

Utilização do Produto AST08 do sensor ASTER para estudo da Temperatura da Superfície Continental (TSC) na cidade do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)

Randy Rodrigo Gonçalves dos Santos^{1*}, Andrews José de Lucena², Vitor Fonseca Vieira Vasconcelos de Miranda³,

¹Graduando em Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil. (*Autor correspondente: randy_fd1@hotmail.com)

²Doutor em Ciências Atmosféricas, Professor do Departamento de Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.

³Doutorando em Sensoriamento Remoto, Universitat de València, UV, Espanha.

Histórico do Artigo: Submetido em: 08/06/2024 – Revisado em: 12/08/2024 – Aceito em: 26/09/2024

RESUMO

O uso do Sensoriamento Remoto em estudos de clima urbano, tem uma importante contribuição no mapeamento e identificação dos espaços de calor e frescor. Os satélites/sensores são diversos, com destaque para os produtos com bandas termais das séries LANDSAT, SENTINEL, MODIS, entre outros, que se diversificam pelas suas especificações técnicas. Neste trabalho exploramos o sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) que é um instrumento de imagem a bordo do satélite TERRA, o principal satélite do Earth Observing System (EOS) da NASA. O ASTER disponibiliza dados de Temperatura da Superfície Continental (TSC), pelo produto AST08, com resolução espacial de 90m e tamanho das cenas de 60x60 km, pela manhã e à noite. O objetivo do trabalho é mapear a TSC na cidade do Rio de Janeiro com o sensor ASTER e identificar os espaços de calor e de frescor, noturno e diurno, em cada região. Para este trabalho, a cidade foi dividida em Áreas de Planejamento (AP), conforme a divisão oficial da Prefeitura do Rio de Janeiro, e escolhidas uma amostra para cada uma das áreas. Os resultados indicam que os bairros mais urbanizados e com baixa área verde abrigam as manchas com maior TSC, como as AP-1 e 3. A Zona Sul (AP-2), mesmo em suas áreas urbanas apresentam temperaturas mais amenas, por conta de mais espaços verdes. O sensor ASTER é um diferencial nos estudos da Ilha de Calor Urbana por conta das imagens diurnas e noturnas que mostram as variações no padrão térmico e espacial.

Palavras-Chaves: Sensoriamento Remoto Termal, Sensor ASTER, Temperatura da Superfície Continental, Cidade do Rio de Janeiro.

The Use of ASTER Sensor's AST08 Product for Surface Temperature (TS) Study in the city of Rio de Janeiro

ABSTRACT

The use of Remote Sensing in urban climate studies makes an important contribution to mapping and identifying areas of heat and coolness. The satellites/sensors are diverse, with emphasis on products with thermal bands from the LANDSAT, SENTINEL, MODIS series, among others, which are diversified due to their technical specifications. In this work we explore the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensor, which is an imaging instrument on board the TERRA satellite, the main satellite of NASA's Earth Observing System (EOS). ASTER provides Land Surface Temperature (LST) data, using the AST08 product, with a spatial resolution of 90m and scene size of 60x60 km, in the morning and at night. The objective of the work is to map the LST in the Rio de Janeiro city with the ASTER sensor and identify the spaces of heat and coolness, night and day. For this work, the city was divided into Planning Areas (PA), according to the official division of the Rio de Janeiro city, and a sample was chosen for each of the areas. The results indicate that the most urbanized neighborhoods with low green area are home to areas with higher LST, such as Planning Areas 1 and 3. The South Zone (Planning Area 2) even in its urban areas, has milder temperatures, due to more green spaces. The ASTER sensor is a great advantage in studies of the Urban Heat Island due to the day and night images that show variations in the thermal and spatial pattern.

Keywords: Thermal Remote Sensing, ASTER sensor, Land Surface Temperature, Rio de Janeiro city.

Santos, R. R. G., Lucena, A. J., Miranda, V. F. V. V., (2024). Utilização do Produto AST08 do sensor ASTER para estudo da Temperatura da Superfície Continental (TSC) na cidade do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.5, n.3, p.27-45.



1. Introdução

As mudanças na superfície terrestre causadas pelo fenômeno da urbanização têm como efeito a substituição da vegetação natural por edificações, ruas e avenidas, e assim o aumento da impermeabilização dos solos e, conseqüentemente, a ocorrência de enchentes e, por fim, a irradiação de calor para a atmosfera (Dos Anjos et al., 2013). Desse modo, as áreas residenciais que possuem elevada densidade de construções de variados tipos de materiais, com pouco espaços entre uma edificação e outra, e pouca presença arbórea, como as favelas, estão suscetíveis a problemas ambientais, como o estresse térmico.

Nota-se que diferentes padrões de refletividade são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil. Percebe-se que, dependendo do albedo, mais ou menos radiação de onda curta será refletida pela superfície (Teza & Baptista, 2005). Materiais de construção, como o asfalto e o concreto, têm a capacidade de refletir e reter mais energia, respectivamente. Ambos os materiais absorvem a energia solar e a retêm, contribuindo para o aumento da temperatura em áreas urbanas. Além disso, à medida que absorvem a energia produzida na cidade, esses materiais também atuam emitindo calor de volta para o ambiente urbano. As propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais de pavimentação absorvem energia durante o dia, e à noite continuam emitindo radiação de onda longa (Lombardo, 1985).

As mudanças no uso e cobertura do solo e o crescente avanço da urbanização é um dos fatores que implicam na complexidade do Clima Urbano. É um fenômeno associado à mudança na cobertura da superfície, que determina padrões bem mais complexos no balanço de energia, e, portanto, seus resultados precisam ser incorporados aos modelos numéricos (Lucena et al., 2017). Stewart e Oke (2012) consideram que a Ilha de Calor Urbana (ICU) é um dos maiores problemas que a sociedade pode enfrentar no século XXI, junto às mudanças climáticas em escala global. Ambos os problemas têm origem antropogênica causada pelo aumento da população urbana, pela combustão de combustíveis fósseis e pela mudança no uso do solo causada pela urbanização (Rizwan et al., 2008; Zhou et al., 2015; Perera et al., 2018 apud Sarricoela et al., 2022).

O uso do Sensoriamento Remoto em estudos de clima urbano é uma ferramenta excepcional, que permite variados tipos de estudos e investigações de casos em diversas cidades do mundo, viabilizando uma análise temporal e espacial (Streutker, 2003; Romero & Peña 2006; Cheval et al., 2009; Imhoff et al., 2010 Alfonso, 2018; Fernandes, 2021). Voogt & Oke (2003) revisaram o uso do sensoriamento remoto térmico no estudo de climas urbanos. Lucena (2012) realiza o mapeamento e analisa a espacialização da Temperatura da Superfície Continental (TSC) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) utilizando imagens termais do sensor LANDSAT, além de identificar e quantificar a Ilha de Calor Urbana (ICU) e abordar o termo Ilha de Calor Metropolitana (ICM). Sarricoela et al. (2022) por meio de imagens do sensor MODIS elaboraram um estudo investigando a relação entre a TSC, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e dados socioeconômicos na cidade de Santiago, no Chile.

Apesar de existirem diversos estudos anteriores sobre o mapeamento da Ilha de Calor Urbana (ICU) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), é essencial compreender a lacuna que ainda persiste. A Temperatura da Superfície Continental (TSC) desempenha um papel fundamental no balanço de energia da superfície, sendo um importante indicador das condições microclimáticas em meio urbano. Entender o ciclo e espacialização da TSC, com observações tanto durante o dia quanto à noite, é crucial para avaliar o impacto das atividades humanas e das características da superfície na dinâmica térmica da região. Nesse contexto, o sensor ASTER surge como uma opção promissora, pois fornece imagens de boa resolução espacial tanto no período diurno quanto noturno, permitindo uma análise mais detalhada e abrangente da variação da TSC na escala da cidade.

Dentre as plataformas e sensores utilizados para os diversos trabalhos envolvendo a TSC, as séries LANDSAT, Sentinel, MODIS, aparecem com frequência nas literaturas. Porém, o sensor ASTER também é bem utilizado em importantes estudos ambientais, incluindo sobre TSC (Barros 2001; Fuckner et al., 2009; Liu, L., Zhang, Y., 2011). Em trabalhos mais recentes Ferreira e Ugeda Júnior (2020) realizaram uma análise

da variabilidade espacial e temporal da TSC através das imagens ASTER utilizando como unidades espaciais o contraste intraurbano das Zonas Climáticas Locais (ZCLs) na cidade de Cuiabá, Brasil. Diante desses trabalhos, observa-se que o sensor ASTER tem grande potencial para estudo no ambiente urbano.

