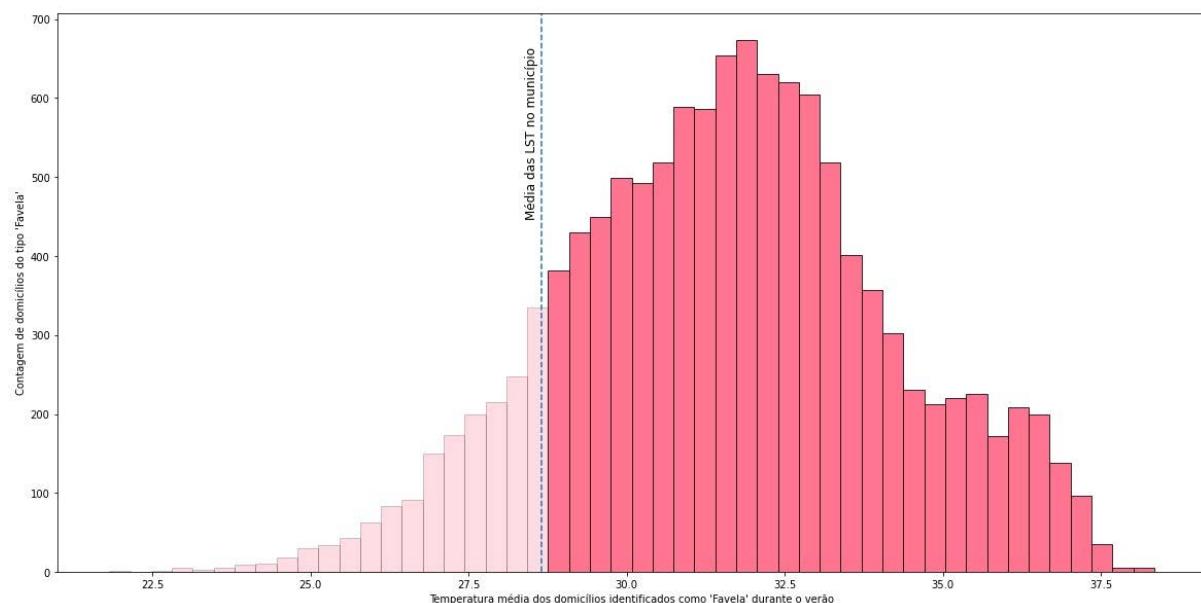


Figura 69 – Favelas com temperatura de superfície acima da média durante o verão de São Paulo. Fonte: Landsat, Geosampa. Elaboração Própria

Nesse sentido, várias das áreas de favelas estão localizadas em conjuntos densamente edificados e a própria conformação morfológica desses espaços, quando são acompanhados de densidade construtiva alta, pouca vegetação e espaços restritos para circulação do ar, podem estar relacionadas ao aparecimento de uma série de favelas em ambientes mais expostos às altas temperaturas de superfície. Esse quadro merece atenção no entendimento de vulnerabilidade à mudança do clima, uma vez que esses espaços por vezes agregam uma série de vulnerabilidades socioeconômicas e construtivas que potencializam os riscos ao calor e mitigam as possibilidades de ação de resistência ao aumento da temperatura. No caso das favelas localizadas em área de exposição elevada às altas temperaturas na cidade, essas estão em locais de baixa renda per capita e alta

