

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

CAROLINE DOS SANTOS FERRAZ

**Análise da Temperatura de Superfície no município de Osasco (SP) com o uso de
imagens termais**

Land Surface Temperature analysis in the city of Osasco (SP) using thermal images

São Paulo

2020

CAROLINE DOS SANTOS FERRAZ

**Análise da Temperatura de Superfície no município de Osasco (SP) com o uso de
imagens termais**

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado
ao Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

F368a Ferraz, Caroline dos Santos
Análise da Temperatura de Superfície no município
de Osasco (SP) com o uso de imagens termais /
Caroline dos Santos Ferraz ; orientador Emerson
Galvani. - São Paulo, 2020.
56 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de
Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Climatologia. 2. Temperatura de Superfície. 3.
Osasco. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de toda boa dádiva, pois dele, por ele e para ele são todas as coisas. Este trabalho é fruto de sua graça, cuidado e amparo; realiza-lo foi um grande privilégio.

Aos meus pais, pelo trabalho árduo e dedicado que construiu todas as bases de que precisei, e aos meus queridos irmãos, Vanessa e Rafael, por serem meu lar em qualquer lugar.

Ao professor Emerson Galvani, pela orientação e apoio ao longo deste trabalho, e pela dedicação ao aprendizado dos alunos nas disciplinas e trabalhos de campo dos quais tive a alegria de participar.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas pela oportunidade de realização do curso, da mobilidade acadêmica na Universidade do Porto, e por todas as experiências que estas oportunidades proporcionaram.

Aos queridos amigos da Geografia, Thiago, Mateus e todos os meninos do 'QG', pela amizade, apoio, e pelo humor infalível ao longo de toda a graduação.

RESUMO

FERRAZ, Caroline dos Santos. **Análise da Temperatura de Superfície no município de Osasco (SP) com o uso de imagens termais**. 2020. 56 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

As inúmeras transformações ocasionadas pelo processo de urbanização, como mudanças no uso e ocupação do solo, crescimento da população urbana, impermeabilização do solo, remoção de vegetação, entre outras, modificam o ambiente e comprometem a natureza e a qualidade deste espaço em transformação, resultando em impactos na escala e no clima local. Os novos usos, geometrias e materiais que caracterizam este ambiente urbano acarretam mudanças em seu microclima, contribuindo para fenômenos como as ilhas de calor urbanas. Tendo em vista que a grande variabilidade das superfícies nos ambientes urbanos resulta na maior variação da temperatura de superfície em comparação à temperatura do ar, este estudo se propôs a estimar e analisar a temperatura de superfície no município de Osasco, localizado na Região Metropolitana de São Paulo, utilizando imagens termais do satélite Landsat 8, sob condições de verão e de inverno, associada à análise do uso e ocupação do solo no município. As técnicas de sensoriamento remoto têm possibilitado a investigação e estudos do clima em localidades de difícil acesso, ou mesmo daquelas que não dispõem de estações meteorológicas, como a do presente estudo. A estimativa da temperatura de superfície, após aplicação de correções radiométricas e atmosféricas, apresentou a ocorrência de temperaturas superficiais acima da média na Área Urbanizada, mais expressivamente na zona sul; foram observadas as maiores temperaturas de superfície em estabelecimentos industriais que fazem uso de telhados metálicos, e temperaturas superficiais reduzidas ocorreram nas áreas com maiores índices de vegetação (NDVI), o que se observou tanto no verão quanto no inverno.

Palavras-chave: Temperatura de Superfície. Clima Urbano. Osasco. Uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

FERRAZ, Caroline dos Santos. **Land Surface Temperature analysis in the city of Osasco (SP) using thermal images**. 2020. 56 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Multiple transformations produced by the urbanization process, such as changes in land use and occupation, urban population growth, soil waterproofing, vegetation removal, among others, modify the environment and compromise the nature and quality of this dynamic space, resulting on impacts at a local scale as well as on the local climate. These new uses, geometries and materials that characterize the urban environment generate changes on its microclimate, leading to phenomena such as the urban heat islands. Given that the presence of multiple surfaces on urban environments results in greater variability of surface temperatures in comparison to air temperatures, this research aimed to estimate and evaluate the surface temperature in the city of Osasco – situated at the Metropolitan Region of São Paulo – using thermal images of the Landsat 8, under both summer and winter conditions, combined with the analysis of the city's land use and occupation. Remote sensing techniques have made climate studies and investigations possible in remote locations as well as in cities with no weather stations, such as the present study area. After applying radiometric and atmospheric corrections, the surface temperature estimative presented that surface temperatures above average take place in the Urbanized Area, and the highest values of surface temperatures were found on industrial buildings with metallic roofs, while lower surface temperatures occurred in areas with high vegetation index (NDVI), occurrences that took place in the summer as well as in the winter episode.

Keywords: Land Surface Temperature. Urban Climate. Osasco. Land use and occupation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo	16
Figura 2 – Mapa hipsométrico do município de Osasco.....	17
Figura 3 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Osasco	18
Figura 4 – Índice de Qualidade de Vida Urbana no Município de Osasco.....	19
Figura 5 - Temperatura do ar (°C) e Precipitação (mm) anual no município de Osasco	20
Figura 6 - Pluviosidade anual na Grande São Paulo	21
Figura 7 – Temperaturas máximas, mínimas e médias do ar registradas no LCB no mês de janeiro de 2019.....	32
Figura 8 - Temperaturas máximas, mínimas e médias do ar registradas no LCB no mês de junho de 2019. (Fonte: LCB-USP).....	33
Figura 9 – Temperatura de Superfície no município de Osasco sob condições de verão (21/01/2019).....	34
Figura 10 – Temperatura de Superfície no município de Osasco sob condições de inverno (04/07/2019).....	35
Figura 11 – Temperatura de superfície sob condições de verão e inverno com a sobreposição dos limites dos bairros do município de Osasco	36
Figura 12 – Recorte do mapa termal (verão) à esquerda e do mapa de uso e ocupação do solo à direita.....	38
Figura 13 – Recorte do mapa termal (Inverno) à esquerda e do mapa de uso e ocupação do solo à direita	38
Figura 14 – Recorte do mapa termal (Verão) (esquerda), imagem de satélite (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Anhanguera, na zona norte do município de Osasco.	40
Figura 15 – Recorte do mapa termal (Verão) (esquerda), imagem de satélite (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Autonomistas, próximo ao centro de Osasco.	40
Figura 16 – Recorte do mapa termal (Inverno) (esquerda), imagem de satélite (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Autonomistas, próximo ao centro de Osasco.	40
Figura 17 – NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) no município de Osasco e entorno.....	42

Figura 18 – Recortes dos mapas termais, seguidos de imagem de satélite das áreas correspondentes e da sobreposição da TS sobre as imagens.....	44
Figura 19 – Percentual de responsáveis pelo domicílio com renda superior a 5 salários mínimos nas UITs da Região Metropolitana de São Paulo.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Dados utilizados para a correção atmosférica.	29
Quadro 2	Condições atmosféricas dos dias 21/01 e 30/06 registradas no LCB-USP.....	31
Quadro 3	Valores máximos, médios e mínimos de Temperatura de Superfície obtidos.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRT	Horário de Brasília
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A
IAG	Instituto de Astronomia e Geofísica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor Urbana
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCB	Laboratório de Climatologia e Biogeografia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCU	Sistema Clima Urbano
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TS	Temperatura de Superfície
UIT	Unidade de Informação Territorializada
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. Introdução	12
2. Objetivo	15
3. Referencial teórico	16
3.1. Caracterização da área de estudo: o município de Osasco	16
3.1.1. Aspectos climáticos da área de estudo	19
3.2. O Clima Urbano.....	21
3.2.1. A superfície urbana.....	23
3.3. O uso de geotecnologias para obtenção e análise da Temperatura de Superfície.....	25
4. Materiais e procedimentos	27
4.1. Processamento das imagens e cálculos de correção	27
5. Resultados e Discussão	31
5.1. Condições atmosféricas	31
5.2. Análise da Temperatura de Superfície no município de Osasco	33
6. Conclusão.....	48
7. Referências Bibliográficas.....	49
ANEXO A – Cartas sinópticas e imagens do satélite GOES correspondentes ao dia 21/01/2019	54
ANEXO B – Carta sinóptica e imagem do satélite GOES correspondentes ao dia 30/06/2019	56

1. Introdução

Para que se chegasse à configuração atual dos espaços urbanos, inúmeras transformações ocorreram e permanecem ainda em curso, as quais não só modificam estes espaços, mas também lhes conferem características e implicações singulares pelas peculiaridades do processo de urbanização de cada cidade. Em função das mudanças de uso do solo, do crescimento da população, estabelecimento e intensificação de atividades e fluxos, impermeabilização do solo urbano, mudanças no relevo, retirada de vegetação, entre outras, o crescimento urbano modifica o ambiente, comprometendo a natureza e a qualidade desses espaços (AMORIM, 2010), o que resulta em impactos diretos na escala local e, como resultado, na vida e na saúde de seus habitantes (PIMENTEL, 2019), uma vez que, como ressalta Monteiro (1999), o clima é um fator que atua ao longo de todo o processo das atividades humanas, e ao passo que as populações se concentram cada vez mais nas cidades, a investigação dos climas urbanos se torna uma necessidade prioritária para a qualidade ambiental e qualidade de vida nas cidades.

Este espaço construído e em constante transformação apresenta materiais, edificações, geometrias e usos diferentes daqueles dos ambientes menos alterados de seu entorno, o que ocasiona a formação de diferentes microclimas e mudanças nas condições da temperatura e umidade relativa do ar, temperatura de superfície, pluviosidade..., de modo que ocorrem nas cidades valores mais elevados de temperatura do ar e da temperatura de superfície (OKE et al., 2017), o que contribui para a ocorrência de fenômenos como as ilhas de calor, diferença de temperatura entre as áreas urbanas e seu entorno, que consiste em um dos principais fenômenos do clima urbano.

Segundo Oke et al. (2017), a variabilidade das propriedades das superfícies confere maior variação à temperatura de superfície nas cidades comparada à temperatura do ar, principalmente durante o dia. Isto ocorre porque os materiais presentes no meio urbano apresentam “diferentes valores de albedo, emissividade, absortividade e irradiação e consequentemente, estes condicionarão diferentes valores de temperatura de superfície e influenciarão na temperatura do ar” (PIMENTEL, 2019, p.49), sendo estes os materiais abundantes no cenário urbano, como o asfalto, diferentes tipos de telhados e coberturas, o concreto das calçadas e das edificações, vidros e espelhos..., cada um com suas diferentes propriedades e diariamente expostos à radiação solar incidente sobre eles. No que diz respeito à climatologia, Voogt e Oke (1997) enfatizam que a superfície é extremamente importante,

visto que suas propriedades controlam a distribuição e a conversão de calor, condicionando, de acordo com sua natureza, as camadas mais baixas da atmosfera.

Feitosa et al. (2011) ressalta que os impactos observados no clima, resultantes do crescente processo de urbanização, são ainda mais expressivos “em áreas pouco arborizadas e com maior densidade de construções” (p.60), e, neste sentido, se destaca em diversos aspectos a mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), principalmente quanto à sua dimensão populacional e espacial, e elevado índice de impermeabilização:

A mancha urbana da RMSP se estende por mais de 80 km no sentido leste-oeste e em torno de 40 km de norte a sul, sendo que 20 dos 39 municípios que a compõem têm suas áreas urbanas conurbadas, ou seja, constituem um contínuo urbano quase totalmente impermeabilizado na Bacia do Rio Tietê e de seus maiores afluentes de alto curso, os rios Pinheiros e Tamanduateí. (NOBRE et al., 2010. p.19)

Esta configuração confere à RMSP e à área de estudo desta pesquisa, o município de Osasco, um considerável campo de investigação do clima urbano: das interações do fato natural (clima local) com o fato social (a cidade) (MONTEIRO, 1976). Localizado na Zona Oeste da RMSP, Osasco tem apresentado, desde antes de sua emancipação da capital paulista na década de 1950, expressivo desenvolvimento de atividades industriais, muitas das quais permanecem no município ainda hoje. A presença destas atividades favoreceu não só o crescimento industrial e econômico do município, mas também seu crescimento populacional – que está entre os mais populosos do estado de São Paulo (IBGE, 2010) – e sua urbanização.

Reforça-se, assim, a noção de que o estudo dos climas urbanos se faz extremamente relevante frente à expressividade do crescimento urbano e das populações urbanas, e os avanços das geotecnologias têm contribuído grandemente para que se desenvolvam estes estudos, inclusive na climatologia brasileira (AMORIM; UGEDA JUNIOR, 2016), possibilitando a obtenção e análise de dados remotamente, abrangendo maiores áreas, séries históricas, resoluções espaciais mais detalhadas, entre outras vantagens.

O acesso a imagens de satélites, como os mais recentes da série Landsat, que recobrem todo o globo terrestre num intervalo de 16 dias captando imagens e dados, consiste em mais uma destas vantagens, pois possibilita que análises de várias naturezas sejam feitas remotamente. Desta forma, o estudo dos climas de localidades de difícil acesso, ou mesmo aquelas situadas em grandes centros urbanos mas que não dispõem de estações meteorológicas,

como o próprio município de Osasco, se torna possível e viável, associando o uso das imagens de satélite com softwares de sistemas de informações geográficas (SIG). O sensor do infravermelho termal do Landsat 8, lançado em 2010 pela NASA, permite a mensuração do fluxo de calor que entra e sai dos alvos, que consiste na temperatura aparente da superfície (PIRES; FERREIRA JÚNIOR, 2015), e a transformação desses valores obtidos no “desenho da temperatura local” (AMORIM; DUBREUIL, 2016, p.1145), que auxiliam no diagnóstico e análise das ilhas de calor e nas investigações do clima urbano.

Neste contexto se desenvolve a presente pesquisa, com o intuito de compreender e analisar aspectos do clima urbano, especificamente da temperatura de superfície, no município de Osasco, na RMSP, e os impactos da atual estrutura urbana no clima local.

2. Objetivo

Este estudo tem como objetivo analisar a temperatura de superfície no município de Osasco (SP) utilizando imagens termais do satélite Landsat 8. O processamento das imagens possibilitará a espacialização dos dados térmicos da área de estudo para que se possa melhor visualizar e avaliar a temperatura de superfície nesta área urbana, e examinar as possíveis implicações dos resultados obtidos. Para este fim, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a estimativa da temperatura de superfície no município de Osasco para um dia em condições de verão e um dia sob condições de inverno;
- Associar a análise da temperatura de superfície às diferentes classes de uso e ocupação do solo no município.

3. Referencial teórico

3.1. Caracterização da área de estudo: o município de Osasco

Na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo, localiza-se o município de Osasco, 6º município mais populoso do Estado de São Paulo com contingente populacional de 698.418 habitantes, segundo estimativa do IBGE (2019) e densidade demográfica de 10.264,80 hab/km² (IBGE, 2010). Historicamente, a cidade tem apresentado importantes atividades industriais, tendo se emancipado da cidade de São Paulo em 1959 (IGC, 1995). Osasco possui extensão territorial de 64,9 km² (IBGE, 2018) e faz divisa com os municípios de São Paulo, Barueri, Cotia, Carapicuíba e Santana de Parnaíba (Figura 1).