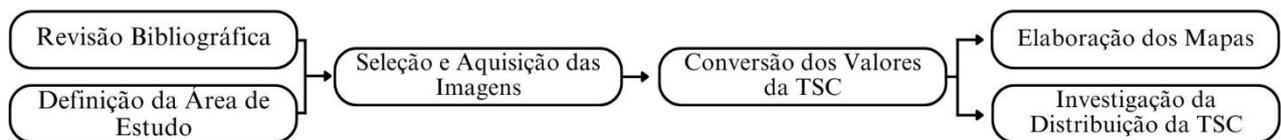
Dos trabalhos realizados com o sensor ASTER, poucos abordam em sua área de estudo a cidade do Rio de Janeiro. Teza e Baptista (2005), realizaram um trabalho de identificação da ilha de calor urbana nas metrópoles brasileiras, sendo elas: Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Nesse estudo, além da TSC, são exploradas a macha urbana e o modelo digital de terreno de cada cidade. Entretanto, a cidade do Rio de Janeiro não é analisada por completo. Devido ao tamanho da cena e a seleção de somente uma, Teza e Baptista em 2005, concentram sua análise entre a Zona Norte, Centro e Zona Sul da cidade. Nos trabalhos de Fuckner, 2008 e Fuckner et al., 2009, que são utilizadas as mesmas cenas ASTER, a Zona Oeste aparece mais expressivamente, porém não por completa.

Tendo em vista a importância e eficácia das técnicas do Sensoriamento Remoto para estudo do Clima Urbano, esse trabalho visa explorar o produto de TSC do sensor ASTER e seu potencial para toda a cidade do Rio de Janeiro. Dessa forma, realizaremos o mapeamento e análise da espacialização da TSC na cidade do Rio de Janeiro e identificação dos espaços de calor e frescor a partir dos dados obtidos.

2. Material e Métodos

Na Figura 1, contém o fluxograma do processo metodológico desse estudo, etapa por etapa, desde a breve revisão bibliográfica contida na Introdução, a apresentação do sensor ASTER no tópico anterior até o produto e análise.

Figura 1 – Fluxograma da Metodologia.
Figure 1 - Methodology Flowchart.



Fonte: Os autores (2024).
Source: The authors (2024).

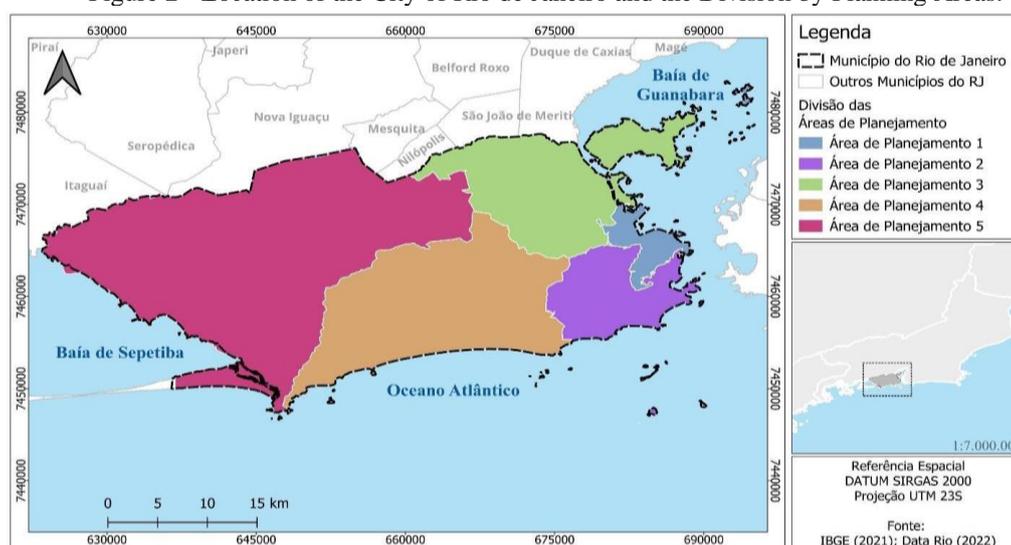
O processo inicia-se com a Revisão Bibliográfica e a definição da Área de Estudo. A Revisão Bibliográfica contextualizou os estudos dentro do campo do clima urbano, sobretudo, utilizando cenas termais de variados satélites e sensores, e com isso ajudou a justificar a necessidade da pesquisa. A definição da Área de Estudo deu-se pela escolha de analisar somente uma parte da cidade do Rio de Janeiro, uma das cinco Áreas de Planejamento, ou a cidade toda. Com a área definida, na etapa de seleção e aquisição das imagens, escolheu-se as imagens sem nuvem para a real extração da Temperatura da Superfície Continental (TSC). Os valores da TSC foram obtidos a partir do produto do sensor ASTER, com a conversão do valor da TSC bruto para graus Celsius. E por fim, na elaboração dos mapas e investigação da distribuição da TSC, ambas feitas por softwares de geoprocessamento, analisa-se os pontos de destaque da TSC e são elaborados os mapas que estão na seção dos Resultados e Discussão.

2.1 Área de Estudo

O município do Rio de Janeiro, de acordo com o último censo demográfico (2022), possui 6.211.223 habitantes, sendo o segundo município mais populoso do país, com densidade demográfica de 5.174,6 habitantes/km². A cidade do Rio de Janeiro e a sua região metropolitana são importantes espaços da dinâmica urbana, econômica, social e cultural do Brasil, por conta do seu histórico papel como sede política federal e berço da indústria e cultura nacional (Lucena, 2018).

A cidade do Rio de Janeiro apresenta um território extenso com uma variedade no uso e cobertura do solo, de áreas urbanizadas de diferentes classes, como residências de alta, média e baixa densidade, áreas industriais e de extração mineral e áreas não urbanizadas, que englobam áreas agrícolas e de cobertura vegetal arbórea e arbustiva – floresta (ombrófila) e gramíneo-lenhosa (campo) – áreas com vegetação rasteira, entre outras classificações (DATA RIO, 2019). Essa diversidade nas características físicas do município permite que seja uma área com enorme variedade de estudos no campo socioambiental.

Figura 2 – Localização da cidade do Rio de Janeiro e a divisão por Áreas de Planejamento.
Figure 2 - Location of the City of Rio de Janeiro and the Division by Planning Areas.



Fonte: Os autores (2024).
Source: The authors (2024).

O município possui algumas subdivisões administrativas realizadas pela prefeitura, dentre elas estão as Áreas de Planejamento (AP), Regiões de Planejamento (RP) e Regiões Administrativas (RA). Devido ao tamanho das cenas do sensor ASTER, neste trabalho utilizaremos a divisão de Áreas de Planejamento, que é organizada de acordo com a Figura 2. A Área de Planejamento 1 (AP-1) é composta por 16 bairros, reunindo os bairros da Área Central, além do Rio Comprido, São Cristóvão e Santa Tereza. A AP-1 é conhecida por ser o centro histórico da cidade, e sendo a área que sofreu muitas transformações do cenário urbano. A Área de Planejamento 2 (AP-2) possui 25 bairros, abrangendo os bairros da conhecida Zona Sul e a Grande Tijuca. A área que corresponde a AP-2 vem da expansão da cidade promovida pela implantação do sistema de bondes, na segunda metade do século XIX. Com sua configuração geográfica entre o mar e o Maciço da Tijuca, é a região que simboliza a imagem de cartão postal do Rio de Janeiro (Dias, 2010). Sendo também, historicamente uma área que possui a imagem da representação de segregação socioespacial, dividindo de um lado as edificações de luxo e as favelas nas encostas.

A Área de Planejamento 3 (AP-3) é composta por 80 bairros, reunindo toda a Zona Norte, com exceção de São Cristóvão e a Grande Tijuca e nas últimas contagens do censo demográfico, com exceção de 2022 que ainda não teve resultado divulgado nessa escala, é considerada a área mais populosa. A Área de Planejamento 4 e 5 (AP-4 e AP-5) formam a Zona Oeste da cidade. A AP-4 é composta por 19 bairros, dentre eles Barra da Tijuca, Recreio, Jacarepaguá e Cidade de Deus, tratando-se de uma extensa área de baixada, limitada pelos maciços da Tijuca e Pedra Branca e pelo Oceano Atlântico. E a AP-5, formada por 24 bairros, dentre eles, Bangu, Campo Grande, Santa Cruz, Realengo, Magalhães Bastos entre outros. A Zona Oeste, como é conhecida, foi tratada como última fronteira da urbanização do Rio de Janeiro (Dias, 2010). Por muito tempo, os usos agrícolas e as grandes propriedades foram preservados nela, mas acabaram desaparecendo devido à pressão da urbanização, porém ainda hoje é encontrado áreas de cultivos principalmente no bairro de Santa Cruz.

