

ANNUAL SURFACE TEMPERATURE VARIABILITY WITH THERMAL IMAGES FROM LANDSAT 8: A CASE STUDY FROM THE BOA VIAGEM NEIGHBORHOOD, RECIFE - PE

Gabriel Antonio Silva Soares*, Alessandra de Santana Lima* Camila Gardenea de Almeida Bandim*,
Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros*, Josicléda Domiciano Galvêncio**

*Graduandos do curso de Licenciatura em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; (alessandra.santanal@ufpe.br; camila.bandim@ufpe.br; gabriel.antonios@ufpe.br; juliana.guedesbarros@ufpe.br) ** Professora Associada do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. Recife/PE - Brasil; (josicleda.galvencio@ufpe.br)

Received 02 November 2021; accepted 28, March 2022

ABSTRACT

The microclimate is drastically affected by the impact of urban growth, especially in large urban areas where anthropogenic action has an impact on the climate on a regional scale. The surface temperature is one of the main climatic contributors regarding the change in the response of the targets in the surface, which imply changes in the radiation balance and consecutively in the spectral response felt by the satellites. The increase in temperature, characteristic of urban surfaces, can be analyzed using the thermal infrared band of satellites, which allow the estimation of surface temperature values. The objective of the research was to compare the surface temperature results obtained with the processing of the thermal infrared bands (TIR - Thermal InfraRed) of the Landsat 8 satellite, with images of all months of the year except those with cloud coverage that makes processing impossible; relating the surface temperature values obtained and the climatic variability of the Boa Viagem neighborhood. Boa Viagem, as a neighborhood of great urban density and high economic interest, surface temperature studies, especially those based on Landsat 8 thermal images, provide an important parameter for understanding the neighborhood's microclimate and the vectors of its changes. The surface temperature in Boa Viagem showed to vary and spatialize differently according to the month and season of the year, with the characteristics of the artificial relief presented as the main influence on the microclimate. The study of TS associated with analyzes of land use and climate change at the regional level can enrich and support very important discussions on anthropic impacts and the horizontal and vertical growth of cities. Mainly, in view of the growing prospects of urban sprawl.

Keywords: remote sensing, urban climate, TS.

VARIABILIDADE ANUAL DE TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE COM IMAGENS TERMAIS DO LANDSAT 8: UM ESTUDO DE CASO DO BAIRRO DE BOA VIAGEM, RECIFE – PE

RESUMO

O microclima é drasticamente afetado pelo impacto do crescimento urbano, especialmente em grandes aglomerados urbanos onde a ação antropogênica tem impacto sobre o clima em escala local. A temperatura de superfície é um dos principais contribuintes climáticos no que tange a mudança na resposta dos alvos em superfície, que implicam em alterações ao balanço de radiação e consecutivamente na resposta espectral sentida pelos satélites. O aumento de temperatura, característico das superfícies urbanas, pode ser analisada por meio da banda do infravermelho termal dos satélites nas quais imageam essa faixa, que permite estimar valores de temperatura da superfície. O objetivo da pesquisa foi comparar os resultados de temperatura de superfície obtidos com o processamento das bandas de infravermelho Termal (TIR - Thermal InfraRed) do satélite Landsat 8, das imagens de todos os meses do ano exceto os com cobertura de nuvem que se impossibilita o processamento; relacionando os valores de temperatura superficial obtidos e a variabilidade climática do bairro de Boa Viagem. Boa Viagem por ser um bairro de grande adensamento urbano e alto interesse econômico, os estudos de temperatura da superfície, sobretudo os embasados em imagens termais do Landsat 8, fornecem importante parâmetro para o entendimento do microclima do bairro e os vetores de suas alterações. A temperatura de superfície em Boa Viagem mostrou-se variar e se espacializar diferentemente de acordo com o mês e estação do ano, tendo as características do relevo artificial se apresentado como principal influência sobre o microclima. O estudo da TS se associado a análises de uso do solo

e mudanças climáticas a nível regional pode enriquecer e fundamentar discussões muito importantes sobre os impactos antrópicos e o crescimento horizontal e vertical das cidades. Principalmente, tendo em vista as perspectivas de crescente de expansão urbana.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, clima urbano, Temperatura de Superfície.

Introdução

As diferentes formas de uso e ocupação dos espaços urbanos decorrentes do processo contínuo de urbanização das metrópoles, impactam diretamente no microclima urbano, modificando seus padrões naturais e influenciando diretamente na dinâmica climática local. O processo de transformação do espaço geográfico, inerente à expansão urbana das grandes cidades, ocasiona uma intensa alteração dos elementos naturais das paisagens, que são substituídos por materiais artificiais, influenciando diretamente os padrões climáticos em uma determinada localidade. Os impactos destas alterações na dinâmica climática natural podem ser observados através do desconforto térmico gerado pelas perturbações nos padrões de temperatura, que podem ocasionar severos prejuízos econômicos e à saúde da população; e da degradação do meio ambiente, expressa na perda da biodiversidade para o assentamento de construções humanas (Amorim, 2005; Moreira e Galvínio, 2007; Oliveira et al., 2013).

Para compreender como se dá a relação entre os elementos que compõem o clima urbano, é necessário que sejam avaliadas as transformações nos parâmetros que compõem o balanço de radiação, onde estão expressos os impactos da ação antrópica na dinâmica climática urbana. A variação da temperatura da superfície, sobretudo em áreas fortemente urbanizadas, se trata de um dado de extrema importância para o estudo do clima em áreas urbanas, tendo em vista que evidencia o impacto das modificações do espaço natural nos padrões climáticos em diferentes escalas, que podem variar do local ao global (Hendges et al. 2020).

A concentração de grandes índices de calor em áreas urbanas dá origem a um fenômeno denominado ilha de calor, que se caracteriza pela absorção e retenção de calor advindo da energia solar na superfície, em decorrência das propriedades dos materiais utilizados na antropização do espaço. O uso e ocupação do solo, bem como o modo de vida da sociedade em áreas urbanas, contribui diretamente para o estabelecimento de ilhas de calor, através de atividades recorrentes nestas áreas, tais como a retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo, e a emissão de gases poluentes, que intensificam o processo de retenção do calor e dificultam a circulação natural dos ventos, o que acaba por originar este fenômeno (Oliveira et al., 2013).

Como ferramenta para analisar a dinâmica climática podem ser utilizados os produtos do

sensoriamento remoto, que segundo Jensen (2009), podem fornecer informações sobre as características da temperatura da superfície em decorrência da capacidade de captar a energia emitida pelo calor retido em um alvo na superfície, evidenciando a quantidade de calor que pode ser retida e refletida por um determinado elemento, figurando uma informação de extrema importância para o estudo do clima urbano e a compreensão das relações estabelecidas entre a superfície e a atmosfera. Coelho e Correia (2013), apresenta o produto do Landsat 8 como eficiente para a contribuição nas pesquisas relacionadas ao clima urbano e regional, destacando que seus resultados podem subsidiar ainda a elaboração de diretrizes e planos de ação governamental na mitigação dos problemas decorrentes destes fenômenos climáticos.