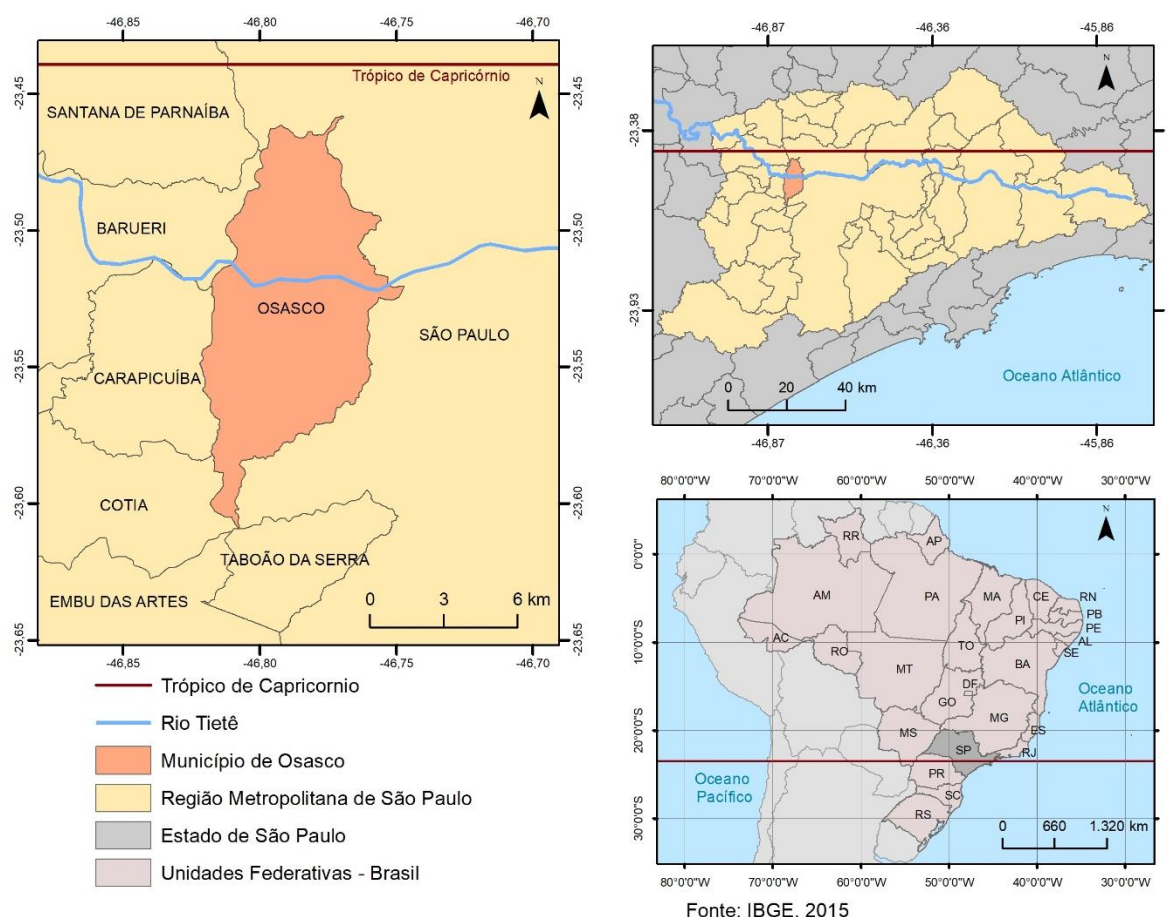


Figura 1 – Localização da área de estudo. (Elaboração: Caroline Ferraz)

O município de Osasco está situado na sub-bacia Pinheiros-Pirapora da Bacia do Alto Tietê, sendo a sua rede hídrica diretamente influenciada pelo regime hidráulico e hidrológico do rio Tietê, o qual atravessa o município de leste a oeste (FUSP, 2009; PMO, 2016). As

altitudes do município variam de 714 a 1.020 metros (Figura 2), estando às margens do Rio Tietê os limites mais baixos. Albino (2014) aponta que esta característica da geomorfologia local, marcada pelas planícies aluviais e por maiores elevações nos extremos norte e sul, limitou a exploração agrícola e desfavoreceu os processos de ocupação, e ressalta a conexão da proximidade da capital e das necessidades desta para as atividades que se desenvolveram na região e no município de Osasco, principalmente por sua potencialidade logística.

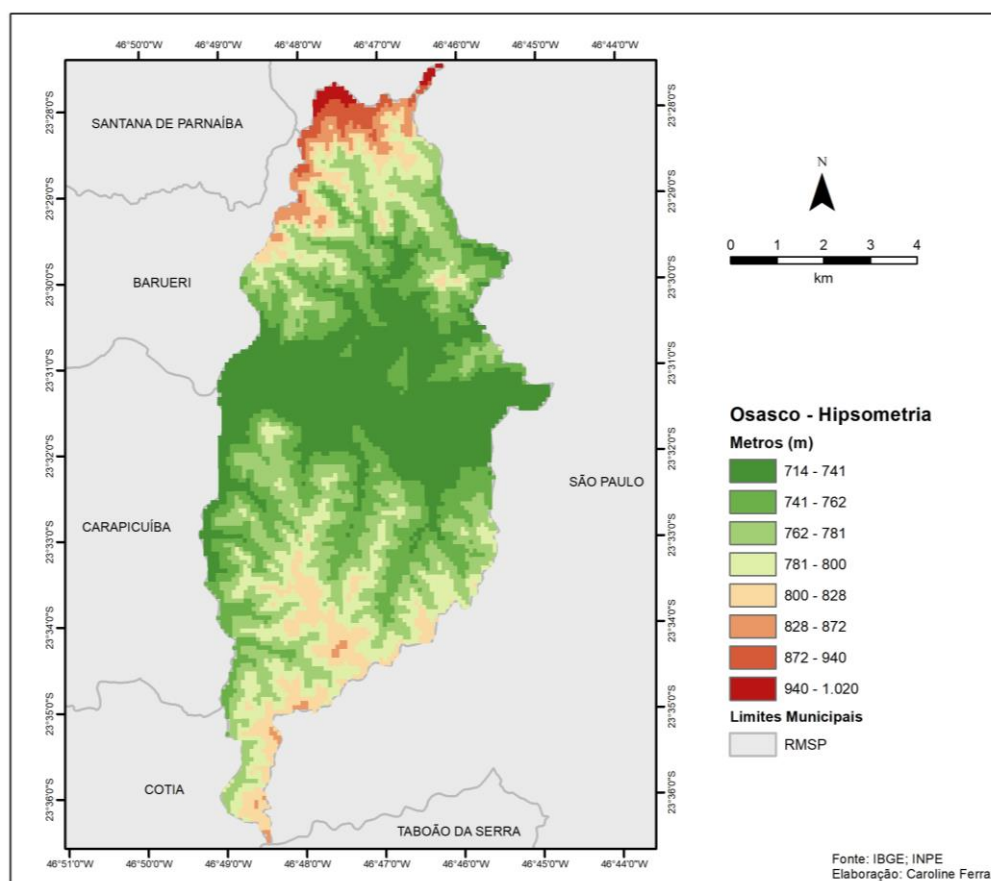


Figura 2 – Mapa hipsométrico do município de Osasco.

Conforme exposto por Brito (2009), o vale no qual está localizado o município de Osasco foi propício para o traçado da Estrada de Ferro Sorocabana, inaugurada na cidade em 1895, cuja construção influenciou o nascimento e crescimento da cidade. A proximidade da capital do estado e a presença da ferrovia contribuíram para o desenvolvimento da região, atraindo indústrias e trabalhadores. Cunha (2014) pontua que o desmembramento dos municípios da RMSP de seus municípios originários, juntamente com o processo de urbanização da capital paulista, foi determinante para a forma de ocupação territorial e desenvolvimento econômico destes municípios. O autor indica, também, a relação dos

movimentos migratórios, principalmente na década de 1950, com a instalação de indústrias em diversos municípios da RMSP, e a “periferização” da década de 1970 com o elevado grau de urbanização na região ao longo dos séculos XIX e XX. Observa-se no Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Osasco (Figura 3) o predomínio de áreas classificadas como Área Urbanizada, assim como a localização das atividades industriais e de outras categorias de uso do solo no município.

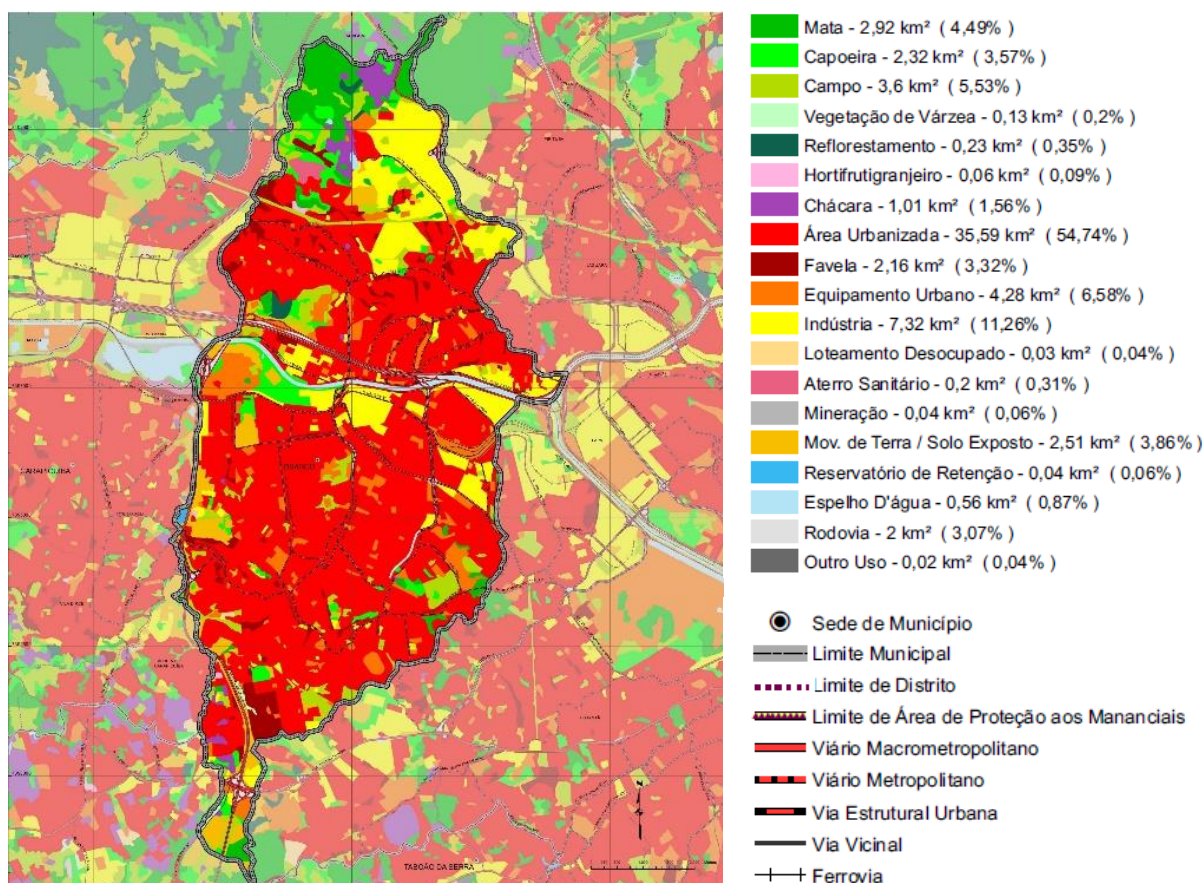


Figura 3 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Osasco (Fonte: EMPLASA, 2006)

Algumas das implicações deste processo de urbanização característico de países em desenvolvimento são apontadas no estudo de Morato (2008) sobre a qualidade de vida urbana em Osasco. As condições de habitação, acesso à água, educação e serviços de saúde, e a poluição do ar são alguns dos problemas relacionados à qualidade de vida em grandes cidades. Em seu estudo, a qualidade de vida urbana foi analisada a partir de índices calculados para a qualidade ambiental, nível socioeconômico e educação, os quais permitiram identificar a tendência da região sudeste do município apresentar os melhores índices, e a zona oeste e noroeste, os piores índices, evidenciando a desigualdade ambiental, socioeconômica e da

qualidade da educação presente no município, conforme resultados consolidados no mapa elaborado pela autora (Figura 4), cujos valores mais próximos de 1 indicam índice de qualidade de vida urbana mais elevado.

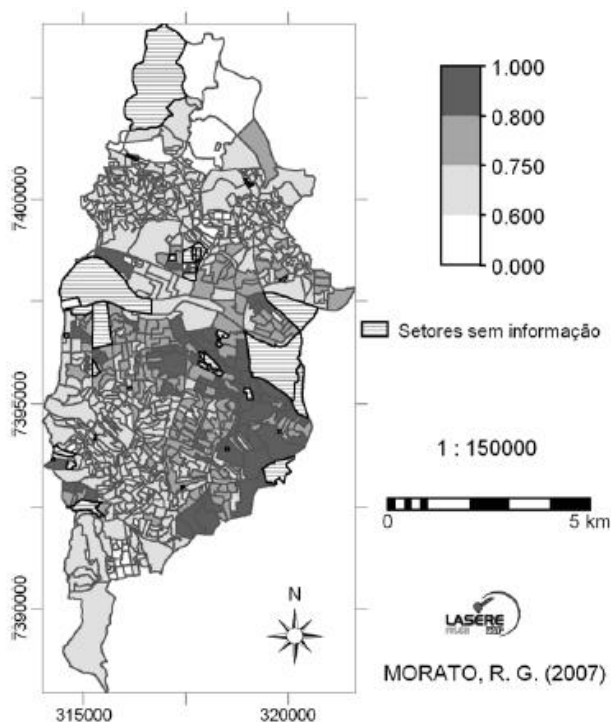


Figura 4 – Índice de Qualidade de Vida Urbana no Município de Osasco. (MORATO, 2007)

Quanto ao desenvolvimento da cidade, nos séculos XIX e XX, este foi marcado pelo intenso crescimento das atividades econômicas do setor industrial e expressivo crescimento populacional. Atualmente, há maior expressividade do setor comercial e de serviços, sendo ainda hoje um polo industrial com localização favorável às possibilidades de logística e escoamento de cargas, considerando seu acesso a importantes rodovias do estado de São Paulo (Rodovias Anhanguera, Raposo Tavares e Castelo Branco), ao Rodoanel Mário Covas e às vias marginais dos rios Tietê e Pinheiros.

3.1.1. Aspectos climáticos da área de estudo

Classifica-se o clima do município de Osasco, segundo a classificação de Koppen, como Cfb (MARTINELLI, 2010), clima temperado, úmido em todas as estações, apresentando

temperatura média anual de 18,6°C e pluviosidade média anual de 1.420 mm¹, como se observa no gráfico da Figura 5. Conforme exposto por Tarifa e Azevedo (2001) a realidade climática desta região junto ao Trópico de Capricórnio é de transição “entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude, com período seco definido, e aqueles subtropicais, permanentemente úmidos, do Brasil meridional” (p.35).

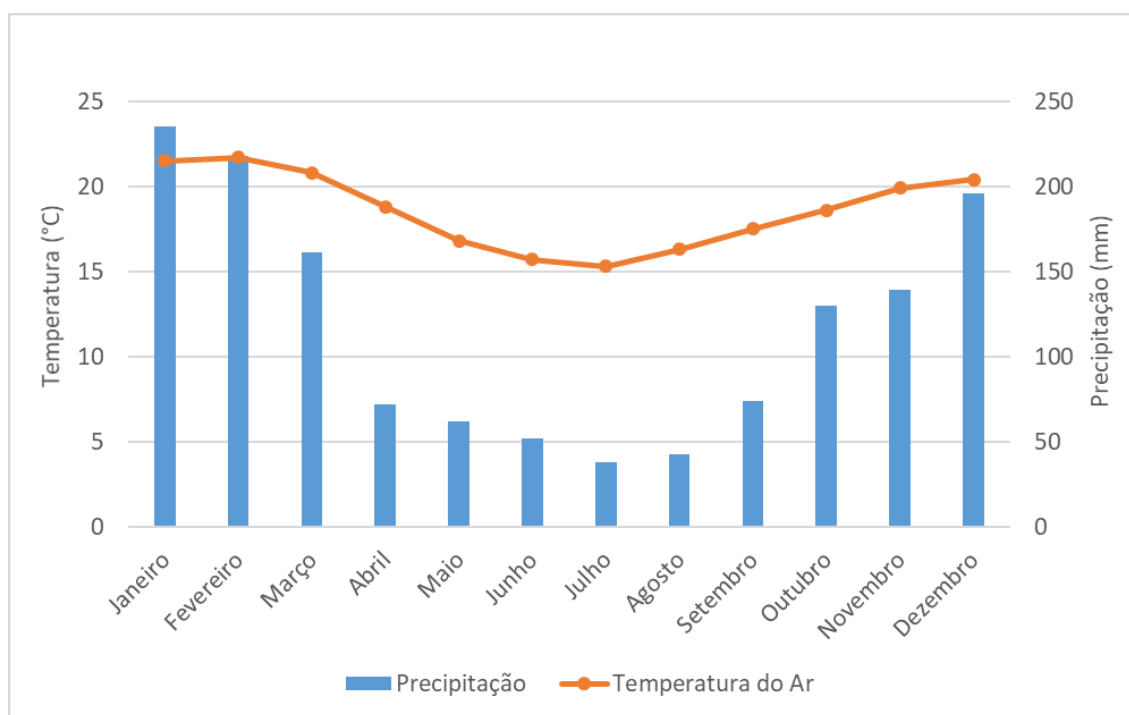


Figura 5 - Temperatura do ar (°C) e Precipitação (mm) anual no município de Osasco. (Organização: Caroline Ferraz. Fonte: climate-data.org)

Situado junto aos limites da zona oeste da capital paulista, no Planalto Atlântico do estado de São Paulo, Osasco apresenta clima local definido por Tarifa e Azevedo (2001) como Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano, que predomina nas áreas de várzeas, baixos terraços e colinas, com altitudes entre 720 e 800 m, cotas que, como visto no mapa hipsométrico (Figura 2), abrangem grande parte do município. Na porção norte do município de Osasco, onde estão suas cotas mais elevadas, há a proximidade do Pico do Jaraguá (São Paulo), região onde atua o Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira-Jaraguá.

