



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO
REMOTO NA CIDADE DE TRÊS RIOS – RJ**

Pedro Siqueira Georgino

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Olga Venimar de Oliveira Gomes
CO-ORIENTADOR: Gestor Ambiental Yuri Matheus Neves Silva**

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO
REMOTO NA CIDADE DE TRÊS RIOS – RJ**

Pedro Siqueira Georgino

Monografia apresentada ao curso de Gestão Ambiental,
como requisito parcial para obtenção do título de bacharel
em Gestão Ambiental da UFRRJ, Instituto Três Rios da
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2023**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G346a Georgino, Pedro Siqueira, 2001-

ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO
REMOTO NA CIDADE DE TRÊS RIOS - RJ / Pedro Siqueira
Georgino. - Três Rios, 2023.

51 f.: il.

Orientadora: Olga Venimar de Oliveira Gomes.

Coorientadora: Yuri Matheus Neves Silva.

Trabalho de conclusão de curso(Graduação). --
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Gestão
Ambiental, 2023.

1. Geoprocessamento. 2. Ilhas de Calor. 3.
Microclima. 4. Landsat 8. 5. Três Rios. I. Gomes,
Olga Venimar de Oliveira, 1977-, orient. II. Silva,
Yuri Matheus Neves, -, coorient. III Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Gestão Ambiental.
IV. Título.



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO TRÊS RIOS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO MEIO AMBIENTE - DCMA**

**ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA
CIDADE DE TRÊS RIOS – RJ**

Pedro Siqueira Georgino

Monografia apresentada ao Curso de Gestão Ambiental como pré-requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Aprovada em 13/12/2023

Banca examinadora:

Prof. Orientador Olga Venimar de Oliveira Gomes

Prof. Co-orientador Yuri Matheus Neves Silva

Prof. Fábio Cardoso de Freitas

Prof. Fábio Souto de Almeida

**TRÊS RIOS - RJ
DEZEMBRO – 2023**

Dedicatória

Em homenagem a minha querida avó, Vicentina. Que continue zelando por mim dos céus e sendo fonte de inspiração e modelo de pessoa para a minha vida.

AGRADECIMENTO

Quero primeiramente agradecer a Deus, pelo discernimento dado a mim nesta etapa da vida, por ter me amparado quando perdi minhas forças e esperanças, por ter servido de escudo contra os males lançados contra mim durante este tempo. Em segundo lugar agradeço a minha família, em especial à minha falecida avó, Vicentina, os quais tenho como fonte de inspiração, como refúgio, os que me auxiliaram nessa caminhada a duras penas, podendo agora me ver completando mais uma etapa.

Quero agradecer também a minha orientadora Olga, ao meu coorientador Yuri, e ao Helder, que mesmo com todas as adversidades e os recursos escassos me auxiliaram nessa reta final como só eles poderiam, com atenção e zelo para que eu pudesse conquistar mais um degrau na minha formação profissional e acadêmica, saibam que jamais serei capaz de agradecer o suficiente pelas orientações e puxões de orelha que recebi.

Agradeço também ao PET – Conexões de Saberes, por me proporcionar um melhor aproveitamento da minha graduação, me pondo a prova no desenvolvimento de projetos e afins que certamente me prepararam ainda mais para esse mundo e para o mercado de trabalho, também por me proporcionar boas e duradouras amizades.

Venho agradecer também a todos aqueles que participaram dessa caminhada junto a mim, me apoiando, sendo muitas vezes o que eu precisava, ao invés do que queria e serviram muitas vezes de refúgio nos meus dias ruins.

Por fim, agradeço a mim mesmo, por suportar tudo o que aconteceu nesse meio tempo, afinal foram cinco anos e uma pandemia, obrigado por não ter desistido.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.
(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

O fenômeno de Ilhas de Calor Urbano vem se tornando um importante assunto junto às mudanças climáticas, sobretudo por sua ocorrência em cidades de pequeno porte como Três Rios - RJ. Esse fenômeno tem como característica o aumento de temperatura nos meios urbanos em relação às zonas não urbanizadas no entorno, sendo responsável pelo desconforto térmico e pelo aumento da incidência de problemas de saúde atrelados ao aumento de temperatura. A presente monografia tem como objetivo identificar e discutir a incidência das ICU no município de Três Rios, Rio de Janeiro, durante o período de setembro/2018 a julho/2019 com base nas imagens do satélite Landsat 8, compreendendo todas as quatro estações do ano e suas particularidades. A partir das imagens disponibilizadas no site Earth Explorer, da United States Geological Survey, foram realizados cálculos para se obter, através do software QGIS versão 3.28.9, as imagens referentes à temperatura captada pelos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8. Seguindo a metodologia, foram observados resultados mais amenos para temperatura em estações mais frias, inverno e outono, podendo ser descritos pela menor radiação solar sobre a área de estudo, enquanto em estações mais quentes, verão e primavera, obteve-se temperaturas mais elevadas. As medições variaram para o município de 12,94°C, no dia 16 de junho de 2019, a 49,1°C, dia 22 de dezembro. Observou-se também nas imagens que há expressiva diferença de temperatura quando analisadas áreas urbanizadas e áreas com presença de vegetação, evidenciando a sua influência no microclima do município de Três Rios. Analisados os pontos utilizados na pesquisa, foram constatadas a ocorrência de ICU de magnitude fraca, moderada e forte nos dias analisados, sendo o mais severo o dia 22 de dezembro de 2018, verão, que apresentou uma diferença de 5,34°C no ponto P06, caracterizado por ser uma área urbana, em relação ao ponto de referência na zona rural, P01, e ilhas de frescor fraca e moderada, ressaltando-se o dia 03 de outubro de 2018, início do outono, onde houve uma diferenciação de até -2,68°C no P04, caracterizado pelo Parque Natural Municipal. Comparados os resultados de pesquisas realizadas anteriormente a partir de medições utilizando transecto móvel e com a estação meteorológica fixa do INMET, nota-se a menor amplitude e temperaturas menos severas quando comparadas ao constatado pelos sensores do satélite, indicando que há uma maior influência da radiação solar sobre estes sensores, tornando as medições mais apropriadas para uma visão generalista e para estudos prévios à utilização de estações de medição de temperatura móveis, visando uma maior abrangência dos resultados. Com isso, conclui-se a necessidade de estudos como este para o planejamento urbano e tomada de decisão quanto ao desenvolvimento sustentável, visando a melhor qualidade de vida da população residente e a manutenção do microclima da cidade de Três Rios.

Palavras-chave: geoprocessamento, ilhas de frescor, microclima, urbanização.

ABSTRACT

The phenomenon of Urban Heat Islands (UHI) has become a significant topic in the context of climate change, especially due to its occurrence in small cities such as Três Rios - RJ. This phenomenon is characterized by an increase in temperature in urban areas compared to non-urbanized surrounding zones, contributing to thermal discomfort and an increased incidence of health problems associated with rising temperatures. The present thesis aims to identify and discuss the occurrence of UHI in the municipality of Três Rios, Rio de Janeiro, during the period from September 2018 to July 2019 based on Landsat 8 satellite images, covering all four seasons and their particularities. Using images available on the Earth Explorer website of the United States Geological Survey, calculations were performed to obtain temperature-related images captured by the OLI and TIRS sensors of the Landsat 8 satellite through QGIS software version 3.28.9. Following the methodology, milder temperature results were observed in cooler seasons, winter and autumn, attributed to lower solar radiation on the study area, while warmer seasons, summer and spring, exhibited higher temperatures. Temperature measurements ranged from 12.94°C on June 16, 2019, to 49.1°C on December 22. The images also revealed a significant temperature difference between urbanized areas and those with the presence of vegetation, emphasizing their influence on Três Rios' microclimate. Upon analyzing the research points, the occurrence of UHI of weak, moderate, and strong magnitudes was noted on the analyzed days. The most severe case was observed on December 22, 2018, during summer, showing a difference of 5.34°C at point P06, characterized as an urban area, compared to the reference point in the rural zone, P01, and weak and moderate cool islands, highlighting October 3, 2018, the beginning of autumn, where a differentiation of up to -2.68°C was noted at P04, characterized by the Municipal Natural Park. Comparing results with previous studies conducted using a mobile transect and the fixed meteorological station of INMET, it is evident that satellite sensors indicate a lower amplitude and less severe temperatures. This suggests a greater influence of solar radiation on these sensors, making the measurements more suitable for a general overview and preliminary studies than those obtained by the satellite, indicating that there is a greater influence of solar radiation on these sensors, making the measurements more suitable for a general overview and preliminary studies than those obtained using mobile temperature measurement stations, aiming for broader result coverage. In conclusion, studies like this are essential for urban planning and decision-making regarding sustainable development, aiming to improve the quality of life for the resident population and maintain the microclimate of the city of Três Rios.

Keywords: Cool Island, Geoprocessing, Microclimate, Urbanization.

LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatstica

ICU – Ilha de Calor Urbano

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NASA – National Aeronautics and Space Administration

OLI – Operational Land Imager

RJ – Rio de Janeiro

TIRS – Thermal Infrared Sensor

USGS – United States Geological Survey

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efeito dos centros urbanos na temperatura em relação a áreas menos urbanizadas.....	17
Figura 2. Mapa da cidade de Três Rios – RJ feito a partir de raster do Google Earth	21
Figura 3. Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação do solo de Três Rios – RJ (Fonte: Pinheiro, 2019)	22
Figura 4. P01, estação fixa automática do INMET, localizado no bairro Purys - Zona Rural, município de Três Rios – RJ.....	23
Figura 5. P02, estação móvel, localizada na periferia (Palmital – Vila Isabel), município de Três Rios – RJ	23
Figura 6. P03, estação móvel – Avenida Prefeito Alberto da Silva Lavinias – Centro, município de Três Rios – RJ.....	23
Figura 7. P04, estação móvel no Parque Natural Municipal de Três Rios (Horto), município de Três Rios – RJ	23
Figura 8. P05, estação móvel urbana, localizada na Igreja Matriz de São Sebastião, município de Três Rios – RJ.	24
Figura 9. P06, estação móvel urbana – rua da Maçonaria, município de Três Rios – RJ.	24
Figura 10. Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 01 de setembro de 2018 obtido, a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	32
Figura 11. Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 03 de outubro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	33
Figura 12. Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 22 de dezembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto	34
Figura 13. Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 16 de junho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto	35
Figura 14. Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 02 de julho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	36

Figura 15. Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 01 de setembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	38
Figura 16. Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 03 de outubro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	38
Figura 17. Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 22 de dezembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	39
Figura 18. Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 16 de junho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	39
Figura 19. Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 02 de julho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperaturas máxima, mínima e média dos rasters resultantes da metodologia no QGIS com relação ao dia e estação.....	31
Tabela 2. Temperaturas máxima, mínima e média dos rasters resultantes da metodologia no QGIS com relação ao dia e estação para a zona urbana de Três Rios.....	37
Tabela 3. Temperaturas obtidas nos rasters para os pontos considerados em Silva (2023) a partir da medição do satélite Landsat 8.....	41
Tabela 4. Comparação das temperaturas registradas pelo satélite Landsat 8, transecto móvel e pela estação fixa do INMET para o horário de aproximadamente 12 horas.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. - Classificação de intensidade de ilhas de calor ou de frescor levando em consideração a magnitude obtida.....	30
---	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.1.1 Objetivos Específicos	16
2. REVISAO TEÓRICA	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. ÁREA DE ESTUDO	21
3.2. OBTENÇÃO DAS IMAGENS	24
3.2.1 Determinação da Temperatura	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. ZONA URBANA	37
4.2. COMPARAÇÃO DOS DADOS	41
5. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O aumento da emissão de gases e poluentes do efeito estufa, em função da intensificação das atividades antrópicas ao redor do planeta, acelera o aquecimento global, alterando o clima de forma drástica e preocupante para o ser humano. Observa-se que, em razão desta aceleração do processo de aquecimento global, muitos ecossistemas naturais e os serviços que eles fornecem ao meio ambiente já se alteraram, podendo aumentar o risco dos impactos dessa mudança sobre a população (IPCC 2022).