Frente ao processo intenso e contínuo de urbanização que vem ocorrendo na cidade do Recife ao longo das últimas décadas, diversos estudos vem sendo desenvolvidos sobre os fenômenos de ilhas de calor, dentre os quais podem ser destacados os trabalhos de Nova et al. (2020) que desenvolveram uma análise temporal das ilhas de calor no Recife a partir da temperatura de superfície e dos índices de vegetação; Oliveira et al. (2013) que atentaram para analisar a partir do sensoriamento remoto os impactos do uso do solo na temperatura de superfície; Moreira e Nóbrega (2011) que utilizaram uma série de imagens do Landsat 5 para analisar o fenômeno entre os anos de 1984 e 2007; e Moreira e Galvínio. (2007) que obtiveram a partir do uso de imagens do Landsat 7, resultados sobre os parâmetros de temperatura em uma área do Recife. Todos estes trabalhos comprovam a eficácia do uso dos produtos oriundos do sensoriamento remoto na caracterização dos fenômenos de ilha de calor, e do consequente estudo da temperatura da superfície.

Diante do panorama apresentado, o presente trabalho tem como objetivo verificar a variabilidade da temperatura da superfície no bairro de Boa Viagem no ano de 2019, onde o processo de urbanização é intenso, contínuo e o fenômeno das ilhas de calor é recorrente. Para esta caracterização foram utilizados dados provenientes do satélite Landsat 8, a partir dos quais será analisada a variabilidade anual da temperatura da superfície local.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O bairro de Boa Viagem, objeto de estudo da pesquisa, está localizado na zona sul da cidade do Recife (figura 1). O bairro possui aproximadamente 8km de extensão territorial nos quais residem 122.922 habitantes de acordo com o Censo (IBGE, 2010).

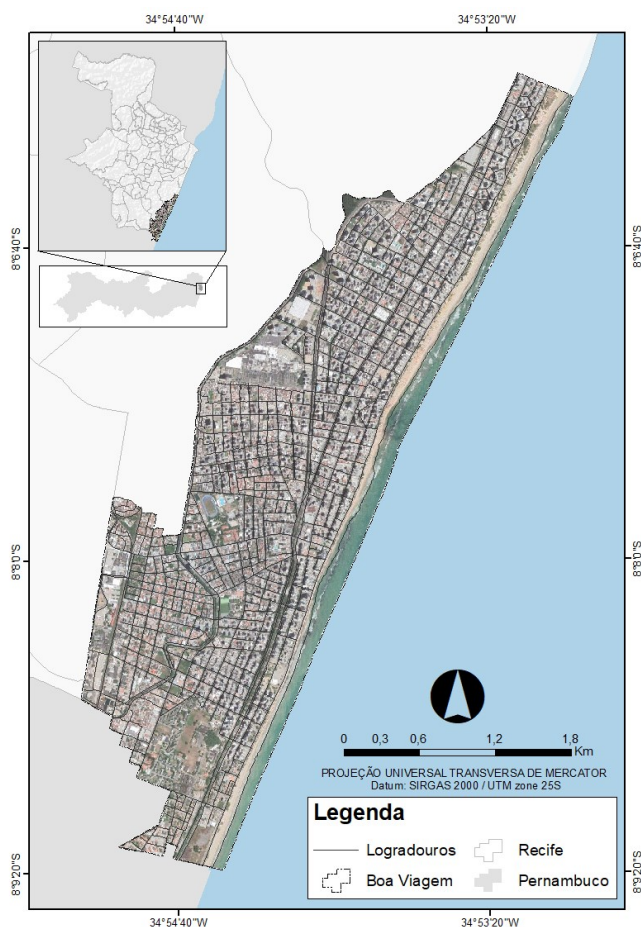


Figura 1: Localização da área de estudo. Em destaque o Bairro de Boa Viagem.

A cidade está localizada sobre uma planície flúvio-marinha, dessa forma as áreas mais próximas da costa possuem topografia plana de baixa altitude. No passado, o bairro de Boa Viagem apresentou uma diversidade ambiental e geomorfológica bem diferente da atual, no entanto o crescimento populacional e aumento da especulação imobiliária culminaram na redução da biodiversidade e modificações da configuração original da área.

De acordo com a classificação climática de Köppen o clima do Recife é As', isto é, clima tropical, quente-úmido com ocorrência de chuvas de outono-inverno. Há influência de diversos fatores que atuam sobre o clima local da cidade, como a impermeabilização do solo e verticalização, o que configura um microclima específico de temperaturas elevadas em diferentes áreas

a depender do uso do solo na região. A nível regional o estado recebe influência de alguns sistemas atmosféricos influentes sobre a dinâmica de chuvas na região. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Alto Nível (VCAN), Ondas de Leste (OL) e Brisas, sejam elas marítimas ou terrestres, são condicionantes do clima de Recife e consecutivamente do bairro de Boa Viagem (Ferreira e da Silva Mello, 2005).

Procedimentos metodológicos

Os dados utilizados no estudo são imagens do satélite Landsat 8 obtidas através da plataforma Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Foram adquiridas imagens de todos os meses do ano em que a cobertura de nuvens sobre Boa Viagem não apresentasse significância sob a obtenção de resultados, os meses de fevereiro, março, abril, junho e agosto continham cobertura de nuvem que impossibilitaria o processamento, desse modo não há dados de temperatura de superfície para eles. As imagens utilizadas para obtenção de temperatura da superfície correspondem aos dias 18/01/2019, 07/03/2019, 26/05/2019, 17/10/2019, 02/11/2019, 04/12/2019 na órbita/ponto 214/65 e 29/07/2019, 15/09/2019 na órbita/ponto 214/66; o horário de passagem do satélite sobre o bairro, para todas as imagens, ocorreu entre 12h28min e 12h29min.

Para estimar a temperatura de superfície das imagens foi utilizada a banda de infravermelho termal, correspondente a banda 10, que compreende a faixa entre 10,6 μm e 11,19 μm , do sensor TIRS, acoplado ao satélite Landsat 8. Foi adotada a metodologia do SEBAL para a obtenção da temperatura da superfície, proposta por Bastiaanssen (1995), foi utilizada para a obtenção de valores de temperatura de superfície com correção atmosférica, visando a garantia da acurácia dos resultados acerca da temperatura.

A primeira etapa para a obtenção da temperatura de superfície a partir da metodologia do SEBAL, consistiu no pré-processamento das imagens do Landsat 8 para o bairro de Boa Viagem. Foram realizados os seguintes processos: empilhamento das bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e a banda termal 10, do sensor OLI; a reprojeção das imagens para o hemisfério sul; e por fim o recorte da área de estudo das imagens.

Posterior ao pré-processamento das imagens, a reflectância das imagens foi obtida, objetivando estimar a relação entre o fluxo de radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente, a partir da seguinte equação:

$$rb = \frac{Addrefb + MultrefbNDb}{\cos Zdr} \quad (1)$$

Onde, “Add” é o fator aditivo de reescalonamento para cada banda, “Mult” corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda, “ND” representa os valores de número digital da imagem, “Z” é o ângulo zenital solar, e o “dr” a distância Terra-Sol em dado dia do ano.