2.2 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

O Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) é um instrumento imageador a bordo do TERRA, o principal satélite do Earth Observing System (EOS) da NASA lançado em dezembro de 1999. ASTER é um esforço cooperativo entre a NASA, o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI) e Sistemas Espaciais do Japão (J-SPACESTRONGS) (ASTERWEB, 2004). O satélite Terra possui uma órbita circular, quase polar, e altitude de 705 km. A órbita é síncrona com o sol, com a passagem equatorial ocorrendo às 10h30min, retornando à mesma órbita a cada 16 dias. Os parâmetros da órbita são os mesmos que os do Landsat 7, exceto pelo horário local de passagem equatorial. (ABRAMS et al., 2002).

O ASTER é considerado um sensor de alta precisão espacial e, como instrumento de observação da Terra, fornece os dados úteis para diferentes pesquisas e para aplicações da ciência. A resolução espacial varia com o comprimento de onda: 15 m no visível e infravermelho próximo (VNIR), 30 m no infravermelho de ondas curtas (SWIR) e 90 m no infravermelho térmico (TIR). Cada cena ASTER cobre uma área de 60 x 60 km. (Abrams et al., 2002).

2.2.1 Características do sensor ASTER

O ASTER consiste em três subsistemas diferentes (Tabela 1), a saber: o Visível e Infravermelho Próximo (VNIR) possui três bandas com resolução espacial de 15m, o Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR) possui 6 bandas com resolução espacial de 30m e o Infravermelho Térmico (TIR) possui 5 bandas com resolução espacial de 90m (Abrams et al., 2002).

Tabela 1 – Características dos três subsistemas do sensor ASTER.
Table 1 – Characteristics of the Three Subsystems of the ASTER Sensor.

Subsistema	Banda Nº	Faixa Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (bits)
VNIR	1	0.52 - 0.60	15	8
	2	0.63 - 0.69		
	3N	0.78 - 0.86		
	3B	0.78 - 0.86		
SWIR	4	1,60 – 1,70	30	8
	5	2,145 – 2,185		

	6	2,185 – 2,225		
	7	2,235 – 2,285		
	8	2,295 – 2,365		
	9	2,360 – 2,430		
	10	8,125 – 8,475		
	11	8,475 – 8,825		
TIR	12	8,925 – 9,275	90	12
	13	10,25 – 10,95		
	14	10,95 – 11,65		

Fonte: Adaptado de Abrams et al., 2002.
Source: Adapted from Abrams et al., 2002.

Os algoritmos para calcular esses produtos foram implementados no Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Gratuitamente, os usuários podem pesquisar e fazer a aquisição desses produtos por meio de vários sites, como o da NASA Earthdata Search, EarthExplorer, Japan AIST entre outros (ASTERWEB, 2004). Dentre os produtos disponibilizados estão: Reflectância da superfície (AST07); Radiância da Superfície (AST09); Emissividade (AST05); Modelo Digital de Elevação (AST14DEM); Temperatura Cinética da Superfície (AST08), entre outros produtos (Abrams, 2002).

2.2.2 Especificações do produto de Temperatura Cinética da Superfície (AST_08)

O produto Surface Kinetic Temperature (AST08) de Level 2 possui resolução espacial de 90 m e é gerado a partir dos cinco canais infravermelhos térmicos do ASTER, as bandas 10, 11, 12, 13 e 14. O produto da TSC é determinado a partir da Lei de Planck, usando as emissividades do AST_05 para dimensionar as radiâncias medidas após a correção dos efeitos atmosféricos (ABRAMS, 2002). O produto de dados de temperatura da superfície está disponível apenas através do site Earthdata Search da NASA. Na Tabela 2, está contida outras características do produto AST08.

Tabela 2 – Características do Produto AST_08.
 Table 2 – Characteristics of AST_08 Product.

Características	Descrição
Extensão Temporal	04/03/2000 até o presente
Sistema de Coordenadas	UTM
DATUM	WGS84
Formato de arquivo	HDF-EOS e GeoTIFF
Dimensões Geográficas	60 km x 60 km
Colunas/Linhas	700x830
Pixel	90 metros

Fonte: Adaptado de JPL 2001.
Source: Adapted from JPL 2001.

A extensão temporal representa o início dos fornecimentos dos dados ASTER, que iniciou em março de 2000 e continua até os dias de hoje. Os produtos podem ser adquiridos tanto em formato HDF, onde o GeoTIFF

vem compactado junto com outros arquivos como o QA_DataPlane, ou diretamente em GeoTIFF. Ambos os formatos fornecem os produtos no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), no DATUM WGS84. As cenas ASTER possuem as dimensões de 60 km x 60 km, tendo 700 colunas e 830 linhas que se referem à estrutura da matriz que representa cada uma das imagens. As bandas do sensor ASTER variam entre 15, 30 e 90 metros, no caso do produto termal, a resolução espacial é de 90 metros.

2.3 Dados utilizados

O sensor ASTER fornece produtos de TSC em dois turnos, sendo um diurno por volta das 10h00 da manhã, e um noturno por volta das 22h00, todos em dias diferentes, não possuindo nenhuma opção de cenas que contemplem o mesmo dia. Por conta da área de imageamento e a oscilação na posição dessas imagens, não está disponível nenhuma cena do produto, boa para uso, que escaneie a cidade do Rio de Janeiro por completo. Dessa forma, é necessário trabalhar com amostras de dias distintos para realizar uma análise de 100% do território da cidade do Rio de Janeiro. Para este trabalho utilizou-se os seguintes dados:

Quadro 1 – Dados Utilizados.

Chart 1 – Used data.

Tipo do Dado	Produto	Data
Dados Raster	AST_08 – TSC - Diurna	21/04/2019 e 04/05/2018
	AST_08 – TSC - Noturna	02/03/2022 e 21/02/2013
	AST_L1T – Composição RGB	21/04/2019 e 04/05/2018
	AST_GDEM	X
Dados Vetoriais	Limites Municipais (IBGE)	2021
	Limites dos Bairros (DATA RIO)	2022

Fonte: Os autores (2024).

Source: The authors (2024).

2.4 Seleção e Aquisição das imagens

As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas no site *Earthdata Search* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Neste site estão contidos todos os produtos disponíveis da série ASTER. Adotamos alguns critérios para seleção das imagens. Foi necessário que elas cobrissem pelo menos uma área de planejamento completa por cena (1). Além disso, as imagens devem ser livres de nuvens (2) e devem ser datadas da mesma estação do ano, levando em consideração o mesmo período do dia analisado (dia ou noite) (3).

Na plataforma é possível filtrar a busca das imagens por área, podendo selecionar geometrias demarcadas na própria plataforma, por pontos ou por arquivos no formato KML, KMZ ou Shapefile. No caso deste trabalho, adicionamos um arquivo KML das Áreas de Planejamento para auxiliar na seleção das imagens. É possível filtrar as imagens por período de dia ou noite em “Day/Night”, para selecionar as imagens diurnas e noturnas. Outras formas de filtragem são por data em “Temporal”, sendo possível delimitar uma data ou um período específico e filtrar a porcentagem de nuvens por imagens em “Cloud Cover”.

As imagens escolhidas foram destacadas na seção 3.2. A aquisição de imagens pela plataforma *Earthdata Search* varia de produto para produto. No caso do AST_08, a aquisição é feita por demanda e após selecionadas as imagens a LPDAAC envia posteriormente por e-mail para download no formato selecionado (HDF ou GeoTIFF).

2.5 Tratamento das Imagens e Investigação da Distribuição da Temperatura da Superfície Continental (TSC)

Após o download das imagens foi necessário fazer algumas conversões para termos a imagem com os valores em Graus Celsius e sem valores outliers. Essa conversão foi feita através da Linguagem de Programação Python, utilizando pacotes disponibilizados no Anaconda Distribution. Foram convertidos os valores da TSC das imagens para Graus Celsius e excluídas as bordas da imagem através da Eq. (1). Com a essa rotina, é possível converter os valores de mais de uma imagem ao mesmo tempo, executando o processo em lote.

A rotina pode ser expressa na fórmula da seguinte maneira conforme mostra a Eq. (1), sendo r = Raster.

$$r = (r - 2000) \times 0.1 - 273.15 \quad (1)$$

Esse cálculo representa a substituição de todos os valores de r iguais a 2000 por 0, que exclui os valores outliers, e posteriormente multiplica r por 0.1, para transformar o ND em valor de temperatura em Kelvin (ASTERWEB, 2004). Em seguida, subtraiu-se 273.15 do resultado, fazendo a conversão de Kelvin para Graus Celsius. Após essa conversão em graus Celsius, é definida uma escala de temperatura para cada imagem diurna e noturna, com cores diferentes para cada período do dia. Definida a escala de temperatura, já é possível realizar a análise da espacialização da TSC e investigar os pontos de maior e menor temperatura.

