



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

EMANUEL MACHADO VALVERDE

**IMPACTO DAS ÁREAS VERDES URBANAS EM RELAÇÃO ÀS ILHAS DE CALOR
NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU: ANÁLISE TEMPORAL UTILIZANDO
IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Profa. Dra. Vanessa de Arruda Souza
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

EMANUEL MACHADO VALVERDE

**IMPACTO DAS ÁREAS VERDES URBANAS EM RELAÇÃO ÀS ILHAS DE CALOR
NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU: ANÁLISE TEMPORAL UTILIZANDO
IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Profa. Dra. Vanessa de Arruda Souza
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**



HOMOLOGAÇÃO Nº 13 / 2025 - DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.00.29)

Nº do Protocolo: 23083.034698/2025-56

Seropédica-RJ, 02 de julho de 2025.

IMPACTO DAS ÁREAS VERDES URBANAS EM RELAÇÃO ÀS ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU: ANÁLISE TEMPORAL UTILIZANDO IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

EMANUEL MACHADO VALVERDE

APROVADA EM: 30 de junho de 2025

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Dra. Vanessa de Arruda Souza – UFRRJ (Orientadora)
Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra – UFRRJ
Prof. Dr. Jerônimo Boelsums Barreto Sansevero – UFRRJ

(Assinado digitalmente em 03/07/2025 13:48)

GUSTAVO BASTOS LYRA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: 1574025

(Assinado digitalmente em 03/07/2025 09:48)

JERONIMO BOELSUMS BARRETO SANSEVERO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: 2237271

(Assinado digitalmente em 02/07/2025 19:34)

VANESSA DE ARRUDA SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: 3421257

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **13**, ano: **2025**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: **02/07/2025** e
o código de verificação: **e6bfb2edee**

À minha mãe – guerreira que nunca se rendeu.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Liliane Machado Valverde, que, mesmo sem o amparo da família, teve a coragem de deixar para trás uma vida difícil no campo e dedicar décadas ao trabalho como babá e doméstica. Renunciou ao próprio corpo e aos seus direitos em prol de seu único filho, para que nunca nos faltasse dignidade. A você, meu eterno agradecimento e honra.

À minha avó Marli, a qual salvou a vida da minha mãe e compartilha a sua vida conosco com muito amor, fraternidade e suporte. Por me ensinar o que é família. Agradeço.

À minha segunda mãe Rosinha, que acreditou no meu potencial desde a infância, sempre me deu amor e suporte quando mais precisei, um anjo na minha vida. Agradeço.

À minha família de Guadalupe, em especial minha tia Dilce e irmão Leonardo. Pois me acolheram no local de trabalho da minha mãe até minha maioridade. Agradeço.

Aos meus pais de criação, Nilson e Pompeu, que me ensinaram como um homem deve apoiar sua família, ajudar ao próximo e em quem podemos confiar. Agradeço.

À memória dos meus avôs Manoel e Eldo, os quais tiveram por mim um amor incondicional e muito carinho, mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço.

Ao meu tio Eleandro e tia Rosana, por serem exemplos profissionais a serem seguidos e me aconselharem academicamente. Agradeço.

À minha companheira e amor da minha vida, Rebeca Oliveira. Por ser meu porto seguro frente às adversidades e injustiças dessa vida, obrigado por sempre acreditar em mim. Agradeço.

À minha melhor amiga Leandra, que me apresentou o curso e sempre esteve ao meu lado, na diversão e nos momentos difíceis. Agradeço.

À minha orientadora Dra. Vanessa de Arruda Souza, por me guiar nesse trabalho com paciência, dedicação e disponibilidade. Por ser uma excelente pessoa e uma profissional excepcional. Agradeço.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, pela oportunidade de graduação e ensino de qualidade. Agradeço.

Ao Instituto de Florestas e seus docentes, por todo esforço e dedicação em orientar os discentes ao indicar o caminho da Engenharia Florestal. Agradeço.

Às minhas chefes e amigas Marcia e Karla, por serem extremamente competentes profissionalmente e me ensinarem a ser uma pessoa melhor. Por tornar o estágio um lugar bom. Agradeço.