O cenário das mudanças climáticas vem se tornando ainda mais evidente nos últimos anos, onde o ser humano vem sofrendo com aumento das chuvas, desconforto térmico, seca de importantes corpos hídricos, dentre tantos outros fatos. Com isso, nota-se que aqueles em maior vulnerabilidade social se tornam os maiores afetados (Santos 2017).

Com o intuito de facilitar o acompanhamento das mudanças climáticas já citadas anteriormente, o geoprocessamento busca criar ferramentas confiáveis e que tornem, além de mais fáceis, mais rápidas as análises durante o monitoramento, com o uso de satélites e softwares avançados, proporcionando resultados para diversos trabalhos na área do geoprocessamento, como é o caso de um melhor planejamento urbano (Borges 2017, Bias et al. 2003).

Dentre as ferramentas de geoprocessamento criadas, estão os satélites Landsat, lançados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e monitorado pela United States Geological Survey (USGS), que se mostram importantes instrumentos para as análises espaciais, principalmente em âmbito mais generalizado, como é o caso de estudos de uso e ocupação do solo, influências e consequências das mudanças climáticas em determinadas áreas do globo e a influência da urbanização acelerada de cidades de pequeno, médio e grande porte no clima destes centros urbanos (Pavão 2016).

O fenômeno das Ilhas de Calor Urbano (ICU) pode ser observado em todo o globo terrestre nos centros urbanos, sobretudo naqueles de grande porte. Se trata de uma tendência de temperaturas maiores na área urbana em relação à zona rural circundante, uma importante consequência das ações antrópicas em relação ao meio ambiente graças à intensificação da urbanização e a redução das áreas verdes em grande parte das cidades. (Alves 2017, Amorim 2010)

Esse fenômeno, antes observado de forma majoritária em cidades de médio e grande porte, vem se tornando um fato observado em cidades menores, evidenciando os efeitos da urbanização acelerada mesmo dos municípios considerados como de pequeno porte. Com isso, trabalhos como de Romero (2016), Aleixo (2021) e Alves (2016), dentre outros, vem sendo realizados com o intuito de caracterizar os efeitos dessas ICU nessas cidades e assim fomentar a sua mitigação.

Nos últimos anos o clima no município de Três Rios, no estado do Rio de Janeiro, vem se tornando mais severo, em detrimento do aumento no processo de urbanização, causado pela atração de novas empresas para a cidade e, conseqüentemente, o aumento da população na área urbana. A chegada de novas empresas no local, se dá pela política de isenções fiscais disponibilizada em meados de 2010, a qual visava atrair novos investimentos para o município, bem como o aumento na oferta de empregos e desenvolvimento econômico local (Moraes 2019).

Tendo tal fato em vista, são necessários estudos que levam em consideração a crescente urbanização, no intuito de se minimizar os efeitos adversos advindos deste processo e priorizar a melhor qualidade de vida da população, potencializando os bons resultados e a melhor gestão possível por parte do governo vigente.

Assim, a presente monografia vem com o intuito de realizar uma destas análises, referentes a um dos fenômenos mais marcantes e severos observados nos últimos anos, a aparição das ICU em cidades de pequeno e médio porte, que afetam a sensação térmica da população residente de maneira nítida e que podem ser condutores de diversos problemas de saúde, colocando em risco a boa qualidade de vida de toda uma população.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo identificar e discutir a incidência das ICU no município de Três Rios, Rio de Janeiro, durante o período de setembro/2018 a julho/2019 com base nas imagens do satélite Landsat 8.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Comparação de dados já obtidos para este mesmo período a partir do método de transectos móveis;
- Observar a influência das áreas verdes sobre o clima do município por meio das imagens de satélite (Ilhas de Frescor);

2. REVISAO TEÓRICA

Uma ilha de calor pode ser caracterizada como a diferença de temperatura de uma zona urbana ou suburbana em relação às zonas rurais circundantes, em muito atrelada à urbanização e aos materiais que são utilizados nesse processo, que geralmente absorvem mais calor provindo do sol do que estruturas naturais, como é o caso das áreas verdes (Gartland 2010). O processo de verticalização, em somatório à constante mudança climática, torna este fenômeno a cada momento mais severo e perceptível para o ser humano, sobretudo àqueles que possuem menos meios para que a combatam. Ainda segundo Gartland (2010), em algumas cidades mais frias, com latitudes e altitudes mais elevadas, esse fenômeno de ICU é encarado como algo benéfico à população, uma vez que serve como um meio de contornar as baixas temperaturas existentes nessas áreas.

Como já foi dito, o processo de urbanização é um dos maiores, se não o maior, fator gerador de ICU's, uma vez que a troca da paisagem natural, a grande quantidade de edifícios que atrapalham o transitar dos ventos, a impermeabilização do solo, o uso de materiais que, em sua grande maioria, emite e absorve maior calor e ainda a poluição gerada no meio urbano influenciam diretamente no calor gerado nestes locais (Gartland 2010, Garcia 1996, Pavão 2016, Zhang 2011, Amorim&Dubreuil 2017, Borges *et al.* 2022), como pode ser evidenciado na Figura 1.

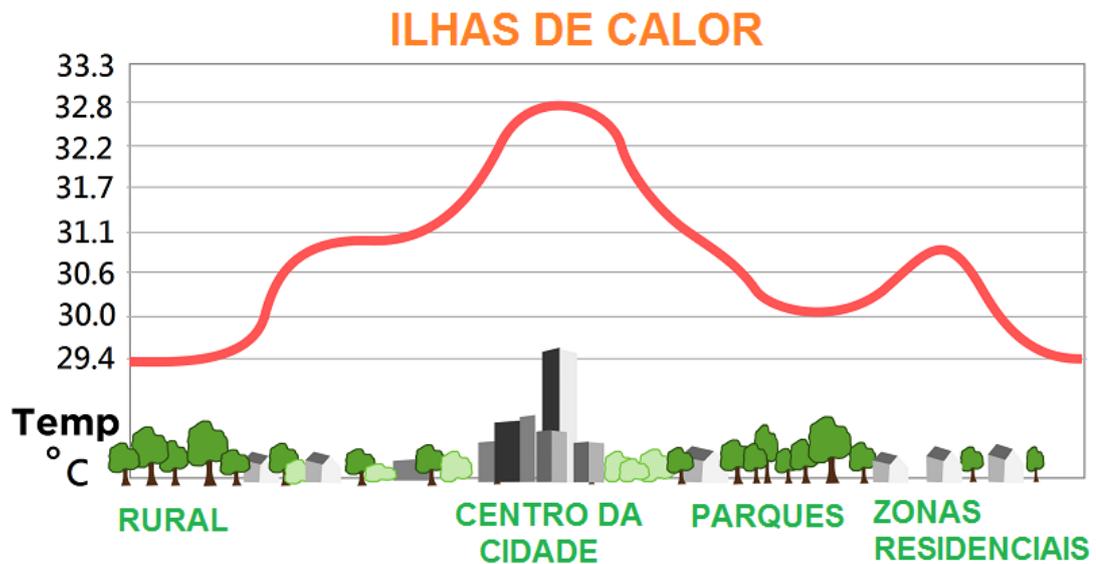


Figura 1. Efeito dos centros urbanos na temperatura em relação a áreas menos urbanizadas. (Fonte: Rangel, 2017)

Neste sentido evidenciam-se as grandes e extensas construções do meio urbano, que muitas vezes são responsáveis por tornar o local ainda mais quente, em muito atrelado aos seus materiais, como o próprio vidro que pode servir como uma espécie de “espelho”, de forma a refletir os raios solares e, conseqüentemente, auxiliar no aumento da temperatura local, se mostrando um resultado severo da urbanização. Somando-se aos materiais impermeabilizantes, como o próprio asfalto que recobre o solo para que sejam criadas extensas rodovias, a retirada de árvores que produzem sombras e amenizam o calor local e a constante poluição vinda do uso dos automóveis no centro urbano, esse fenômeno pode se agravar ainda mais, trazendo inclusive riscos à saúde humana (Amorim 2010, Mares 2019).

Em contraposto a isso, existe também o conceito de Ilhas de Frescor, que geralmente estão atreladas às áreas verdes no interior de uma cidade. Essas áreas verdes causam o efeito inverso de uma ICU, ou seja, pode-se evidenciar nelas uma diminuição de temperatura, melhorando principalmente o conforto térmico (Oliveira Filho et al. 2013), sendo responsáveis por gerar sombra e melhorar a permeabilização do solo. Sendo locais de grande importância para o planejamento urbano em meio às mudanças climáticas, as áreas verdes desempenham um papel ímpar no clima, podendo amenizar a sensação térmica no meio urbano graças à condução dos ventos, redução da poeira, aumento da evapotranspiração, aumentando

consequentemente a umidade do ar, a diminuição de ruídos, o aumento do impacto pluvial, dentre tantos outros fatores que amenizam a sensação térmica do local como um todo (Minaki et al. 2006, p.55, Ferreira et al. 2015).

No que tange às ICU's, existem diversos efeitos, sendo sua maioria adversos principalmente à saúde humana, uma vez que este fenômeno torna a temperatura ainda mais severa, afetando sobretudo idosos e enfermos. A exposição a temperaturas elevadas pode levar a diversos problemas de saúde, como a dores de cabeça, transpiração elevada, exaustão, desidratação, tontura e confusão, além de aumentarem o risco de ataque cardíaco e de acidente vascular cerebral (AVC) e problemas respiratórios sobretudo nas pessoas mais idosas, uma vez que se aumenta a necessidade de arrefecimento do corpo em relação à alta temperatura existente no local (Basara et al. 2010, Viveiros 2017).

Levando-se em consideração o rápido crescimento da cidade de Três Rios nos últimos anos, se faz necessário um excelente planejamento urbano, tendo como objetivo um desenvolvimento sustentável da área, bem como garantir uma boa qualidade de vida para seus habitantes (Moraes 2019). Em relação a este fato, se dá a necessidade de uma maior arborização no interior da cidade, com o intuito de tornar melhor os fatores ambientais, como já referidos anteriormente.

Existem diversas formas de mitigação das ICU's, como por exemplo a criação de novas áreas verdes no interior da zona urbana do município, que podem auxiliar na manutenção do clima como um todo, a implementação de asfalto e outras coberturas de solo que permitam uma maior permeabilidade, uso de materiais que diminuam a absorção e radiação de calor no meio urbano, diminuição do trânsito de automóveis que aumentam a poluição atmosférica, dentre tantos outros fatores que podem aumentar a captação de calor local.

O geoprocessamento vem como uma forma de análise desse tipo de fenômeno urbano em larga escala e com um gasto reduzido tanto de tempo quanto dinheiro, uma vez que são necessários poucos recursos para sua realização, além de se poder levar em consideração tanto momentos mais atuais quanto mais distantes de modo a realizar uma análise mais completa da situação. Com o auxílio de satélites e dos crescentes avanços tecnológicos, esse tipo de análise se mostra uma estratégia ímpar para o planejamento urbano de cidades de grande, médio e pequeno porte de um modo geral, evitando a intensificação do fenômeno de ICU e promovendo uma melhor qualidade de vida para a população (Borges 2017)

No entanto, por conta de ser uma análise mais generalista, existem alguns fatores que se mostram como obstáculos ao seu entendimento. Um desses fatores é a disposição dos materiais

em meio ao centro urbano e outros focos de calor, uma vez que os sensores não os diferenciam em relação aos demais aspectos dentro da área de estudo. Outro fator é a medição pontual da temperatura e a sensação térmica em determinado ponto da área urbana, o que não ocorre, uma vez que a temperatura é medida acima do dossel das árvores pelo sensor do satélite Landsat 8, o que muitas vezes pode fugir do que realmente é sentido pela população naquele mesmo ponto (Borges 2017). Tendo isso em vista, estudos como Silva (2023) promovem uma medição mais pontual, utilizando de transectos móveis para que a temperatura possa ser medida abaixo do dossel das árvores, quantificando de maneira mais aproximada do observado pela população durante as análises, sendo uma ferramenta pós análise realizada de modo remoto, levando em consideração a órbita e periodicidade do instrumento para que haja uma análise mais abrangente.