Os autores pontuam que o quadro físico “define um conjunto de controles climáticos que, em interação com a sucessão habitual dos sistemas atmosféricos, irão dar identidade aos climas locais” (TARIFA; AZEVEDO, 2001, p.38), o que se constata na drenagem e acumulação

¹ <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/osasco-747/>

noturna de ar frio que ocorre nas áreas mais baixas, e no fato de haver, com a redução de altitude, maior incidência e absorção de radiação solar ao longo do dia e um moderado aumento na temperatura do ar. O Clima Úmido Serrano da Cantareira-Jaraguá constitui um ponto de instabilidade, que influencia os totais pluviométricos das demais Unidades Climáticas e apresenta impactos pluviométricos mais elevados do que no Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano, temperatura do ar mais amena e maior ventilação.

A Figura 6 apresenta a pluviosidade anual na RMSP, visto que, conforme estudos de pesquisadores do IAG-USP (PIVETTA; RAMOS, 2012), as chuvas têm aumentado na RMSP como resultado de impactos da urbanização no clima, seja por meio de fenômenos como as Ilhas de Calor Urbanas, que podem potencializar as chuvas vespertinas, ou da verticalização nos centros urbanos, que ocasiona a mudança na direção dos ventos e “pode até provocar a ascensão da brisa marinha em certos pontos da região metropolitana e favorecer localmente a formação de nuvens de chuvas” (p.44). Estes fatores se somam à elevada impermeabilização do solo nas cidades da RMSP, e resultam num consequente aumento na ocorrência de enchentes e alagamentos, eventos notoriamente recorrentes no município de Osasco.

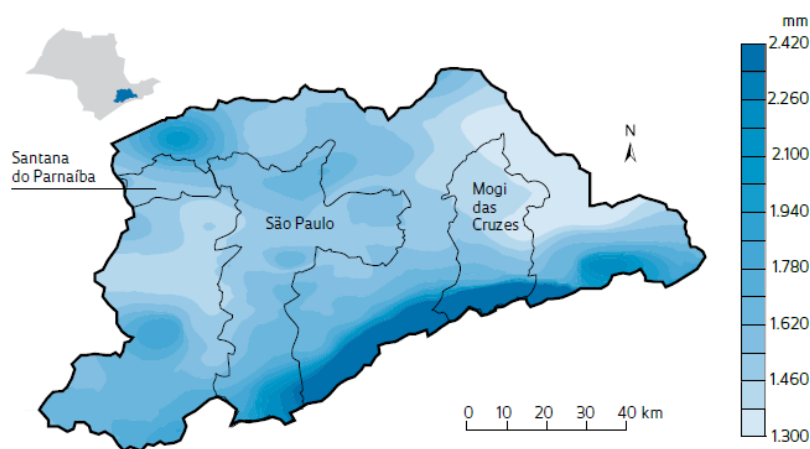


Figura 6 - Pluviosidade anual na Grande São Paulo (Fonte: PIVETTA; RAMOS, 2012)

3.2. O Clima Urbano

As especificidades que compõem o espaço urbano, construído e antropizado, ocasionam a alteração da atmosfera na escala local, criando uma situação climática peculiar às cidades: o clima urbano. As alterações realizadas no ambiente natural – tanto modificações diretas, no terreno e morfologia urbana, quanto modificações que ocorrem a partir deste espaço construído e das atividades que nele se desenvolvem – resultam na realidade de que o clima das cidades é

diferente das áreas menos urbanizadas de seu entorno (MOREIRA; AMORIM, 2016; MONTEIRO, 1976).

Monteiro (1976), em sua tese de livre docência “Teoria e Clima Urbano”, pontua que, por muito tempo, os estudos do clima urbano focaram em fatores isolados, de modo que não se obtinha um estudo do clima urbano em si, mas uma descrição ou caracterização do comportamento da atmosfera sobre determinado lugar, o que deixa de reunir e considerar muitos outros elementos atuantes neste processo. O autor propõe, portanto, a teoria do Sistema Clima Urbano (SCU), a qual estabelece diretrizes metodológicas sob uma visão sistêmica do clima, que correlaciona os fenômenos e compreende os elementos do clima urbano. Esta teoria se tornou extremamente relevante para a climatologia brasileira e para os estudos do clima das cidades, e consiste em um importante ponto de partida para as investigações sobre o clima urbano.

A proposição do SCU rompe com a concepção que se pautava em estudos do estado médio da atmosfera, em médias e generalizações que não se aproximam, de fato, da realidade. É justamente a composição dinâmica da atmosfera – e do clima – que caracteriza o SCU, no qual, sob uma visão sistêmica, os fenômenos e os elementos do clima urbano se correlacionam devido à interação e interdependência existente entre este espaço e o ambiente regional imediato no qual ele está inserido, o que requer, portanto, a articulação de escalas e o reconhecimento dos vários graus de hierarquia funcional existentes dentro deste sistema.

Segundo Monteiro (1999), as variações do espaço devem ser consideradas ao se analisar a atmosfera, sua composição, estrutura, atributos especiais, assim como sua relação com a hidrosfera, litosfera e biosfera, a heterogeneidade da superfície terrestre com a qual interage, pois as propriedades da atmosfera divergem segundo a caracterização destes atributos, e é do comportamento dinâmico da atmosfera sobre um determinado lugar que resulta o clima do mesmo.

Oke et al. (2017) reafirmam esta relação dinâmica defendida por Monteiro, uma vez que os diversos tipos de superfície presentes no ambiente urbano, resultantes de anos de transformações antrópicas, apresentam maiores temperaturas e modificam o clima a partir dos diferentes fluxos de calor, conforme suas propriedades. Portanto, ainda que a superfície ou o homem não sejam operadores do Sistema Clima Urbano – a atmosfera, segundo Monteiro, é o operador do Sistema, por onde entra a energia térmica da radiação solar – “tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elemento do sistema” (MONTEIRO, 1976, p. 119), e nele repercutem indiretamente,

ou seja, não são fluxos de entrada de energia, mas suas dinâmicas refletem na estrutura do sistema.

Sob esta ótica, portanto, para se compreender peculiaridades do clima da cidade, como a poluição do ar ou as ilhas de calor, por exemplo, deve-se considerar a interação entre os diferentes elementos do SCU e as relações de interdependência entre eles. Ao se observar a interação dos fenômenos atmosféricos com um “território transformado e produzido pela sociedade, de maneira desigual e apropriado segundo os interesses e capacidades dos agentes e atores sociais” (AMORIM, 2019, p.259), aproxima-se de uma compreensão abrangente do dinamismo destes fenômenos, assim como de respostas e de possibilidades para estes ambientes urbanos.

3.2.1. A superfície urbana

Uma vez que as camadas mais baixas da atmosfera estão sujeitas às alterações na distribuição de calor ocasionadas pelas propriedades da superfície, Voogt e Oke (1997) salientam que o estudo das propriedades e condições da superfície é consideravelmente relevante para o entendimento do clima urbano, afirmando que a investigação da interface heterogênea e complexa da atmosfera urbana poderia aprimorar o desenvolvimento da climatologia urbana.

Conforme exposto por Lombardo (1985), a urbanização provoca significativas alterações no clima urbano, visto que o processo de urbanização aumenta a impermeabilização dos solos e a presença de superfícies com maior absorção térmica, modifica a geometria deste espaço, entre outros múltiplos fatores e modificações que são causadas ou intensificadas pela expansão das áreas urbanas, pelas atividades que nelas se desenvolvem, pelas mudanças no uso do solo e na organização e ocupação deste espaço.

Oke et al. (2017) pontuam que estas mudanças decorrentes do desenvolvimento urbano alteram as trocas de radiação entre a superfície e a atmosfera, além de modificarem o balanço hídrico e o balanço de energia que influenciam as dinâmicas de movimento do ar. Isto ocorre uma vez que as trocas de radiação infravermelha (radiação de ondas longas) entre a superfície urbana e a atmosfera impactam na quantidade de radiação difusa, solar e termal recebidas. Conforme exposto pelos autores, as propriedades radiativas da atmosfera são alteradas pelo aumento da concentração de poluentes no ar e pelas mudanças na temperatura e umidade relativa do ar, de modo que a magnitude, direção e composição da radiação que chega à camada

de ar acima do nível médio dos telhados é diferente da que ocorre em um ambiente rural próximo.

Sendo assim, a grande diversidade de materiais presentes nas cidades – tanto os naturais, como árvores, corpos d’água e gramados, quanto os fabricados, como os revestimentos de vias, telhados, edificações – e suas respectivas propriedades e estruturas tridimensionais, com diferentes inclinações, exposição e sombreamento, resultam em uma superfície urbana heterogênea e multifacetada que emite e reflete radiação para si mesma, gerando distintos balanços de radiação e distintas temperaturas de superfície (OKE et al., 2017).

Algumas propriedades exercem controle sobre esta temperatura, sendo estas as propriedades geométricas, radiativas, termais, de umidade e aerodinâmicas (OKE et al., 2017). A habilidade de determinada superfície de refletir radiação de ondas curtas (albedo) e ondas longas, e de emitir radiação de ondas longas (emissividade), compõe suas propriedades radiativas, e esta superfície é condicionada por sua forma e ângulo de inclinação (propriedades geométricas), por sua habilidade de conduzir e difundir calor para dentro ou fora do substrato (propriedades termais), pela disponibilidade ou acesso à água para perda de calor latente (propriedades de umidade), e pelas condições de abrigo, exposição ao vento ou rugosidade de determinada superfície (propriedades aerodinâmicas), ocorrendo “uma combinação quase infinita dessas propriedades em uma área urbana” (OKE et al., 2017, p.202, tradução nossa), o que implica em padrões variados de temperaturas superficiais, assim como uma variabilidade maior do que a temperatura do ar e do solo.

As diferentes propriedades e configurações apresentadas, assim como a abundância de materiais que absorvem e emitem mais calor encontrados no ambiente urbano, geram padrões diferenciados de emissão de calor, elevando as temperaturas nos centros urbanos, as quais, segundo BIAS et al. (2003), tendem a diminuir em direção aos subúrbios, mais distantes do centro. Soma-se a estas implicações a escassez de áreas verdes, a emissão de calor pelas indústrias, trânsito, entre outros elementos, aos quais se atribuem a formação das ilhas de calor (BIAS et al., 2003), fenômeno que ocorre não só em cidades grandes, mas também em cidades médias e pequenas, afetando o conforto e a saúde dos indivíduos (MOREIRA; AMORIM, 2016).

As análises do fenômeno das ilhas de calor e da variação espacial das temperaturas de superfície têm se beneficiado do avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento para seu estudo e investigação, por possibilitarem a obtenção da temperatura aparente da superfície e sua visualização em diferentes escalas (AMORIM, 2019a).

3.3. O uso de geotecnologias para obtenção e análise da Temperatura de Superfície

O estudo do clima urbano, segundo Oke et al. (2017), se desenvolve através da exploração científica, aplicando-se métodos diferentes, mas complementares, para a compreensão dos efeitos climáticos, como as observações de campo, a modelagem física e numérica, e modelos empíricos. Cada método apresenta vantagens e limitações, e, conforme exposto por Lucena (2019), o uso combinado de técnicas possibilita um estudo mais abrangente, viabilizando a integração de diferentes escalas espaciais e ampliando as possibilidades e direções das investigações.

Dentre as técnicas de análise e estudo dos climas urbanos, o sensoriamento remoto tem se desenvolvido cada vez mais com os avanços das tecnologias e sido amplamente utilizado principalmente pela disponibilidade e facilidade de acesso às imagens de satélites, melhorias de resolução de imagem, e pelo desenvolvimento de novas técnicas de processamento, ampliando as possibilidades de aplicação do sensoriamento remoto. Além de possibilitar uma visão sinóptica que permite a análise de objetos, padrões e interações do homem com a superfície terrestre (MITRAKA; CHRYSOULAKIS, 2018), os dados captados pelos sensores dos satélites também podem ser aplicados ao campo da climatologia por viabilizarem a avaliação de propriedades físicas da superfície e suas variações, a investigação de diferenças de temperatura entre áreas urbanas e rurais, estimativas de albedo e balanço energético da superfície, avaliação da temperatura de superfície com o uso de dados termais, e até mesmo a possibilidade de aquisição de informações da variabilidade espacial da temperatura do ar (STEINKE et al., 2010).

Com a possibilidade de obtenção da temperatura de superfície utilizando imagens termais, no presente estudo optou-se pelo uso das imagens do satélite Landsat 8, o oitavo da série Landsat desenvolvida pela NASA (*National, Aeronautics and Space Administration*) para a aquisição de dados e imagens de recursos terrestres, através do recobrimento contínuo do planeta. A série se iniciou em 1972 e segue em andamento ainda hoje; sua coleção de dados constitui a maior da história (ARIZA, 2013). A cada lançamento de satélite da série, a resolução espacial e temporal, e os sistemas de sensores dos satélites foram aprimorados, resultando em melhor qualidade de dados. O Landsat 8, do programa LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), é composto por dois tipos de sensores de observação terrestre, OLI - *Operational Land Imager* e TIRS - *Thermal Infrared Sensor*, que, conjuntamente, compõem imagens da superfície terrestre com nove bandas espectrais (bandas 1 a 9) e duas bandas termais (10 e 11), com resolução espacial de 30 e 100 metros, respectivamente, e resolução temporal de 16 dias.

Cada banda detecta diferentes comprimentos de onda segundo os quais podem ser utilizadas para finalidades específicas, como a banda 1 para recursos hídricos e investigações de zonas costeiras, o uso do canal infravermelho da banda 9 para a detecção de nuvens cirrus (ARIZA, 2013), e estudos de temperatura de superfície e ilhas de calor de superfície com o uso das bandas termais, entre outras aplicações.

Conforme pontuado por Amorim (2019a), para a obtenção da temperatura de superfície, inicialmente utilizava-se imagens termais cuja resolução espacial (1,1 km) possibilitava o estudo numa escala regional, técnica utilizada por Lombardo (1985) com imagens do satélite NOAA para análise das ilhas de calor urbanas na grande São Paulo. A análise de Lombardo “identificou temperaturas maiores na área urbanizada, mas, devido à resolução espacial da imagem, obteve pouco detalhamento no intraurbano” (AMORIM, 2019a, p.2).