Em seguida, foram calculados os índices de vegetação: SAVI e IAF. O SAVI, Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, foi obtido através da equação 3; enquanto o IAF, Índice de Área Foliar a partir da equação 4, dispostas a seguir:

$$SAVI = \frac{(1+L)(IVP-V)}{(L+IVP+V)} \quad (3)$$

Onde “L” corresponde a um fator de correção, adotando-se o valor de 0,1; “IVP” representa o infravermelho próximo; e “V” remete ao vermelho.

$$IAF = \frac{((0,69 - SAVI/0,59))}{0,91} \quad (4)$$

Calculado a partir de uma equação empírica, desenvolvida por Allen et al. (2002), utilizando o SAVI para estimar a relação entre a soma das áreas de todas as folhas dentro do pixel, pela área do pixel.

Seguindo a obtenção dos índices de vegetação, foi calculada a emissividade da superfície, utilizando o IAF. O parâmetro foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\varepsilon NB = 0,97 + 0,00331.IAF \quad (5)$$

Para finalmente se calcular a temperatura da superfície, calculando-se inicialmente a radiância da banda termal, utilizando a seguinte equação:

$$Lb = Addradb + Multradb.NDb \quad (6)$$

Utilizando a equação abaixo para calcular a temperatura da superfície:

$$Ts = \frac{K2}{(\varepsilon nb K1/L\lambda, 10+1)} \quad (7)$$

Onde “Ts” representa Temperatura da Superfície em Kelvin; “K1” corresponde a Constante de Calibração da Banda 10 (774.8853); “K2” também remete a Constante de Calibração da Banda 10; $L\lambda, 10$ é igual Radiância Espectral da Banda Termal do Landsat 8/TIRS; e εNB corresponde a Emissividade.

As características físicas e climáticas adotadas para fins de análise dos resultantes do sensoriamento e do clima urbano, próprio das cidades, são a espacialização das temperaturas, densidade urbana, morfologia urbana e reverberações sobre o clima local, e a resposta dos alvos em superfície quanto a temperatura.

Resultados e discussão

O fluxo de energia entre superfície e atmosfera afeta a temperatura. No que tange às interações entre radiação solar e superfície pode-se destacar que a heterogeneidade da paisagem urbana implica em valores de temperatura elevados e múltiplos a depender dos fatores climáticos e físicos a que estão dispostas estas superfícies. Os valores de temperatura da superfície obtidos com a metodologia empregada corroboram (figuras 2, 3, 4 e 5) com estudos específicos de Temperatura da superfície (TS) realizados em Recife (Moreira e Galvêncio, 2007; Moreira, 2009; Oliveira, 2012) e demais literaturas sobre o tema. Por exemplo, Moreira (2009) utilizando imagem do sensor TM do Landsat 5 para o ano de 2007 obteve temperatura da superfície de 33,1°C, o autor discute que sobre o Shopping Center Recife, localizado no bairro de Boa Viagem, as temperaturas de superfície registram valores máximos, com formação de ilha de calor no estacionamento do shopping

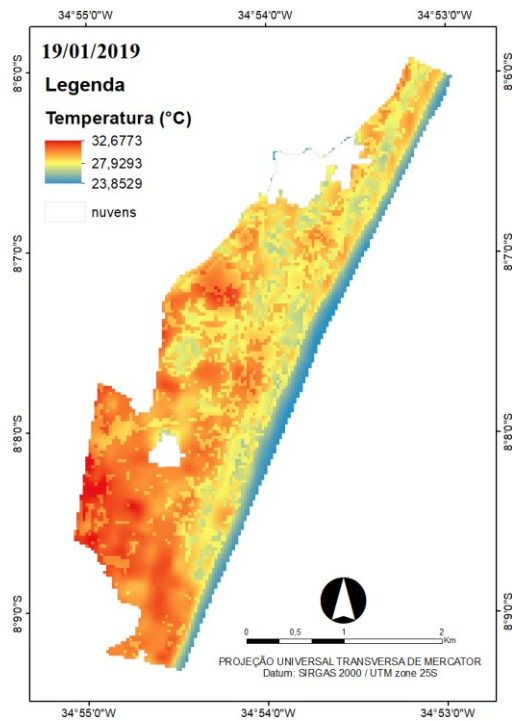


Figura 2: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de janeiro.

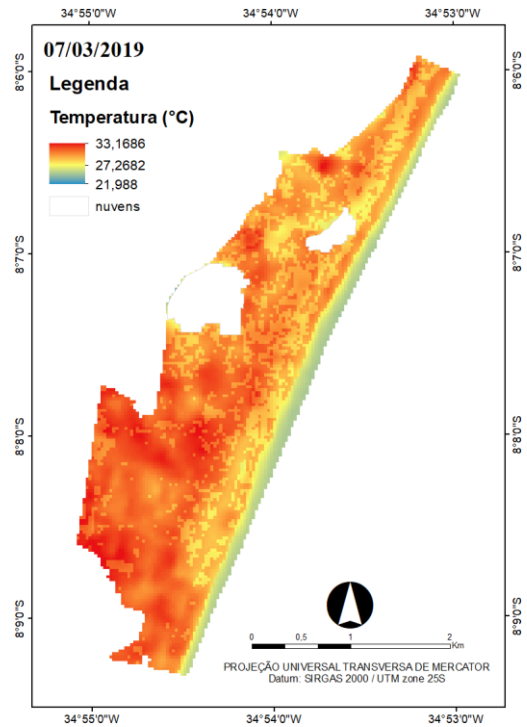


Figura 3: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de março.

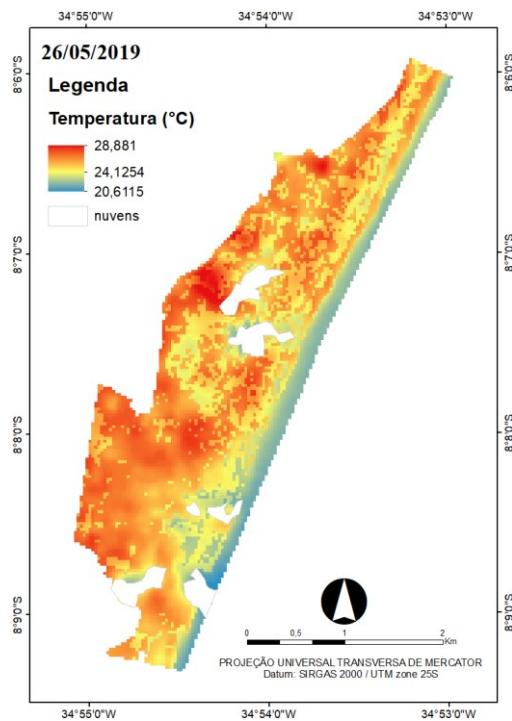


Figura 4: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de maio.