Aos meus chefes e amigos Ricardo e Edgar, por me concederem a oportunidade de estagiar na Subsecretaria de Licenciamento e Fiscalização e Ambiental. Por serem exemplos e me tornarem um profissional melhor, equilibrando respeito, descontração e competência. Agradeço.

BIOGRAFIA

EMANUEL MACHADO VALVERDE, filho de Liliane Machado Valverde, nasceu na noite do dia 06 de maio de 1999, em Piraí, município do estado do Rio de Janeiro, Brasil.

Concluiu o ensino médio em 2017, juntamente com o Técnico em Meio Ambiente no Colégio Técnico da Universidade Rural – CTUR, em Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Ainda no ano de 2017, recebeu o título de Técnico em Meio Ambiente ao concluir o curso de mesmo nome no CTUR, em Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Em 2018, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Campus Seropédica, para o qual realizou a confecção do presente estudo, visando concluir os requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Florestal em 2025.

Em 2021, iniciou o estágio no setor de Análise e Controle Arbóreo, na Subsecretaria de Licenciamento e Fiscalização Ambiental, pertencente à Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente – SEMAM do Município de Nova Iguaçu, onde realiza estágio desde então, sendo atualmente por meio de convênio com a Unigranrio.

Entre 2023 e 2024, realizou o estágio voluntário na Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Sustentabilidade (SMARHS) da Prefeitura Municipal de Niterói, município onde o mesmo mora atualmente.

Em 2024, ingressou no Curso de Gestão Ambiental da Unigranrio, Campus Duque de Caixas, o qual ainda está em andamento.

RESUMO

A urbanização acelerada tem causado a supressão de áreas verdes em centros urbanos, gerando impactos ambientais significativos, como o aumento da temperatura da superfície terrestre (LST, do inglês - *Land Surface Temperature*) e a formação de ilhas de calor (UHI, do inglês - *Urban Heat Island*). O uso de Sensoriamento Remoto (SR) permite o monitoramento contínuo e quase em tempo real da superfície terrestre e, assim contribui de forma crucial para estudos ambientais. A partir de imagens de satélite, é possível avaliar os efeitos das mudanças antropogênicas, especialmente no que se refere à redução de áreas verdes. Este estudo teve como objetivo monitorar áreas verdes, áreas verdes convertidas e áreas urbanas no município de Nova Iguaçu – RJ, utilizando imagens dos satélites Landsat 8 e 9 para uma análise temporal da LST e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A pesquisa focou na avaliação dos impactos da mudança de uso e cobertura da terra sobre as ilhas de frescor no centro urbano do município, buscando áreas que foram suprimidas para a construção de empreendimentos, contempladas com medidas compensatórias. O período de análise foi de 2014 a 2025. Os resultados indicaram um aumento médio da variação de LST de 2,78°C e uma redução significativa no NDVI, de 0,65 para 0,15, após a supressão da vegetação, o que evidenciou a perda da função de regulação térmica proporcionada pelas áreas verdes. Áreas adjacentes também apresentaram um incremento de temperatura, intensificando o efeito das UHI. Embora as medidas compensatórias sejam aplicadas, dificilmente conseguem mitigar os impactos ambientais locais, o que sugere a necessidade de políticas públicas que priorizem a preservação das áreas verdes urbanas. Assim, este estudo buscou destacar a importância do uso de SR como ferramenta essencial para a avaliação de mudanças ambientais, fornecendo dados cruciais para estratégias de planejamento urbano sustentável e eficaz.

Palavras-chave: Temperatura da Superfície Terrestre, Monitoramento ambiental, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Estratégias de mitigação térmica.