A banda termal detecta a radiação de ondas longas emitida pelos objetos, “cuja intensidade é função da sua temperatura de superfície” (STEINKE et al., 2010, p.39), e por haver entre o objeto e o sensor uma série de elementos – como a própria atmosfera – que interferem no dado captado, é necessário realizar correções para os efeitos de emissividade atmosférica para que se possa analisar a variação espacial da temperatura de superfície (OKE et al., 2017). As correções na banda termal do Landsat 8 podem ser realizadas em softwares de SIG utilizando-se um “modelo de transferência radiativa de emissividade e parâmetros para recuperação da temperatura da superfície” (PIRES; FERREIRA JÚNIOR, 2015, p.7422), obtendo-se, sem a aplicação destas correções, a temperatura de brilho aparente (ARIZA, 2013).

4. Materiais e procedimentos

A obtenção dos valores de temperatura de superfície, bem como a elaboração dos mapas de temperatura de superfície para o município de Osasco, foi realizada a partir de observações remotas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto com o uso de imagens de satélite e softwares de SIG. Tendo em vista o recorte espacial da área de estudo – o município de Osasco – foram obtidas as imagens do satélite Landsat 8 buscando pelo nome e localização do município na base *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS), segundo o período definido. O download das imagens é feito em formato GeoTIFF no qual constam o arquivo de metadados e as 11 imagens das bandas OLI e TIRS do satélite, dentre as quais está a banda do Infravermelho Termal (10 - TIRS) utilizada neste estudo, com resolução espacial de 100 m, disponibilizada com pixel de 30m pelo USGS (AMORIM, 2019a) e resolução espectral de 10,6 – 11,9 μm (micrômetro).

Optou-se por calcular a TS para um dia em condições de verão e um dia sob condições de inverno, e após descartar as datas em que havia maior cobertura de nuvens sobre a cena, dentro da resolução temporal de 16 dias do satélite, as imagens dos dias 21/01/2019 (verão) e 30/06/2019 (inverno), ambas com horário central 13:04 UTC (correspondente às 10h04, horário de Brasília), foram escolhidas para os cálculos e análise da TS no município.

4.1. Processamento das imagens e cálculos de correção

O processamento das imagens teve início com o ajuste do fuso do arquivo correspondente à banda 10 para o fuso 23 S, pois as imagens adquiridas na base USGS são disponibilizadas com fuso do Hemisfério Norte. Em seguida, utilizando a ferramenta *Raster Calculator* no ArcGIS, realizou-se a correção radiométrica da imagem (conversão dos dados do pixel para valores de radiância no topo da atmosfera) utilizando a Equação 1, cujos coeficientes são encontrados nos metadados da imagem. (ARIZA, 2013; PIRES; FERREIRA JR, 2015)

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Equação 1 – Correção radiométrica

Onde:

$L\lambda$ = Radiância do topo da atmosfera ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da Banda 10 presente nos metadados
(Radiance_Mult_Band_10 = 0,00033420)

AL = Fator aditivo de redimensionamento da Banda 10 presente nos metadados
(Radiance_Add_Band_10 = 0,10000)

Qcal = Valores de pixel quantificados e calibrados em níveis de cinza, correspondente à banda termal (Banda 10)

Após a correção radiométrica, realizou-se a correção atmosférica da imagem utilizando a Equação 2 (PIRES; FERREIRA JÚNIOR, 2015) para a correção de efeitos de “absorção e espalhamento causados pela atmosfera no momento da passagem do sensor” (p.7423). Nesta equação, os valores de emissividade, transmissividade atmosférica, radiância emitida pela superfície e radiância recebida pela superfície, foram obtidos com a *Atmospheric Correction Parameter Calculator*² utilizando dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica de um ponto da imagem, indicando sua localização e altitude. Para tanto, foram inseridos nos campos da calculadora dados da estação meteorológica do Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (LCB-USP) correspondentes ao dia e hora da aquisição da imagem pelo satélite, pois além de estar localizada próximo à área de estudo, cerca de 4 km de distância, a estação do LCB realiza estas medições diariamente, de 5 em 5 minutos, e possibilita o acesso a estes dados quando solicitados ao Laboratório. Inseridos os dados necessários, apresentados no Quadro 1, indicou-se a série do satélite em uso e o perfil atmosférico (verão ou inverno) correspondente. O valor de emissividade utilizado corresponde ao valor médio de superfícies urbanas calculado por Nichol (1994), onde a emissividade é igual a 0,92.

$$LT = \frac{LTOA - L_u - (1 - \epsilon) * L_d}{\tau * \epsilon}$$

Equação 2 – Correção atmosférica

² <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

Onde:

L_T = Radiância de um alvo negro de temperatura cinética ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

L_{TOA} = Radiância espectral ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) (correspondente à $L\lambda$)

τ = Transmissividade da atmosfera

ε = Emissividade da superfície

L_u = Radiância emitida pela superfície ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

L_d = Radiância recebida pela superfície ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$).

Dados de entrada	Verão	Inverno
Data/hora de passagem	21/01/2019 13:04 UTC (10:04 UTC -3)	30/06/2019 13:04 UTC (10:04 UTC-3)
Latitude e Longitude (LCB)	-23.563 / -46.722	-23.563 / -46.722
Altitude	0,740 km	0,740 km
Temperatura	30,0°C	22,9 °C
Umidade relativa	57%	60%
Pressão (mb)	934	937,3
Perfil atmosférico	“mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile”	“mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile”
Satélite/banda espectral	“Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve”	“Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve”
Parâmetros calculados:		
Transmissividade atmosférica	0,57	0,82
Radiância emitida pela superfície	3,61	1,50
Radiância recebida pela superfície	5,58	2,47

Quadro 1 - Dados utilizados para a correção atmosférica.

Com as correções realizadas, aplicou-se o cálculo da Temperatura de Superfície conforme a Equação 3 (ARIZA, 2013) utilizando as constantes térmicas disponíveis nos metadados da imagem.

$$T_s = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L\lambda} + 1 \right)}$$

Equação 3 – Cálculo para obtenção da Temperatura de Superfície

Onde:

T_s = Temperatura registrada pelo sensor do satélite (K);

K_2 = Constante de calibração 2 (1321,08)

K_1 = Constante de calibração 1 (774,89)

L_λ = Radiância espectral ($W / m^2 \cdot sr \cdot \mu m$), que, corrigida, corresponde à L_T

A temperatura de superfície, calculada em graus Kelvin, apresenta a T_s em graus Celsius após a subtração de - 273,15 do *raster* de T_s obtido, utilizando a *Raster Calculator*. O arquivo *raster* resultante foi recortado nos limites do *shapefile* do município de Osasco (IBGE, 2015) com a ferramenta *Extract by Mask*, e categorizado em classes de cores para gerar o mapa da temperatura de superfície na área de estudo.

Estes procedimentos foram realizados para as imagens de verão e inverno, possibilitando a elaboração dos mapas termais para a análise da temperatura de superfície na área de estudo em ambas as estações. Para auxiliar as análises que se seguem, aplicou-se também o cálculo do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), conforme Equação 4 (BARBOSA et al., 2018, NETELER; MITASOVA, 2007), utilizando as bandas do vermelho (banda 4) e infravermelho (banda 5).

$$NDVI = \frac{\text{banda 5} - \text{banda 4}}{\text{banda 5} + \text{banda 4}}$$

Equação 4 – Cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Aos mapas elaborados, soma-se o Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Osasco disponibilizado pela Emplasa (2006), e o mapa dos limites dos bairros do município (PMO) que, após serem georreferenciados no ArcGis, foram sobrepostos aos mapas elaborados e utilizados nas análises realizadas. O material cartográfico produzido será apresentado a seguir para a discussão e avaliação da temperatura de superfície, embasadas pelo levantamento bibliográfico realizado.

5. Resultados e Discussão

5.1. Condições atmosféricas

Conforme os dados do Quadro 2, no dia 21 de janeiro (verão), às 10h05 (considerando o horário de captação da imagem de satélite, 13:04 UTC/10:04 BRT), a temperatura do ar registrada no LCB era de 30°C, e a umidade relativa do ar correspondia a 57%. Foi um dia de temperaturas elevadas, atingindo 34,1°C às 13h35, temperatura acima da média do mês e próxima aos valores mais elevados registrados no mês de janeiro. Segundo os registros do LCB, não houve precipitação neste dia.

2019 - Verão: 21/01		2019 – Inverno: 30/06	
Temperatura do ar (LCB) às 10h05 (°C)	30,0	Temperatura do ar (LCB) às 10h05 (°C)	23,0
Umidade relativa do ar às 10:05	57%	Umidade relativa do ar às 10:05	60%
Velocidade do vento (m/s)	2,4	Velocidade do vento (m/s)	4,7
Temperatura máxima do dia (°C)	34,1	Temperatura máxima do dia (°C)	27,0
Temperatura mínima do dia (°C)	21,1	Temperatura mínima do dia (°C)	14,6
Temperatura média do dia (°C)	27,2	Temperatura média do dia (°C)	19,8
Temperatura média do mês (°C)	24,6	Temperatura média do mês (°C)	18,2
Temperatura máxima do mês (°C)	34,9	Temperatura máxima do mês (°C)	28,0
Precipitação (total/mês) (mm)	251,5	Precipitação (total/mês) (mm)	42,7

Quadro 2 – Condições atmosféricas dos dias 21/01 e 30/06 registradas no Laboratório de Climatologia e Biogeografia (LCB – USP)

A Figura 7 apresenta as temperaturas médias, mínimas e máximas registradas diariamente no LCB no mês de janeiro de 2019.

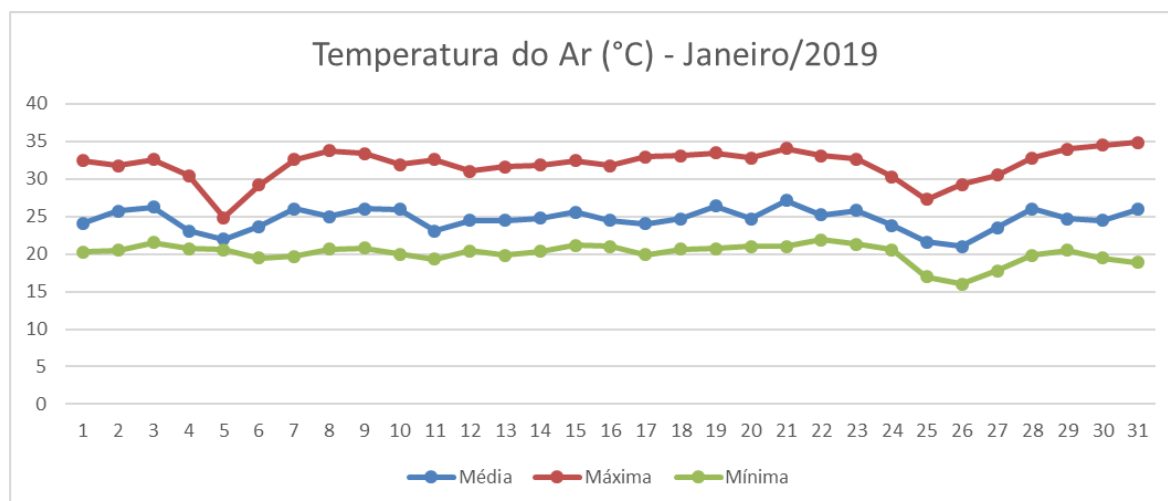


Figura 7 – Temperaturas máximas, mínimas e médias do ar registradas no LCB no mês de janeiro de 2019. (Fonte: LCB-USP)

Ao consultar as cartas sinópticas disponibilizadas pela marinha (Anexo A), é possível notar a presença de centros de baixa pressão próximos à região sudeste neste período, favorecendo a presença de instabilidade atmosférica (INPE, 2018), o que se observa nas imagens do satélite GOES (Anexo A) da noite anterior ao dia 21, com presença de cobertura de nuvens sobre o leste do estado de São Paulo. Ao longo do dia, essa cobertura de nuvens se desloca, observando-se o céu limpo sobre o estado de São Paulo no momento de aquisição da imagem, possibilitando a intensa insolação recebida pela superfície e as altas temperaturas, de superfície e do ar, obtidas neste dia.

No dia de inverno, 30 de junho, conforme dados apresentados no Quadro 2 a temperatura do ar registrada às 10h05 era de 23°C. A temperatura máxima do dia, 27°C, ocorreu às 14h50, sendo este um dia mais quente do que a média para o inverno, 15,7°C (IAG/USP), e do que a temperatura média registrada no LCB no mês de junho, 18,2°C. A Figura 8 apresenta as temperaturas mínimas, máximas e médias registradas diariamente no LCB no mês de junho de 2019.

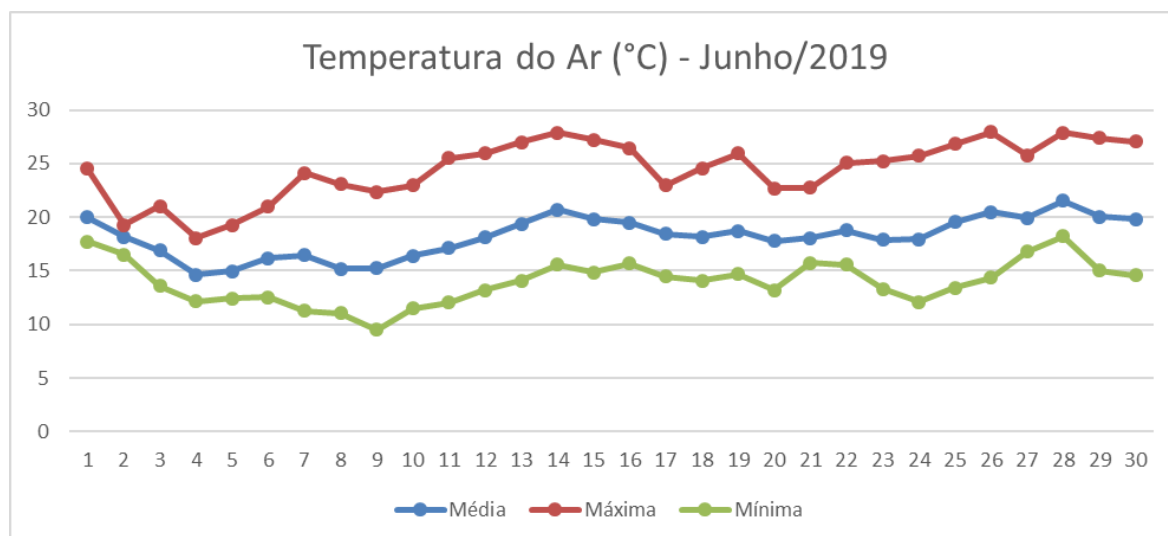


Figura 8 - Temperaturas máximas, mínimas e médias do ar registradas no LCB no mês de junho de 2019. (Fonte: LCB-USP)

A análise da carta sinóptica correspondente ao dia 30 de junho (Anexo B) permite identificar a presença de um grande centro de alta pressão no oceano, próximo à região sudeste do Brasil, o que desfavorece a formação de nuvens e ocasiona maior estabilidade atmosférica (INPE, 2018) na região, o que se verifica nas imagens do satélite GOES (Anexo B), onde nota-se, tanto no dia 30 como nos dias anteriores, que não houve formação de espessas coberturas de nuvens no estado de São Paulo, favorecendo a baixa retenção de calor na atmosfera.

Ainda que a temperatura do ar estivesse mais alta do que a média neste dia de inverno, e tenha se aproximado dos 30°C ao longo do dia, nota-se no Quadro 2 que a velocidade do vento registrada às 10h05, era mais intensa do que no dia de verão, assim como a umidade relativa do ar; uma diferença não muito expressiva, mas que em conjunto com as propriedades das superfícies, como visto no item 3.2.1, pode influenciar os valores de TS consideravelmente reduzidos quando comparados aos obtidos no verão, conforme apresenta-se a seguir.

5.2. Análise da Temperatura de Superfície no município de Osasco

A aplicação da correção radiométrica e atmosférica, e do cálculo de obtenção da temperatura de superfície utilizando imagens termais do satélite Landsat 8 sob condições de verão e de inverno, resultou na espacialização dos valores de temperatura de superfície no município de Osasco representada nos mapas das Figuras 9 e 10.