densidade demográfica, localizados principalmente nas franjas da cidade, em áreas de ocupação relativamente recente, o que aponta um quadro onde uma população considerável da cidade de São Paulo habita espaços que oferecem alto grau de risco, sem que mantenham condições de capacidade adaptativa adequada. Esses grupos parecem não ser os mais frágeis da cidade do ponto de vista da vulnerabilidade ao calor, uma vez que concentram graus relativamente baixos dos grupos mais sensíveis, mas ainda são necessários estudos mais aprofundados ou aproximados sobre esses mesmos grupos, uma vez que a visualização possível pelos setores censitários é especialmente frágil para os espaços das favelas, devido aos aspectos temporais das pesquisas e as rápidas alterações nesses espaços ao longo da última década. Cabe aqui, como contraponto à relação entre favelas e altas temperaturas, que as favelas localizadas nos extremos norte e sul da capital são espaços localizados em zonas de baixas T_{sup} relativas, provocadas provavelmente pela existência de vegetação circundante em abundância. Esse quadro indica que não necessariamente a estratégia espacial de ocupação das áreas de favela levou a um aumento da exposição às altas temperaturas; é mais acurado dizer que esses espaços ocuparam paralelamente áreas de alta exposição e pouco verde - como o observado nas regiões centro sul e leste - e regiões amenas nas bordas da mancha urbanizada, o que evidencia certa independência entre as estratégias de ocupação do território e a ocupação de áreas mais ou menos quentes da cidade.