ABSTRACT

Accelerated urbanization has led to the suppression of green areas in urban centers, resulting in significant environmental impacts, such as the increase in Land Surface Temperature (LST) and the formation of Urban Heat Islands (UHI). The use of Remote Sensing (RS) enables continuous, near real-time monitoring of the Earth's surface, playing a crucial role in environmental studies. Satellite imagery allows for the assessment of the effects of anthropogenic changes, particularly concerning the reduction of green areas. This study aimed to monitor green areas, converted green areas, and urban areas in the municipality of Nova Iguaçu, RJ, using images from Landsat 8 and 9 satellites for a temporal analysis of LST and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The research focused on evaluating the impacts of land use and land cover changes on cool islands in the urban center of the municipality, targeting areas that were suppressed for construction projects, which were subject to compensatory measures. The analysis period spanned from 2014 to 2025. The results indicated an average LST variation increase of 2.78°C and a significant reduction in NDVI, from 0.65 to 0.15, after vegetation suppression, highlighting the loss of thermal regulation functions provided by green spaces. Adjacent areas also showed an increase in temperature, intensifying the UHI effect. Although compensatory measures were implemented, they were not enough to mitigate the local environmental impacts, suggesting the need for public policies prioritizing the preservation of urban green areas. Thus, this study highlights the importance of using RS as an essential tool for assessing environmental changes, providing crucial data for sustainable and effective urban planning strategies.

Keywords: Land Surface Temperature, Environmental Monitoring, Normalized Difference Vegetation Index, Thermal Mitigation Strategies.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Áreas Verdes Urbanas e seus benefícios	3
2.2. Impactos Térmicos da Mudança de Uso da terra	4
2.3. Sensoriamento Remoto na Análise de Mudanças Ambientais	8
2.4. Limitações das Medidas Compensatórias	9
2.5. Legislação Ambiental Municipal	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Área de Estudo	12
3.2. Delimitação da Área de Estudo.....	19
3.3. Imagens de Satélite.....	21
3.3.1. Aquisição das imagens de satélite	21
3.3.2. Pré-processamento das imagens de satélite	23
3.3.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	24
3.3.4. Temperatura de Superfície Terrestre (LST)	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Análise das Unidades de Conservação (UCs)	25
4.2. Análise da Temperatura do Ar e Caracterização do Relevo Local	26
4.3. Análise dos Padrões de NDVI e LST	28
4.4. Análise Pontual da Mudança do Uso da Terra e Formação de UHI	29
4.5. Análise Temporal	32
5. CONCLUSÃO	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos significativos em escala global, com intensificação a ocorrência de eventos climáticos extremos e contribuindo para a degradação dos ecossistemas naturais. O aumento médio da temperatura global tem se tornado uma das maiores preocupações da comunidade científica mundial e, pode chegar e até mesmo ultrapassar 1,5 °C até 2030, conforme as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023). Esse aquecimento global resulta não apenas no aumento das temperaturas, mas também em uma série de fenômenos climáticos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas e aumento do nível médio do mar. O aumento da população urbana, juntamente com a intensificação acelerada de áreas urbanas, tem se expandido de forma desordenada nas últimas décadas. O processo de urbanização a partir da conversão de áreas naturais, resulta na alteração do balanço energético local e, gera um efeito de Ilha De Calor Urbana (UHI, do inglês: *Urban Heat Island*), onde as temperaturas urbanas são significativamente mais altas que as áreas rurais circundantes (Zargari *et al.*, 2024; Cetin *et al.*, 2024).

A urbanização, ao promover a substituição de áreas verdes por construções, pavimentos e outras superfícies impermeáveis, tem gerado sérios impactos ambientais, e por consequência, contribuído para as mudanças climáticas. Um dos efeitos mais evidentes desse processo é a formação das UHI. A redução de áreas verdes, que desempenham papel crucial na regulação térmica e na melhoria da qualidade do ar, tem contribuído diretamente para o agravamento desse fenômeno, afetando a qualidade de vida em grandes centros urbanos (De Faria Peres *et al.*, 2018).

A transformação do uso da terra, com a redução de áreas verdes, que são responsáveis pelo processo de evapotranspiração e sombreamento natural, tem causado o aumento a Temperatura de Superfície Terrestre (LST, do inglês: *Land Surface Temperature*), e por consequência, contribui para a formação das UHI. As mudanças de uso e cobertura da terra tem causado efeito direto no clima urbano e na qualidade de vida, gerando riscos à saúde pública e ao bem-estar da população (Menezes; Mendes, 2017). A supressão de vegetação, especialmente em áreas urbanizadas, é uma das principais causas do agravamento das UHI.