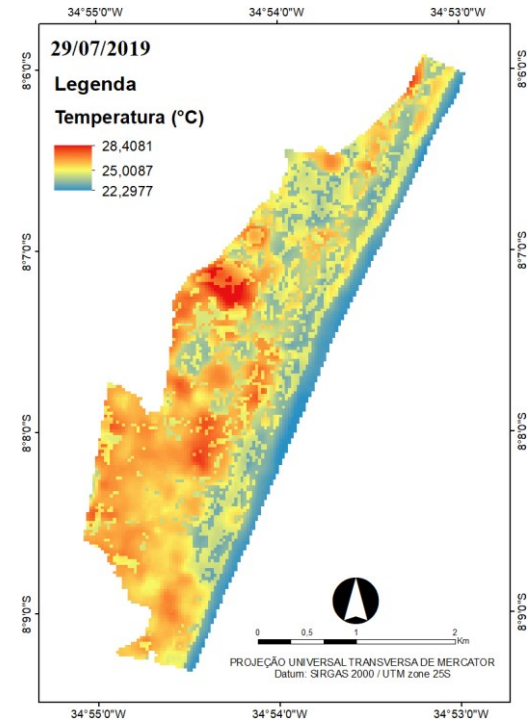


Figura 5: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de julho.

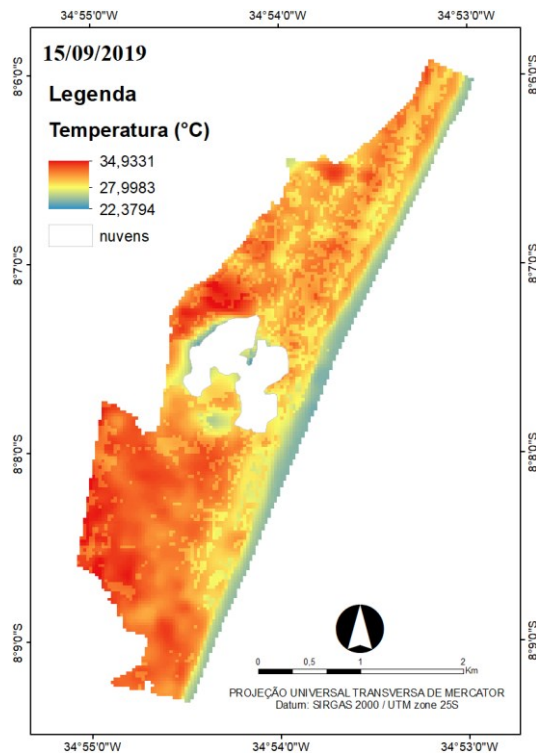


Figura 6: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de setembro.

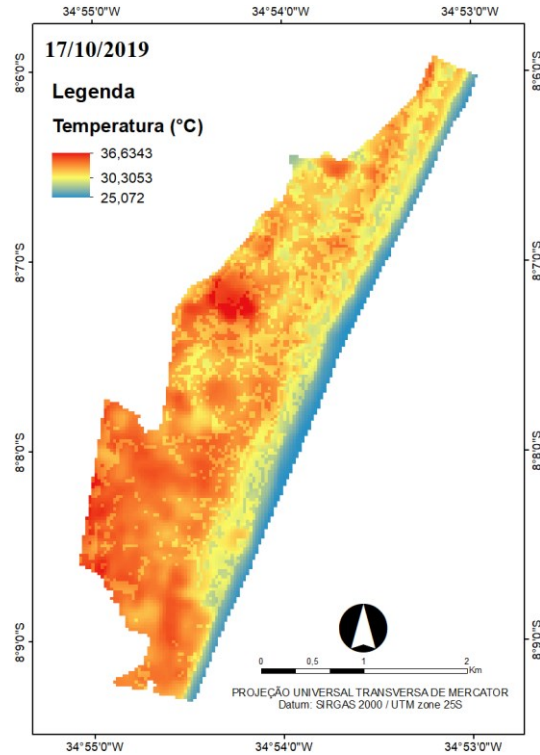


Figura 7: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de outubro.

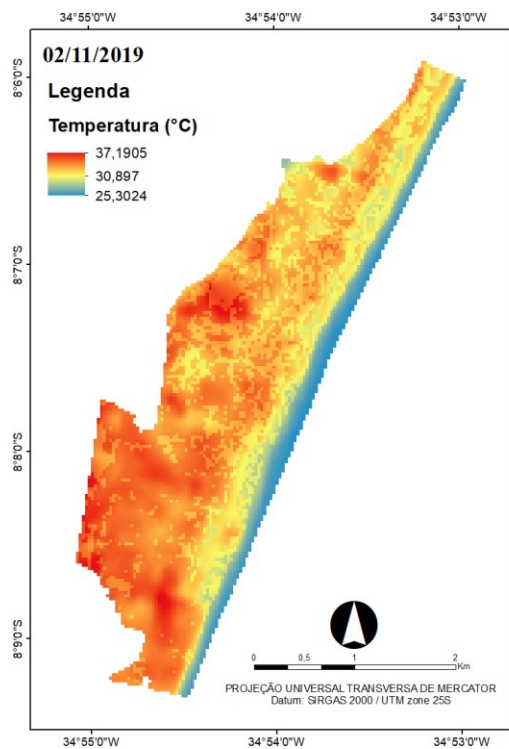


Figura 8: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de novembro.

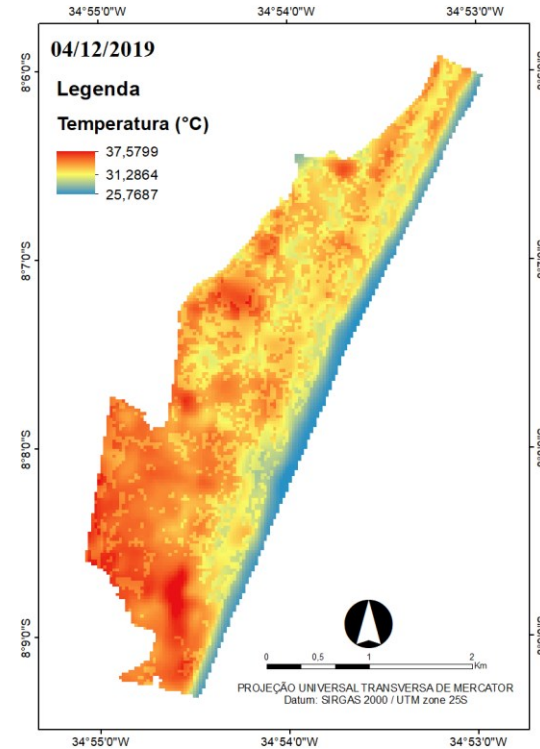


Figura 9: Temperatura da superfície obtida a partir do processamento da banda TIR (Banda 10) do satélite Landsat. Imagem referente a temperatura da superfície do mês de dezembro.