Após essa etapa, é realizada a sobreposição de camadas vetoriais (Limites Municipais e Bairros) com as camadas Raster (Produto AST08 e ASTL1T) para investigação da espacialização da TSC. Com auxílio de uma ferramenta para identificar feições em um software de Geoprocessamento realizamos a identificação do pixel de maior valor por área de planejamento, e a análise da área de ocorrência de altas temperaturas e suas características. O uso da simbologia é fundamental para o auxílio da identificação. Após a investigação, foi elaborado um Layout para cada cena utilizada para análise.

3. Resultados e Discussão

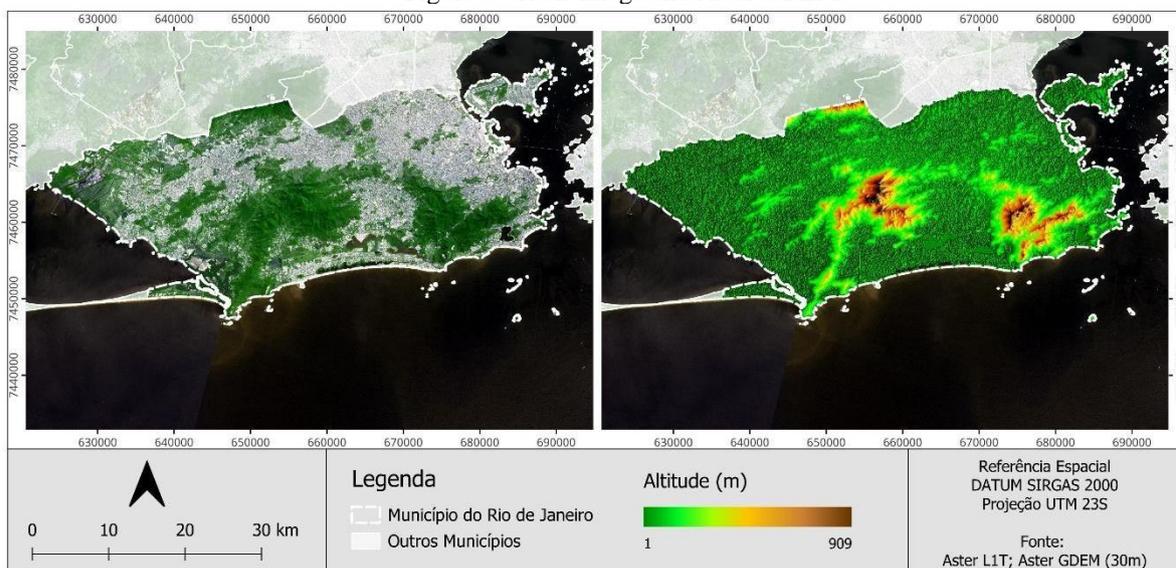
O sensor ASTER aparece em importantes, e poucos estudos no Brasil, para o mapeamento da Temperatura da Superfície Continental (TSC). Os trabalhos de Fuckner, 2007 e Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009 são importantes referências para o mapeamento e análise da TSC dos grandes centros de cidades do sudeste do Brasil, como Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Ferreira e Ugeda Junior, 2020 utilizaram as cenas termais ASTER para analisar a variação da temperatura de superfície, diurna e noturna, na cidade de Cuiabá/MT, e puderam analisar o ambiente urbano e intraurbano da cidade e seu entorno rural, que apresentou elevada amplitude positiva, sendo o urbano mais aquecido que o rural. Santos, Fontana e Alves, 2010, utilizando o método SEBAL, avaliaram os fluxos de calor e evapotranspiração, aplicando cenas ASTER no modelo.

A partir do estudo constataram que os dados de fluxo de energia com o sensor ASTER reproduziam corretamente os fluxos de energia na superfície da área e permitia a estimativa da variabilidade espacial da evapotranspiração, além de afirmarem que o modelo SEBAL com uso de imagens do sensor ASTER é eficiente para estimar os fluxos de energia em superfície e a evapotranspiração diária em regiões de cultivo de arroz (Santos, Fontana e Alves, 2010). O atual artigo amplia as contribuições acima com vistas ao mapeamento e análise de todas as áreas da cidade do Rio de Janeiro, incluindo episódios diurno e noturno.

3.1 Visualização das Características físicas da Cidade do Rio de Janeiro

Para obter uma visão abrangente da caracterização da região da cidade que estamos investigando, utilizamos as imagens Aster L1T de 15 metros com as bandas VNIR e o produto Aster GDEM, que consiste no Modelo Digital de Elevação do sensor ASTER de 30 metros, conforme ilustrados na Figura 3. Essas imagens foram incluídas na análise para identificar possíveis relações entre as características da região e a ocorrência de casos de extremos térmicos nas amostras analisadas.

Figura 3 – Imagem RGB e do Aster GDEM.
Figure 3 - RGB image and Aster GDEM.



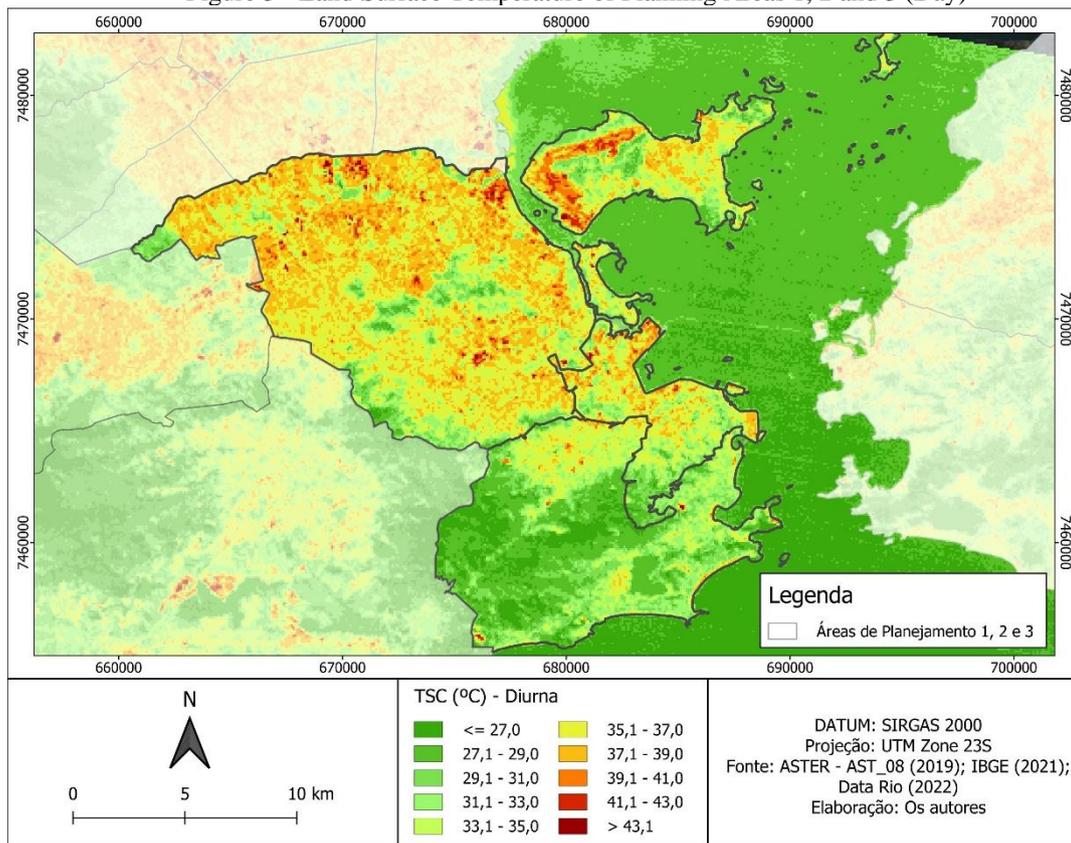
Fonte: Os autores (2024).
Source: The authors (2024).

Dessa forma, observam-se as características geomorfológicas da cidade, incluindo a presença dos maciços da Pedra Branca e da Tijuca, que são as regiões com maior cobertura vegetal, bem como uma parte do maciço do Mendanha, presente em outros municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Através da imagem em RGB, é possível observar as extensas áreas urbanas da cidade, onde se destacam construções de grande densidade e a notável ausência de áreas verdes entre elas, especialmente nas Áreas de Planejamento 1 e 3. Essas informações são essenciais para a investigação e contribuem para compreender a ocorrência de temperaturas mais altas ou mais baixas na superfície.