Com uma operação que teve início em meados da década de 1960, o projeto Landsat é o mais longo projeto de satélites disponível para a obtenção de imagens do globo terrestre para os mais diversos fins possíveis. A missão antes chamada Earth Resources Technology Satellite (ERTS), agora denominada Landsat, teve seu primeiro satélite lançado ainda em 1972, levando consigo as câmeras Return Beam Vidicon (RBV) e Multispectral Scanner System (MSS). Atualmente a missão chegou ao seu oitavo satélite, Landsat 8, utilizado na presente pesquisa, que possui os instrumentos Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), dando continuidade às séries anteriores com novas bandas espectrais para uma melhor qualidade e análise das imagens dispostas pelo aparelho (Embrapa). Esses satélites podem ser utilizados para os mais diversos fins, desde mapeamentos de diversos fatores como agricultura, silvicultura, recursos minerais, pedologia, queimadas, proteção de áreas de conservação, hidrologia, prospecção geológica, atualização de mapas e cartas, mapas de uso e cobertura do solo, planejamento urbano e regional dentre muitos outros, facilitando os estudos em grandes áreas e diminuindo o custo e tempo destas análises (Embrapa). Segundo estudo desenvolvido por Coelho & Correa (2013), análises realizadas por meio do satélite Landsat 8 com a aplicação de suas respectivas equações para o software de geoprocessamento, no caso o software ArcGIS 10.1, foram suficientes para não só identificar os maiores percentuais de temperatura de superfície, em diferentes escalas espaciais, como também, definir o perfil do campo térmico em distintas texturas.

Ainda com a evolução dos sistemas de medição dos satélites existentes, como é o caso do Landsat 8, uma das maiores desvantagens observadas em pesquisas realizadas com dados orbitais se trata da influência atmosférica na radiância registrada pelos sensores (Pavão, 2016).

Os principais efeitos causados pela atmosfera são diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Esses efeitos são causados pelo espalhamento da radiação pelos processos de refração, reflexão e absorção da radiação ocasionados por constituintes atmosféricos como vapor d'água, CO₂, ozônio, oxigênio e aerossóis (Pavão 2016, p. 02).

Sendo assim, se faz necessária uma correção dos valores de radiância durante os cálculos realizados na pesquisa, para que não haja erros relacionados a essa influência. Para isso, são utilizadas constantes que, segundo o estudo de Pavão (2016), auxiliam na normalização destes parâmetros.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Três Rios (Figura 2) fica localizado na região Centro-Sul Fluminense do estado do Rio de Janeiro e possui uma área territorial de 322,843 km². A população residente é de aproximadamente 78 mil pessoas (IBGE 2022). Graças a sua política de isenções fiscais, a disponibilidade hídrica do município consistida por três importantes drenagens (os rios Paraíba do Sul, Paraibuna e Piabanha) e também a localização privilegiada que conecta os três maiores centros consumidores do país (Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais), a cidade encontra-se em franco desenvolvimento populacional. O município vem sofrendo, nos últimos 13 anos, um grande processo de urbanização com a chegada de empresas de diferentes portes, conferindo também um avanço econômico excepcional para a região (Milward de Azevedo 2012).

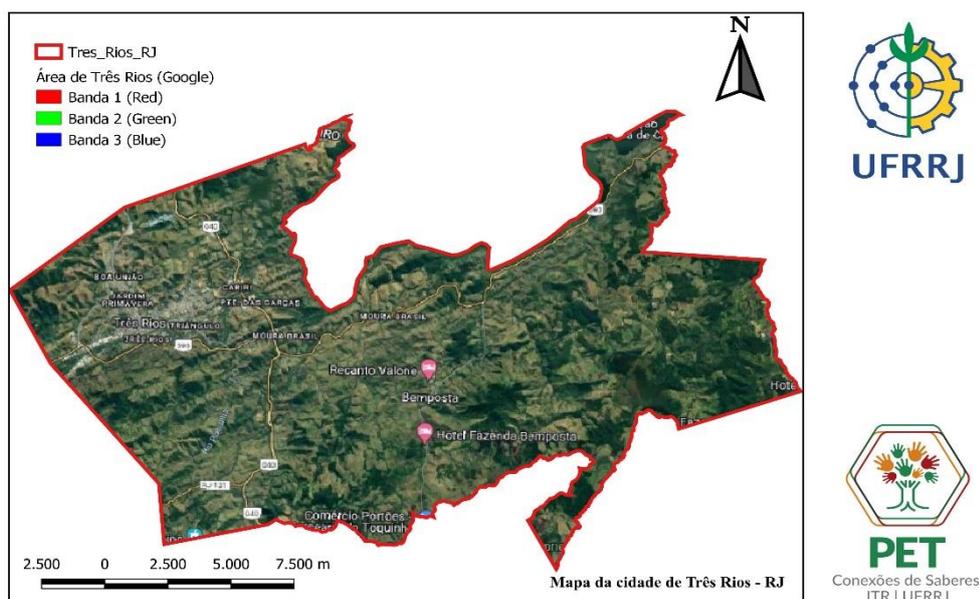


Figura 2. Mapa da cidade de Três Rios – RJ feito a partir do recorte de raster do Google Earth

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), 97% dos habitantes do município são residentes da zona urbana, esta que possui uma área urbanizada de aproximadamente 28 km², tendo 88% desta mesma área classificada como densamente urbanizada e apenas 12% classificado como com pouco adensamento. Essa característica contribui para a verticalização da cidade, atividade em desenvolvimento na atualidade, que têm

como consequências locais a especulação imobiliária, intensa pavimentação e consequente aumento do escoamento superficial, bem como o aumento do fluxo de veículos no centro urbano. Na Figura 3 pode-se observar o mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da cidade de Três Rios, facilitando a análise dos locais com maior quantidade de vegetação nas limitações do município e as áreas com maior densidade urbana.

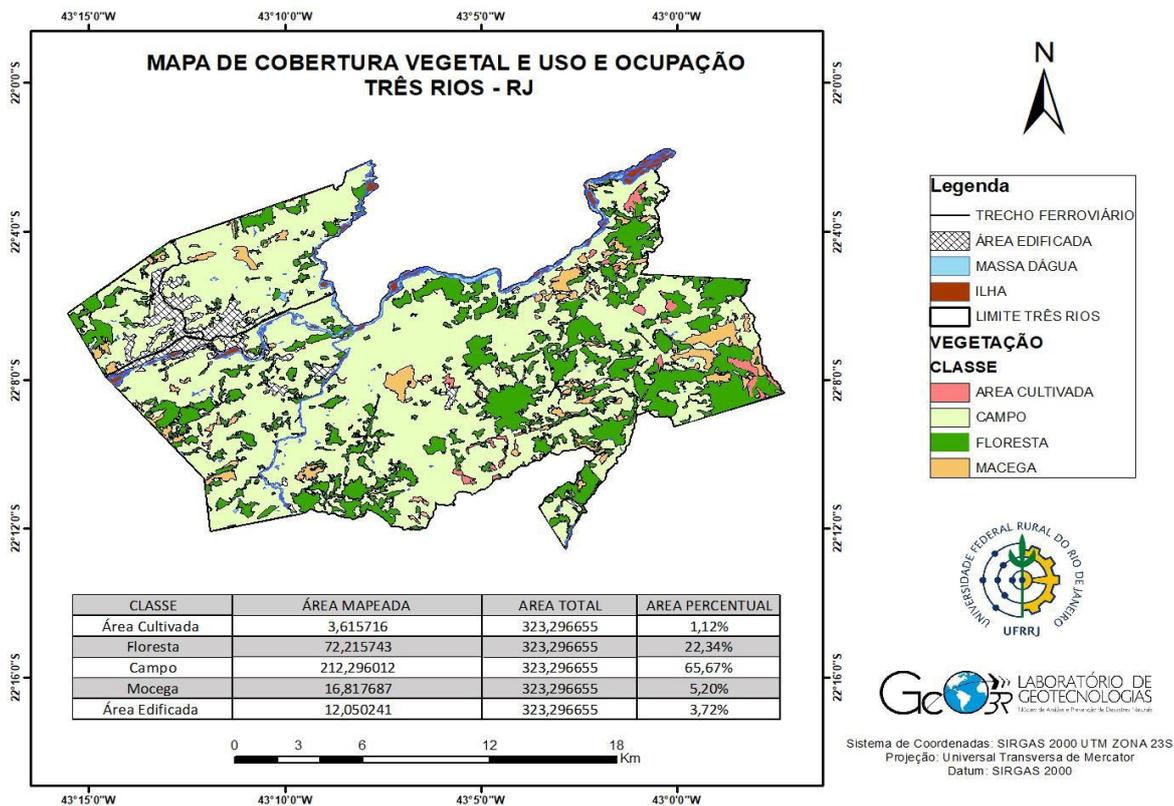


Figura 3: Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação do solo de Três Rios – RJ (Fonte: Pinheiro, 2019)

Quanto ao clima regional, a cidade de Três Rios está inserida no clima tropical Aw (Köppen-Geiger), com inverno seco e verão quente e chuvoso. A média anual de precipitação é de 1347mm, sendo a mínima de 21mm (Junho) e a máxima de 240mm (Dezembro) (Silvério Neto, 2014).

Quanto aos aspectos do relevo, a cidade está inserida na região do médio vale do Paraíba do Sul, com altimetria média de 275m, destacando-se no município as serras Boa Sorte, a nordeste, Boa Vista, a noroeste, Cotia, Monte Alegre, São Lourenço e Tubarão. Destaca-se como limite da área urbana as colinas "meias-laranjas", típicas do médio Vale do Rio Paraíba do Sul (morros convexos).

A vegetação florestal original de Mata Atlântica com vegetação original caracterizada por Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Montana

e, em alguns pontos, Floresta Ombrófila Densa Montana, estas que foram intensamente degradadas pelas ações antrópicas, considerando os primórdios da colonização e a densidade demográfica do país (Silvério Neto 2014). A área de estudo encontra-se na Faixa Ribeira, compreendida por um segmento tectônico de orientação NE-SW, constituído por rochas ígneas e metamórficas de alto grau. O município apresenta tipos de solo como Cambissolo háplico tb distrófico, Latossolo vermelho distrófico, Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e Argissolo vermelho distrófico.

Foram usados, como referência para as medições de temperatura, os mesmos pontos utilizados nos estudos realizados por Silva (2023), dos quais P01 é localizado pela estação meteorológica no bairro Purys, considerado como área rural (Figura 3), o P02 localizado em zona periurbana (Figura 4), o P04 localizado no Parque Natural Municipal de Três Rios (parque urbano) (Figura 5), e os demais pontos, P03, P05 e P06, representam as áreas urbanas consolidadas (Figuras 6, 7 e 8).



Figura 4. P01, estação fixa automática do INMET, localizado no bairro Purys - Zona Rural, município de Três Rios - RJ.



Figura 5. P02, localizado na periferia (Palmital – Vila Isabel), município de Três Rios – RJ.



Figura 6. P03, localizado na Avenida Prefeito Alberto da Silva Lavinias – Centro, município de Três Rios – RJ.



Figura 7. P04, localizado no Parque Natural Municipal de Três Rios (Horto), município de Três Rios – RJ.



Figura 8. P05, localizado na Igreja Matriz de São Sebastião, município de Três Rios – RJ.



Figura 9. P06, localizado na rua da Maçonaria, município de Três Rios – RJ

3.2. OBTENÇÃO DAS IMAGENS

Usou-se o site Earth Explorer, da USGS, para a obtenção das imagens utilizadas na presente pesquisa. Em cooperação com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o site disponibiliza imagens dos satélites Landsat desde a década de 1970, produzindo imagens de todo o território nacional, representando um importante acervo de dados sobre o país.

Dentre os satélites da série Landsat disponíveis para a obtenção de imagens, optou-se pelo Landsat 8 (Figura 9), lançado no dia 11 de fevereiro do ano de 2013. Isso se dá pelos instrumentos Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS) que garantem uma melhor análise das imagens e do sensoriamento do calor emitido à atmosfera e captado por suas câmeras em relação ao Landsat 7, utilizado anteriormente para esse tipo de análise.