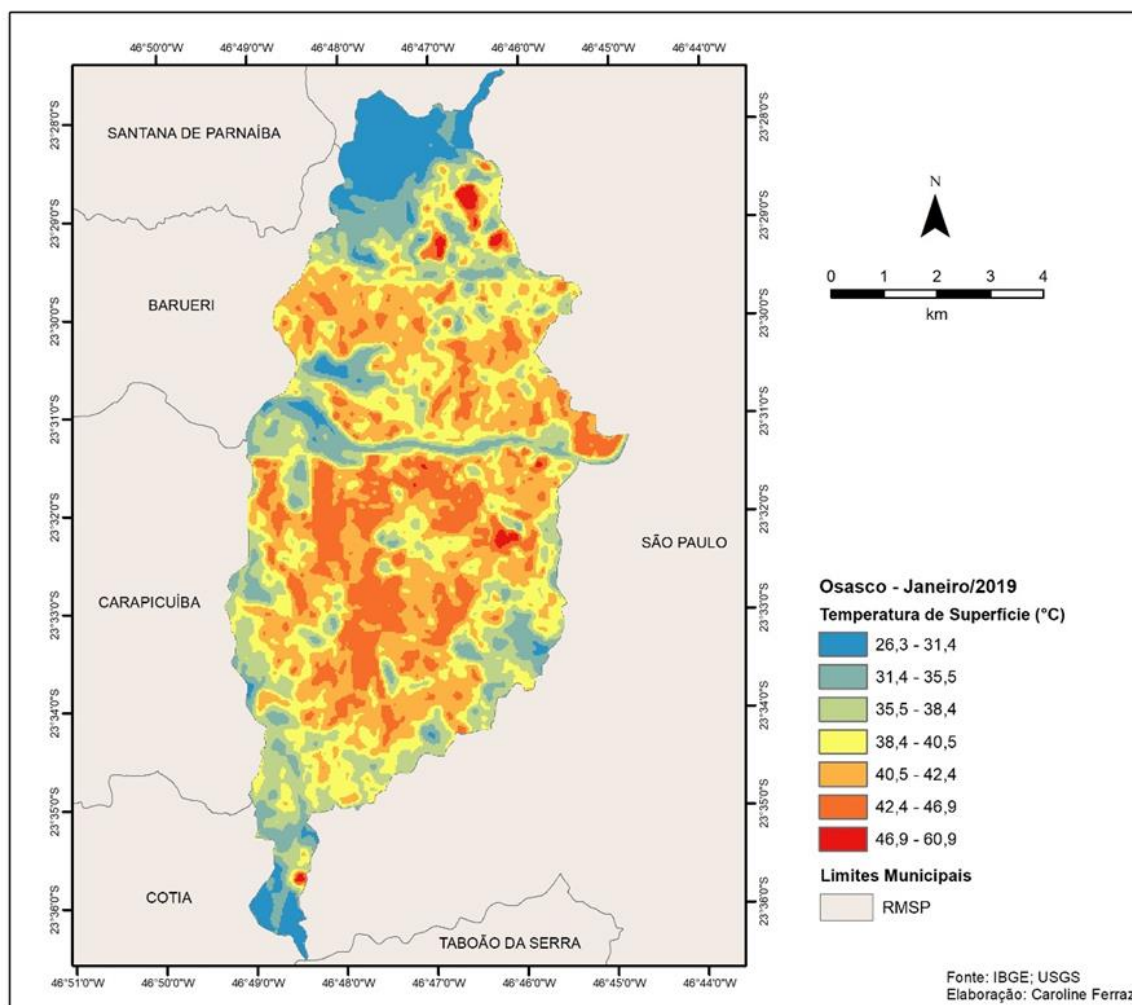


Figura 9 – Temperatura de Superfície no município de Osasco sob condições de verão (21/01/2019).

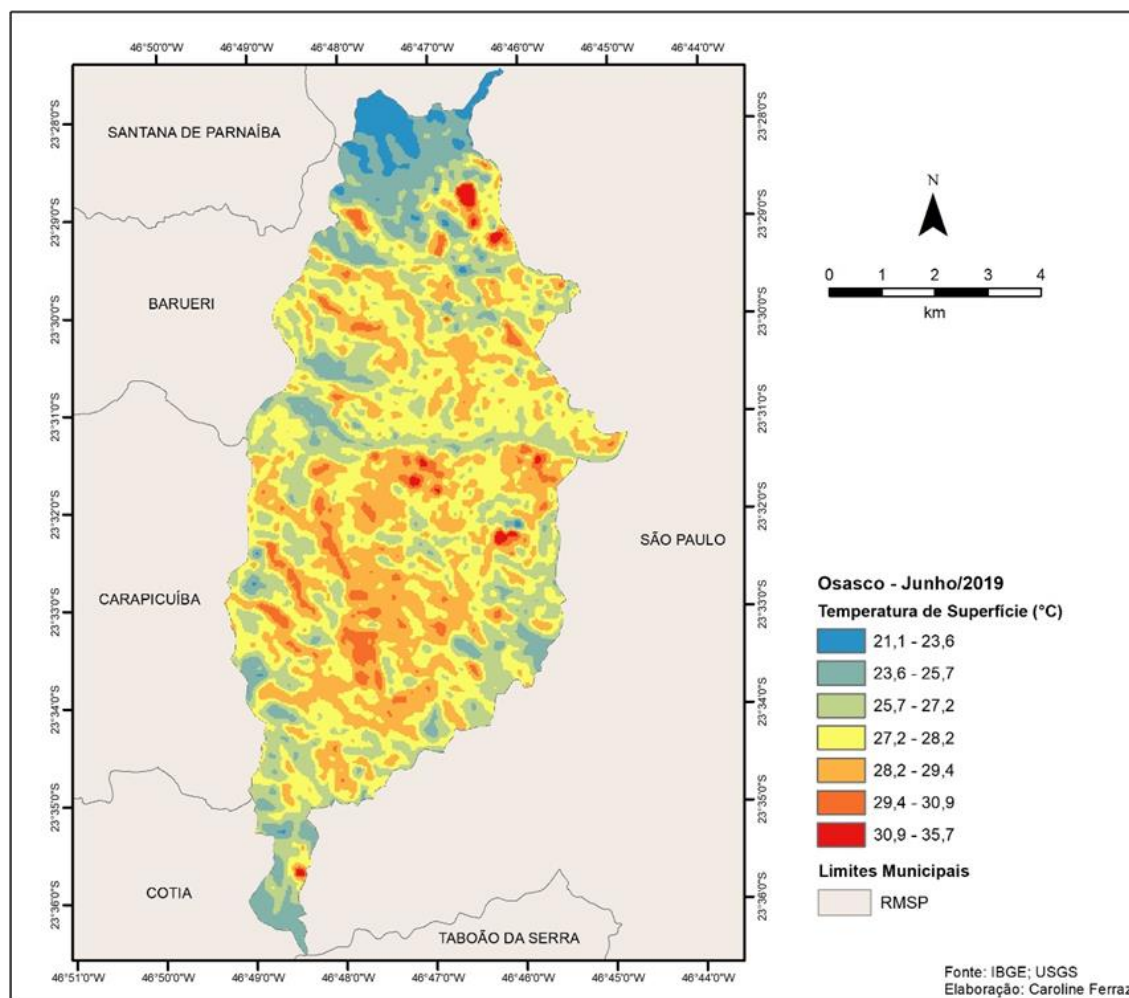


Figura 10 – Temperatura de Superfície no município de Osasco sob condições de inverno (04/07/2019)

A estimativa das temperaturas superficiais na resolução espacial de 100 m do sensor termal permitiu identificar onde ocorrem superfícies mais aquecidas na cidade, assim como as temperaturas superficiais mais amenas, tanto na estação mais fria quanto na estação mais quente. Verifica-se que as TS em Osasco estiveram elevadas no verão e reduzidas no inverno, e que em ambas as estações há ocorrência mais expressiva de temperaturas superficiais acima da média na zona sul do município, em bairros próximos ao centro da cidade (Figura 11). Esta ocorrência é ainda mais evidente no verão, período que também apresenta maior variabilidade nos valores de TS. As temperaturas superficiais máximas, mínimas e médias obtidas estão sintetizadas no Quadro 3.

2019 - Verão: 21/01		2019 – Junho 30/06	
Temperatura de Superfície máxima:	60,9°C	Temperatura de Superfície máxima:	35,7°C
Temperatura de superfície mínima:	26,3°C	Temperatura de superfície mínima:	21,1°C
Temperatura média:	38,9°C	Temperatura média:	27,4°C
Desvio padrão:	4	Desvio padrão:	1,5

Quadro 3 – Valores máximos, médios e mínimos de Temperatura de Superfície obtidos.

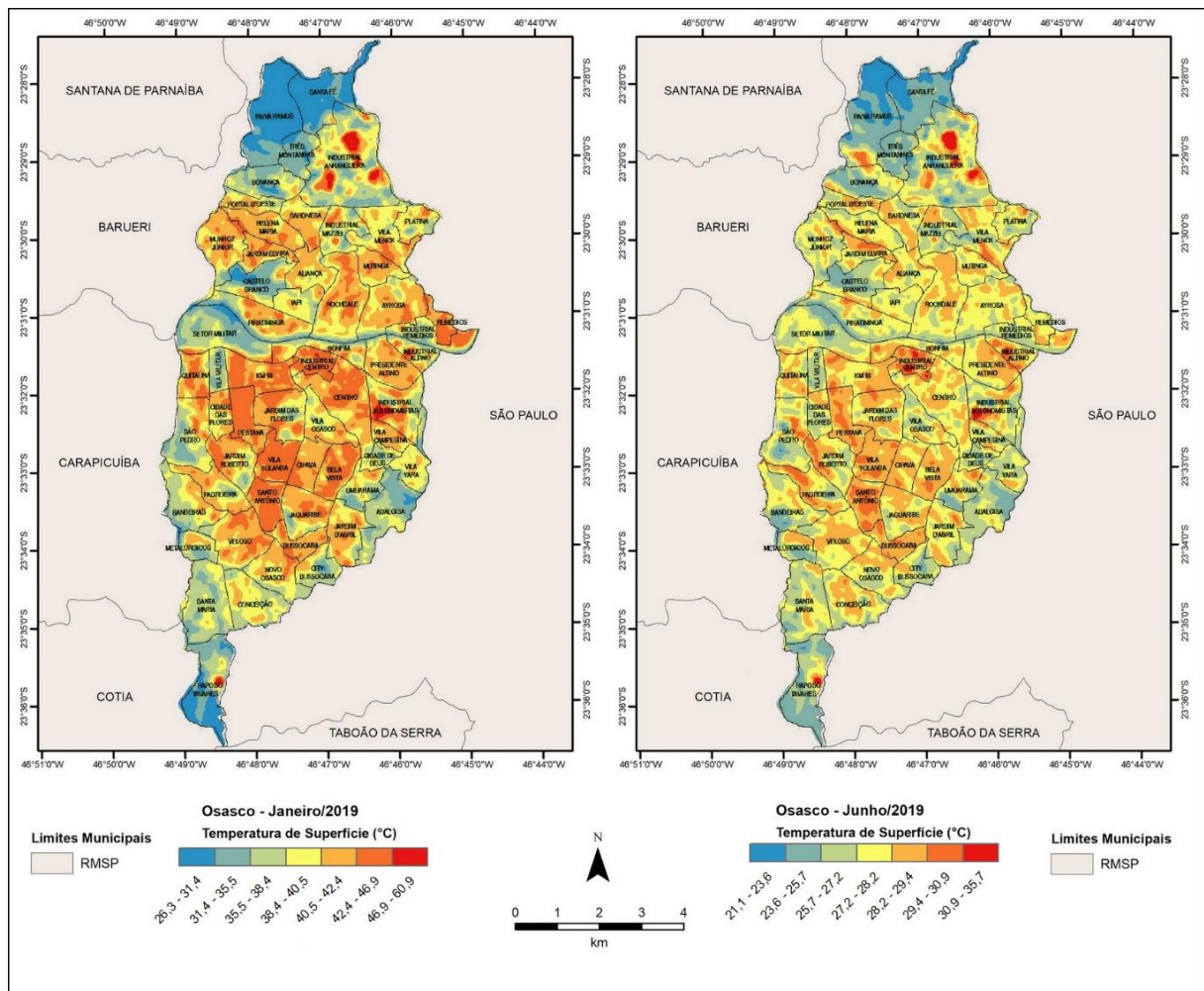


Figura 11 – Temperatura de superfície sob condições de verão e inverno com a sobreposição dos limites dos bairros do município de Osasco

Com a sobreposição dos limites dos bairros de Osasco sobre os mapas termais (Figura 11), pode-se melhor visualizar o comportamento da TS em diferentes regiões da cidade. Nota-se que no verão, na região central, as temperaturas superficiais predominantes estiveram em torno dos 40,5°C e 46,9°C, e as superfícies mais aquecidas apresentaram valores de TS entre 46,7°C e 60,9°C. No dia de inverno observa-se menor variabilidade – as temperaturas

superficiais predominantes no centro da cidade ficaram entre 27,2 e 30,9°C. As superfícies com as menores TS apresentaram entre 26,3 e 35,5°C no verão, e entre 21,1 e 25,7°C no inverno. Para ambos os períodos, a cor amarela representa nos mapas as temperaturas superficiais médias obtidas, em torno dos 38°C no verão e dos 27°C no inverno.

Ao sul do Rio Tietê, zona sul do município de Osasco, localizam-se as principais atividades comerciais e de serviço no município, como o centro comercial da cidade, empresas, shopping centers e hipermercados. Nota-se que a ocorrência de TS acima da média se mostra mais expressiva nos bairros próximos à região central, mas as TS não se apresentam, no entanto, de forma homogênea. Constata-se nesta mesma região algumas das superfícies com os maiores valores de TS obtidos – representados em vermelho nos mapas – e, também, superfícies com temperaturas reduzidas, evidenciando a grande variabilidade das TS neste ambiente urbano, de maneira mais notável na zona sul, mas presente também na zona norte da cidade. O extremo norte do município se destaca tanto pelos valores mais baixos de TS ali verificados, quanto pela dimensão da área onde ocorrem. O mapa hipsométrico (Figura 2), permite observar que esta área se localiza na porção mais alta do município, com altitudes entre 800 e 1.020 metros.

No verão e no inverno, tanto as TS mais elevadas quanto as TS mais baixas apresentaram espacialização bastante similar, ainda que sejam consideravelmente mais baixas no inverno, e que ocorram mais superfícies com temperatura acima da média no verão.

A avaliação da TS no município somada à análise de mapas como o do Uso e Ocupação do Solo do Município de Osasco e do NDVI, possibilitou identificar importantes conexões entre elementos que possuem relação espacial com a ocorrência das temperaturas superficiais na estação mais quente e na estação mais fria. A Figura 3 traz o mapa do Uso e Ocupação do Solo com as categorias estabelecidas pela Emplasa e sua ocorrência no município de Osasco.

Analisando os mapas termais em conjunto com o mapa do uso do solo, nota-se que no verão as temperaturas superficiais acima da média, entre 38,4 e 46,9°C, ocorrem predominantemente na categoria de uso do solo classificada como Área Urbanizada – que abrange “áreas arruadas e efetivamente ocupadas por usos residencial, comercial e de serviços, caracterizadas por ruas e edificações” (EMPLASA, 2006, p.4). Ao passo que categorias como Mata, Capoeira, Campo, Espelho D’água e Equipamentos Urbanos (categoria que abrange escolas, praças, cemitérios, ginásios esportivos, hospitais, entre outros) apresentam menores TS do que as verificadas na Área Urbanizada. Esta diminuição da TS com a mudança de uso do solo também está relacionada com a ocorrência de vegetação no interior ou no entorno destas categorias, relação que será abordada na análise do NDVI.

As Figura 12 e Figura 13 apresentam recortes dos mapas termais que possibilitam observar com maior detalhe as variações da TS em diferentes categorias de uso do solo.