Para o monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra, imagens de Sensoriamento Remoto (SR) têm se mostrado uma ferramenta fundamental nos estudos relacionados aos impactos ambientais. Por meio da tecnologia proveniente de dados de SR, é possível obter diversos parâmetros da superfície, tais como: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês: *Normalized Difference Vegetation Index*) e a LST, que permitem analisar as variações na cobertura do solo e identificar áreas mais vulneráveis ao aquecimento urbano. O uso dessas tecnologias tem sido essencial para mapear padrões espaciais e temporais de mudanças térmicas, possibilitando uma compreensão mais precisa dos efeitos da urbanização nas condições climáticas locais (Kavlak *et al.*, 2021; Guha *et al.*, 2018, apud Cetin *et al.*, 2024).

Diversos estudos têm avaliado o impacto da redução de áreas verdes em centros urbanos ao redor do planeta, com destaque para capitais e grandes regiões metropolitanas, como: Vitória-Gasteiz, na Espanha (Errea *et al.*, 2023), Lahore, no Paquistão (Farid *et al.*, 2022), Kayseri, na Turquia (Cetin *et al.*, 2024), e Teerã, no Irã (Zargari *et al.*, 2024). No Brasil, grandes centros urbanos também enfrentam desafios relacionados à expansão urbana e à preservação de áreas verdes. Estudos como os de Cavalcante *et al.* (2020), em São Paulo, Monteiro *et al.* (2021), em Belo Horizonte e Curitiba, Souto e Cohen (2021), em Belém, Leonardo *et al.* (2025), em Recife, e De Faria Peres *et al.* (2018), no Rio de Janeiro, demonstram como a urbanização desordenada e a perda de vegetação têm exacerbado o efeito das UHI e, assim elevado as

temperaturas de superfície e impactam diretamente o microclima urbano.

Em especial, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro tem experimentado um rápido processo de urbanização, com a conversão de áreas naturais e agrícolas em áreas urbanas, intensificando a formação das UHI. Conforme Souto e Cohen (2021), o aumento da temperatura superficial em áreas urbanas está diretamente relacionado à perda de vegetação e ao crescimento urbano não planejado. Em cidades com rápido crescimento, como Nova Iguaçu, situada na região metropolitana do Rio de Janeiro, a dinâmica térmica urbana se torna uma preocupação crescente. A pressão da urbanização sobre as áreas verdes e o aumento da impermeabilização do solo geram impactos diretos no microclima local. Conforme Farid *et al.* (2022), a urbanização não apenas aumenta a temperatura local, mas também agrava os efeitos das UHI no entorno devido à redução das áreas verdes. Embora a literatura seja rica em estudos sobre os impactos da urbanização na LST e no NDVI, ainda há escassez de análises específicas sobre ilhas de frescor urbanas em cidades de médio porte no Brasil. A grande maioria dos estudos foca em metrópoles, como: São Paulo, Rio de Janeiro, e Belém, não considerando as particularidades ambientais e urbanísticas das demais cidades que formam o em torno da região metropolitana, e que também enfrentam desafios únicos devido a respeito do clima local e regional (Cavalcante *et al.*, 2020; Liguori; Monteiro, 2024).

Áreas mais vulneráveis ao processo de supressão de áreas verdes frequentemente coincidem com comunidades de baixa renda, nos quais são desproporcionalmente afetadas pelos efeitos das UHI, intensificando os problemas de saúde e qualidade de vida nessas regiões já sobrecarregadas. Este cenário se agrava quando comparado ao Centro e à Zona Sul do Rio de Janeiro, regiões mais capitalizadas e com maior preocupação com áreas verdes e infraestrutura urbana, destacando um quadro de racismo ambiental, onde as populações marginalizadas, frequentemente negras ou de origem indígena, são as mais afetadas pela degradação ambiental e a falta de políticas públicas adequadas (Gonçalves *et al.*, 2023).