A imagem do mês de **janeiro** (figura 02) possui temperatura da superfície variando entre 32,7°C e 23,9°C. As temperaturas elevadas e intermediárias possuem maior espacialização ao longo do bairro, estão presentes sobre regiões com semelhanças no padrão de uso e ocupação do solo e resposta térmica dos alvos em superfície. A sul e Sudoeste da imagem estão as maiores manchas de alta temperatura da superfície, variantes entre 28°C a 32,7°C, localizadas sobre a Estação Aeroporto, galpões circunvizinhos e superfícies impermeáveis, que conjuntamente possuem propriedades caloríficas tendenciosas ao aumento de temperatura superficial (AMORIM, 2005). Cabe destacar que no extremo Sul da imagem, próximo da faixa litorânea, há presença de temperaturas elevadas que se comportam como um corredor aquecido, localizadas sobre as áreas que compreendem o Segundo Comando Aéreo Regional (IICOMAR), uma pequena área residencial e um terreno com solo exposto e pavimento impermeável no limiar entre as Avenidas Boa Viagem e Av. Beira Mar (figura 10). A temperatura de superfície atinge valores elevados decorrente da diminuição da área vegetada e aumento de pavimento, alterando o balanço de radiação natural sobre a região que finda altas temperaturas superficiais. E mais, a região que se estende na traseira dos edifícios mais próximos ao mar tem temperatura acentuada pelo barramento do fluxo de vento promovido pelo cinturão de prédios presente na faixa litorânea de Boa Viagem, característica discutida por Nóbrega e Bakker Vital (2010) na avaliação de ilhas de calor em Recife. Sobre os efeitos da verticalização e barramento dos ventos na orla de Boa Viagem Moreira *et al* (2007) concluíram que as edificações se comportam como barreira orográfica para o vento impedindo a penetração dos ventos oceânicos, o que aliado a diminuição da área vegetada finda o registro de altas temperaturas na área a sotavento.

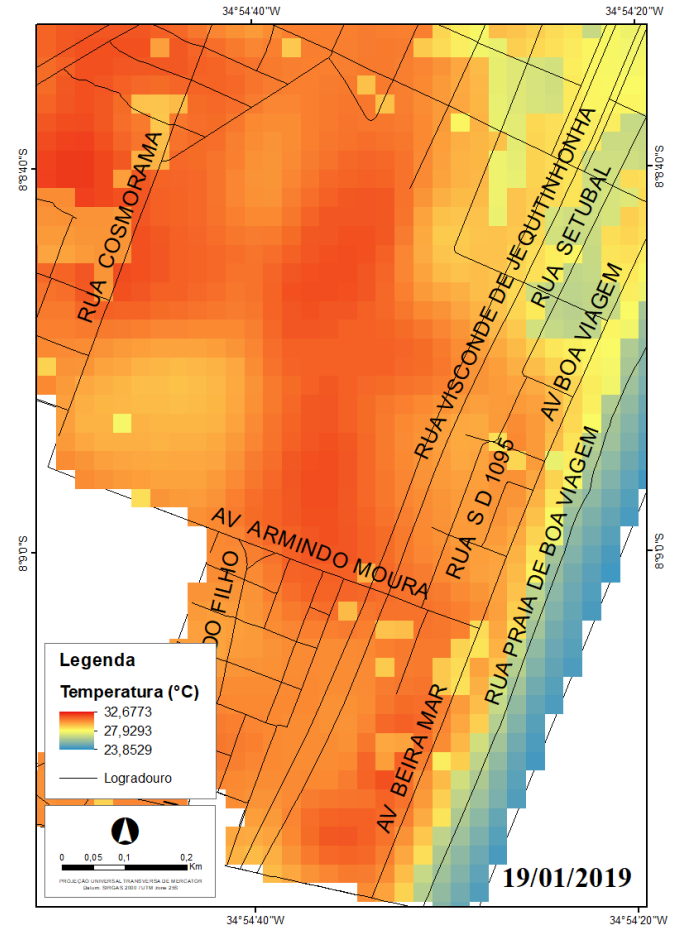


Figura 10: recorte da imagem de temperatura da superfície do mês de janeiro. Destaque para o Segundo Comando Aéreo Regional (IICOMAR), uma pequena área residencial e um terreno com solo exposto e pavimento impermeável no limiar entre as Avenidas Boa Viagem e Av. Beira Mar

As temperaturas amenas estão limitadas à extensão da faixa de praia, a noroeste da imagem e a pequenas manchas circundadas por temperaturas mais elevadas a Sudoeste e noroeste. Notoriamente o modo de uso do solo urbano apresenta influência direta sobre o padrão de distribuição das temperaturas em Boa Viagem, padrão já muito discutido por estudos realizados no bairro e cidade do Recife.

A região oeste, que engloba o Parque Santos Dumont, Avenida Desembargador José Neves e Rua Rio Azul possui uma mancha com menores temperaturas, a diminuição da TS na região é fruto da presença de área vegetada, que modifica o fluxo de calor da superfície. Bem como pode ser percebido nos limites do bairro, a Norte, em que a amenidade na temperatura de superfície deve-se a influência do Parque dos Manguezais, área de proteção ambiental densamente vegetada e cortada pelo rio Capibaribe.

A presença de amenidades de temperatura da superfície é percebida também ao longo das Avenidas Boa Viagem e Visconde de Jequitinhonha. A Avenida Visconde de Jequitinhonha possui arborização de porte alto e médio em toda sua extensão ao longo do canal, culminando na diminuição de temperatura da superfície. Enquanto a Avenida Boa Viagem recebe ventos e brisas advindos do oceano, diminuindo assim a temperatura da superfície pela permissibilidade de perda de calor por resfriamento advectivo (figura 11).

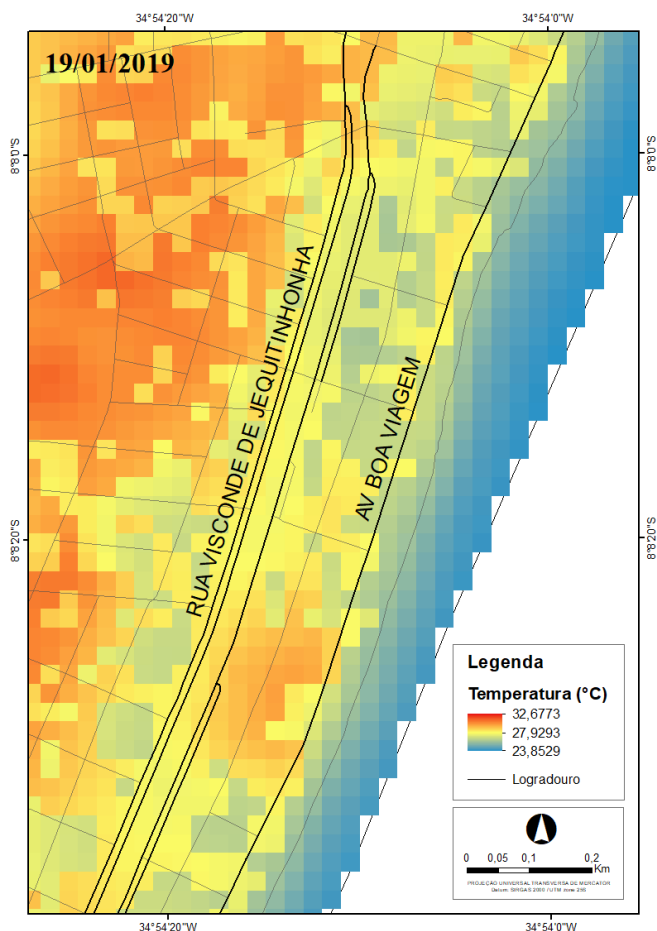


Figura 11: recorte da imagem de temperatura da superfície do mês de janeiro. Destaque para Avenida Visconde de Jequitinhonha e Avenida Boa Viagem.