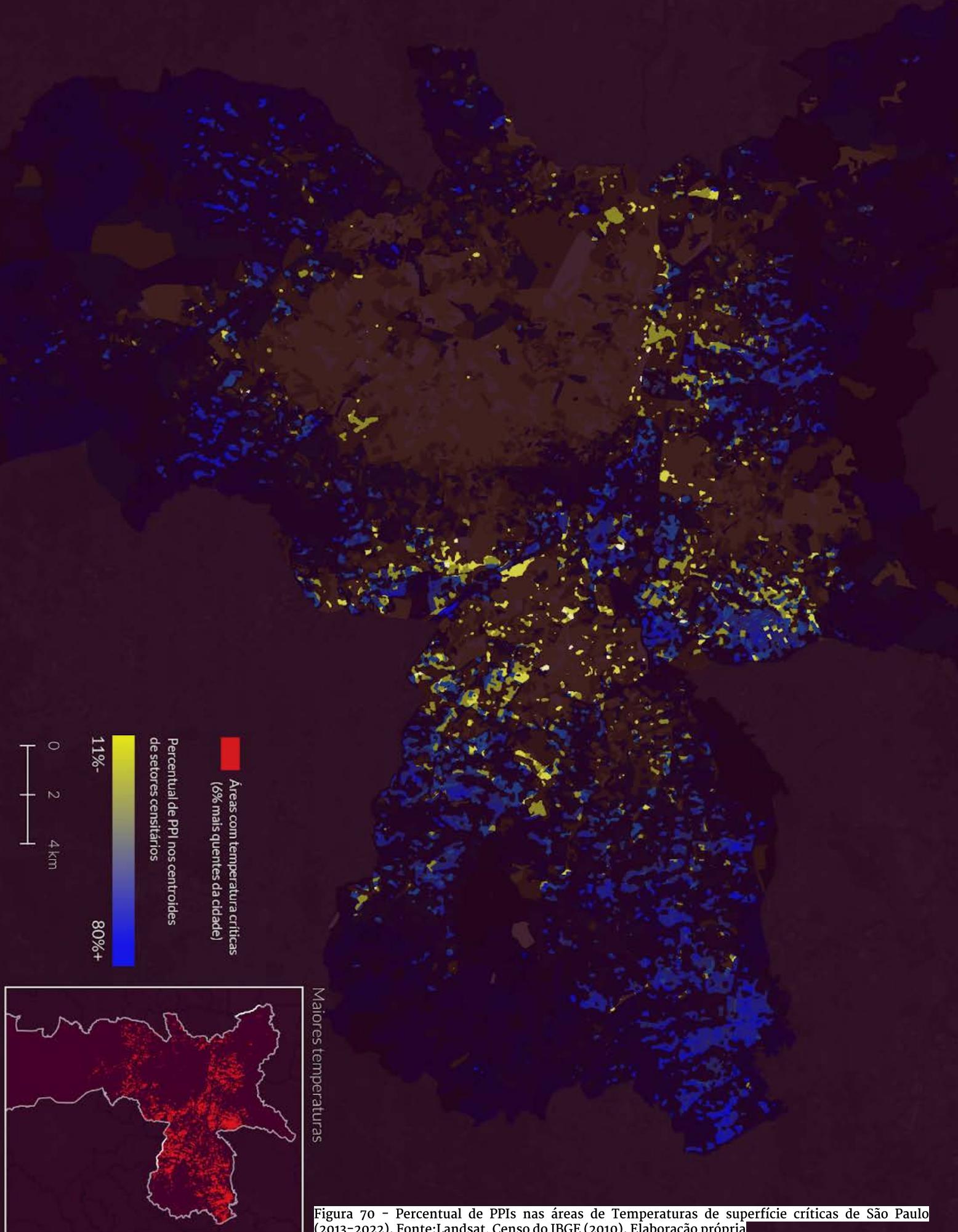


Figura 70 – Percentual de PPIs nas áreas de Temperaturas de superfície críticas de São Paulo (2013-2022). Fonte:Landsat, Censo do IBGE (2010). Elaboração própria

Um último indicativo relevante sobre os mapas com T_{sup} críticas é a relação de distribuição por raça; nas áreas com maiores T_{sup} a divisão entre os grupos é heterogênea visualmente, mas importa verificar onde esses grupos estão dispostos. As regiões de temperaturas críticas e com maiores índices de população PPI estão localizadas principalmente na periferia do município, em áreas de baixa renda, alta densidade demográfica e de população mais jovem, com menores índices de aluguel. Os setores censitários com maior percentual de população não-branca são, também, fortemente correlacionados com as áreas de favelas. Por outro lado, as áreas com menores percentuais de população PPI que se interseccionam com as áreas críticas de T_{sup} estão localizadas no centro, na região leste mais próxima desse e na região norte; essas são regiões localizadas em distritos que, apesar de possuírem rendas per capitais maiores, têm com áreas de T_{sup} críticas com renda muito semelhante às outras áreas críticas da cidade. Nessas regiões também são verificados maiores índices de população mais idosa, de domicílios em condição de aluguel e de moradias com apenas um residente. A análise espacial a partir da escala urbana aponta que a correlação espacial entre a presença ou ausência de grupos de PPI e as altas T_{sup} não aponta diferenciação quanto ao grau de exposição, mas sim, quanto à sensibilidade ao calor e às possibilidades de adaptação, uma vez que se identifica casos agravantes da vulnerabilidade ao calor para os dois casos. Essa constatação é importante porque indica que deve ser considerada uma diferenciação estratégica notória no enfrentamento do calor de áreas majoritariamente PPIs e outras, uma vez que os problemas relacionados ao aumento da vulnerabilidade são significativamente diferentes.

Uma vez verificadas as condições de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa no território, é possível definir que existem áreas mais vulneráveis aos aumentos de temperatura na cidade de São Paulo. O que se percebe é que a distribuição da vulnerabilidade é muito heterogênea, sendo verificadas diversas regiões com altas T_{sup} , bem como características agravantes a essas; no entanto, essas mesmas características diferem entre as regiões de São Paulo. Quando identificadas as áreas mais expostas da cidade, é notória a ausência de área verde abundante em todas elas, mas essa característica é provavelmente a única que é unânime entre as regiões. A morfologia dos territórios é muito diversa, mas em geral as regiões com maiores temperaturas de superfície da cidade são predominantemente ocupadas por altas densidades construtivas e grande ocupação das vias por edifícios de baixo gabarito, com pouco espaço para circulação da ventilação e arborização viária escassa. Vila Medeiros, Aricanduva, Vila Maria, Vila Guilherme, Vila Curuçá, Sapopemba e São Lucas são distritos com morfologias que obedecem parcial ou integralmente essas características; paralelamente, são identificadas áreas com altas T_{sup} e morfologias distintas desse conjunto, como a região do Brás, onde são identificados edifícios com altos gabaritos e recuos maiores em relação ao lote.