Outro aspecto relevante relacionado a supressão de áreas verdes urbanas é que, poucas pesquisas avaliaram de maneira pontual e aprofundada o impacto real de áreas convertidas através de medidas compensatórias na formação das UHI. Políticas públicas, como o plantio de mudas, muitas vezes não consideram a preservação de áreas verdes estratégicas, como as ilhas de frescor urbanas, essenciais para a regulação térmica nas cidades tropicais (Santamouris, 2014). Diante disso, esta pesquisa se propõe a entender como a redução das áreas verdes urbanas podem impactar no aumento das UHI, por meio de dados de SR com base em uma análise temporal detalhada, com o intuito de oferecer subsídios valiosos para o planejamento urbano sustentável em contextos urbanos semelhantes, como o da cidade de Nova Iguaçu, pertencente a Baixada Fluminense. Para isso, é importante mencionar que a legislação brasileira tem buscado equilibrar o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental. A Lei nº 3.129/2000, que institui o Código de Meio Ambiente de Nova Iguaçu, e o Decreto nº 11.032/2017, que regulamenta a supressão de vegetação e as medidas compensatórias. No entanto, cabe ressaltar que essas medidas nem sempre se mostram eficazes, principalmente quando se trata da compensação de serviços ecossistêmicos como a regulação térmica, que não pode ser facilmente substituída por plantios em outras áreas ou pagamento de compensações financeiras.

Desta forma, este estudo teve como objetivo principal analisar o impacto da supressão de áreas verdes no município de Nova Iguaçu, com foco nas alterações observadas na LST e no NDVI ao longo do tempo. Este estudo buscou entender como a urbanização no contexto da Baixada Fluminense tem exacerbado o fenômeno das UHI. Para isso, a pesquisa utilizou imagens de satélite Landsat para realizar uma análise temporal da LST e do NDVI no período do ano de 2014 a 2025 e dessa forma, fornecer subsídios para um planejamento urbano mais sustentável, que considere a preservação das áreas verdes na mitigação das UHI.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A urbanização é um dos principais motores de transformação das paisagens naturais e áreas verdes, especialmente em regiões metropolitanas de países em desenvolvimento como o Brasil. A substituição de vegetação por superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto, tem sido associada ao aumento da LST, e à formação de UHI fenômenos críticos em cidades tropicais, onde as condições climáticas amplificam os efeitos térmicos da perda de áreas verdes (Zargari *et al.*, 2024; Cetin *et al.*, 2024). Estudos demonstram que áreas verdes urbanas, como parques e praças, desempenham um papel essencial na regulação térmica, oferecendo sombra e favorecendo a evapotranspiração, fatores que contribuem para a mitigação das UHI. No contexto de Nova Iguaçu, município da Baixada Fluminense, a supressão de ilhas de frescor urbanas para construções, por exemplo empreendimentos residenciais e comerciais, refletem um padrão comum de mudança de uso e cobertura do solo, frequentemente acompanhado de medidas compensatórias previstas no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012). Esta revisão explora os principais temas relacionados ao estudo: o papel das áreas verdes urbanas, os impactos térmicos da urbanização, o uso de SR na análise ambiental e as limitações das medidas compensatórias.

2.1. Áreas Verdes Urbanas e seus benefícios

As áreas verdes urbanas, como praças, parques e ilhas de frescor, desempenham funções ecossistêmicas essenciais, incluindo a regulação térmica, a melhoria da qualidade do ar e o suporte ao bem-estar humano (Almeida *et al.*, 2021). Esses espaços proporcionam microclimas mais amenos, contribuindo para a redução da LST, o que é particularmente importante em áreas urbanas densamente povoadas. A vegetação contribui com a evapotranspiração e sombra, processos naturais que ajudam a mitigar os efeitos das UHI. Segundo Liguori e Monteiro (2024), áreas verdes podem diminuir a temperatura ambiente em até 6 °C, dependendo da densidade vegetal e do contexto climático, o que demonstra a eficácia dessas áreas na regulação térmica urbana.

A vegetação urbana consolidada, ao contrário de mudas recém-plantadas, possui um valor ecológico e climático muito maior. Árvores maduras e áreas verdes estabelecidas oferecem serviços ambientais como a regulação térmica, absorção de poluentes e melhor qualidade do ar de forma imediata e eficaz (Nowak; Dwyer, 2007). Em comparação, mudas recém-plantadas, mesmo quando bem mantidas, não conseguem suprir a função climática das áreas consolidadas em curto prazo, visto que sua capacidade de fornecer sombra e realizar a evapotranspiração só se desenvolve com o tempo. De acordo com Almeida *et al.* (2021), a preservação e revitalização de áreas verdes, considerando a extensão, a densidade e o tamanho da copa das árvores, são fundamentais para maximizar a capacidade de troca de calor e mitigar os efeitos do aquecimento urbano.