A imagem do mês de **março** (figura 03) possui temperatura da superfície variando entre 33°C até 22°C. Março possui maior espacialização das altas temperaturas de superfície, com menor presença de temperaturas amenas, exceto na Avenida Boa Viagem, em que a características de perda de calor por resfriamento advectivo se mantém ao longo dos meses que se seguem, de acordo com as características anuais de variabilidade da temperatura de superfície.

As altas e médias temperaturas identificadas no mês de **janeiro** (figura 02) a Sul e Sudoeste expandem-

se para Norte e sobre as áreas de amenidade da temperatura de superfície anteriormente identificadas. Até mesmo a região a Norte no limite entre Boa Viagem e o Parque dos Manguezais, que em janeiro apresentava temperaturas superficiais diminutas, foi retraída e encontra-se com temperaturas superficiais acima de 28°C aproximadamente, diferença de 2°C se comparada com o mês de janeiro.

No que se refere às regiões de amenidade de temperatura da superfície, é perceptível a retração dessas, mesmo sobre áreas com presença de arborização ou corpos hídricos próximos, como já citadas anteriormente na avaliação do resultado de TS para o mês de janeiro.

A imagem referente ao mês de **maio** (figura 04) possui temperatura da superfície variando entre 28,8°C até 21,6°C. Há uma expansão visível das temperaturas amenas quando comparada aos meses de janeiro e março, diminuição essa, deve-se ao clima característico da cidade do Recife, Tropical úmido de classificação AS'. O período entre abril e agosto, outono-inverno, é caracterizado pela maior concentração de chuvas e diminuição das temperaturas, consequentemente as temperaturas de superfície são amenizadas por influência dos sistemas meteorológicos que atuam durante o período.

As temperaturas superficiais elevadas presentes na imagem - localizadas a oeste-noroeste, no extremo Norte, e sudoeste - correspondem a características homogêneas de uso do solo urbano, com forte impermeabilização do solo e de adensamento construtivo, típico do bairro em questão. Há uma correlação direta entre os parâmetros urbanísticos e a resposta de temperatura dos alvos em superfície, a resposta térmica ratifica a relação amplamente discutida entre o modo de uso do solo urbano e os resultantes de temperatura superficial elevada, como bem analisa Torres (2017) as interferências do meio edificado como o tamanho das edificações, orientações das construções, densidades da área construída e padrões gerais de uso do solo influem diretamente sobre o registro de temperatura das áreas urbanas. No limite entre o bairro de Boa Viagem e o Parque dos Manguezais, os efeitos da evapotranspiração do mangue não são suficientes para amenizar a alta temperatura de superfície; bem como a Norte da imagem, próximo a faixa de praia, os ventos e brisas marítimas não são suficientes para diminuir os efeitos da urbanização e propriedades térmicas dos materiais sobre o clima local devido ao barramento dos ventos pelo cinturão de prédios ao longo da Avenida Boa Viagem.

As menores temperaturas variam entre 24°C e 21°C. Possuem especialização predominante na faixa de

praia. O vetor da menor temperatura da superfície na Avenida Boa Viagem, já explanado, deve-se a perda de calor por resfriamento advectivo, decorrente dos ventos oceânicos e brisas que chegam ao litoral. A Sudeste, maior área de espacialização de temperaturas superficiais amenas, os menores valores devem-se aos ventos que conseguem adentrar o continente e perpassar a morfologia urbana, a diminuição das alturas das construções somada a presença de resquícios de vegetação permite a circulação e justifica a diminuição de temperatura da superfície, morfologia urbana descrita por Nóbrega et al (2010) como cânions urbanos, característicos da cidade Recife.

A imagem correspondente ao mês de **julho** (figura 05) apresenta variação de temperatura da superfície entre 22 °C e 28°C. A concentração dos níveis mais elevados de temperatura se encontra na parte centro-oeste da imagem, pertencendo ao complexo do shopping Recife. Nas direções sul e sudoeste da imagem pode-se observar uma considerável área aquecida com valores intermediários e altos, a localização deste espaço refere-se ao trecho nas proximidades da estação do metrô Aeroporto, que possui alto adensamento construtivo, vastas superfícies impermeáveis e construções. As menores temperaturas encontram-se em maioria na faixa litorânea, além disso deve-se destacar a região a noroeste próximo à fronteira com o Parque dos manguezais, em que houve expansão da área de baixa temperatura entre nos limites entre o bairro de Boa Viagem e o mangue. E mais, a imagem de TS do mês em questão possui espacialidade maior de temperaturas menos elevadas, que estão presentes, tanto nos sentidos sul, quanto a norte, onde possui maior predominância, junto a pontos de temperaturas intermediárias, produzindo um panorama distinto.

O resultado para o mês de **julho** (figura 05) exibe uma distribuição espacial bastante diferenciada das demais imagens, pois mostra que as temperaturas na área do bairro de Boa Viagem neste mês exibem padrões mais amenos, apresentando grande quantidade de espaços com temperaturas de superfície significativamente baixas e com ampla cobertura em relação aos valores antes encontrados nas imagens analisadas neste estudo. O motivo desse cenário diferenciado pode estar relacionado à estação chuvosa. Com o maior índice de nebulosidade, temperaturas do ar menores e as frequentes chuvas nesse período, o que pode influenciar a absorção da radiação e resultar em TS baixas em boa parte do espaço estudado. Da Silva Neto e Aleixo (2013) verificaram que dentre as estações do ano as áreas são instáveis em relação às TS, ou seja, dependendo da época pode haver deslocamento dos pontos de temperatura, contudo há marcas fixas que

sofrem amenização ou intensificação de temperatura, principalmente em locais com adensamento construído. Os autores destacam ainda que os índices mais amenos encontrados em seu estudo para Ribeirão preto -SP também foram referente a estação de inverno, junto às condições climáticas e seus eventos. Nova et al (2021) também afirmam que os valores mais baixos encontrados em seu estudo na cidade de Recife-PE, onde menciona Boa Viagem, foram referentes a períodos chuvosos, ou seja, no inverno. Nesta comparação nos deparamos com uma escala regional climática no território nacional, que mesmo em regiões diferentes apresentam um padrão climático respeitando a estação chuvosa que compreende os meses de junho a setembro e apresentam índices pluviométricos elevados e diminuição na temperatura do ar. O trabalho de Moreira e Galvêncio (2007) corrobora com esta análise no sentido de obter resultados mais suaves nas proximidades do Parque dos manguezais, devido à forte influência que a vegetação impõe sobre a área, principalmente nesta época, área vegetada classificada por Nova et al. (2021) como uma ilha de frescor. Contudo, se desassociando do trabalho citado, o ponto mais propício a ser considerado como uma zona de ilha de calor se refere ao espaço pertencente ao complexo do shopping Recife, devido aos elevados valores obtidos em todas as imagens processadas.