O satélite obedece uma periodicidade de 16 dias para a obtenção de novas imagens da área, no Brasil, sendo realizada durante o horário aproximado de 12:50, como pode ser evidenciado nos metadados disponibilizados para cada uma das imagens retiradas do site da USGS.

Levando-se em consideração a qualidade das imagens e a pouca incidência de nuvens, o que atrapalharia os sensores de temperatura do satélite, foram escolhidos cinco dias no período de setembro do ano de 2018 a julho do ano de 2019. As imagens obtidas correspondem às estações do ano de forma que se possa realizar uma análise mais abrangente, sendo uma imagem para o Verão (dia 22/12/2018), uma para Primavera (dia 03/10/2018), uma para Outono (dia 16/06/2019) e duas para Inverno (dias 01/09/2018 e 02/07/2019).

Com as imagens baixadas, utilizou-se do software Quantum GIS (QGIS), versão 3.28.9, de forma que as imagens recebessem o devido tratamento e expressassem, a partir da aplicação de fórmulas, as temperaturas dos pontos urbanos na cidade.

3.2.1 Determinação da Temperatura

No intuito de determinar a temperatura captada pelos sensores do satélite Landsat 8, utilizou-se as imagens das bandas 4, 5 e 10, referentes ao Vermelho Visível, o Infravermelho Próximo e ao Infravermelho Termal respectivamente, para que fosse determinado o calor detectado pelo aparelho, pautando-se no método de Pavão (2016), que propõe uma correção atmosférica das imagens em questão para que haja uma eficiente obtenção de dados por meio dos cálculos realizados dentro do software do QGIS. Os dados orbitais com ou sem correção atmosférica para a faixa espectral de ondas curtas utilizados neste tipo de estudo podem ser obtidos em sites geridos pela NASA, tendo uma ampla escala temporal, como o utilizado na presente pesquisa, e diferentes sensores.

Para uma melhor observação dos dados, foram realizados os procedimentos de recorte da área de interesse, no caso a zona urbana do município de Três Rios, para que posteriormente fossem realizadas as etapas subsequentes para o tratamento da imagem e a observação das possíveis ilhas de calor presentes.

3.2.1.1. Radiância no Topo da Atmosfera

Tendo como foco a Banda 10, responsável pelo infravermelho termal, a radiância no topo da atmosfera foi calculada seguindo a equação:

$$L_{toa} = M_L Q_{cal} + A_L$$

Sendo L_{toa} a radiância ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) no topo da atmosfera, M_L é o fator multiplicativo (RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04) e A_L o fator aditivo (RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000 ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)) responsáveis pela correção da radiância. Vale ressaltar que todos estes valores são encontrados no documento de metadados disponibilizado pelo site durante a obtenção das imagens. Q_{cal} é substituído pela própria Banda

10 na aplicação da fórmula na calculadora Raster, dentro do software QGIS. Ao final, encontra-se a equação:

$$("B10@1"*3.3420E-04)+0.10000$$

Para uma melhor identificação da camada raster resultante da equação anterior, utilizou-se a sigla “Ltoa10”.

3.2.1.2. Reflectância no Topo da Atmosfera

Para realizar o cálculo da reflectância com correção solar, temos como foco as Bandas 4 e 5, responsáveis pelo Vermelho e o Infravermelho Próximo, sendo o mesmo para ambas as bandas. Com isso, a equação responsável é dada por:

$$\rho_{toa} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\text{sen}(\theta_{SE})}$$

Sendo ρ_{toa} a reflectância no topo da atmosfera, M_{ρ} o fator multiplicativo (REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05 e REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05) e A_{ρ} é o fator aditivo (REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000 e REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000) de correção de reflectância também disponíveis no documento de metadados que acompanha as imagens de satélite. Q_{cal} é novamente substituído pela própria banda (seja ela a banda 4 ou 5), e $\text{sen}(\theta_{SE})$ representa o seno do ângulo zenital (SUN_ELEVATION). É bom lembrar que o ângulo zenital varia de acordo com o dia da imagem, sendo necessário calcular o seno para diferentes imagens, como foi o caso do presente estudo. Ao fim, temos as seguintes equações:

$$(("B04@1"*2.0000E-05)-0.100000)/0.8821829544$$

$$(("B05@1"*2.0000E-05)-0.100000)/0.8821829544$$

Para uma melhor identificação da camada raster resultante da equação anterior, utilizou-se a sigla “R04”, para o resultado da banda 4, e “R05”, para o resultado da banda 5.

3.2.1.3. NDVI

O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dá-se pela equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

Nesta equação, ρ_{iv} é a reflectância da banda do infravermelho próximo (nesse caso a camada “R05”) e ρ_v é a reflectância da banda do vermelho (no caso a camada (“R04”). Assim a nova camada (“NDVI”) é expressa pela seguinte equação na calculadora raster:

$$("R05@1" - "R04@1") / ("R05@1" + "R04@1")$$

3.2.1.4. Radiância da Banda Termal Corrigida

Para que haja o cálculo da radiância corrigida, é necessário, anteriormente calcular algumas variáveis, sendo a primeira delas o Fator de Cobertura (FC), que é expressa pela equação:

$$F_c = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{máx} - NDVI_{min}} \right)$$

Onde $NDVI_{máx}$ é o NDVI máximo possível, com valor igual a 1, e o $NDVI_{min}$ o menor NDVI possível, com valor igual a -1. Assim, chega-se à seguinte fórmula que terá como resultado a camada “FC”:

$$("NDVI@1" + 1) / 2$$

Após a obtenção da camada com o fator de cobertura, calcula-se a constante de emissividade pela seguinte equação:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_v * F_c + \varepsilon_g * (1 - F_c) * (1 - 1,174 * F_c) + 1,7372 * F_c * (1 - F_c)$$

Nessa equação, ε_0 representa a emissividade da superfície, ε_v é a emissividade da vegetação (tendo o valor especificado no trabalho de Pavão, 2016, como 0.985) e ε_g representa a emissividade do solo (com valor especificado como 0.960, segundo Pavão, 2016). A camada resultante foi nomeada como “emissividade”.

Por fim, é corrigida a radiância espectral da banda do espectro de infravermelho termal através da seguinte equação:

$$L_{\tau} = \frac{L_{toa} - L_u - (1 - \varepsilon_0) * L_d}{\varepsilon_0 * \tau}$$

Sendo L_{τ} a radiância espectral corrigida ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), L_{toa} a radiância espectral no topo da atmosfera, determinada pela camada “Ltoa10”, e ε_0 a emissividade da superfície calculada anteriormente. Ainda neste cálculo, as incógnitas L_u , L_d e τ dizem respeito à radiância emitida pela superfície, a radiância recebida pela superfície e a transmissividade da atmosfera respectivamente. Essas informações são obtidas a partir de outro site da NASA, através do link <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>. Para que estes valores sejam obtidos, é necessário informar o ano, mês, dia, hora e minuto em que a imagem foi captada pelos sensores do satélite, sendo esses dados dispostos nos metadados, além da Latitude e Longitude em graus decimais da imagem em questão, nessa pesquisa foram usadas as latitude e longitude da cidade de Três Rios. Com isso, obtém-se a equação:

$$("Ltoa10@1"-3.66-(1-"emissividade@1")*5.49)/("emissividade@1"*0.57)$$

3.2.1.4. Temperatura da Superfície com Correção Atmosférica

Por fim, há o cálculo da temperatura da superfície para a imagem em questão, utilizando a seguinte fórmula:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_t} + 1\right)} - 273.15$$

Nesta fórmula, T_s representa a temperatura da superfície em Graus Celsius, as incógnitas K_1 e K_2 representam as constantes termais para a banda 10 espectral do infravermelho termal, que pode ser encontrada nos metadados disponibilizados pela USGS ($K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ e $K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789$ Kelvin), e, por último, a incógnita L_t representa a radiância espectral corrigida ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), a qual é substituída pela camada “LT10”, dando origem à camada “Temperatura – C”. Com esse

cálculo, obtém-se a temperatura já convertida para o padrão de Graus Celsius. Sendo assim, podemos observar a seguinte fórmula:

$$1321.0789/\ln(774.8853/“LT10@1”+1)-273.15$$

Como resultado desse cálculo, temos as temperaturas obtidas pelos sensores do satélite Landsat 8 representadas na camada raster em escalas de cinza, sendo necessária a mudança da composição de cores para uma melhor observação dos locais onde se capta as maiores temperaturas. Para isso, na aba de propriedades da camada raster “Temperatura – C”, mudou-se a composição de cores para simples-falsa cor, com o gradiente de cores invertido para que as cores mais quentes indiquem as temperaturas mais altas na imagem.

2.3.1.5. *Magnitude das Ilhas de Calor*

Levando-se em conta que há uma diferenciação de temperatura para cada ponto expresso na imagem, devido à diferença de informações existentes em cada um dos pixels, houve também uma medição de magnitude da ICU. Segundo estudos realizados por Garcia (1996), as magnitudes são dadas pela diferença entre as temperaturas médias da área urbana e rural, sendo assim proposto pelo mesmo estudo níveis de intensidade de ilhas calor, quando se detectam valores superiores ao ponto de referência da zona rural, ou de ilhas de frescor, quando se detectam valores inferiores. Sendo assim, tem-se que há como padrão a área rural ser dada como aquela menos afetada no quesito calor, em relação às zonas urbanas.

No entanto, Silva (2023) propôs um cálculo onde se leva em conta apenas a temperatura do ponto em determinado momento do dia que esteja sendo avaliado, tomando como base a diferença de sensação térmica que pode ser atrelada a diferentes horários, permitindo uma maior noção espacial da diferenciação térmica. Sendo assim, deu-se outra equação de forma a expressar essa diferença em um novo raster dentro do software do QGIS, podendo ser expressa pela fórmula:

$$M_{i,n} = T_{i,n} - T_{0,n}$$

Onde $M_{i,n}$ representa a magnitude da ICU num ponto qualquer no momento n, $T_{i,n}$ a temperatura deste ponto no momento n, e $T_{0,n}$ a temperatura do ponto de referência (P01) num momento n. Vale ressaltar que com as imagens de satélite é descartada a relação de momentos que seria usada durante essa equação, uma vez que a imagem tirada pelo Landsat 8 só abrange

um horário específico, levando em consideração o seu período de passagem pelo local de estudo.

Segundo Garcia (1996) e Silva (2023), as magnitudes das ilhas de calor ou de frescor podem aderir a diferentes classificações, levando em consideração a sua intensidade em relação ao ponto de referência (P01). Sendo assim, as magnitudes traduzem a qual grupo aquela diferença faz parte, obedecendo ao seguinte quadro.

Quadro 1: Classificação de intensidade de ilhas de calor ou de frescor levando em consideração a magnitude obtida.

Magnitude	Categoria	Intensidade
< -6 °C	Ilha de Frescor	Muito Forte
-4 a -6 °C		Forte
-2 a -4 °C		Moderada
0 a -2 °C		Fraca
0 a 2 °C	Ilha de Calor	Fraca
2 a 4 °C		Moderada
4 a 6 °C		Forte
>6 °C		Muito Forte

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Elencando os resultados obtidos para cada um rasters resultantes das equações executadas, temos a tabela 1 com dados estatísticos descritivos para todo o território. As temperaturas médias nos cinco dias variaram de 12,94°C (dia 16/06/2019) a 49,10°C (dia 22/12/2018), através dos sensores de satélite.

Tabela 1: Temperaturas máxima, mínima e média dos rasters resultantes da metodologia no QGIS com relação ao dia e estação.

Dias	Estação	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Média (°C)
01/09/2018	Inverno	33,50	15,83	22,98
03/10/2018	Primavera	41,47	24,31	30,51
22/12/2018	Verão	49,10	27,21	35,74
16/06/2019	Outono	35,56	12,94	21,08
02/07/2019	Inverno	35,35	14,41	20,76

Seguindo a metodologia anteriormente descrita, para o dia 01 de setembro de 2018, durante o inverno, foram encontradas temperaturas que variaram de 15,83°C a 33,50°C, para todo o município. É possível observar na Figura 10 focos de calor distribuídos na região nos arredores da área urbana de Três Rios, mas principalmente na região oeste do município, terrenos do Cantagalo e estrada de Barão de Angra.