As áreas mais vulneráveis da cidade mantêm uma correlação quanto ao momento histórico de seu desenvolvimento; a grande maioria dessas regiões foi ocupada ao longo das décadas de 1960 e 1980, com algumas regiões mais recentes na parte central do município (Figura 32). Essa correlação é importante pois pode ser indicativa de que a maneira como a ocupação do território ocorreu ao

longo dos séculos XX e XXI pode estar fundamentalmente relacionada à morfologia dos territórios e, consequentemente, às suas condições de T_{sup} e vulnerabilidade. Quando são identificadas como mais vulneráveis ao calor as áreas que não são as de ocupação mais antiga da capital, nem as de crescimento mais recente, o que se percebe é que esses são territórios intermediários quanto à contemporaneidade de seu crescimento. Nessas regiões, o crescimento já ocorreu em tempo e intensidade suficiente para condicionar as áreas a um quadro de inserção urbana sem remanescentes verdes próximos (um fator provavelmente predominante na diminuição das T_{sup} nas áreas mais periféricas das regiões sul e norte), mas não parece ter acarretado em trabalhos de reestruturação urbana ou em projetos que procuram melhorar a morfologia urbana e a vegetação viária a fim de obter bons resultados na amenização do clima, como os identificados nas áreas mais centrais da cidade (e com ocupação mais antiga).

A conexão entre as áreas vulneráveis e o crescimento urbano ajuda a identificar melhor a vulnerabilidade, uma vez que não raros os índices socioeconômicos são menores nas regiões de ocupação mais recente e mais afastada do centro. Assim, o que se percebe é que existe uma grande relação entre a vulnerabilidade ao calor e outras vulnerabilidades às quais esses grupos podem estar expostos, uma vez que compõem as áreas mais expostas às altas T_{sup} regiões com baixa renda, alta densidade demográfica, altos índices de população PPI e em condições de habitação em moradia não-proprietária ou em favelas. A sobreposição das leituras socioeconômicas e de temperatura da superfície evidenciam que existem áreas prioritárias de

atuação na cidade, entre essas regiões, cabe chamar a atenção para três áreas em específico:

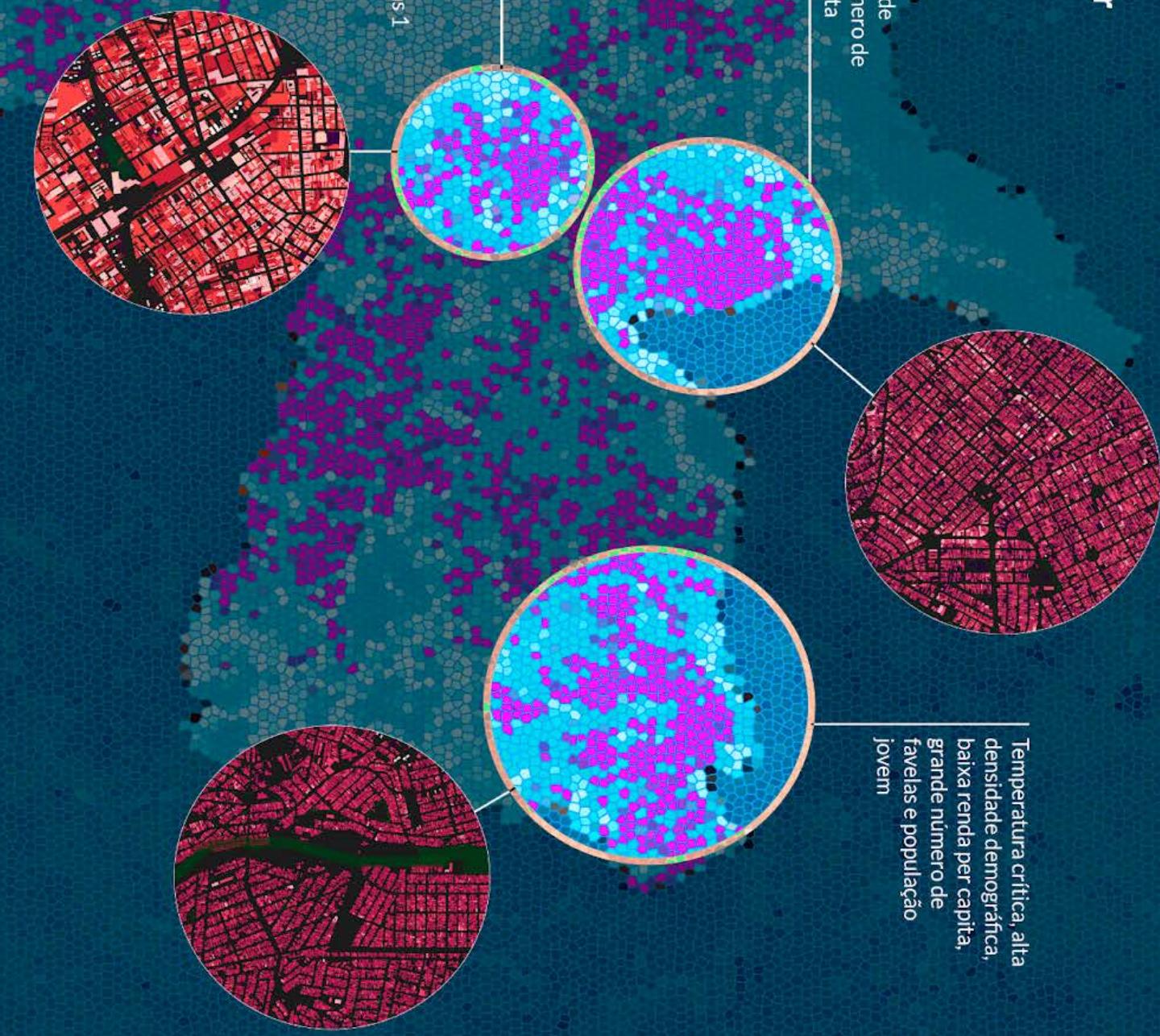
i) A região norte mais próxima do centro da capital, mas que faz fronteira com o município, localizada ao norte do Rio Tietê, onde se verificam altas temperaturas - com os distritos que agregam as maiores T_{sup} de São Paulo - alta densidade populacional, grande número de idosos e baixa renda. Do ponto de vista da vulnerabilidade climática, essa é uma região extremamente crítica, na medida em que apresenta alto grau de exposição às temperaturas, grande parte de um público que é especialmente sensível ao aumento da temperatura e pouca condição de adaptação à mudança do clima;

ii) O extremo leste da capital paulista tem altos graus de exposição às temperaturas de superfície, é composto por altas densidades demográficas, baixa renda e grande número de favelas, além dos maiores percentuais de população PPI identificados na cidade; essa é uma área que, pela juventude da população, também pode estar relacionada a um maior número de jovens e crianças. Nessa, percebe-se a sobreposição de grupos historicamente vulneráveis mas que, a priori, mantém condições menos críticas de sensibilidade ao calor; ainda assim, as impossibilidades de adaptação às mudanças climáticas devem ser consideradas, uma vez que essa área concentra vulnerabilidades socioeconômicas relacionadas à habitação, trabalho e renda;

iii) A região central da cidade concentra indicadores sociais relativamente melhores do que outras áreas de São Paulo mas, para os perímetros de T_{sup} mais críticas, o que se percebe é a existência de populações que mantêm condição de renda muito semelhante às identificadas nas duas áreas

anteriores. Os distritos mais centrais da capital paulista são de ocupação bastante antiga, mas a criticidade em relação à habitação para esse caso se dá justamente pela ocupação da moradia não-proprietária, especialmente nas áreas com os maiores percentuais de domicílios em aluguel na cidade, essas áreas se confundem espacialmente com regiões de unipessoalidade habitacional, o que pode configurar um quadro crítico do ponto de vista da vulnerabilidade, onde se identificam grupos expostos às grandes temperaturas, com baixa renda e morando só, sem muita condição de alteração na situação para enfrentamento ao calor. Além dessas condições, a região possui um percentual de população idosa relativamente mais alto do que outras regiões da capital, o que é um indicativo do agravamento da vulnerabilidade.