3.2 Área de Planejamento 1, 2 e 3

Através dos resultados, observam-se que as especificações do produto ASTER, possibilita uma análise com detalhes da espacialização da TSC no município do Rio de Janeiro. Como dito por Fuckner, Moraes e Florenzano 2009, ao analisar as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, os dados ASTER permitiram analisar o contraste entre as respostas verificadas no meio intra-urbano, a fim de caracterizar padrões de temperatura da superfície. A Figura 4, apresenta a amostra do dia 21/04/2019 do período diurno. A imagem abrange as Áreas de Planejamento 1, 2 e 3 e exibe diversas áreas de destaque da TSC.

Figura 4 – Temperatura da Superfície Continental Diurna das Áreas de Planejamento 1, 2 e 3.
 Figure 3 - Land Surface Temperature of Planning Areas 1, 2 and 3 (Day)



Fonte: Os autores (2024).
 Source: The authors (2024).

Nota-se uma mancha indicando temperaturas acima de 35,1 °C em boa parte da Área de Planejamento 1 e 3, correspondendo a área urbanizada mais consolidada que é possível visualizar na imagem RGB em cores reais, onde nessas áreas encontram-se poucas áreas de vegetação, gerando assim, áreas com temperaturas mais elevadas. Por outro lado, a Área de Planejamento 2 é a área onde encontra-se o maior espaço com TSC mais amenas da cena analisada, motivado pela presença do maciço da Tijuca, onde há grande presença de vegetação, além de espaços urbanos vegetados na área mais nobre da cidade.

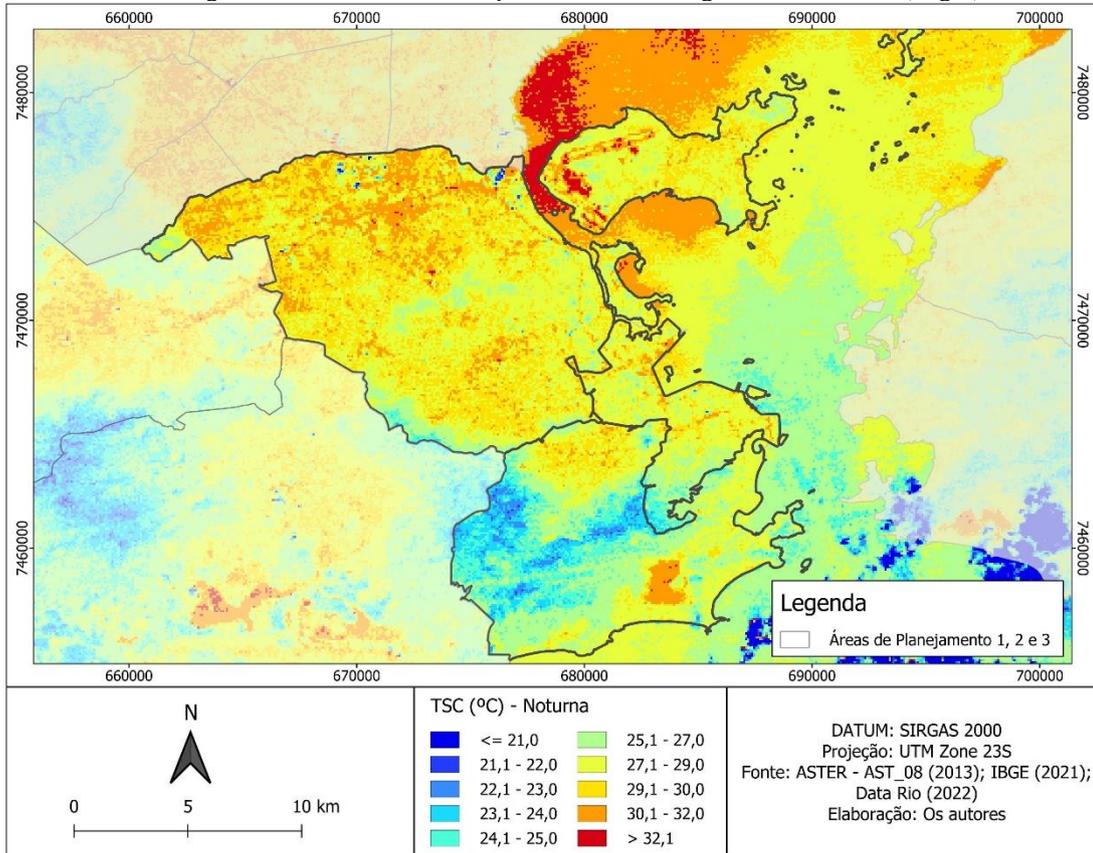
Em trabalhos de mapeamento e análise da TSC, que visualizam o município do Rio de Janeiro, como o de Lucena, Peres e Miranda, 2018, utilizando o LANDSAT, que ao calcular a média da TSC por bairros, consta que as maiores médias são dos bairros que fazem parte das Áreas de Planejamento 1 e 3, Zona Norte e Centro do Rio respectivamente. Sena, Peres e França, 2014, a partir do sensor MODIS, em um estudo que abrange a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), também destacam um notável núcleo de altas temperaturas, que se inicia nos bairros do Centro e se estende por outros bairros da AP-3, como os de Bonsucesso e Irajá.

A análise dessa amostra revela áreas de destaque. Na Área de Planejamento 3, incluem os condomínios logísticos, Aeroporto Internacional do Galeão, grandes complexos de favelas e a extensão das principais rodovias, com expressivas manchas de calor. Na região portuária do centro da cidade, mostram as temperaturas mais elevadas, especialmente entre os bairros do Caju e Vasco da Gama, e nas proximidades do Morro da Providência, que são locais também destacados por Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009, no estudo que utiliza o próprio sensor ASTER. Na Área de Planejamento 2, observa-se uma distribuição diferente, com mais áreas

apresentando temperaturas mais amenas, embora existam pontos de calor notáveis, como nos bairros do Andaraí e da Tijuca e na região de São Conrado. A presença de áreas arborizadas na AP-2 e o Maciço da Tijuca contribui para a redução das temperaturas, contrastando com as áreas urbanizadas das AP-1 e 3.

A Figura 5 corresponde a amostra do dia 21/02/2013 do período noturno das Áreas de Planejamento 1, 2 e 3. Em comparação com a imagem do período diurno, nota-se que a escala de temperatura com valores mais baixos e com menor variação de temperatura, predominando em boa parte áreas que variam de 27,1°C a 32°C. Os espaços de calor se repetem, comparados ao período diurno, representando as áreas urbanizadas, com diferença de mais ou menos 6 a 7°C diante das áreas verdes.

Figura 5 – Temperatura da Superfície Continental Noturna das Áreas de Planejamento 1, 2 e 3.
 Figure 3 - Land Surface Temperature of Planning Areas 1, 2 and 3 (Night)



Fonte: Os autores (2024).
Source: The authors (2024).

Na Figura 5, destacam-se as áreas acima de 29,1°C na AP-3. Trata-se de um trecho da Avenida Brasil que é marcada por temperaturas que ultrapassam os 30,1°C. A capacidade de absorção de energia do asfalto junto ao fluxo contínuo de veículos durante todo o dia contribui para elevar a temperatura da Avenida Brasil e seu entorno em comparação a outros locais, cenário parecido com o período diurno e com alguns destaques dado por Lucena em 2012, ao decorrer dessa área. O mesmo acontece no Aeroporto do Galeão, que além do período diurno, também apresenta as maiores TSC registradas nessa amostra, com valores que chegam a 35,7°C no período noturno.

Na AP-1, Centro do Rio, encontra-se a maior TSC registrada da cena, chegando a 32,4°C no bairro do Caju, no início da Ponte Rio-Niterói, apresentando-se como mais um destaque de altas temperaturas em rodovias e seus entornos, também, no período da noite. Além desse trecho de destaque na AP-1, áreas residenciais do complexo de favelas do Caju, como as comunidades de Quinta do Caju e Parque Nossa Senhora da Penha, e áreas da atividade portuária, mostram TSC que chegam a 32°C ao longo de sua extensão.

Ainda na Figura 5, observando-se os corpos hídricos no período noturno, nota-se valores de temperatura de superfície maiores do que em muitas áreas terrestres, como por exemplo na Lagoa Rodrigo de Freitas, atingindo TSC de 32,3 °C. Isto pode ser explicado pela água se aquecer mais lentamente devido ao seu calor específico, que é maior do que qualquer outro material (Campos, 2014), dessa forma ela precisa de muito mais calor para aquecer, fazendo-o ao longo de todo o dia, e consequentemente também se resfriando lentamente, pois possui uma das mais altas capacidades térmicas, o que lhe permite reter calor por mais tempo. Esse fato também acontece em boa parte da Baía de Guanabara, onde no período noturno, em trechos próximos as encostas apresentam Temperaturas de Superfície acima de 30,1°C chegando à marca de 34,2°C no período da noite, ultrapassando a marca de áreas urbanas. Este cenário é diferente do período diurno, no qual os corpos hídricos apresentam temperaturas semelhantes a de áreas verdes. Essa ocorrência também é citada por Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009, na própria Baía de Guanabara, onde ele associa esse aquecimento às diferenças de batimetria e destacado também por Ferreira e Ugeda Junior, 2020, em um estudo na cidade Cuiabá.