O mês de setembro se caracteriza por um período muito seco e muito propício a eventos de queimadas. Gomes et al (2023) enfatiza que setembro é o principal mês desses eventos na região. Acredita-se ainda que as áreas degradadas e afloramentos rochosos nesses locais também contribuam para o aumento da temperatura no local.

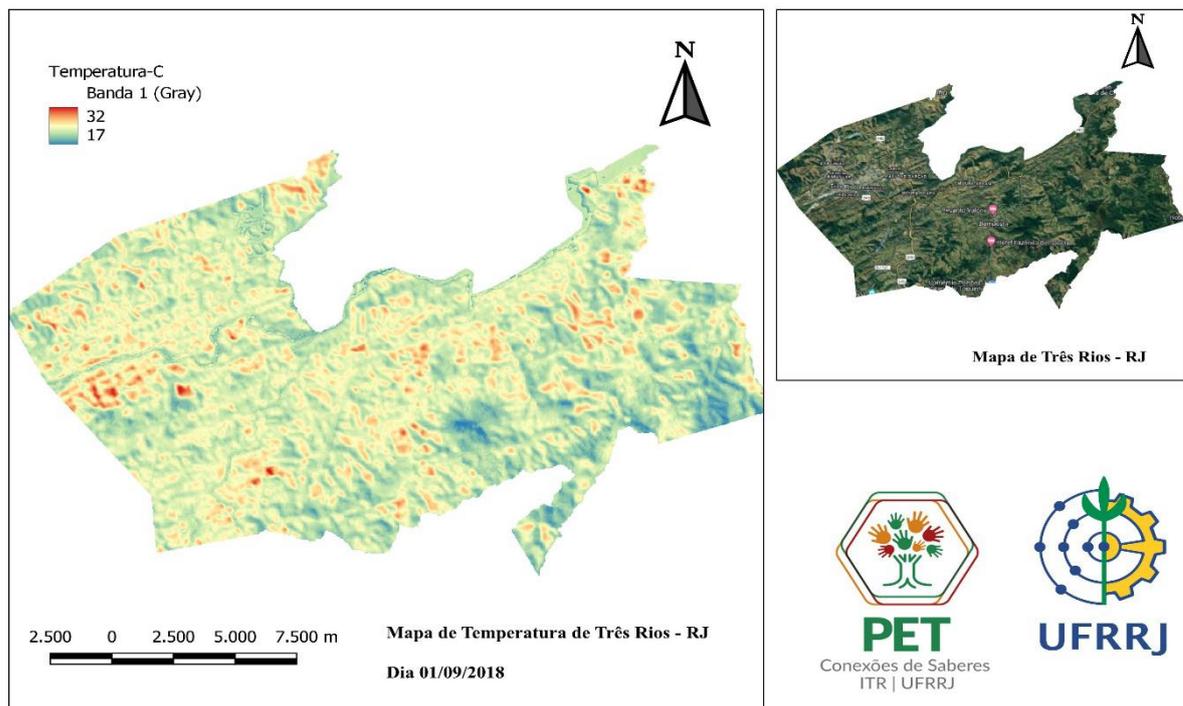


Figura 10: Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 01 de setembro de 2018 obtido, a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

Seguindo para o dia 03 de outubro de 2018, já na estação da primavera, obteve-se temperaturas que variam de 24,31°C a 41,47°C. Com o aumento da radiação solar e aumento da influência da radiação infravermelha para a área urbanizada, é possível destacar os focos de calor no centro urbano do município de Três Rios, região noroeste (Figura 11).

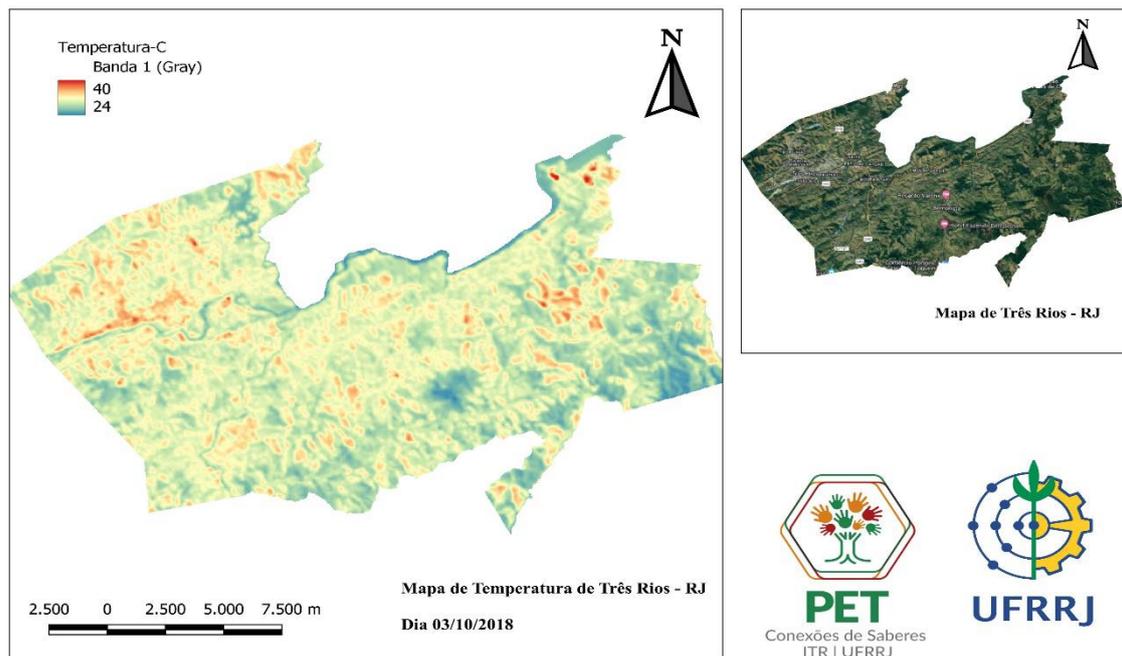


Figura 11: Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 03 de outubro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

Sendo o primeiro dia que representa o Verão do ano de 2018, em 22 de dezembro de 2018 foram identificados os maiores focos de calor por meio dos sensores do satélite. As temperaturas obtidas por meio do raster variam entre 27,21°C e 49,10°C, com uma média de 35,74°C, tendo especial enfoque as regiões noroeste, oeste e sudoeste do município, principalmente na área urbana de Três Rios (Boa União, Cidade Nova, Cantagalo e Centro) (Figura 12).

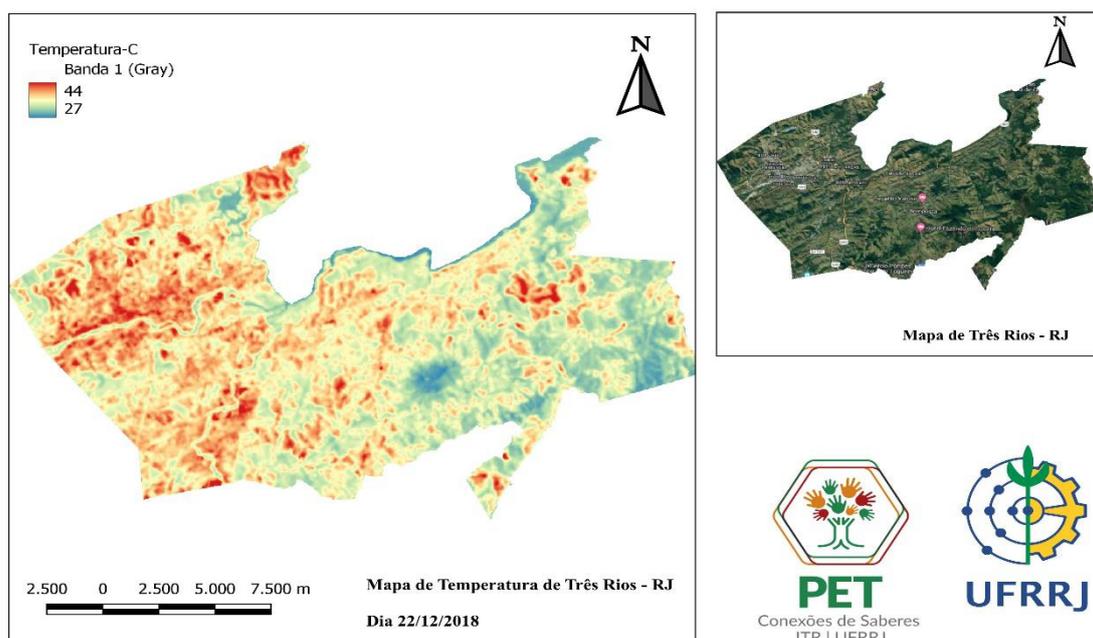


Figura 12: Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 22 de dezembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

A Figura 12 e a tabela nos permitem perceber a diferenciação de temperaturas ocorridas durante o período do verão, onde as medições apontam para valores muito superiores se comparados com os demais dias analisados. Evidencia-se a temperatura no meio urbano mais uma vez, como mostrado por Gartland (2010), Garcia (1996), Pavão (2016), Zhang (2011), Amorim & Dubreuil (2017) e Borges *et al.* (2022), onde é possível notar uma disposição mais intensa das cores quentes, indicando focos de calor ainda maiores, podendo ser relacionados aos materiais encontrados na urbanização, que podem absorver maiores quantidades de calor e emití-lo para a atmosfera.

No dia 16 de junho de 2019, final do outono, foram registradas temperaturas que variam entre 21,08°C e 35,56°C, tendo uma temperatura média de 12,94°C em toda a área que compreende o município, sendo a média mais fria dentre os cinco dias observados (Figura 13).

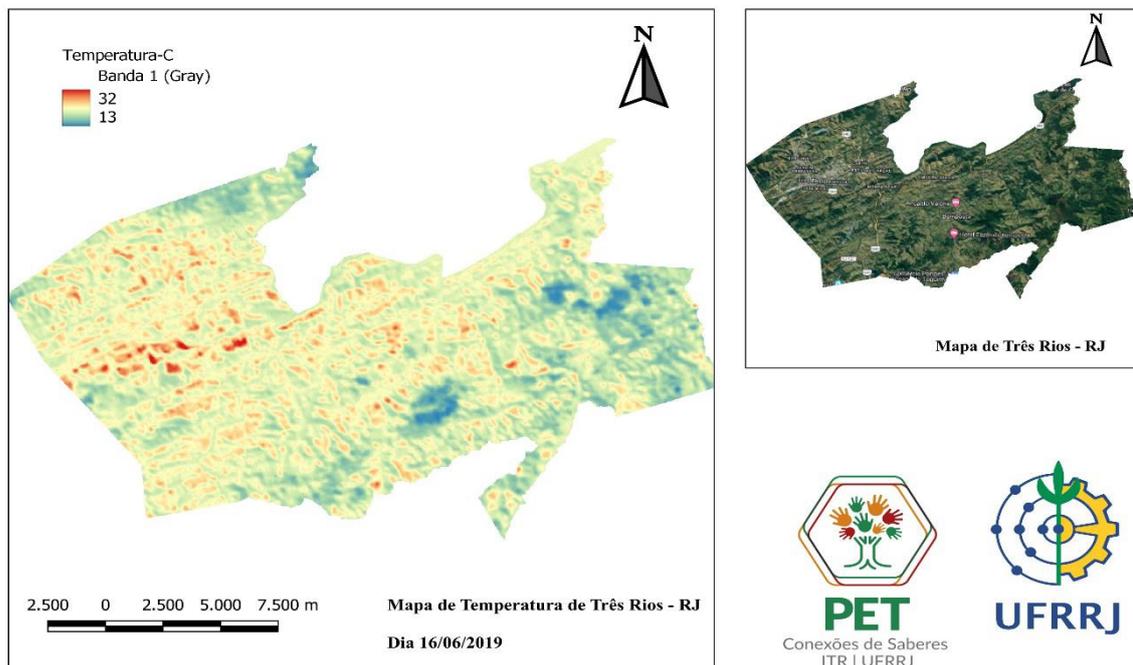


Figura 13: Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 16 de junho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

Chegando ao último dia de medição, o dia 02 de julho de 2019, inverno, foram registradas no raster temperaturas que variam de 14,41°C a 35,35°C dentro da área que compreende o município de Três Rios, tendo uma média de 20,76°C. (Figura 14). É possível perceber que a distribuição das temperaturas é mais homogênea se comparado com os períodos mais quentes (primavera e verão), sendo que os focos de calor se assemelham ao período de inverno de 2018 e outono de 2019, fato que pode suscitar que as condições de relevo e degradação da Mata Atlântica, queimadas possam ser as principais variáveis que influenciam a distribuição do calor nas épocas mais frias.