O mês de **setembro** (figura 06) possui variação de TS entre 22°C e 34°C. Os valores mais elevados de TS se encontram reunidos em maior proporção na parte Oeste, Sudoeste e Sul, contudo no sentido Norte também se encontram diversas manchas significativas com altas temperaturas. Os valores médios predominam e criam uma “faixa” paralela a zona litorânea, seguindo de norte a sul, mas marcam presença na parte Sudeste, por fim, os índices mais baixos se destacam na faixa litorânea. A imagem do mês de setembro difere do mês anterior pelo aumento da espacialização das altas temperaturas no bairro. A diferença de aproximadamente 6°C entre as menores temperaturas deve-se à dinâmica climática característica da região, setembro é um mês de transição entre as estações inverno e primavera, o que finda o aumento de temperaturas entre os meses. Assim como já discutido, o clima possui influência significativa sobre as temperaturas resultantes do processamento, interferindo sobre análises do balanço de energia e que junto a antropização se intensificam com o passar dos anos. De acordo com Oliveira et al. (2014) a RPA 6, onde se localiza o bairro de Boa Viagem, apresenta apenas 13% de áreas verdes presentes em seu território, sendo a quarta menor porcentagem dentre as RPAs. Da Silva Neto et al. (2013), afirmam que os diferentes tipos de material utilizado nas construções humanas são

fatores relevantes no aumento da temperatura e consequentemente no desconforto térmico. A região oeste, que engloba o complexo do shopping Center Recife, possui tendências para a formação de ilhas de calor, dado as características dos materiais que compõem as construções, características essas tendenciosas ao aumento de temperatura da superfície.

Considerando a dicotomia entre áreas vegetadas e construídas, podemos associar a análise ao estudo de Oliveira et al (2014) que destaca a Região político administrativa - RPA 4, sendo a segunda maior em áreas verdes do Recife. Nesta análise, o comportamento da temperatura da superfície se torna tênue e amenas, principalmente no espaço que integra a mata da Várzea, acontecendo a melhor absorção da radiação solar. Contudo, através dos transectos lineares é possível observar a variação entre a área urbanizada e em seguida o papel da vegetação como amenizadora da temperatura de superfície. Comparando a realidade do bairro de Boa viagem, dinâmicas semelhantes não ocorrem devido a carência de áreas verdes, o que justifica os altos valores de TS relacionados a extensão pavimentação asfáltica e a verticalização que impede a circulação dos ventos, resultado direto do crescimento desordenado e sem planejamento que culmina no registro de altas temperaturas da superfície e na formação de ilhas de calor.

A imagem do mês de **outubro** (figura 07) apresenta TS variante entre 25°C a 36°C. As temperaturas mais elevadas estão localizadas a sudoeste da imagem, que corresponde às áreas mais próximas do terminal do aeroporto e as comunidades circunvizinhas e a oeste da imagem, que corresponde às proximidades do Shopping Recife. As semelhanças na ocupação do solo urbano, característico adensamento construtivo elevado e substituição da cobertura vegetal por pavimento impermeabilizado, justificam a elevação dos valores de TS na região.

O aumento da temperatura do solo se dá por diversos fatores, dentre eles, o aumento desordenado da população, as mudanças climáticas geradas pelos seres humanos ao longo do tempo, a impermeabilização do solo, uso incorreto dos recursos e entre outras variáveis que fazem com que essa situação se repita e intensifique ao longo dos anos. Segundo (Almeida Jr, 2005), em locais onde existem as características citadas acima é comum o aumento na temperatura superficial, revelando assim as relações entre os modos de utilização do solo e as interferências na temperatura das superfícies urbanas. Além da interferência antrópica, a área recebe também uma certa influência, a nível local dos eventos atmosféricos; os fenômenos atmosféricos vão alterar as

condições do tempo dominante de um determinado local trazendo a precipitação ou a inibindo.

No caso específico da área, o aumento de temperatura do solo se dá pelo aumento excessivo da população, que consequentemente causa o inchaço dos centros urbanos que resultam no aumento da especulação imobiliária, dando origem a mais áreas tomadas pelo pavimento e perda das características da vegetação local. Outro fator de influência no aumento da temperatura é a expansão urbana contínua, por se tratar de uma região com alto poder de especulação imobiliária a tendência é o crescimento vertical das edificações, o que acarreta aumento paulatino da temperatura da superfície e ar, favorecendo a formação de ilhas de calor. Já há impactos no que tange a altura das edificações e o banho de sol na faixa de areia, durante o entardecer os prédios mais elevados projetam sua sombra dentro do mar, demonstrando assim um reflexo do aumento sem controle da população de determinado local (Costa e Araújo, 2008)

Além das áreas mais quentes, no mapa também (figura 07) é possível notar áreas que possuem temperatura mais baixa, é importante ressaltar que todas essas áreas que tem esse diferencial estão inseridas em locais que possuem uma quantidade significativa de espaço vegetado e cobertura vegetal. A cobertura vegetal é responsável por absorver e refletir parte da quantidade de energia que é irradiada, uma vez que absorve e libera mais rapidamente a radiação solar que recebe, enquanto o concreto, característico da paisagem urbana, retém a radiação e aumenta o desconforto térmico.

A imagem do mês de **novembro** (figura 08) apresenta variação da TS entre 21° a 37°, ocorrendo o aumento de um grau na máxima da temperatura superficial, o que demonstra uma certa elevação em relação ao mês de outubro, em função disso, existe um aumento na quantidade de áreas em que a temperatura do solo está mais elevada. Esse aumento é visto de forma mais clara nas imediações do terminal do aeroporto perpassando por áreas próximas ao Shopping Recife e até mesmo no próprio shopping é possível notarmos um aumento nessa temperatura.

O aumento dessas áreas de elevadas temperaturas pode ser explicado em função das dinâmicas ocorridas nas cidades, assim como na composição dos elementos deste local, pois o aumento das áreas ocorre em regiões de alto índice de impermeabilização do solo e que não apresenta quantidade significativa de área vegetada. A partir da maior incidência de energia solar em áreas abertas e pavimentadas, como ocorre no local em questão, o solo que foi impermeabilizado tende a absorver mais energia

do que ele é capaz de refletir, resultando em aumento da TS. Segundo (Moura, 2007) se uma superfície absorve mais energia do que emite pode ser considerada como uma superfície absorvedora e a temperatura consequentemente irá ser elevada.

Apesar de existir aumento da TS na parte mais ao sudoeste do bairro, é perceptível uma certa diminuição das áreas com a temperatura da superfície elevada de norte a nordeste do bairro. As áreas que demonstram redução na distribuição espacial da temperatura - locadas a norte do bairro - apresentam características relativamente homogêneas de adensamento construtivo, extensa pavimentação e baixa cobertura vegetal, porém, como já observado na análise das demais imagens, o Parque do Manguezais surte influência na dinâmica de temperatura, sendo sua influência espacial aliada às características climáticas da região. A evapotranspiração é a principal influência que a área possui na diminuição da TS, segundo (Mariano et al, 2011), a evapotranspiração pode ser caracterizada como a passagem da água existente nas vegetações, solos e superfícies de água livre, para a atmosfera em forma de vapor. Esse vapor de água pode vir a dar origem a massas de água, no nosso caso em uma escala local devido a especificidade da área de estudo. De acordo com (Almeida Jr, 2005) a ação de uma massa de água sob um determinado local, mesmo que a mesma não seja tão grande, pode causar redução nas temperaturas do entorno, é o que ocorre com as áreas mais ao norte do bairro de Boa viagem que apresentaram redução na temperatura de sua superfície.