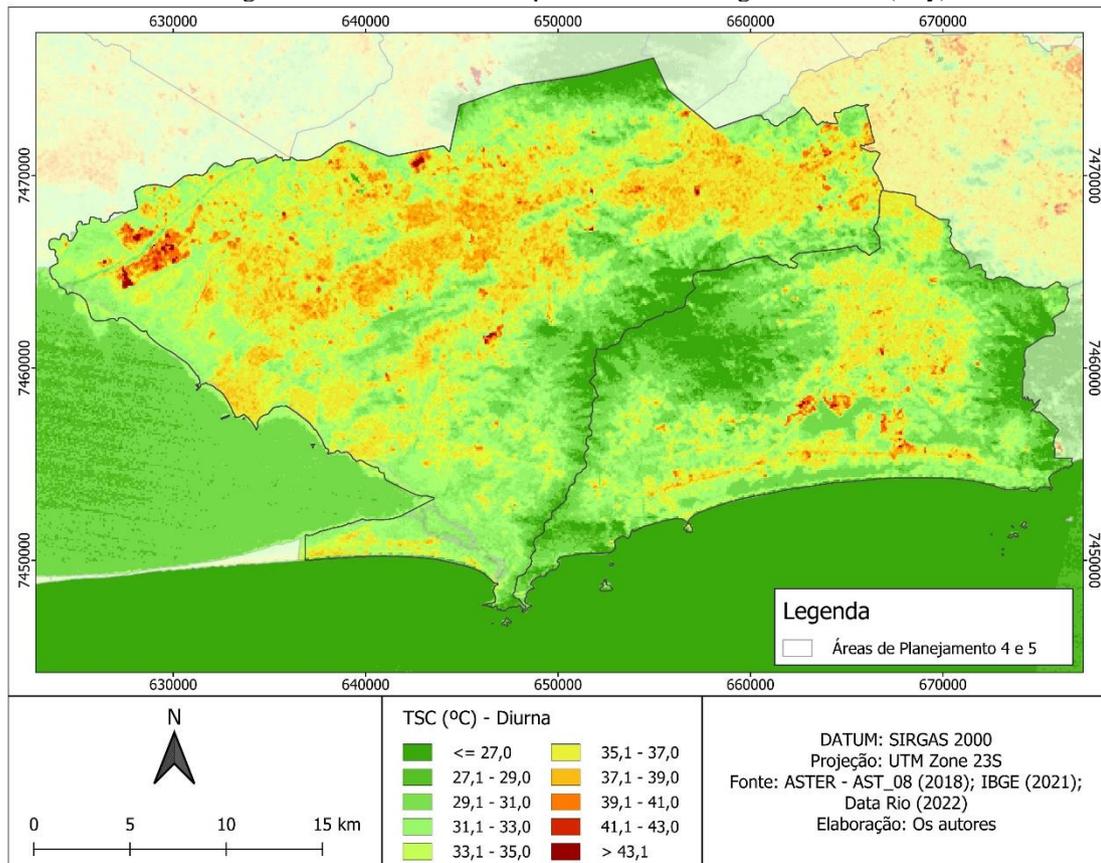
3.3 Área de Planejamento 4 e 5

A figura 6 refere-se a TSC da amostra diurna do dia 05/04/2018, que abrange as Áreas de Planejamento 4 e 5, que juntas compõem a Zona Oeste da cidade. Ambas representam a maior parte (quase 70%) do território da cidade do Rio de Janeiro e possuem grande diversidade no uso e cobertura do solo (Data Rio, 2019). Observa-se que na parte superior da Área de Planejamento 5, vindo da Área de Planejamento 3, uma mancha de TSC acima dos 35°C que segue a oeste, acompanhando grandes vias rodovias, como a Avenida Brasil e as linhas de trem da Supervia que findam no bairro de Santa Cruz, como também observado por Lucena, Peres e Miranda, 2018.

O pixel de maior valor registrado nessa imagem foi de 89,8 °C localizado na Siderúrgica Ternium Brasil, no bairro de Santa Cruz, localizado na Área de Planejamento 5. Na Área de Planejamento 4, a presença de dois maciços, o da Pedra Branca e parte do maciço da Tijuca, é responsável por destoar os valores mais elevados das temperaturas nas áreas urbanas do seu entorno. É possível notar que o caminho que a urbanização percorreu, desde a conexão entre AP-3 e AP-5 através de rodovias e avenidas, geraram uma grande mancha de elevadas temperaturas a percorrer a AP-5 de leste a oeste, como observado, também, por Anjos et al., 2013. Assim como na AP-4, observa-se também como a ocupação urbana em meio a grandes áreas verdes é marcada por enormes áreas de calor.

Embora seja em uma Siderúrgica a TSC mais elevada registrada, chama a atenção a sua localização muito próximo a áreas residenciais do bairro de Santa Cruz, como é o caso das comunidades da Reta do João XXIII. Essa ocasião se repete em áreas residenciais localizadas nas adjacências da Empresa de Bebidas e Empresas AMBEV, no bairro de Campo Grande, com temperaturas da superfície que ultrapassam os 45 °C em diversos pontos de sua extensão e atinge os 48,7 °C. Sendo mais um caso de áreas industriais no meio urbano com destaque para elevadas temperaturas. Em trabalhos com a utilização do sensor ASTER (Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009; Fuckner, 2007) mostrou-se um aumento em apenas parte da Área de Planejamento 4 e um pequeno pedaço da Área de Planejamento 5, não abrangendo os outros bairros. Embora as cenas utilizadas pelos autores mencionados anteriormente sejam de um período anterior ao funcionamento da Siderúrgica Ternium Brasil, a visualização do registro da TSC pelo sensor ASTER é limitada devido ao corte das imagens. Este trabalho, por sua vez, possibilita a observação do registro da TSC e revela semelhanças com os altos registros obtidos em outras pesquisas que utilizaram o LANDSAT na região.

Figura 6 – Temperatura da Superfície Continental Diurna das Áreas de Planejamento 4 e 5.
 Figure 3 - Land Surface Temperature of Planning Areas 4 e 5 (Day).



Fonte: Os autores (2024).
 Source: The authors (2024).

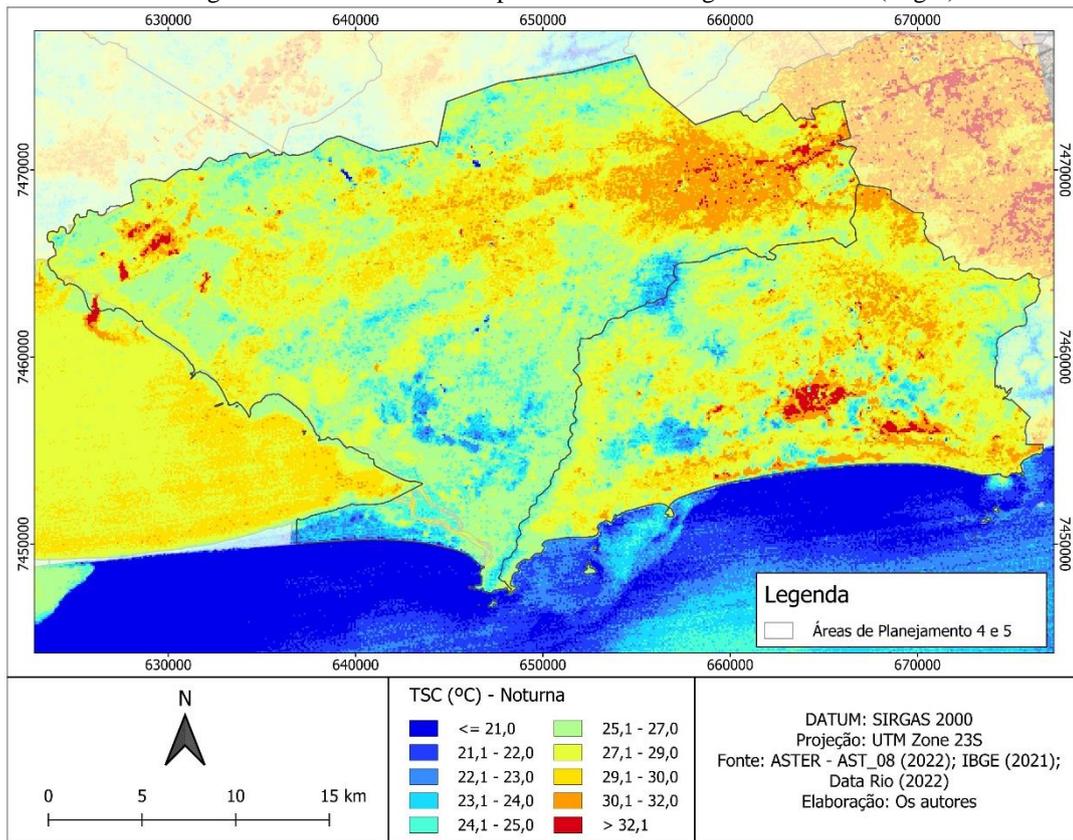
Na cena diurna notam-se altas temperaturas da superfície registradas entre os bairros de Senador Camará, Bangu, Realengo, Magalhães Bastos, Vila Militar e Deodoro que formam uma grande mancha com temperaturas acima dos 37,1 °C em boa parte de sua extensão. No bairro de Senador Camará, na Favela da Coreia, registrou-se 42,2°, sendo a temperatura mais elevada em áreas residenciais desta amostra. No bairro Bangu, na localidade do Bangu Shopping, foi registrado 48,1 °C e no bairro Vila Militar, na Arena da Juventude, temperaturas da superfície chegando à 43,6 °C. Nas demais áreas residenciais do entorno do ponto 3 a TSC variou entre 30 e 35 °C em áreas com menor densidade de construções e de 35 a 40 °C em áreas com maior densidade de construções.