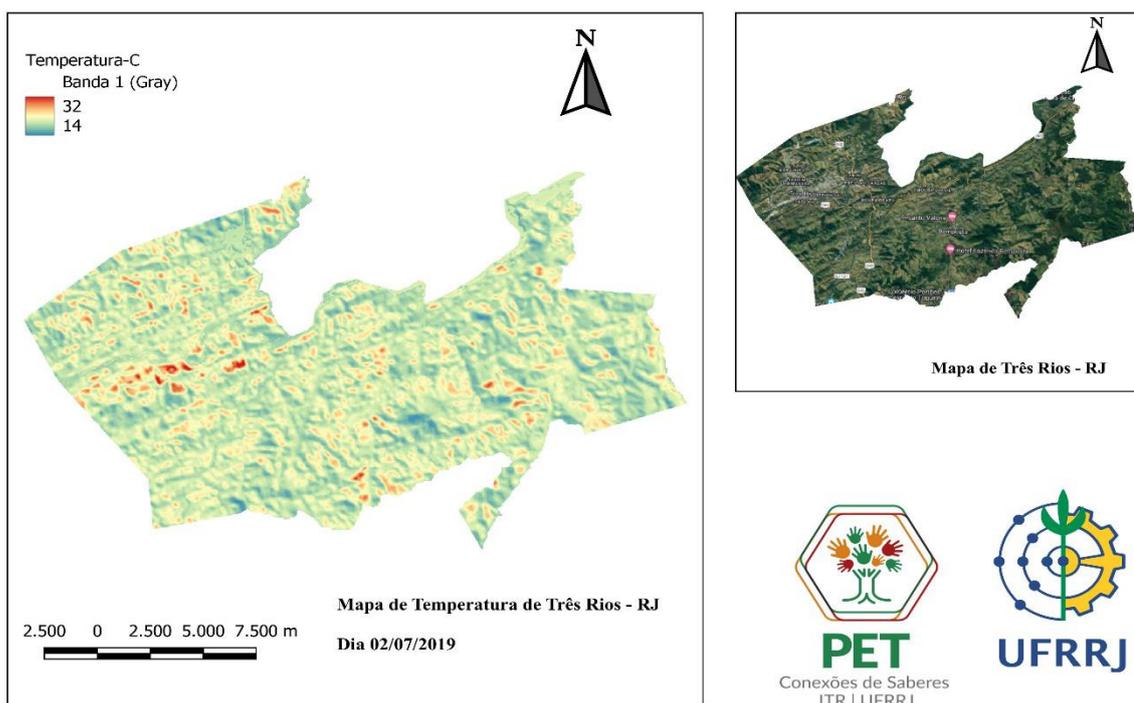


Figura 14: Mapa de temperatura do município de Três Rios – RJ no dia 02 de julho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

As regiões mais frescas do município compreenderam os terrenos de Bemposta, localizado a leste no município, onde é possível perceber nas imagens resultantes, existências de manchas onde as temperaturas são menores, associadas a remanescentes florestais, como o demonstrado na Figura 3 de Pinheiro (2019). Essa análise reforça a influência das áreas verdes no microclima local e sua importância na sensação térmica, mesmo quando analisada a partir dos sensores do satélite.

Esse tipo de fato também reforça a necessidade de um planejamento urbano que vise preservar essas áreas, bem como recuperar as áreas próximas ao centro urbano do município de Três Rios ou até mesmo a arborização de vias públicas, como ferramenta para melhoramento do conforto térmico da população, aumentando assim a qualidade de vida como um todo e como fator de mitigação dos impactos das mudanças climáticas. Além disso, esse tipo de prática mitigatória pode atrair outros tipos de benefícios ecossistêmicos, como a regulação do ciclo hidrológico, condução dos ventos, redução da probabilidade de ocorrência de deslizamentos e enchentes, proteção da biodiversidade, entre outros.

4.1. ZONA URBANA

A fim de corroborar a identificação de ilhas de calor urbano monitoradas através de transectos móveis por Silva (2023), foram realizadas análises específicas sobre este fenômeno comparando-as com os dados de Silva (2023). Para a área urbana foram identificados intervalos entre 20,62°C a 35,06°C no dia 01 de setembro de 2018, com uma média de 22,98°C; no dia 03 de outubro de 2018, foram observadas temperaturas que variam de 25,97°C a 39,72°C com uma média de 31,65°C; no dia 22 de dezembro de 2018 foram obtidas temperaturas que variam de 29,73°C a 49,10°C com média de 38,21°C; no dia 16 de junho de 2019 foram constatadas temperaturas que variam entre 18,10°C e 35,56°C, tendo uma média de 22,57°C; e, por fim, no dia 02 de julho de 2019, foram observadas temperaturas que variam de 15,66°C a 35,35°C, tendo uma medida de 21,18°C, podendo ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Temperaturas máxima, mínima e média dos rasters resultantes da metodologia no QGIS com relação ao dia e estação para a zona urbana de Três Rios.

Dias	Estação	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Média (°C)
01/09/2018	Inverno	35,06	20,62	22,98
03/10/2018	Primavera	39,72	25,97	31,65
22/12/2018	Verão	49,10	29,73	38,21
16/06/2019	Outono	35,56	18,10	22,57
02/07/2019	Inverno	35,35	15,66	21,18

Com essas informações, observa-se que as temperaturas se tornam maiores e mais agressivas em meio à zona urbana de Três Rios, principalmente nos períodos mais quentes, ao passo que pode ser detectado pelo sensor TIRS do satélite Landsat 8. Foram observados aumentos nas temperaturas média, mínima e máxima em quase todos os dias, quando comparado ao exposto no item anterior.

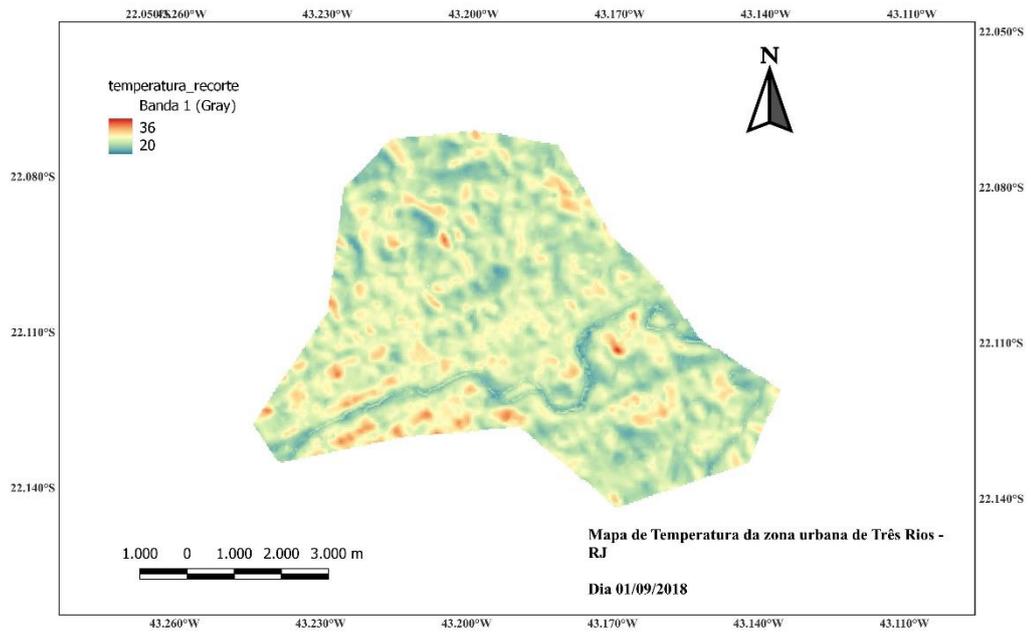


Figura 15: Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 01 de setembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

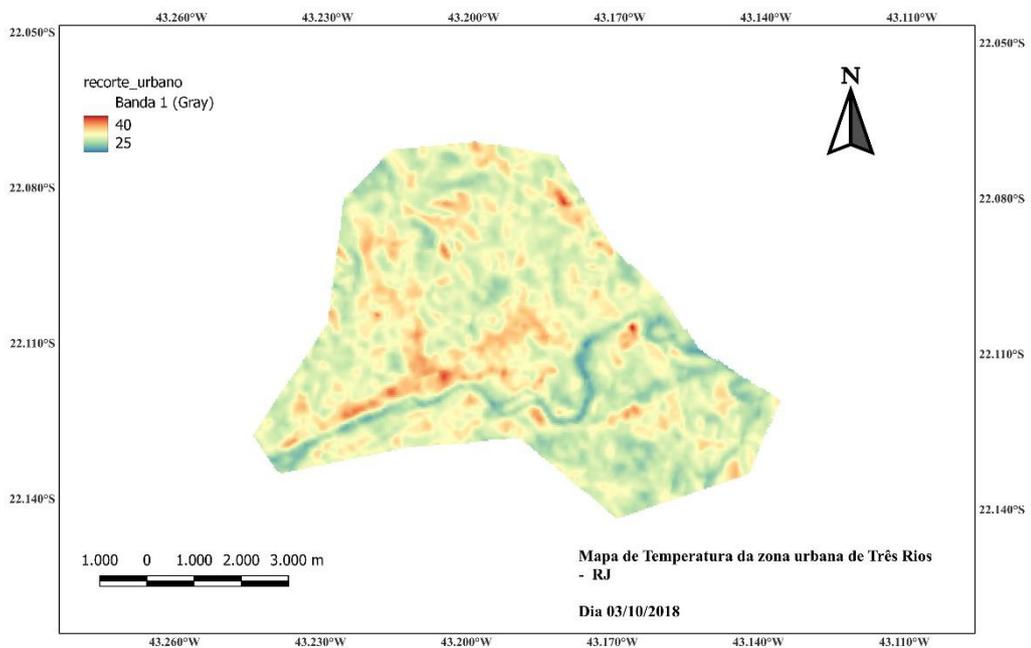


Figura 16: Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 03 de outubro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

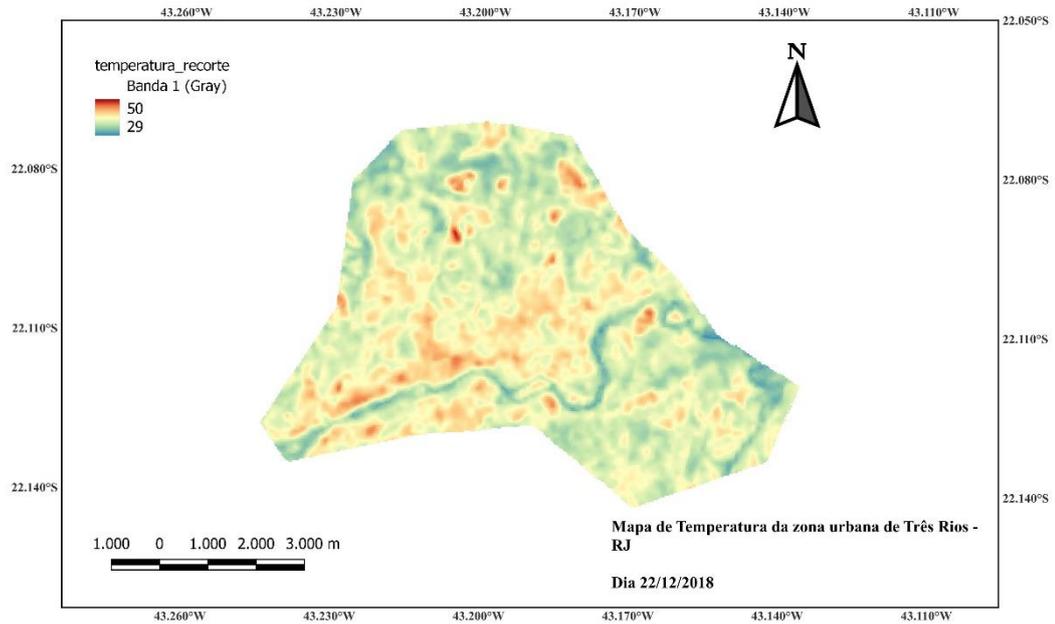


Figura 17: Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 22 de dezembro de 2018 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