Mapa síntese das áreas vulneráveis ao calor em São Paulo



A análise das áreas de vulnerabilidade da capital revela que as regiões mais expostas às altas temperaturas e aos processos de aquecimento urbano mantêm uma série de características que influenciam negativamente e diretamente nas condições de sensibilidade e adaptação das populações residentes. Esses agravantes da vulnerabilidade, no entanto, são substancialmente diferentes para cada área e são reflexo direto do desenvolvimento e da urbanização da cidade. Assim, é crucial entender que qualquer que seja o projeto ou política pública para enfrentamento ao quadro de agravamento das altas temperaturas e estresse térmico na cidade, esse deve considerar que os grupos vulneráveis em São Paulo são numerosos e heterogêneos na composição da vulnerabilidade, o que exige estratégias de enfrentamento diferentes para os espaços onde cada um desses grupos estão situados.

10. Considerações Finais

A emergência climática vem acelerando os processos de desastres naturais em todo o mundo de maneira cada vez mais intensa ao longo dos anos e, especialmente, das últimas décadas; nesse contexto, é fundamental pensar estratégias de mitigação e adaptação à mudança do clima nas cidades, face às emergências e aos desastres ambientais iminentes. O aumento da temperatura é uma ocorrência direta da ação antrópica e está intrinsecamente relacionado à emergência climática como consequência da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera; nesse contexto, pensar sobre o risco climático ao qual as pessoas estão expostas nas cidades pelo aumento da temperatura é essencial para se evitar o aumento de ocorrências de estresse térmico, situações que podem causar severos danos à saúde ou até mesmo a morte por conta da drástica modificação das temperaturas. Nesse sentido, o estudo do clima urbano se faz cada vez mais essencial para entender o quadro de vulnerabilidade da população nas áreas urbanizadas, uma vez que ajuda a explicar as dinâmicas de temperatura de superfície que ocorrem na escala das grandes cidades e que podem estar diretamente relacionadas com diferentes processos de aquecimento que se sobrepõem nas mesmas, decorrentes ou não da urbanização, como ilhas de calor e ondas de calor, respectivamente, para além do aquecimento global.

A análise das dinâmicas de temperatura superficial na cidade de São Paulo é essencial, não apenas pelo seu contingente populacional, de mais de 12 milhões de

habitantes, inseridos em uma região metropolitana de 22 milhões, mas também por sua condição ímpar de desenvolvimento urbano e expansão da mancha urbana, fortemente relacionada aos processos de incrementos populacionais, precarização das condições de habitação, urbanização tardia e ocupação inadequada de áreas com vegetação remanescente. Nesse sentido, a análise das temperaturas de superfície a partir de imagens de satélite é uma estratégia que ajuda a compreender a dispersão tão heterogênea das temperaturas superficiais na cidade e traçar relações entre a ocupação do território, a constituição da morfologia urbana, a condição de vida das pessoas e as temperaturas da cidade que habitam. Após a averiguação dos dados de temperaturas de superfície, morfologia e situação socioeconômica, é evidente a relação entre exposição e vulnerabilidade ao qual estão expostos diversos grupos na cidade; as áreas mais quentes da cidade de São Paulo concentram uma série de grupos sensíveis e com pouca capacidade para adaptação às mudanças climáticas e aos aumentos de temperatura previstos para os próximos anos. O que se percebe é que a constituição desses grupos é muito heterogênea, ou seja, apesar de convergirem no sentido de tratarem-se de populações vulneráveis residentes nas regiões mais quentes da cidade, os motivos por trás dessas vulnerabilidades são muito distintos. Percebe-se, também, que as vulnerabilidades são fortemente correlacionadas espacialmente, isto é, diferentes espaços da cidade concentram vulnerabilidades distintas, mas os grupos que ocupam essas mesmas regiões convergem em perfil e estão normalmente expostos às mesmas condições de vulnerabilidade.