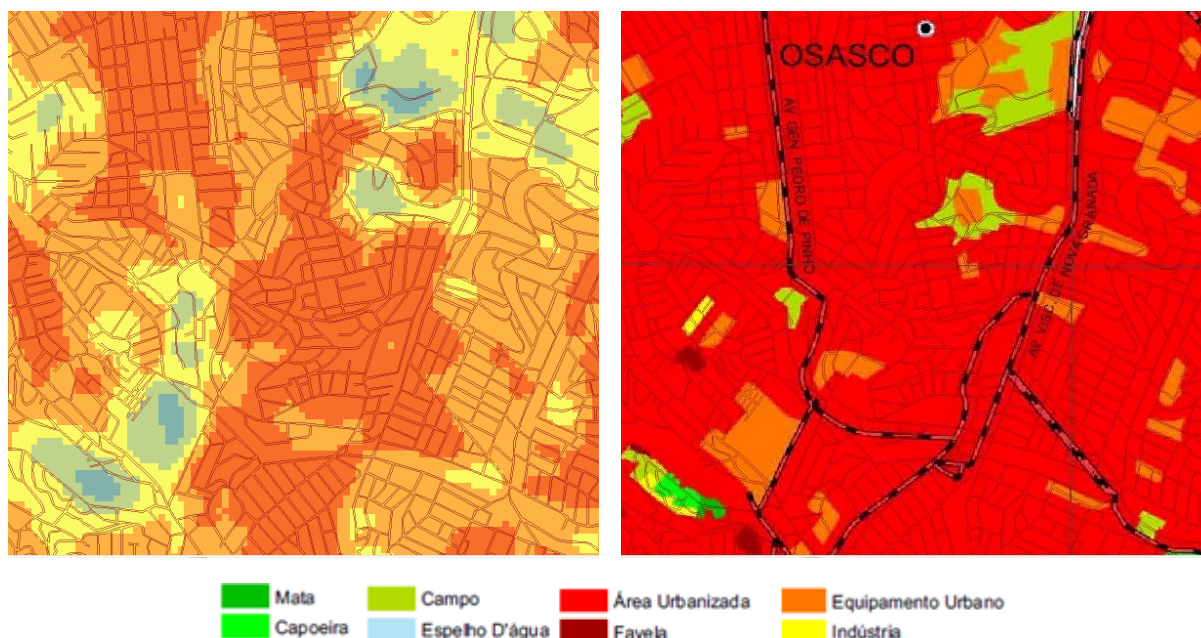


Figura 12 – Recorte do mapa termal (verão) à esquerda e do mapa de uso e ocupação do solo à direita, nos quais se observa a variação da TS em diferentes categorias de uso do solo, e a correspondência de maiores TS na Área Urbanizada, e de menores TS com a presença de Equipamentos Urbanos, áreas de Campo e Capoeira.

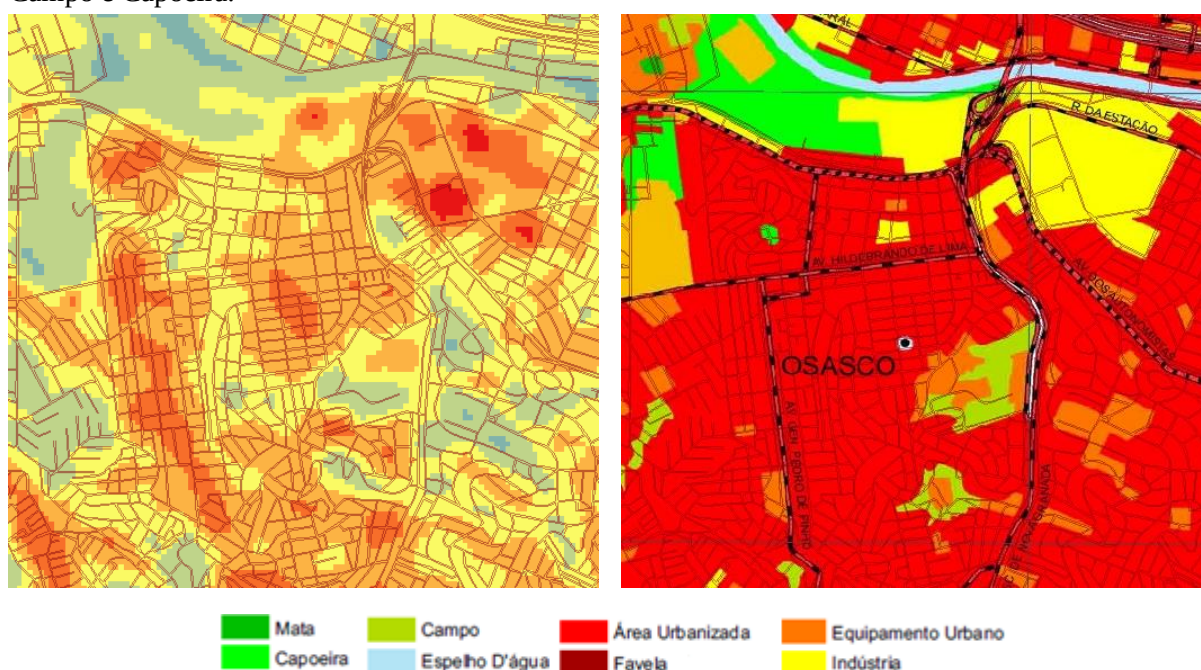


Figura 13 – Recorte do mapa termal (Inverno) à esquerda e do mapa de uso e ocupação do solo à direita, nos quais se observa a variação da TS em diferentes categorias de uso do solo e a correspondência de TS elevadas na área de Indústria, seguida da Área Urbanizada, e de menores TS com a presença de Espelho D'água, Equipamentos Urbanos, áreas de Campo e Capoeira.

No inverno notam-se diferenças no comportamento da TS na Área Urbanizada, que se mantém com valores mais próximos à TS média em grande parte desta categoria. Porém, verifica-se, assim como no verão, a diminuição dos valores de TS nas categorias de uso do solo como Equipamentos Urbanos, Mata, Capoeira, Espelho D'água, com uma variação térmica menos abrupta.

Em ambos os períodos, as TS não apresentam um comportamento homogêneo nas áreas classificadas como Indústria. Na zona norte da cidade ocorrem baixas temperaturas superficiais nos parques industriais, que podem ser associadas às pequenas áreas com vegetação ali presentes, mas nesta mesma área como nos demais bairros industriais ocorrem os valores mais elevados de TS (Figura 14, Figura 15 e Figura 16), que podem ser ocasionados pelas propriedades térmicas dos telhados encontrados nestes estabelecimentos.



Figura 14 – Recorte do mapa termal (Verão) (esquerda), imagem de satélite³ (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Anhanguera, na zona norte do município de Osasco.

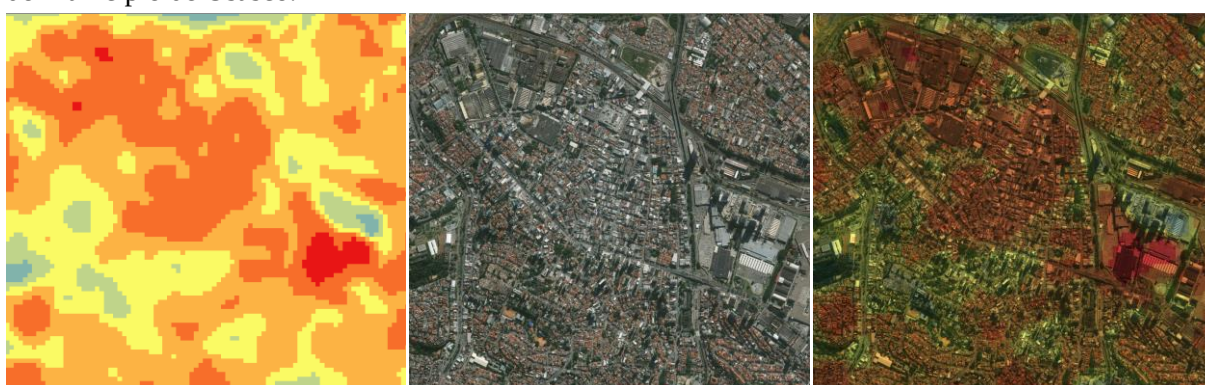


Figura 15 – Recorte do mapa termal (Verão) (esquerda), imagem de satélite (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Autonomistas, próximo ao centro de Osasco.

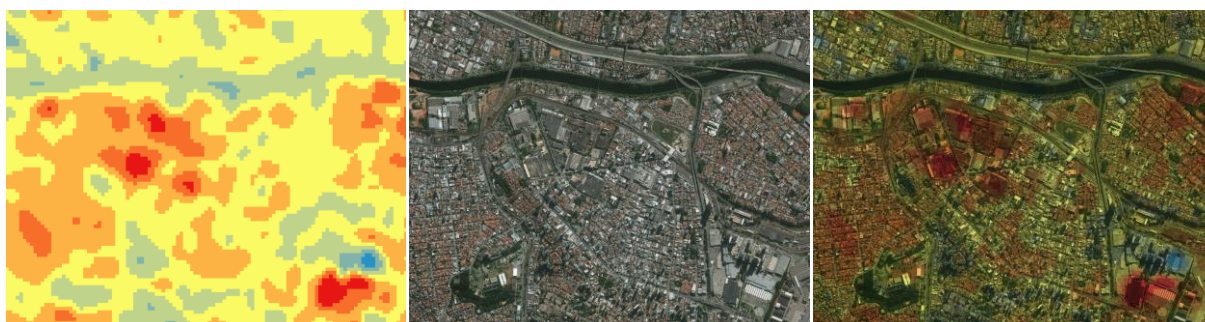


Figura 16 – Recorte do mapa termal (Inverno) (esquerda), imagem de satélite (centro) e sobreposição do mapa termal à imagem de satélite da área pertencente ao bairro Industrial Autonomistas, próximo ao centro de Osasco.

Os telhados de estabelecimentos industriais e comerciais apresentaram as temperaturas mais elevadas em ambas as condições analisadas – entre 46,9°C e 60,9°C no verão e entre 30,9°C e 35,7°C no inverno. Com a análise de imagens de satélite e dos resultados apresentados na literatura consultada, pode-se inferir que o material destes telhados, em geral metálicos, é

³ Fonte: ESRI (Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community)

responsável pelos elevados valores de temperatura superficial. Conforme Galindo (2015), no Brasil, a aplicação de telhas metálicas tem sido abundante por conta de seu baixo custo, mas apresentam diferentes valores de TS segundo as condições climáticas de cada região. Em seu estudo, a autora aponta a ocorrência de elevadas temperaturas em telhas de aço galvanizado, chegando a ultrapassar os 80°C em regiões de domínio climático tropical, como no centro-oeste do país. Para regiões com domínio climático similar ao de São Paulo, os valores de TS obtidos estiveram acima dos 55°C em telhas de aço galvanizado sem revestimentos externos ou isolantes térmicos.

O uso de isolantes térmicos entre chapas de telhas de aço apresentou temperaturas superficiais ainda mais elevadas, próximas dos 70°C para as condições climáticas de São Paulo; enquanto o uso de revestimentos externos, com tinta reflexiva branca, resultou em valores mais amenos, com aproximadamente 20°C de diferença na TS, tanto em telhas lisas quanto naquelas que fazem uso de isolantes térmicos, o que se verificou em todas as regiões e condições climáticas analisadas.

Sampaio et al. (2011) também apresenta valores elevados de TS para este material em seu estudo com telhas metálicas, cerâmicas e de fibrocimento em Santa Catarina, tendo as telhas metálicas apresentado TS externa máxima de 53,5°C no verão, com maior temperatura e amplitude térmica em comparação aos outros materiais. No inverno, este mesmo material apresentou TS externa máxima de 36°C. As telhas de fibrocimento apresentaram 36,5°C no verão e 23,8°C no inverno; e as cerâmicas, 36,7°C e 24,6°C no verão e inverno, respectivamente.

As elevadas temperaturas superficiais constatadas na área de estudo e na bibliografia consultada ressaltam que a maior propagação e armazenamento de calor destes materiais abundantes nos ambientes urbanos – como os telhados metálicos, e até mesmo o revestimento asfáltico – impacta diretamente na TS, resultando em superfícies mais aquecidas principalmente nas áreas de maior atividade industrial e comercial, tanto em comparação com a área urbanizada em seu entorno, quanto com ambientes menos urbanizados.

No que diz respeito a temperaturas superficiais reduzidas, a análise do NDVI no município demonstrou uma significativa relação espacial entre a ocorrência de áreas com vegetação e as temperaturas de superfície. Conforme se observa na Figura 17, nas áreas onde há maior índice de vegetação verifica-se os menores valores de TS obtidos nos mapas termais (Figura 9 e Figura 10), o que inicialmente se observou na análise do uso do solo no município, e que se evidencia na análise do índice normalizado de vegetação.

No extremo norte do município, onde há maior NDVI, estão os bairros Paiva Ramos e Santa Fé (Figura 11), localizando-se no bairro Paiva Ramos a maior área não impermeabilizada do município, com cerca de 1,8 km² de remanescente de Mata Atlântica (SEPLAG, 2015). Parte significativa desta área de mata pertence à iniciativa privada, e há poucas edificações à exceção de algumas chácaras, como se observa no mapa de Uso do Solo (Figura 3). É nesta área do bairro que ocorrem as menores TS em ambos os períodos – entre 21,1 e 23,6°C no inverno, e entre 26,3 e 31,4°C no verão. Em seu entorno, com temperaturas superficiais entre 23,5 e 27,5°C no inverno, há algumas áreas urbanizadas, com poucas ruas, residências de baixo padrão construtivo e um aterro sanitário próximo (Figura 3), o qual apresenta TS próxima dos 30°C e 40°C na estação mais fria e mais quente, respectivamente.

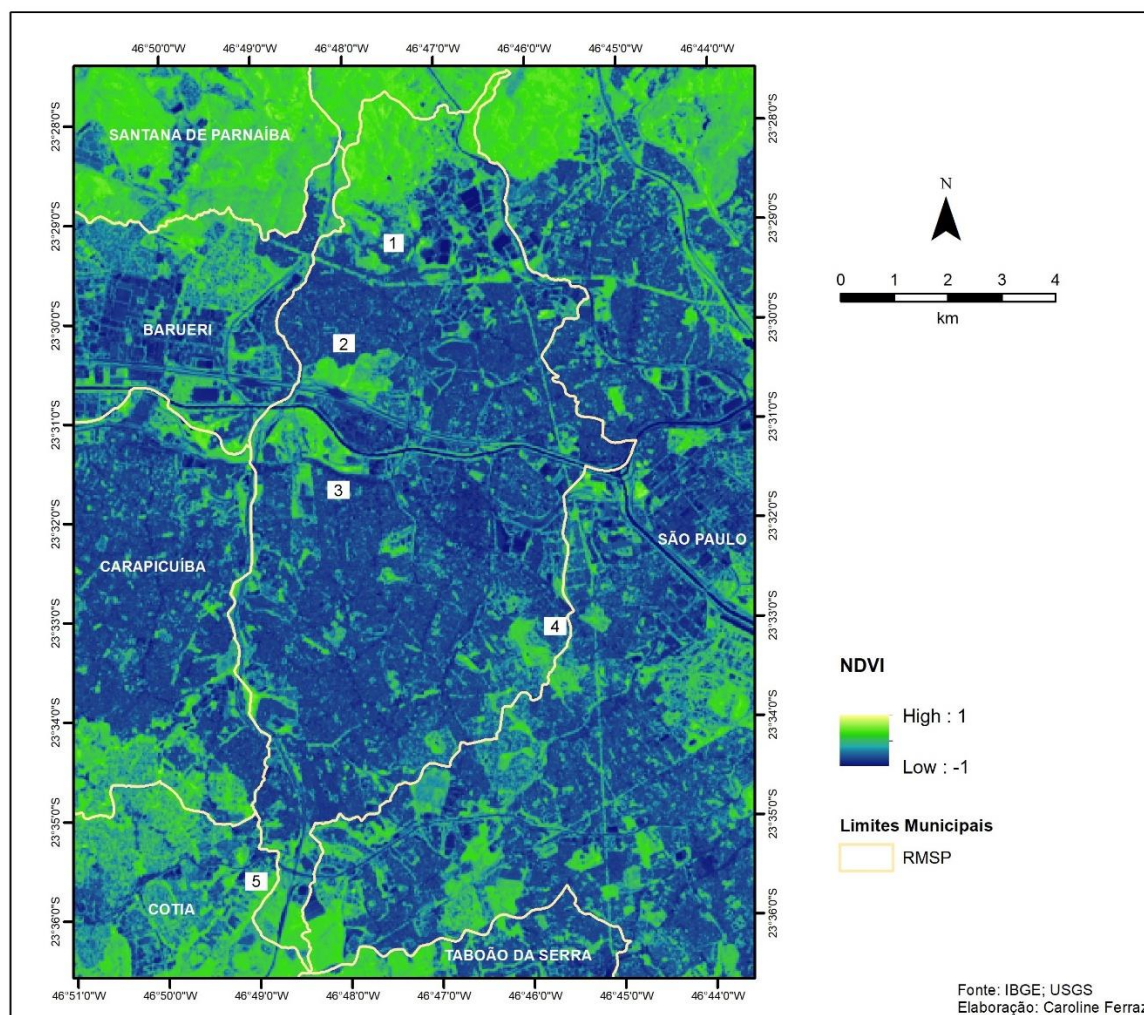


Figura 17 – NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) no município de Osasco e entorno. Áreas com maior índice de vegetação: 1 - Bairros Paiva Ramos (área de Mata Atlântica) e Santa Fé; 2 - 2º Batalhão de Polícia do Exército; 3 - 4º Batalhão de Infantaria Leve (Exército Brasileiro); 4 - São Francisco Golf Club; 5 - Entorno - Rodoanel.