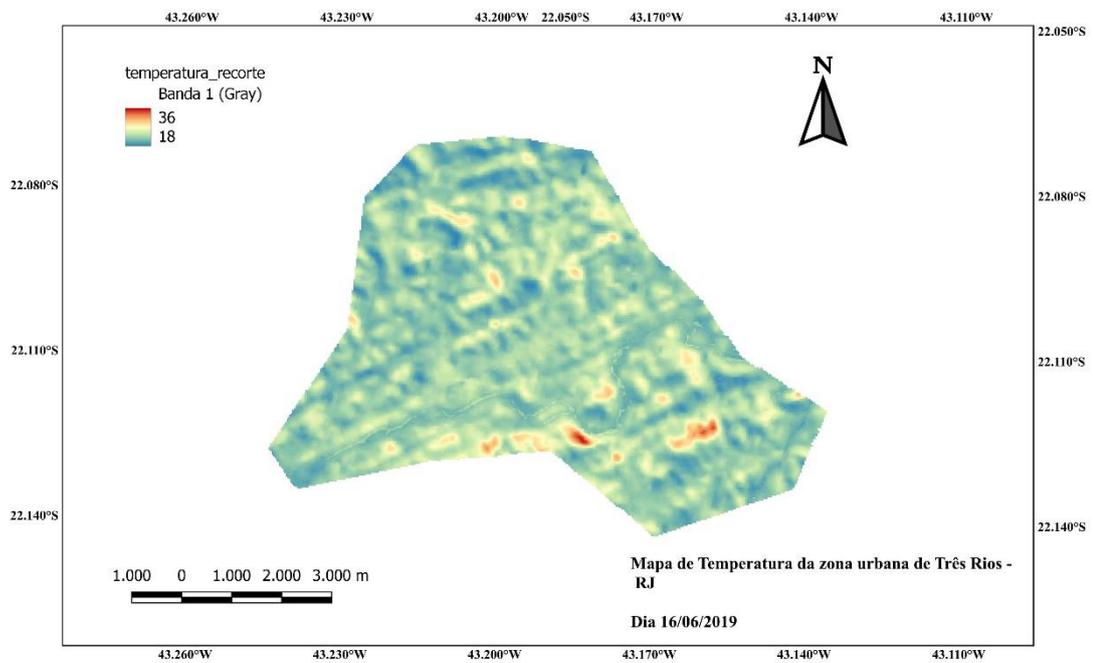


Figura 18: Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 16 de junho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

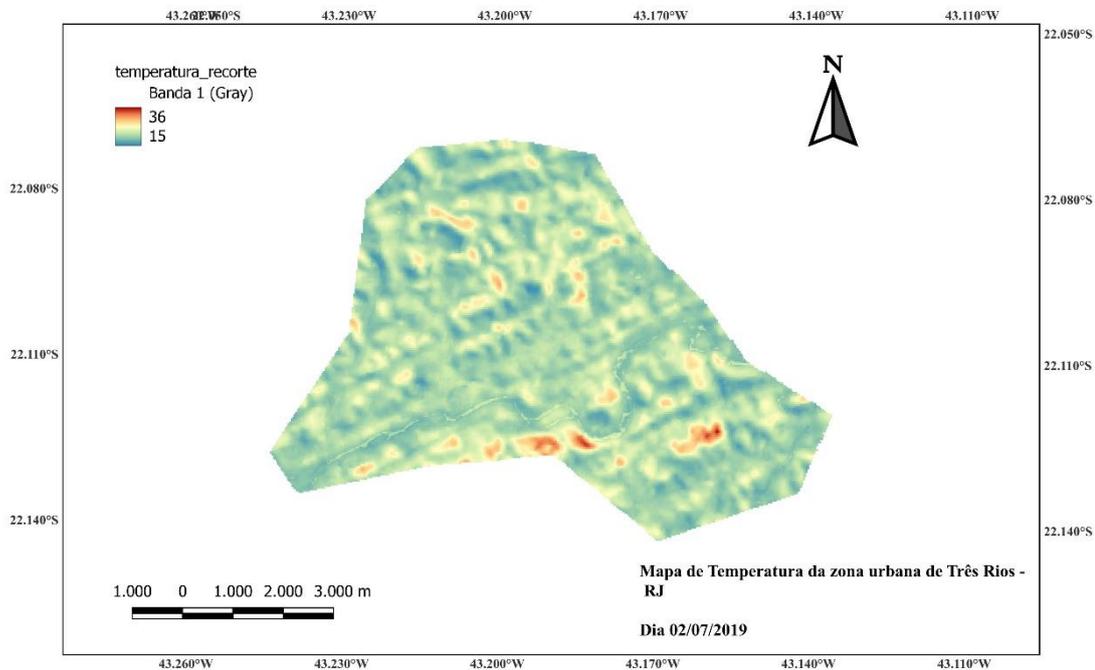


Figura 19: Mapa de temperatura da zona urbana do município de Três Rios – RJ no dia 02 de julho de 2019 obtido a partir da metodologia de medição por meio de sensoriamento remoto.

As imagens apresentadas anteriormente demonstram de forma mais precisa a influência da zona urbana na captação do calor por meio dos sensores do satélite Landsat 8, sendo atreladas de maneira majoritária aos locais onde há maior influência antrópica.

Destaca-se também, nos dias que compreendem o período mais frio, os dias 16 de junho de 2019, final do outono, e 02 de julho de 2019, início do inverno, que existe uma menor incidência de focos de calor visíveis neste meio. Isso torna necessária a análise com vista às diferentes características existentes em cada um dos períodos do ano, principalmente quanto à radiação solar, levando em conta o descrito por Pavão (2016), que pode e irá influenciar diretamente nas medições realizadas por meio dos sensores. Esse tipo de análise se torna essencial para um bom planejamento urbano e também como uma prévia para medições em campo, podendo facilitar o mapeamento das ICU para que posteriormente haja a medição *in loco*, onde se dará de forma mais pontual os efeitos do microclima urbano na sensação térmica local.

4.2. COMPARAÇÃO DOS DADOS

Neste item buscou-se realizar uma comparação dos dados angariados por meio dos sensores OLI e TIRS do satélite Landsat 8 com os dados dispostos por Silva (2023) e pela estação meteorológica fixa do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no bairro Purys. Com efeito, se pontuou no software QGIS as coordenadas dos seis pontos de amostragem, de forma que, a partir das informações demonstradas através dos pixels, os valores para as temperaturas pudessem ser comparados.

Realizados os procedimentos descritos na metodologia para que se obtivesse as temperaturas e referenciados os pontos dentro da imagem resultante, foi possível, a partir dos dados dispostos nos pixels resultantes, mensurar a temperatura captada pelo sensor do satélite nas áreas amostradas por Silva (2023), de modo que as temperaturas resultantes pudessem ser descritas, como observado na Tabela 3.

Tabela 3: Temperaturas obtidas nos rasters para os pontos considerados em Silva (2023) a partir da medição do satélite Landsat 8.

Dias	Temperatura (°C) dos Pontos					
	P01 (Rural)	P02 (Periurbano)	P03 (Urbano)	P04 (Parque)	P05 (Urbano)	P06 (Urbano)
01/09/2018	25,66	28,48	24,78	23,99	26,19	29,61
03/10/2018	32,31	35,33	31,54	29,63	33,66	36,24
22/12/2018	38,33	43,04	39,08	36,35	41,08	43,67
16/06/2019	22,25	23,71	21,48	21,34	22,42	24,72
02/07/2019	20,72	21,73	19,27	19,17	20,41	22,63

Levando-se em consideração os dados anteriormente descritos, foi possível realizar uma análise a partir da escala de mensuração das diferenças de temperatura indicadas por Garcia (1996) e Silva (2023), assim podendo caracterizar as intensidades das ICU presentes nestes pontos, tendo como ponto de referência o P01, localizado no bairro Purys.

Tendo isso em vista, foram constatadas, segundo o Quadro 1, ilhas de calor de grau moderado para os pontos P02 (01/09/2018 e 03/10/2018), P05 (22/12/2018) e P06 (01/09/2018, 03/10/2018, 16/06/2018), ilhas de calor forte para P02 e P06 no dia 22/12/2018, ilhas de calo

fracas para P03 (22/12/2018) e P05 (01/09/2018, 03/10/2018 e 16/06/2019), ilhas de frescor fraca para P03 (01/09/2018, 03/10/2018,16/06/2019 e 02/07/2019), P04 (01/09/2018, 22/12/2018, 16/06/2019 e 02/07/2019) e P05 (02/07/2019) e ilha de frescor moderada para P04 (03/10/2018).

Com estes resultados, conclui-se que os pontos P02 e P06, caracterizados por serem pontos periurbano e urbano respectivamente, são aqueles que apresentam a maior intensidade de temperaturas segundo o exposto pelos sensores do satélite Landsat 8, enquanto o ponto P04, caracterizado pelo Parque Natural Municipal, se manteve como ilha de frescor em todos os dias de medição analisados, fazendo um contraponto nítido entre a diferença de temperatura observada no meio urbano quando comparada a locais onde existe a presença de fragmentos florestais, o que ocasiona numa temperatura mais amena e agradável para a população, reforçando mais uma vez a necessidade de áreas verdes no interior do município, sendo de extrema importância para a boa manutenção do microclima de Três Rios.

Para efeito de comparação das metodologias utilizadas para a medição da intensidade de calor captadas pelo método de transecto móvel utilizado por Silva (2023) e pelo utilizado pela estação meteorológica do INMET, localizada no bairro Purys, na cidade de Três Rios, obtém-se os seguintes valores para as medições levando em consideração o horário de 12:00:

Tabela 4: Comparação das temperaturas registradas pelo satélite Landsat 8, transecto móvel e pela estação fixa do INMET para o horário de aproximadamente 12 horas na cidade de Três Rios - RJ.

Autor	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Amplitude (°C)
Pesquisa	43,67	19,17	24,5
Silva (2023)	37,6	18,2	19,4
INMET	36,6	25,1	11,1

A partir dos valores observados na Tabela 3, observa-se que as temperaturas nos pontos usados durante a pesquisa de Silva (2023) para o satélite são muito superiores em relação ao captado pelo transecto móvel ou pela estação fixa do INMET, chegando a uma diferença de 6,07°C acima do captado por Silva (2023), considerando todas as campanhas feitas no horário de 12h, e 7,07°C acima do captado pela estação meteorológica fixa do INMET. Tal fato pode estar atrelado às condições de radiação solar existentes, a qual é captada de maneira mais ampla pelo sensor do satélite, influenciando na medição precisa de algum ponto.

Sendo assim, conclui-se que seja necessário uma avaliação *in loco* com o uso de estações de medição de temperatura móvel para estudos mais específicos sobre a influência das ICU sobre a população, tendo como base um estudo prévio da área em questão que pode ser realizado a partir das imagens dispostas pela USGS do satélite Landsat 8 com o intuito de mapear os locais de provável maior incidência de temperaturas mais altas dentro dos limites urbanos, de forma a priorizar análises mais rápidas e precisas, auxiliando nos projetos de planejamento urbano com vista a melhoras na qualidade de vida da população residente.