É importante notar, ainda, que os grupos mais vulneráveis ao calor não raro são compostos por populações que são historicamente vulneráveis, devido ao processo desigual de desenvolvimento político e econômico da cidade, fortemente refletido no espaço urbano. Em vários dos espaços de vulnerabilidade mais crítica ao calor na cidade se notam territórios periféricos, majoritariamente PPI, de baixa renda e em condição de precariedade habitacional. Esses são territórios que, pela sua pluralidade, certamente devem ser estudados a partir de escalas mais aproximadas.

Os estudos sobre clima urbano direcionados para projetos e políticas públicas na cidade de São Paulo ainda são recentes, mas são fundamentais para a proposição de estratégias e ações adaptativas de enfrentamento à emergência climática. Pela velocidade e intensidade das mudanças climáticas, os impactos decorrentes disso demandam respostas urgentes por parte do poder público. Além disso, para qualquer resposta possível, deve-se sempre considerar que a cidade de São Paulo apresenta desigualdades históricas que estão fortemente reproduzidas em suas populações e territórios; nesse sentido, o enfrentamento das emergências ambientais sem precedentes que, sem dúvida, já estão entre nós, devem considerar problemas históricos na proposição de novas respostas e ações.

11. Bibliografia

ALVES, Humberto Prates da Fonseca; TORRES, Haroldo da Gama. Vulnerabilidade socioambiental na cidade de São Paulo: uma análise de famílias e domicílios em situação de pobreza e risco ambiental. **São Paulo perspectiva**, p. 44-60, 2006.

ARAÚJO, Paulo Henrique Cirino. Ensaios econômicos sobre ondas de calor e seus impactos sobre a saúde no Brasil. 2017.

AMINPOURI, Mehdi et al. Urban tree planting to maintain outdoor thermal comfort under climate change: The case of Vancouver's local climate zones. **Building and Environment**, v. 158, p. 226-236, 2019.

BACK, G. Adalberto e DI GIULIO, M. Gabriela e MALHEIROS, Tadeu. **Plano Diretor Estratégico de São Paulo e os desafios para a transformação urbana sustentável**. Varia, 2021.

BASU, Rupa. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. **Environmental health**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2009.

BONDUKI, Nabil; ROLNIK, Raquel. Periferia da Grande São Paulo: reprodução do espaço como expediente de reprodução da força de trabalho. **A produção capitalista da casa (e da cidade) do Brasil industrial**. São Paulo: Alfa-Ômega, p. 117-154, 1982.

BROWN, Robert D. Design with microclimate: the secret to comfortable outdoor space. Island Press, 2010.

CAMPBELL, James B.; WYNNE, Randolph H. Introduction to remote sensing. Guilford Press, 2011.

CAO, Jie et al. Within-city spatial and temporal heterogeneity of air temperature and its relationship with land surface temperature. **Landscape and Urban Planning**, v. 206, p. 103979, 2021.

CRUM, Steven M. e SHIFLETT, Sheri A. e JENERETTE, G. Darrel. The influence of vegetation, mesoclimate and meteorology on urban atmospheric microclimates across a coastal to desert climate gradient. **Journal of Environmental Management**, v. 200, p. 295–303, 15 Set 2017.

EDENHOFER, Ottmar et al. Summary for policy makers. In: **IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation.** Cambridge University Press, 2011.

Ferreira, L. S. et al. Mapping Local Climate Zones for São Paulo Metropolitan Area, Brazil. In: **WUDAPT LAUNCH IN HONG KONG.** Applications of WUDAPT Products, Hong Kong, 5-6 Dez., 2016.

FERREIRA, S. Luciana. Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. 2019. 2019. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/fichacatalografica/>>.

FONTANA, Michele Dalla et al. Integrando conhecimentos para avançar na adaptação climática no nível local. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 143-157, 2021.

FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. Desenvolvimento da brisa marítima sob diferentes situações de grande escala: um estudo de caso. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2004.

GIULIO, Gabriela Marques Di et al. Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.