As propriedades das superfícies de áreas vegetadas influenciam nos valores de emissividade da superfície e, consequentemente, em sua temperatura, visto que o fluxo e as interações da radiação com esta superfície são afetados pela presença de água (BARBOSA; AMORIM, 2017).

Além dos pontos destacados no mapa do NDVI (Figura 17), nota-se a presença de vegetação em outros pontos que consistem, majoritariamente, em áreas como praças, parques ecológicos da cidade, cemitérios e escolas, todas pertencentes à categoria de uso do solo de Equipamentos Urbanos (conforme Figura 3). As ocorrências esparsas de áreas vegetadas evidenciam a predominância de superfícies impermeabilizadas no município de Osasco, observada nos tons azuis no mapa, onde há baixo NDVI e ocorrem temperaturas superficiais mais elevadas.

Conforme aponta Ferreira (2019), a geometria urbana também é um elemento importante de ser considerado ao avaliar a temperatura de superfície nas cidades. Em Osasco, nota-se que a geometria urbana também esteve associada a menores valores de TS, em locais onde há edifícios mais altos, seja de uso comercial ou residencial, que projetam sombra sobre a área em seu entorno, de modo que as superfícies sombreadas apresentam temperaturas superficiais reduzidas, como demonstrado na Figura 18, assim como a superfície destes edifícios.

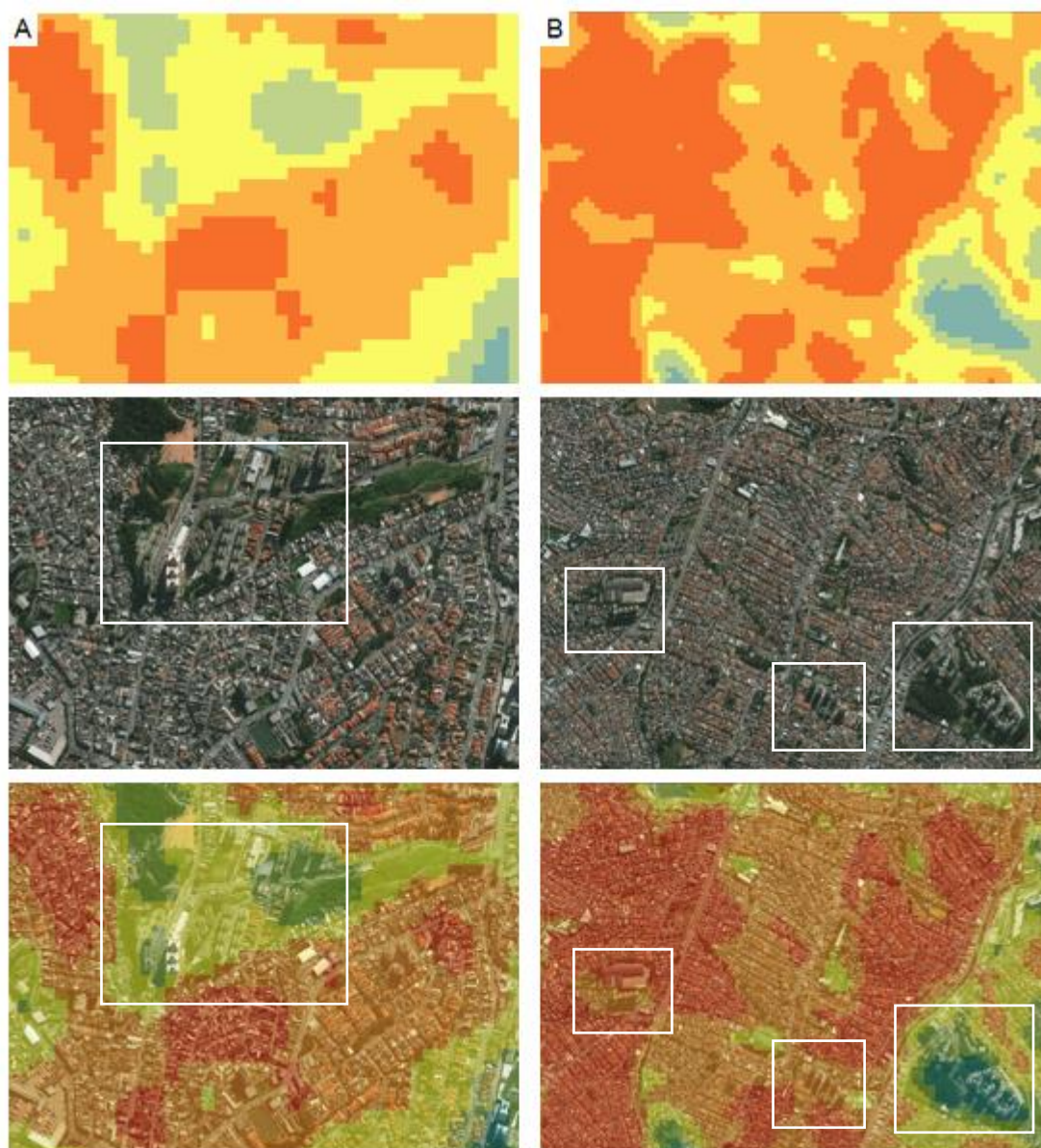


Figura 18 – Recortes dos mapas termais, seguidos de imagem de satélite⁴ das áreas correspondentes e da sobreposição da TS sobre as imagens. (Recorte A extraído do mapa termal do inverno, região do bairro Jaguaribe. Recorte B extraído do mapa termal do verão, região dos bairros Umuarama e Bela Vista).

Nota-se na área do recorte A (Figura 18), a ocorrência de temperaturas superficiais reduzidas onde estão localizados edifícios altos e suas respectivas sombras. No recorte B, observa-se ocorrência similar na área com TS reduzida, e também nos outros dois pontos destacados, nos quais, em meio a superfícies mais aquecidas, a TS é reduzida com a presença dos edifícios mais altos e na área onde sua sombra é projetada ao longo do dia. Ferreira (2019) pontua que, juntamente com a densidade construída e a cobertura vegetal nos ambientes

⁴ Fonte: ESRI (Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community)

urbanos, a altura das edificações compõe um grupo de indicadores significativos quanto às temperaturas superficiais, e que a manipulação destes pode reduzir o aquecimento em cidades quentes e úmidas.

Neste sentido, tanto na literatura consultada quanto na análise da TS no município, encontra-se uma relação espacial semelhante àquela constatada por Morato (2008), apresentada no item 3.1, que aponta a ocorrência de melhores índices de qualidade ambiental em Osasco onde os índices socioeconômicos são mais elevados. Ferreira (2019), Amorim (2019a) e Lombardo (1985) reforçam a relação existente entre renda e temperaturas superficiais no ambiente urbano: bairros periféricos, onde os terrenos tendem a ser pequenos e densamente construídos, são mais aquecidos do que áreas verticalizadas nos centros das áreas urbanas; e em bairros mais ricos, com residências de alto padrão, terrenos maiores e presença de áreas verdes, nas calçadas ou no interior dos lotes (AMORIM, 2019a), verifica-se valores de TS reduzidos assim como NDVI mais elevado.

A Figura 19 traz o mapa elaborado por Ferreira (2019) com o percentual de responsáveis com renda superior a 5 salários mínimos na RMSP em cada UIT (Unidade de Informação Territorializada), subdivisão criada e disponibilizada pela Emplasa com dados socioeconômicos do censo de 2010.

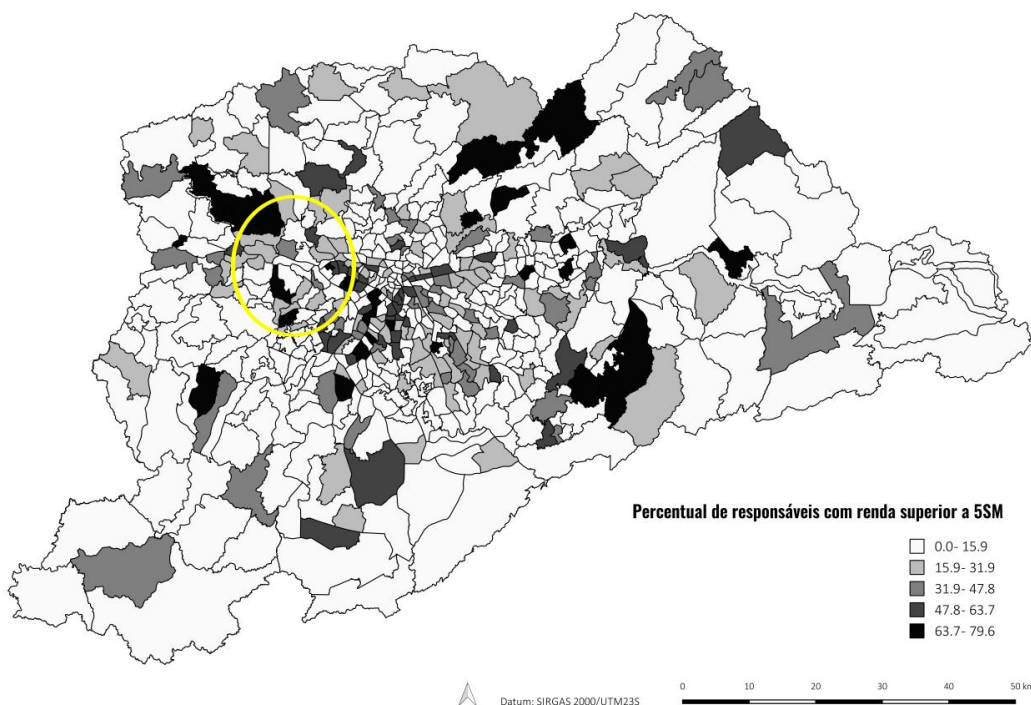


Figura 19 – Percentual de responsáveis pelo domicílio com renda superior a 5 salários mínimos nas UITs da Região Metropolitana de São Paulo. (Fonte: FERREIRA, 2019)

No destaque observa-se o município de Osasco subdividido em UITs, das quais quatro apresentam rendimentos acima de 5 salários mínimos. Estas UITs abrangem os bairros onde se observou as TS mais baixas (Figura 11): na UIT da zona norte localiza-se o bairro do 2º Batalhão Militar e regiões próximas a ele; no sudoeste do município, com o percentual mais elevado de renda, estão os bairros próximos à Carapicuíba, Cotia e ao Rodoanel, região onde há um grande número de condomínios residenciais, o que também se verifica nos bairros da UIT no sudeste do município, próximos à cidade de São Paulo. Tal configuração permite observar que a relação espacial exposta pelas autoras entre renda e TS se verifica em Osasco, visto que os bairros com rendimentos mais baixos, com maior densidade de construções, pouca arborização e áreas verdes, possuem um conjunto de elementos que os tornam mais suscetíveis à ocorrência de TS mais elevadas, assim como de situações de desconforto térmico e menor qualidade ambiental (AMORIM, 2019a; MORATO, 2008).

Os mapas termais em conjunto com os dados e discussões que se somaram à análise permitiram visualizar não só a ocorrência de TS mais elevadas no verão do que no inverno – um comportamento semelhante ao da temperatura do ar – mas também a intensa relação espacial da TS com a ocorrência de vegetação e com as diferentes categorias de uso e ocupação do solo. Pereira et al. (2016) relata resultados semelhantes aos observados na presente análise, nos quais as diferenças no comportamento da TS são menos marcantes no período mais seco, como observado em Osasco, e expressiva influência da ocorrência de vegetação no comportamento da TS, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

Os valores de TS obtidos assemelham-se aos observados na literatura consultada, nos quais as temperaturas superficiais foram mais elevadas na área urbana do que em áreas menos urbanizadas em seu entorno – como se observou mais significativamente na área de mata do bairro Paiva Ramos – e a diferença entre as temperaturas foi mais intensa sob as condições de verão. Lombardo (1985) obteve valores de TS acima de 30°C nas áreas mais urbanizadas em seu estudo da RMSP, com baixa presença de vegetação, e para a cidade de São Paulo, as áreas urbanizadas apresentaram TS acima dos 27°C e as menos urbanizadas com TS mínima abaixo dos 17°C (BARROS; LOMBARDO, 2016). Pires e Ferreira Jr. (2015), em seu estudo no Tocantins, apresentaram valores na área urbana em torno dos 39°C. Ferreira (2019), avaliando a TS na RMSP numa série temporal de 2002 a 2017, apresentou valores entre 22 e 43°C nas estações chuvosas e 9 e 19°C nas estações secas. Em seu estudo, nota-se que a TS diurna de Osasco, na estação chuvosa, esteve em torno dos 33,7 e 42,5°C. Conforme exposto, a ocorrência de valores extremos de TS obtidos em Osasco, acima de 50°C no verão e 35,7°C no inverno, esteve relacionada ao tipo de superfície dos telhados em áreas industriais.

A significativa relação observada entre a presença de áreas com vegetação e menores valores de TS evidenciou a condição de elevada impermeabilização e densidade construtiva do município, com poucas áreas verdes. Tanto na literatura quanto na presente análise da TS constata-se que este fator é determinante para a ocorrência de temperaturas superficiais reduzidas, e que sua ausência se associa a superfícies mais aquecidas, apontando para a importância da vegetação e seu papel regulador para a superfície, tanto na atenuação das temperaturas superficiais quanto na resiliência deste ambiente urbano (FERREIRA, 2019).

Barros e Lombardo (2016) também ressaltam a importância de áreas verdes nas cidades e pontuam que a predominância de ambientes sem vegetação juntamente com a abundância de concreto, pavimentação asfáltica e espaços ocupados por atividades industriais, comércios e serviços, além de implicar em maiores diferenças de TS, apresenta também maior intensidade das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), uma vez que a maior variabilidade de TS nos ambientes urbanos interfere nas temperaturas das camadas mais baixas da atmosfera, possibilitando a ocorrência das ICU (OKE et al., 2017), as quais afetam o conforto e a saúde dos indivíduos, tanto pelo estresse térmico quando pelos efeitos relacionados à qualidade do ar (AMORIM, 2010).

Estas considerações evidenciam, portanto, que a superfície da cidade, alterada pelos processos de urbanização e pela contínua ação antrópica, “influi de maneira tridimensional na interação que existe entre a estrutura urbana e a atmosfera” (LOMBARDO, 1985, p.77), e confere a este ambiente urbano condições climáticas diferentes de espaços abertos e menos urbanizados, resultando que cidades como Osasco apresentem condições que possibilitam a formação de um novo clima local pelas alterações na atmosfera próxima da superfície (AMORIM, 2017).