A espacialização da TSC no meio urbano da AP-4, destacam-se os bairros da Taquara, Jacarepaguá, Cidade de Deus e Curicica, que apresentam as temperaturas mais elevadas do local, atingindo 43,2 °C na área comercial de Jacarepaguá. No bairro Barra da Tijuca, uma faixa que segue a extensão da Avenida das Américas, a mais importante do bairro, exibe elevados valores de TSC. Ainda no bairro Barra da Tijuca, encontram-se os locais com as temperaturas mais altas, no Aeroporto de Jacarepaguá com 42,2°C, Barra Shopping, 44,6 °C e Parque Olímpico, 43,3 °C. Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009, ao analisar essa área, atenta para elementos da superfície que se destacaram por apresentar elevadas temperaturas, como os corredores viários, a exemplo das Avenidas das Américas, citada anteriormente, e Ayrton Senna, que conta

com cobertura asfáltica, material de rápido aquecimento, assim como o Autódromo e Aeroporto de Jacarepaguá. Diferente dos outros pontos de destaque com elevadas temperaturas de superfície, encontram-se áreas com TSC mais amenas no bairro de Vargem Grande, área que possui presença abundante de vegetação e pouca densidade de construções próximas às margens do Maciço da Pedra Branca.

A Figura 7 apresenta a TSC no período noturno do dia 02/03/2022 nas Áreas de Planejamento 4 e 5, ainda não explorada em trabalhos anteriores. Nota-se que os espaços com os maiores valores se assemelham aos espaços do período diurno, porém com alguns pontos novos de destaque temperaturas mais amenas. Na Siderurgica Ternium Brasil, no período noturno, registrou-se 63,8 °C, sendo a maior TSC dessa amostra noturna. Os bairros Senador Camará, Bangu, Realengo, Magalhães Bastos, Vila Militar e Deodoro, destacados no período diurno anteriormente voltam a aparecer como áreas mais quentes no período noturno, destaque para o Bangu Shopping registrando 35,2°C e seu entorno de 30 a 33,4°C, e Arena da Juventude com 35,7°C. Na área que exhibe as adjacências do Maciço da Pedra Branca e Baía de Sepetiba, e se refere aos bairros de Guaratiba, Pedra de Guaratiba e Ilha de Guaratiba, sendo os locais com a temperatura mais amena do período noturno, registrando em boa parte de sua extensão temperaturas entre 19,1°C a 22,1°C mesmo em áreas urbanas, apresentando um resfriamento mais rápido do que em outras áreas.

Figura 7 – Temperatura da Superfície Continental Noturna das Áreas de Planejamento 4 e 5.
 Figure 3 - Land Surface Temperature of Planning Areas 4 and 5 (Night).



Fonte: Os autores (2024).
Source: The authors (2024).

Assim as áreas destacadas anteriormente, que também apresentaram altas temperaturas no período diurno e noturno, na AP-4, os bairros da Baixada de Jacarepaguá também apresentam temperaturas elevadas

no período noturno, apresentando uma grande área com temperaturas acima dos 29,1°C no período. Assim como na cena referente as AP-1, 2 e 3, um notório registro de alta temperatura, acima dos 32,1°C, se destacando na AP-4, refere-se a Lagoa de Jacarepaguá que apresenta temperaturas maiores do que as áreas terrestres, com temperatura de até 35,1°C. O mesmo acontece para a Lagoa da Tijuca, localizado ao lado da Lagoa de Jacarepaguá, apresentando temperaturas de 33,7°C.

Similar a esta ocasião, temos a Baía de Sepetiba, que no período noturno também apresenta uma temperatura da superfície semelhante à de alguns trechos urbanos. Importante salientar que esses corpos hídricos, especialmente as lagoas da Barra da Tijuca (Tijuca e Jacarepaguá), sofrem elevada antropização, o que deve expor a fragilidade desses ecossistemas à elevação da TSC, indo além do resfriamento mais lento noturno, em comparação ao continente, que favorece a elevação da TSC noturna. Entretanto, o estudo da Temperatura da Superfície da Água (TSA), mesmo que esteja entrelaçada ao espaço urbano da metrópole do Rio de Janeiro, não é objetivo desse trabalho.

Embora o produto AST_08 tenha oferecido bons resultados para o estudo do clima urbano na cidade do Rio de Janeiro, o sensor apresenta algumas limitações para um melhor estudo que aborde a as características da cidade. A primeira limitação seria o tamanho da cena e a oscilação na posição das imagens registradas, não possuindo nenhuma imagem que contemple a cidade do Rio de Janeiro por completo, variando constantemente a posição das imagens e dificultando a utilização de algumas cenas até mesmo para o estudo de uma região menor como uma área de planejamento, uma vez que muitas imagens cortam uma AP ao meio, havendo a necessidade de diminuir a área de estudo em alguns casos. Além disso, embora seja definida a resolução temporal de 16 dias, não são disponibilizadas imagens com esse intervalo de tempo, em alguns casos um determinado local fica mais de dois meses sem nenhum registro, seja diurno ou noturno, que no caso de outros sensores, como o LANDSAT, seu tempo de revisita é a cada 16 dias, com seu imageamento sempre na mesma órbita-ponto. Neste caso, no momento da busca pelas cenas ASTER, observa-se longos períodos sem a disponibilidade de imagens, limitando a quantidade de dados para uso e estudo. Portanto, uma das alternativas é trabalhar com o uso de uma imagem como amostra.

4. Conclusão

O produto AST08 (Temperatura Cinética da Superfície) do sensor ASTER apresentou bons resultados para o estudo do clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. A resolução de 90m foi adequada para a escala da cidade, dando a possibilidade de uma investigação mais detalhada dos espaços de calor e frescor e das características locais da região. A disponibilidade de imagens no período diurno e noturno amplia a investigação em clima urbano, principalmente para reconhecimento das áreas, que mesmo no período noturno, continuam com temperaturas desconfortantes. Este trabalho contribui para o mapeamento da Temperatura da Superfície Continental (TSC) para a cidade do Rio de Janeiro e a análise dos espaços propícios aos extremos térmicos.

Pelas cenas utilizadas para o período diurno na Área de Planejamento 1, 2 e 3, identificou-se que há uma diferença na distribuição espacial da TSC. A AP-1 e 3 apresentam os valores de TSC mais elevados, tanto em áreas residenciais quanto em áreas industriais. Na AP-1 temperaturas de 45,9°C foram registradas entre os bairros Caju e Vasco da Gama, enquanto no Morro da Providência e seu entorno, temperaturas de até 42,7°C. Na AP-3, o Aeroporto do Galeão apresenta a TSC mais elevada com 50,1°C, acompanhado de trechos do bairro da Pavuna e Parque Columbia com temperaturas que variaram de 37,1°C a 47°C. Já a AP-2 apresenta um padrão de temperatura mais amena também nos espaços urbanos, somente com destaque para a área da grande Tijuca, nos bairros Andaraí, Vila Isabel e Tijuca, predominando temperaturas entre 31,1 e 39°C. Nas Área de Planejamento 4 e 5, no período diurno, destaque para áreas industriais e comerciais como a Ternium Brasil e a AMBEV, na AP-5, registrando 89,8°C e 48,7 °C respectivamente. Na AP-4 destaque na região da Baixada de Jacarepaguá, no bairro Barra da Tijuca, no Aeroporto de Jacarepaguá com 42,2°C e Barra Shopping 44,6

°C. É importante destacar também, o Parque Estadual da Pedra Branca e da Floresta Nacional da Tijuca presentes no município do Rio de Janeiro, que possuem um notável papel mitigador das elevadas temperaturas nos bairros situados em suas adjacências. Através das 4 amostras que exibiram o período diurno e noturno, observa-se temperaturas mais baixas, também, nas áreas residenciais próximas desses grandes espaços verdes.