Estudos como o realizado ao longo desta monografia também podem ser utilizados visando a esfera privada, considerando a existência de um mapeamento de áreas com maior arrefecimento e, conseqüentemente, com um clima mais agradável à população podendo ser exploradas para o planejamento de construções como condomínios residenciais, considerando o clima mais seco e severo do município de Três Rios, tornando-se um diferencial de grande valia na tomada de decisão de investidores deste tipo de ramo, o que torna ainda mais evidente o auxílio e importância da existência de vegetação para a manutenção do microclima local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na presente monografia, conclui-se que o estudo de ICU em cidades de pequeno e médio porte vem se tornando uma importante ferramenta para o desenvolvimento urbano com vistas à sustentabilidade e à qualidade de vida da população residente, sendo uma importante ferramenta para os órgãos públicos e o setor privado na tomada de decisão quanto ao desenvolvimento. No município de Três Rios, em especial, este tipo de estudo explica os constantes aumentos de temperatura que podem ser sentidos pela população, atrelados ao rápido crescimento urbano do município ainda que seja considerado uma cidade de pequeno porte, como evidenciados nas imagens resultantes desta pesquisa.

No entanto, como demonstrado nos resultados, é preciso que uma segunda etapa seja executada, levando em consideração a utilização de transectos móveis e a periodicidade existente para o satélite Landsat 8, abrangendo assim de maneira mais específica o microclima da cidade, podendo ser feitas medições que abrangem diferentes horários e estações do ano, levando em conta as particularidades de cada época do ano para uma melhor avaliação.

Também foi evidenciada a influência positiva da vegetação sobre o microclima de Três Rios, de forma a reforçar sua importância para o planejamento urbano mesmo dentro de uma cidade de pequeno porte, uma vez que as menores medições de temperatura se encontraram atreladas a áreas verdes existentes no interior, como é o caso do Parque Natural Municipal, e nos entornos do município. Torna-se ainda mais importante levando-se em consideração a influência negativa de altas temperaturas sobre a população e os riscos de saúde que estão atrelados a isso.

Ainda assim é necessário que existam novos estudos sobre as variáveis geológicas do município, como o relevo por exemplo, e sua influência no clima e nas medições feitas tanto por satélite quanto por transecto móvel.

5. REFERÊNCIAS

Aleixo NCR, Silva Neto JCA, Alves C de S, Figueira Filho A. Ilhas de calor em Cidade de Pequeno Porte na Amazônia Brasileira: Análise de Uarini-AM. Revista Geoaraguaia, [S. l.], v. 11, n. Especial, p. 166–186, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12072>. Acesso em: 27 de novembro 2023.

Aleixo NCR. Clima urbano e saúde: uma análise a partir de indicadores socioambientais. Revista GeoUECE - Programa de Pós-Graduação em Geografia da UECE Fortaleza/CE, v. 3, nº 4, p. 194-216, jan./jun. 2014. Disponível em <http://seer.uece.br/geouece>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

Alves EDL. Ilha de Calor Urbana em Cidade de Pequeno Porte e a Influência de Variáveis Geourbanas. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, julho de 2017.

Amorim MCCT. Climatologia e Gestão do Espaço Urbano. Mercator, número especial, p. 71-90, dezembro de 2010.

Amorim MCCT. Detecção Remota de Ilhas de Calor Superficiais: Exemplos de Cidades de Porte Médio e Pequeno do Ambiente Tropical, Brasil. Centro de Estudos Geográficos, 2017.

Amorim MCCT. Ilhas de Calor Urbanas: Métodos e Técnicas de Análise. Revista Brasileira de Climatologia, edição especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, junho de 2019.

Amorim MCCT. O clima urbano de Presidente Prudente/SP. 2000. 374 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Barros HR, Lombardo MA. A Ilha de Calor Urbana e o Uso e Cobertura do Solo em São Paulo – SP. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177. 2016. ISSN 2179-0892. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97783>. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.97783>.

Basara JB, Basara HG, Illston BG, Crawford CK. The Impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. Hindawi Publishing Corporation, 2010. Disponível em: doi:10.1155/2010/230365

Bias ES, Baptista GMM, Lombardo, MA. Análise do Fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas, por meio da combinação de dados LandSat e Ikonos. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-

10 abril 2003, INPE, p.1741-1748. Disponível em: http://mar.tecid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.12.18.52/doc/14_005.pdf.

Borges *et al.* Zonas Climáticas Locais e as Ilhas de Calor Urbanas: Uma Revisão Sistemática. Revista Brasileira de Climatologia. 29 de julho 2022

Borges FPF. Análise de Ilhas de Calor Urbanas por Geoprocessamento. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-005/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 100, 2017.

Clima Três Rios (Brasil). ClimateData. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/tres-rios-33689/#google_vignette. Acesso em 22 de setembro de 2023.

Cordeiro MC. Ilhas de Calor Urbanas no Nordeste Brasileiro: Uma Avaliação com Base em Imagens de Satélite. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, março de 2016.

Earth Explorer. USGS – United States Geological Survey. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em 14 de setembro de 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

Fernandes RTV et al. Geoprocessamento e Estudos Urbanos Auxiliados por QGIS. Acesso à Terra Urbanizada, Mossoró - RN, 2021. Disponível em: <http://terraurbanizada.com/produtos/livros/livro-qgis/aulas/>. Acesso em: 07 de agosto de 2023

Ferreira LF, Carrilho ST, Mendes PC. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium, Ituiutuba, v. 6, p. 101-120, julho/dezembro de 2015.

Oliveira Filho PC *et al.* A Importância das Áreas Verdes em uma Cidade de Pequeno Porte: Estudo de Caso na Cidade de Irati-PR. Revsba, Piracicaba – SP, v.8, p. 89-99, 2013.

Garcia FF (1996). Manual de climatologia aplicada: clima médio ambiente planificación. 285 p.

Gartland L (2010). Ilhas de Calor: Como Mitigar Zonas de Calor Em Áreas Urbanas. Oficina de Textos. 256 p.

Gomes OVO *et al.* Influência antrópica nas águas superficiais da cidade de Três Rios, (RJ). Geochimica Brasiliensis 27(1), p. 77-86, 2013.

Hamada E, Gonçalves RRV. Subsídios do Geoprocessamento para Análise Integrada dos Dados de Mudanças Climáticas e de Problemas Fitossanitários. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos – SP, maio de 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Áreas Urbanizadas Do Brasil. Disponível: https://www.ibge.gov.br/apps/areas_urbanizadas/. Acessado em 26 de outubro de 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). Três Rios (RJ Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/tres-rios.html>. Acessado em 08 de setembro de 2023

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. Disponível: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acessado em 10 de novembro de 2022.

Jardim CH, Silva MR. Extremos de Temperatura do Ar em Belo Horizonte: Variabilidade Natural e Influência do Clima Urbano. Revista do Departamento de Geografia, volume especial, p. 83-97, 2016.

Lima V, Amorim MCCT. A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba – PR, maio de 2011.

Mares RM. Processo de Urbanização: Escalaridades e Perspectivas de Análise. Revista Geografia em Atos, UNESP, v. 11, p. 134 – 138, julho de 2019.

Milward-De-Azevedo JA (2012). Políticas Públicas de Geração de Trabalho: análise do empreendedorismo de pequeno porte no município de Três Rios.

Minaki C, Amorim MCCT. Proposição da temperatura do ar como variável para uso em sistema de indicadores de qualidade ambiental. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 22, n. 2, p. 394-415, mês. 2018. ISSN 2179-0892. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/135196>.

doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.135196>.

Monnerat CN. Altaf JG A GESTÃO MUNICIPAL COMO AGENTE DE DESENVOLVIMENTO LOCAL: O CASO TRÊS RIOS CIDADE EMPREENDEDORA. XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2015.

Moraes IC. M. Arborização Urbana no Município de Três Rios, RJ. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, 2019.

Nishigima LB (2022) Uso de imagens de satélite para identificar Ilhas de Calor na cidade de Ilha Solteira - SP. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP_8c305970d42c9188f450576115cae974 Acessado em 20 de setembro, 2023.

Oke TR (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical geography*, 12(4), 471-508. <https://doi.org/10.1177/030913338801200401>.

Oke TR (2002). *Boundary layer climates*. Routledge, 161p.

Oliveira LL, Sousa C, Barreto NDJC, Santos GP, Almeida RM (2018). Ilha de calor urbana: diagnóstico como ferramenta de gestão ambiental urbana para a cidade de Santarém (PA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(6), 428-443. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.006.0038>.

Oliveira LL, Sousa C, Barreto NDJC, Santos GP, Almeida RM (2018). Ilha de calor urbana: diagnóstico como ferramenta de gestão ambiental urbana para a cidade de Santarém (PA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(6), 428-443. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.006.0038>.

Ortiz GF. THE URBAN CLIMATE OF CÂNDIDO MOTA/SP: analysis of the thermal and the hygrometric profile in summer episodes. 2012 158 f. Dissertation (Master degree in Geography). – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

Padilha, Júlia C *et al.* Estratégias de mitigação do efeito das ilhas de calor em centros urbanos. XIV Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil, 2018.

Pavão VM. Efeitos da correção atmosférica em imagens Landsat 8 e diferentes modelos de radiação solar global na estimativa do saldo de radiação superficial. 2016. 61 f. Dissertação (Pós-Graduação em Física Ambiental) - Universidade de Mato Grosso, Belo Horizonte, 2016.

Pinheiro BF. Levantamento da Base Cartográfica Pública e Gratuita na Elaboração e Análise dos Mapas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa/Deslizamentos em Três Rios/RJ. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Três Rios, 2019.

Porangaba GFO, Amorim MCCT. Geotecnologias aplicadas à análise de ilhas de calor de superfície em cidades do interior do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n 06, de 20 de dezembro de 2019.

Porangaba GFO, Teixeira DCF, Amorim MCCT. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno porte. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, julho/dezembro de 2017.

QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 12 de agosto de 2023

Rangel J (10 de abril de 2017). Ilhas de Calor: O que são e quais estratégias para diminuir seus efeitos. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/o-que-sao-ilhas-de-calor/> Acesso em: 20 de novembro de 2023.

Ribeiro MCA, Pinton LG, Cardoso RS, Amorim MCCT. Spatial and temporal dynamics of the urban heat island. Effect in a small Brazilian city. *Geographical Research*, 2023. DOI: 10.1111/1745-5871.12579

Romero CWS *et al.* Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando sensoriamento remoto. *Revista Geociências*, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo – SP, v. 39, 2020.

Ruhoff AL. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa – PB, abril de 2015.

Saydelles AP. ESTUDO DO CAMPO TÉRMICO E DAS ILHAS DE CALOR URBANO EM SANTA MARIA-RS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

Scherer D, Fehrenbach U, Lakes T, Lauf S, Meier F, Schuster C (2014). Quantification of heatstressrelated mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *DIE ERDE Journal* 53 of the Geographical Society of Berlin, 144(3-4), 238-259. <https://doi.org/10.12854/erde-144-17>

Sena CAP, França JRA; Peres LF. Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 01 de dezembro de 2014.

Sheng L, Tang X, You H, Gu Q, Hu H (2017). Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China. *Ecological Indicators*, 72, 738-746. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.009>.

Santos MRS, Vitorino MI, Pimentel MAS. Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. *Revista Ambiente & Água*, vol. 12, Taubaté, São Paulo, setembro/outubro de 2017.

Silva YMN, Silva HM, Silva RDA, Marques ED, Gomes OVO. Identification of the urban heat islands phenomenon in a small city: the study case of Três Rios/RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v.57, março de 2022

Silva YMN (2023). Identificação de Ilha de Calor Urbana em Cidade de Pequeno Porte: O Estudo de Caso de Três Rios – RJ. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Silvério Neto R (2014). Caracterização Espacial da Cobertura Florestal dos Municípios da Microrregião de Três Rios – RJ. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro

Teixeira DCF, Amorim MCCT. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia – MG, v.30, p. 186-209, maio/agosto de 2018.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

Zhou B, Rybski D, Kropp JP (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific reports*, 7(1), 1-9. Southeast Asia, 99–111. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>