6. Conclusão

A estimativa da TS com o uso de imagens termais possibilitou a análise deste elemento do clima urbano no município de Osasco sob condições de verão e de inverno por meio da espacialização dos valores de TS, permitindo identificar onde ocorrem as superfícies com temperaturas elevadas ou reduzidas, e investigar estas ocorrências. Em conjunto com a análise do mapa de Uso e Ocupação do Solo do município de Osasco, observou-se a relação espacial existente entre as TS e o uso do solo no município, o que evidenciou a ocorrência de TS acima da média na Área Urbanizada em ambas as estações, e dos valores mais elevados de TS nas áreas de Indústria. Em contrapartida, as áreas vegetadas apresentaram os menores valores de TS, o que se evidenciou tanto na análise do uso e ocupação do solo, quanto do NDVI do município.

Desta forma, foi possível notar que a elevada impermeabilização, densidade construtiva, e baixo índice de vegetação da Área Urbanizada, categoria de uso do solo mais expressiva na área de estudo, consistem em condições que favorecem a ocorrência de TS elevadas, enquanto os bairros com maiores índices socioeconômicos apresentaram fatores como menor densidade construtiva, presença ou proximidade de áreas vegetadas e edifícios altos, que possibilitam menores valores de TS.

Tendo em vista as interações da superfície com as camadas mais baixas da atmosfera, a presente análise permitiu identificar importantes características do clima local, e evidenciou a importância da presença de vegetação para a ocorrência de TS reduzidas, fator que também implica em aspectos como a qualidade ambiental e de vida na cidade. O uso de imagens termais com maior resolução espacial, assim como abordagens que analisem séries históricas de imagens termais do município, poderiam contribuir para os estudos deste elemento do clima urbano em Osasco, e aprimorar seu entendimento e possibilidades de análise.

7. Referências Bibliográficas

ALBINO, D. O rural em Osasco. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/D.8.2014.tde-15012015-183421. Acesso em: 2020-07-06.

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. Mercator (Fortaleza. Online), v. 9, número especial, p. 71-90, dez. 2010.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de Calor Superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n.34, e.40959 2019 |doi:10.12957/geouerj.2019.40959 3. 2019a.

AMORIM, M. C. C. T. Nota de pesquisa: Métodos e Técnicas de Pesquisa em Climatologia Geográfica. Revista Geografia em Atos (Geoatos online), v. 03, n. 10, p. 255-260, jan-abr., 2019b.

AMORIM, M.C.C.T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. Revista Brasileira de Climatologia, p.225-247, Ano 13, Vol. 21, jul-dez. 2017.

AMORIM, M. C. C. T; DUBREUIL, V. As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 25 a 29 de outubro, UFG, Goiânia (GO), 2016.

AMORIM, M.C.C.T.; UGEDA JUNIOR, J.C. Os climas das cidades e as relações sociedade/natureza. Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege). p.252-278, V.12, n.19, jul-dez.2016.

ARIZA, A. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia, 2013. 46p.

BARBOSA, H. P; DBREUIL, V; AMORIM, M. C. C. T. Utilização de imagens do satélite Landsat 8 para a análise da emissividade e da temperatura de superfície da aglomeração urbana de Rennes (França). Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 28 a 31 de maio de 2018. INPE, Santos, SP, Brasil. ISBN: 978-85-17-00088-1

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

BIAS, E. S; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e IKONOS. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1741 – 1748.

BRITO, C. R. Contribuição ao estudo do poder local em Osasco: um estudo geográfico-político. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/T.8.2010.tde-28052010-111052.

CUNHA, A. S. Migração, território, urbanização, crescimento populacional e mobilidade na região metropolitana de São Paulo. XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, São Pedro/SP, 24 a 28 de novembro, 2014. 48p.

FEITOSA, S. et al. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí. Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, São Paulo, v.6, n.2, p.58-75, 2011.

FERREIRA, L. S. Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. 2019. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – FAU-USP, São Paulo, 2019. doi:10.11606/T.16.2019.tde-02102019-173844. Acesso em: 2020-07-06.

FUSP - Fundação de Apoio a Universidade de São Paulo. Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Sumário Executivo. São Paulo: CBH-AT, 2009.

GALINDO, A. S. Eficiência energética de telhados no Brasil. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2014. 135p.

IGC. Instituto Geográfico Cartográfico. Municípios do Estado de São Paulo - Criação e Divisas. Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo, IGC-SP, 1995. 825p.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

LUCENA, A. J. Uma análise de técnicas nos estudos de clima urbano para a região metropolitana do Rio de Janeiro. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 34, e,40954, 2019 | doi:10.12957/geouerj.2019.40954.

MARTINELLI, M. Clima do Estado de São Paulo. Confins [Online], 8 | 2010. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.6348>

MITRAKA, Z.; CHRYSOULAKIS, N. Earth observation for urban climate monitoring: surface cover and land surface temperature. Multi-Purposeful Application of Geospatial Data. 9:125 (dx.doi.org/10.5772/interchopen.71986) 2018. pp 125-145

MONTEIRO, C. A. de F. O Estudo Geográfico do Clima. Cadernos Geográficos - UFSC, n. 1, 1999. 73p.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p.

MORATO, R. G. Avaliação da qualidade de vida urbana no município de Osasco/SP utilizando geoprocessamento. Revista Geografia e Pesquisa, v.2, n.1, p.139-155, jan-jun, 2008

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M.C.C.T. A Ilha de Calor em Penápolis/SP em episódio de inverno. XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 25 a 29 de outubro, UFG, Goiânia (GO), 2016.

NOBRE, C. A. et al. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. INPE; UNICAMP; USP; IPT; UNESP - Rio Claro, jun. 2010.

NAUGHTON, J.; MCDONALD, W. Evaluating the Variability of Urban Land Surface Temperatures Using Drone Observations. MDPI, Remote Sensing, 11, 1722, 2019. doi:10.3390/rs11141722

NETELER, M.; MITASOVA, H. Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Springer Science & Business Media, 2007. 406p.

NICHOL, J. E. A GIS-Based Approach to Microclimate Monitoring in Singapore's High-Rise Housing Estates. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v.60, n.10, 1994. p. 1225-1232.

OKE, T.R; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J.A. Urban Climates. United Kingdom: Cambridge University Press, 2017. 525p.

PIRES, E. G; FERREIRA JÚNIOR, L. G. F. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7421-7428. <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JJLLP2>>.

PIMENTEL, F; FERREIRA, C. Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora – MG. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 15, Vol. 24, jan-jun, p.49-66, 2019.

PIVETTA, M.; RAMOS, L. Da garoa à tempestade: temporais se tornam mais frequentes e chuva aumenta 30% em São Paulo em 80 anos. Pesquisa Fapesp, n. 194, p. 40-45, 2012.

PMO – Prefeitura do Município de Osasco. Plano Municipal de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de Osasco-SP. Secretaria de Planejamento e Gestão. 117p. 2016.

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.2, p.230-236, mar/abr. 2011.

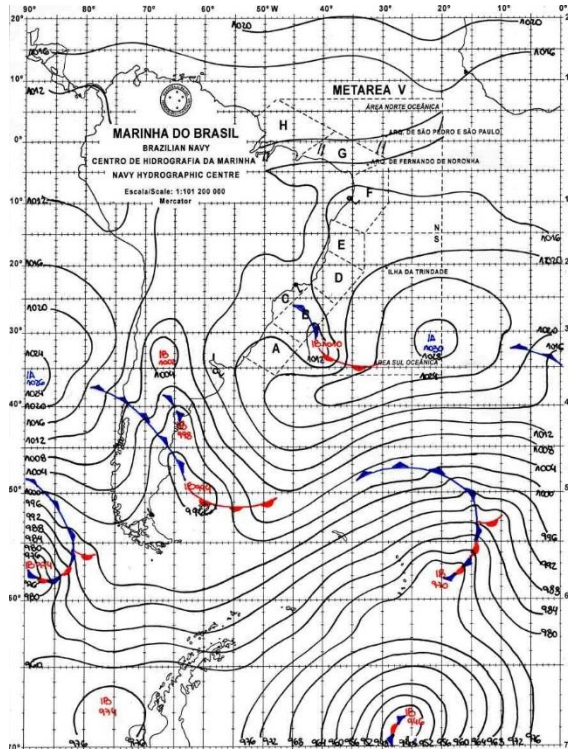
STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em planaltina-DF. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 6, Vol. 6, p.37-56, 2010.

TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R.. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. GeoUSP, Coleção Novos Caminhos, 4, 2001. 199p.

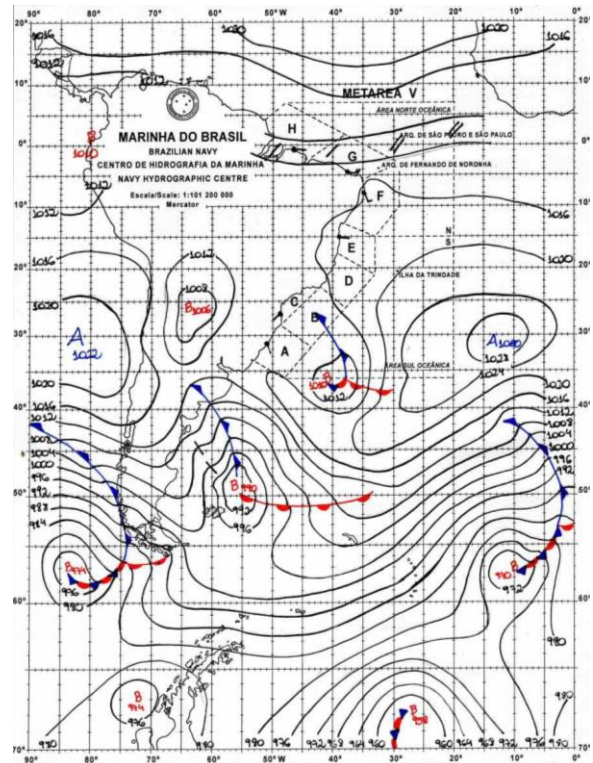
UGEDA JUNIOR, J. C; AMORIM, M.C.C.T. Reflexões acerca do Sistema Clima Urbano e sua aplicabilidade: Pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. Revista do Departamento de Geografia, Volume Especial, 160-173, 2016.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Complete urban surface temperatures. Journal of Applied Meteorology, v.36. September 1997. 1117-1132.

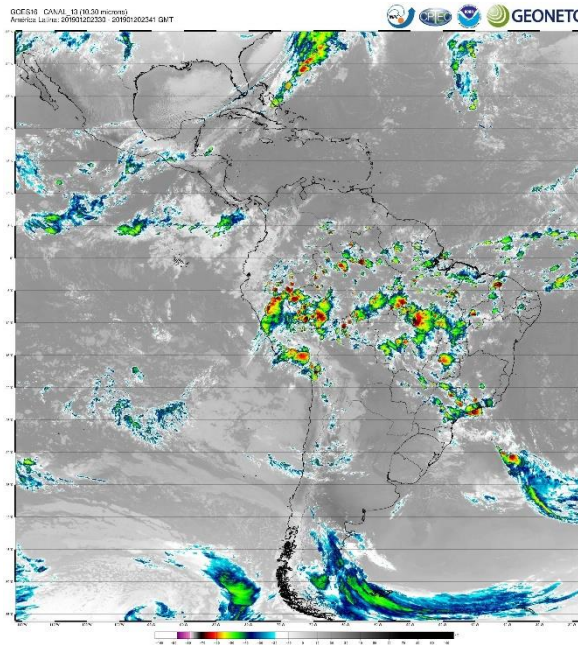
**ANEXO A – Cartas sinópticas e imagens do satélite GOES correspondentes ao dia
21/01/2019**



Carta sinóptica – dia 21/01/19 – 00:00 GMT
/ 20/01/19 21:00 BRT



Carta sinóptica – dia 21/01/19 – 12:00 GMT
/ 9:00 BRT



Noite anterior (20/01/19), Imagem Satélite
GOES (INPE) 23:41 GMT / 20:41 BRT

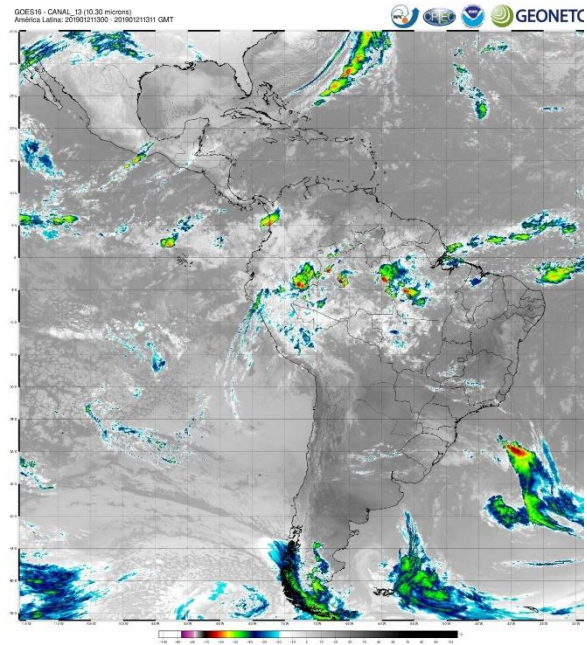
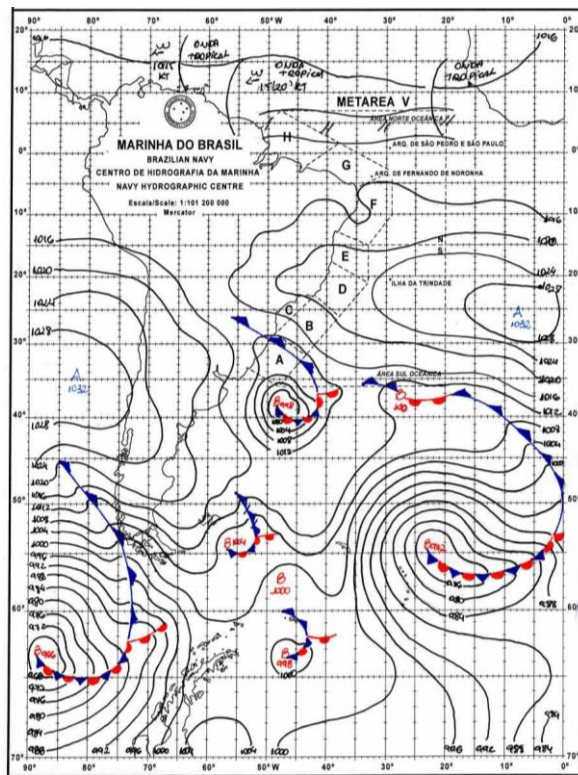


Imagem Satélite GOES (INPE) - 21/01/19
13:00 GMT / 10:00 BRT

**ANEXO B – Carta sinóptica e imagem do satélite GOES correspondentes ao dia
30/06/2019**



Carta sinóptica – dia 30/06/19 – 12:00 GMT
/ 9:00 BRT

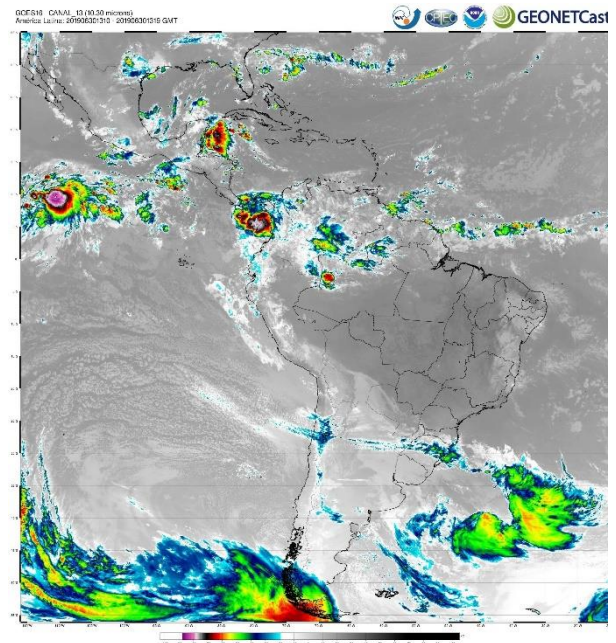


Imagem Satélite GOES (INPE) - 30/06/19
13:10 GMT / 10:10 BRT