HAGEN, Bjoern e MIDDLEL, Ariane e PIJAWKA, David. **Global Climate Change Risk and Mitigation Perceptions: A Comparison of Nine Countries**. Journal of Sustainable Development, v. 9, n. 5, p. 214, 27 Set 2016.

HALL, Peter. Ciudades del mañana. **Historia del urbanismo en el siglo XX**. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1996.

HARVEY, David. **Producao Capitalista Do Espaco**, a. Annablume, 2005.

JENERETTE, G. Darrel et al. Micro-scale urban surface temperatures are related to land-cover features and residential heat related health impacts in Phoenix, AZ USA. **Landscape ecology**, v. 31, n. 4, p. 745-760, 2016.

JENERETTE, G. Darrel et al. Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. **Landscape ecology**, v. 22, n. 3, p. 353-365, 2007.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

KOWARICK, Lúcio. **A espoliação urbana.** Editora Paz e Terra, 1980.

MARTINS, Maria Lúcia Refinetti; OLIVEIRA, Paula Custódio. O meio ambiente urbano como questão. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, v. 27, n. 51, p. e168292-e168292, 2020.

MEDINA-RAMÓN, Mercedes et al. Extreme temperatures and mortality: assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis. **Environmental health perspectives**, v. 114, n. 9, p. 1331-1336, 2006.

MEYER, J. F. P. et al. Mercado imobiliário residencial em Paraisópolis: O que mudou nos últimos dez anos. **Relatório de pesquisa. FAUUSP e Lincoln Institute of Land Policy**, 2017.

NG, Edward; REN, Chao (Ed.). **The urban climatic map: a methodology for sustainable urban planning.** Routledge, 2015.

NG, Edward (Ed.). **Designing high-density cities: for social and environmental sustainability.** Routledge, 2009.

OKE, Timothy R. et al. **Urban climates.** Cambridge University Press, 2017.

PASTERNAK, Suzana. Loteamentos irregulares no município de São Paulo: uma avaliação espacial urbanística. **Planejamento e políticas públicas**, n. 34, 2010.

SANTORO, Paula Freire et al. Mananciais: diagnóstico e políticas habitacionais. 2008.

SANTORO, Paula Freire. Perímetro urbano flexível, urbanização sob demanda e incompleta: o papel do Estado frente ao desafio do planejamento da expansão urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 16, n. 1, p. 169-187, 2014.

SANTOS, Milton. Ensaios sobre a Urbanização Latino-americana. In: **Ensaios sobre a urbanização latino-americana**. 2010. p. 193-193.

SEN, Sushobhan et al. Cool pavement strategies for urban heat island mitigation in suburban Phoenix, Arizona. **Sustainability**, v. 11, n. 16, p. 4452, 2019.

STAFOGGIA, Massimo et al. Factors affecting in-hospital heat-related mortality: a multi-city case-crossover analysis. **Journal of Epidemiology & Community Health**, v. 62, n. 3, p. 209-215, 2008.

STEWART, Iain D e MILLS, Gerald. **The Urban Heat Island: A Guidebook**. [S.l: s.n.], 2021.

TAKIYA, Harmi et al. Atlas ambiental do município de São Paulo. **São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo**, p. 202, 2002.

TRAVASSOS, Luciana et al. Why do extreme events still kill in the São Paulo Macro Metropolis Region? Chronicle of a death foretold in the global south. **International Journal of Urban Sustainable Development**, v. 13, n. 1, p. 1-16, 2021.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)**. New York: United Nations

VILLACA, Flavio Jose Magalhaes. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: **O processo de urbanização no Brasil**. 2010.

ZHENG, Xiandi et al. Outdoor thermal performance of green roofs across multiple time scales: A case study in subtropical China. **Sustainable Cities and Society**, v. 70, p. 102909, 2021.

ZHOU, Weiqi et al. Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. **Landscape ecology**, v. 29, n. 1, p. 153-167, 2014.

ZHOU, Weiqi et al. Urban tree canopy has greater cooling effects in socially vulnerable communities in the US. **One Earth**, v. 4, n. 12, p. 1764-1775, 2021.