No período noturno, a Temperatura da Superfície Continental possui um padrão espacial semelhante à temperatura do período diurno, porém com uma diferença de 10°C ou mais para áreas urbanas e com alguns novos pontos de destaque. Através das imagens noturnas foi possível observar a temperatura dos corpos hídricos, tão comuns na cidade, como a Lagoa Rodrigo de Freitas, a Lagoa de Jacarepaguá e Lagoa da Tijuca, além das Baías de Sepetiba e Guanabara, onde os valores apresentados são semelhantes ou maiores do que nas áreas terrestres, nos espaços urbanos e comerciais. Áreas Industriais e de grande fluxo de veículos, como a Ternium Brasil, em Santa Cruz, na AP-5, Aeroporto do Galeão, na AP-3, e durante um longo trecho da Avenida Brasil que tem seu início na AP-1, no bairro do Caju, e atravessa muitos bairros da AP-3 e AP-5, expõe um grande rastro de altas temperaturas. Este cenário ocorre tanto nas imagens diurnas, como noturnas.

Embora o ASTER apresente limitações, como a falta de imagens completas e a irregularidade na disponibilização de dados, este trabalho aponta o potencial para a análise de anomalias urbano-ambientais no contexto do clima urbano, revelando sua capacidade de fornecer dados para a compreensão das dinâmicas térmicas e hídricas em diferentes contextos. Através da aplicação de métodos como SEBAL e da análise das temperaturas de superfície, fica evidente que o ASTER é uma ferramenta essencial para pesquisadores que buscam aprofundar o conhecimento sobre as interações entre áreas urbanas, suburbanas, periféricas e rurais, contribuindo para a futuros trabalhos e pesquisas. A combinação dos dados do ASTER com outras fontes, como o LANDSAT, pode enriquecer as análises, permitindo uma compreensão mais abrangente das superfícies urbanas. Essa integração de diferentes sensores pode compensar as lacunas e oferecer uma visão mais detalhada das dinâmicas urbanas.

Todavia, o produto AST_08 e os demais produtos do sensor ASTER possuem grande potencial, como neste trabalho para a cidade do Rio de Janeiro. Através do produto é possível observar os contrastes no meio intra-urbano e caracterizar padrões de temperatura da superfície (Fuckner, Moraes e Florenzano, 2009), dando a possibilidade da ampliação dos estudos com a utilização de dados observados de satélites. Futuramente, espera-se avaliar outros produtos em conjunto com o ASTER, a saber: uma melhor representação dos ciclos diurnos; investigar as relações da TSC com indicadores socioeconômicos e locais de vulnerabilidade social; realizar um estudo comparando os demais produtos do sensor ASTER, como o do Modelo Digital de Elevação (ASTGDEM14), e comparar o produto AST08 com produtos de Temperatura da Superfície de outros sensores e satélites.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela bolsa de Iniciação Científica concedida para a pesquisa e ao Laboratório Integrado de Geografia Física Aplicada (LiGA-UFRRJ).

6. Referências

Abrams, M., Hook, S., & Ramachandran, B. (2002). ASTER user handbook, v2: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. Pasadena: **Jet Propulsion Laboratory (JPL)**.

Alfonso, F. S. (2018). **Calculo de temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA, LANDSAT Y SENTINEL-3**. Universitat Politècnica de València (UPV), 2-10.

ASTERWEB. (2004). **Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer**. Acesso em: 15 de dezembro de 2023, disponível: <https://asterweb.jpl.nasa.gov>

Campos, E. J. D. (2014). O papel do oceano nas mudanças climáticas globais. **Revista USP**, n. 103, p. 55-66. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p55-66>

Cheval, S., Dumitrescu, A., & Bell, A. (2009). The urban heat island of Bucharest during the extreme high temperatures of July 2007. **Theoretical and Applied Climatology**, 97, 391–401.

DATA Rio (2019). **Uso do Solo da cidade do Rio de Janeiro 2019**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/PCRJ::uso-do-solo-2019/about>

Dias, C. P. S. (2010). **Análise das Licenças Ambientais emitidas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro** (Monografia). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

dos Anjos, A., Delgado, R., Oliveira Júnior, J. F., Gois, G., & Moraes, N. (2013). Temperatura da Superfície Continental Associada aos Eventos Meteorológicos na cidade do Rio De Janeiro, RJ. **Enciclopedia Biosfera**, 9(17).

Fernandes, R. P. (2021). **Avaliação do fenômeno ilha de calor urbana nas Capitais Nordestinas a partir dos dados do Satélite Sentinel – 3 SLSTR** (Monografia). Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Ferreira, H. V. L., & Ugeda Junior, J. C. (2020). Variação da temperatura da superfície através de imagens Aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 26, 393-410.

Fuckner, M. A. (2007). **Aplicação de Imagens ASTER no Estudo do Ambiente Urbano de São Paulo e Rio De Janeiro** (Dissertação). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

Fuckner, M. A., Moraes, E. C., & Florenzano, T. G. (2009). Processamento de dados multiespectrais termais aplicado à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura da superfície nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. **In XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** (pp. 1369-1376).

Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. **Remote Sensing of Environment**, 114(3), 504-513.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (n.d.). **Panorama da cidade do Rio de Janeiro**. Acesso em: 20 de dezembro de 2023, disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>

Jet Propulsion Laboratory (JPL). (n.d.). **ASTER L2 Surface Kinetic Temperature**. Acesso em: 20 de dezembro de 2023, disponível: https://lpdaac.usgs.gov/products/ast_08v003/

Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. **Remote Sensing**, 3, 1535-1552.

- Lombardo, M. A. (1985). **Ilha de Calor nas Metr pols**. São Paulo: Editora Hucitec.
- Lucena, A. J. (2012). **A ilha de calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro** (Tese de Doutorado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Gradua o e Pesquisa de Engenharia (COPPE), UFRJ, Rio de Janeiro.
- Lucena, A. J., & Peres, L. F. (n.d.). Métodos em clima urbano aplicados   cidade do Rio de Janeiro (Brasil) e sua região metropolitana. **The Overarching Issues of the European Space: Society, Economy and Heritage in a Scenario**, 312-326.
- Lucena, A. J., Peres, L. F., & Miranda, V. F. V. V. (2018). Os espaços de calor da Região Metropolitana e cidade do Rio de Janeiro. In A. C. Oscar Junior & N. B. Armond (Eds.), **A climatologia geográfica no Rio de Janeiro: reflexões, metodologias, e técnicas para uma agenda de pesquisa** (pp. 45-67). Curitiba.
- Nascimento, D. T. F., & Barros, J. R. (2009). Identifica o de Ilhas de Calor por Meio de Sensoriamento Remoto: Estudo de Caso no Município de Goiânia – GO/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, 29(1), 119-134.
- Perera, A. T. D., Coccolo, S., Scartezzini, J., & Mauree, D. (2018). Quantifying the impact of urban climate by extending the boundaries of urban energy system modeling. **Applied Energy**, 222.
- Ribeiro, J. C. (2021). SENSOR ASTER: Análise de Publica es a Partir do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Revista Equador (UFPI)**, 10(1), 118-135.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, 20(1), 120-128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Romero, H. A., & Peña, M. A. (2006). **Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural**. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Santos, T. V. dos., Fontana, D. C., & Alves, R. C. M. (2010). Avalia o de fluxos de calor e evapotranspira o pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45(5), 488–496. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500008>
- Sarricolea, P., Smith, P., Romero, H. A., Notivoli, R. S., Fuentealba, M., & Ruiz, O. M. (2022). Socioeconomic inequalities and the surface heat island distribution in Santiago, Chile. **Science of The Total Environment**, 832, 155152, 13p. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155152>
- Sena, Caio & Franca, Jose Ricardo & Peres, Leonardo. (2014). Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS. **Anuario do Instituto de Geociencias**. 37. 111. https://doi.org/10.11137/2014_2_111_122
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 93(12), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

Streutker, D. R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. **Remote Sensing of Environment**, 85(3), 282-289. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00007-5)

Teza, C. T. V., & Baptista, G. M. M. (2005). Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** (pp. 3911-3918).