A imagem do mês de **dezembro** (figura 09) apresenta TS variante entre 25°C até 37°C. Dezembro, mesmo apresentando temperaturas muito semelhantes a imagem de TS do mês de novembro (figura 08), apresenta espacialização relativamente superior da temperatura de 25°C. Do centro ao norte do bairro de Boa Viagem é notória a presença de pequenas manchas de temperatura mais amena, enquanto as demais áreas ao Sul se assemelham as tendências de elevação da temperatura superficial.

A diminuição da temperatura das áreas mais ao norte do bairro de Boa viagem pode ser atribuída a extensa cobertura vegetal, correspondente ao Parque dos Manguezais, existente próximo aos locais com uma menor temperatura superficial. A evapotranspiração, advinda do mangue, aliada a movimentação atmosférica dos ventos, é responsável pela queda de temperatura da superfície acentuada, sobretudo quando comparada às variações de temperatura na mesma área nas imagens de TS dos meses anteriores.

Outro fator relevante no mês de dezembro foi a interiorização do início do aumento da temperatura

superficial nas zonas mais ao sul-sudoeste do bairro, esse fenômeno pode ser atrelado à ocorrência das brisas nas áreas situadas mais próximas ao litoral ou à algum evento pluviométrico que tenha ocorrido dias antes na região, o fato é que apesar disso, as temperaturas mostraram uma redução nas áreas em questão.

Durante o mês de dezembro também foi possível constatar a diminuição da temperatura em um dos corredores mais quentes do bairro, a Av. Engenheiro Domingos Ferreira, que se estende de Norte a Sul do bairro a sotavento do cinturão de prédios da Avenida Boa Viagem, apesar da diminuição da temperatura, se apresenta como um dos pontos mais quentes de Boa Viagem. Esse elevado índice na temperatura superficial é ocasionado pela verticalização que ocorre na área em questão.

Conclusões

Boa Viagem por ser um bairro de grande adensamento urbano e alto interesse econômico, os estudos de temperatura da superfície, sobretudo os embasados em imagens termais do Landsat 8, fornecem importante parâmetro para o entendimento do microclima do bairro e os vetores de suas alterações. A temperatura de superfície em Boa Viagem mostrou-se variar e se espacializar diferentemente de acordo com o mês e estação do ano, tendo as características do relevo artificial se apresentado como principal influência sobre o microclima. O estudo da TS se associado a análises de uso do solo e mudanças climáticas a nível regional pode enriquecer e fundamentar discussões muito importantes sobre os impactos antrópicos e o crescimento horizontal e vertical das cidades. Principalmente, tendo em vista as perspectivas de crescente de expansão urbana.

Referências

- Allen, R. G.; Waters, R.; Trezza, R.; Tasumi, M.; Bastiaanssen, W. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation. Advanced Training and Users Manual. Version 1.0, 2002, 98 p.
- Almeida Júnior, N. L. D., 2005. Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, BR.

- Amorim, M. C. D. C. T., 2005. Ilhas de calor em Birigui/SP. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1, 121-130.
- Avdan, U., Jovanovska, G., 2016. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016. 02-08.
- Bastiaanssen, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: a remote sensing approach under clear skies. 1995. 272 f. PhD Tesis. Mediterranean climates. 1995.
- Borsato, V., 2016. A dinâmica climática do Brasil e massas de ares. Editora CRV.
- Camargo, F. F., Pereira, G., Moraes, E. C., Oliveira, L.G.L., Adami, M., 2007. Análise multitemporal da evolução urbana e sua influência na modificação do campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993 e 2003. *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v.13, Florianópolis, Abril de 2007, INPE. 5127- 5134.
- Coelho, A L. N., Correa, W. D. S. C., 2013. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 1. 31-45.
- da Costa, M. F., de Araújo, M. C. B., Silva-Cavalcanti, J. S., de Souza, S. T., 2008. Verticalização da Praia da Boa Viagem (Recife, Pernambuco) e suas consequências sócio-ambientais. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 8(2), 233-245
- da Silva Neto, J. C. A., Aleixo, N. C. R., 2013 A utilização de sistemas de informações geográficas na análise da temperatura da superfície em ambientes antropizados. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 8.
- de Moura, M. S. B., 2007. Dados climáticos da estação meteorológica automática do campo experimental de Bebedouro, 2005. *Embrapa Semiárido-Documents (INFOTECA-E)*.
- Ferreira, A. G., da Silva Mello, N. G., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista brasileira de climatologia*, 1, 15-28
- Hendges, E. R., Follador, F. A. C., Andres, J., 2020. Estudo de correlação entre o uso e cobertura da terra com a temperatura de superfície registrada pelo satélite Landsat 8. *Sociedade & Natureza*, 32, 357-366.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010.Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro.
- Jensen, J. R., 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, Editora Parêntese, São José dos Campos, SP. 598
- Mariano, J. C. Q., Hernandez, F., Santos, G., Teixeira, A. D. C., 2011. Software para cálculo da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith. In *Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 21., 2011, Petrolina. As oportunidades de empreendedorismo na agricultura irrigada: anais. Petrolina: ABID, 2011.
- Mendonça, M., Romero Aravena, H., Opazo Albarrán, D., 2014. Análise Multiescalar para a compreensão de causas e consequências da variabilidade climática na América do Sul. 276-285.
- Morreira, E. B. M., 2009. Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Moreira, E. B. M., Galvêncio, J. D., 2007. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM-LANDSAT 7. *Revista de Geografia*, 24, 101-115.
- Moreira, E. B. M., Nóbrega, R. S., 2011. Uso de imagens multispectrais aplicada à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, INPE, 0776-0778.
- Nóbrega, R. S., de Bakker Vital, L. A., 2010. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de Ilha de Calor (Influence of urbanization on the climate of Recife and development of Heat Island). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(3), 151-156.

- Nova, R. A. V., Gonçalves, R. M., Lima, F. V. M. S., 2021. Análise Temporal de Ilhas de Calor Através da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação em Recife-PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 73(2), 598-614.
- Oliveira, T. H. D., 2012. Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- Oliveira, T. H., Dantas, J. G., Galvêncio, J. D., Pimentel, R. M. de M., Botler, M., 2014 Análise da variação espaço-temporal das áreas verdes e da qualidade ambiental em áreas urbanas, Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 1196-1214.
- Oliveira, T. H. D., Galvêncio, J. D., Pimentel, R. M. M. da Silva, B. B., 2013. Uso e cobertura do solo e seus efeitos na distribuição da temperatura de superfície em área urbana. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 06, 1598-1616.
- Souza, I. M. C. de, Palmerim, M.S. dos S., Cantuária, P. de C., 2006. Diagnóstico da arborização de praças públicas do município de Macapá-AP, Brasil. Macapá: IMMES. Monografia (Engenharia de Florestas Tropicais), 7 (1), 9116-9136.
- Torres, S. C., 2017. Forma e conforto: estratégias para (re) pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática.
- WMO, World Meteorological Organization. Global Climate Observing System. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system>. Acesso em: 10 abr. 2019.