A literatura destaca a importância das áreas verdes para a sustentabilidade urbana e o controle térmico em cidades (Monteiro *et al.*, 2021; Souto; Cohen, 2021; Farid *et al.*, 2022). Um estudo recente de Venkatraman *et al.* (2024) sobre o clima urbano na cidade de São Paulo, mostrou que a presença de vegetação contribuiu para a redução da LST, ajudando a mitigar os efeitos da UHI, promovendo um ambiente urbano mais confortável e sustentável. Conforme De Lucena *et al.* (2012), a urbanização rápida que substitui áreas verdes por construções e pavimentos, está diretamente associada ao aumento das temperaturas locais, intensificando o efeito UHI, ficando evidente em regiões metropolitanas como São Paulo e Rio de Janeiro. Desta forma, a remoção de áreas verdes tem implicações diretas no aumento da LST, e na degradação dos serviços ecossistêmicos, como a regulação térmica, fundamental para o equilíbrio ambiental

urbano. Em regiões como Nova Iguaçu, essa conversão de espaços de vegetação em áreas urbanizadas reflete um padrão comum de uso da terra que frequentemente negligência os benefícios ambientais da vegetação (Menezes; Mendes, 2017). Por isso, é essencial a formulação de políticas públicas que promovam a gestão do ambiente urbano, e consequentemente, a preservação e recuperação das áreas verdes para garantir a qualidade ambiental e o bem-estar populacional nas cidades (Venkatraman *et al.*, 2024).

2.2. Impactos Térmicos da Mudança de Uso da terra

A substituição de superfícies vegetadas por materiais artificiais altera o balanço energético das cidades, aumentando a absorção de radiação solar e a emissão de calor. O albedo, ou a capacidade de uma superfície refletir radiação solar, desempenha um papel crucial nesse processo. As áreas verdes possuem albedo mais alto quando comparadas às superfícies urbanas pavimentadas, como asfalto e concreto. A vegetação, além de refletir parte da luz visível, absorve radiação fotossinteticamente ativa (fPAR) para o processo de fotossíntese. Já as superfícies urbanas têm albedo mais baixo e, consequentemente, absorvem maior quantidade de radiação, contribuindo para o aumento da temperatura local. Esse contraste explica o aumento da LST em áreas urbanizadas, fenômeno amplamente documentado na literatura (Gamarra; Corrêa; Targino, 2014, apud Liguori; Monteiro, 2024). Segundo Tahooni *et al.* (2023), a diminuição do albedo, causada pela expansão das áreas construídas, intensifica o efeito da UHI, com implicações diretas no conforto térmico nas cidades. Souto e Cohen (2021) realizaram um estudo na Região Metropolitana de Belém e observaram que a urbanização intensificou os valores de LST, resultando em uma significativa variação térmica entre as áreas urbanizadas e rurais. Durante a estação primavera-verão, a diferença de LST variou entre 0,9°C e 4,0°C, enquanto que, na estação outono-inverno, as variações de temperatura oscilaram entre 0,8°C e 2,0°C.

Um estudo realizado em 21 capitais metropolitanas brasileiras, incluindo Rio de Janeiro e São Paulo, evidenciou que o fenômeno das UHI varia substancialmente dependendo das características locais de urbanização, demonstrando que a urbanização causa um aumento das temperaturas durante o dia, com uma maior intensidade de UHI em áreas de alta densidade populacional (Monteiro, 2021). Cavalcante *et al.* (2020) destacam que as áreas industriais e urbanizadas, especialmente nas zonas centrais de São Paulo, contribuem significativamente para o aumento da temperatura, com variações térmicas mais intensas em áreas com baixa vegetação e alta densidade de construções (Figuras 1, 2 e 3). Essas condições favorecem o acúmulo de calor e a redução da circulação de ventos, intensificando o fenômeno das UHI.

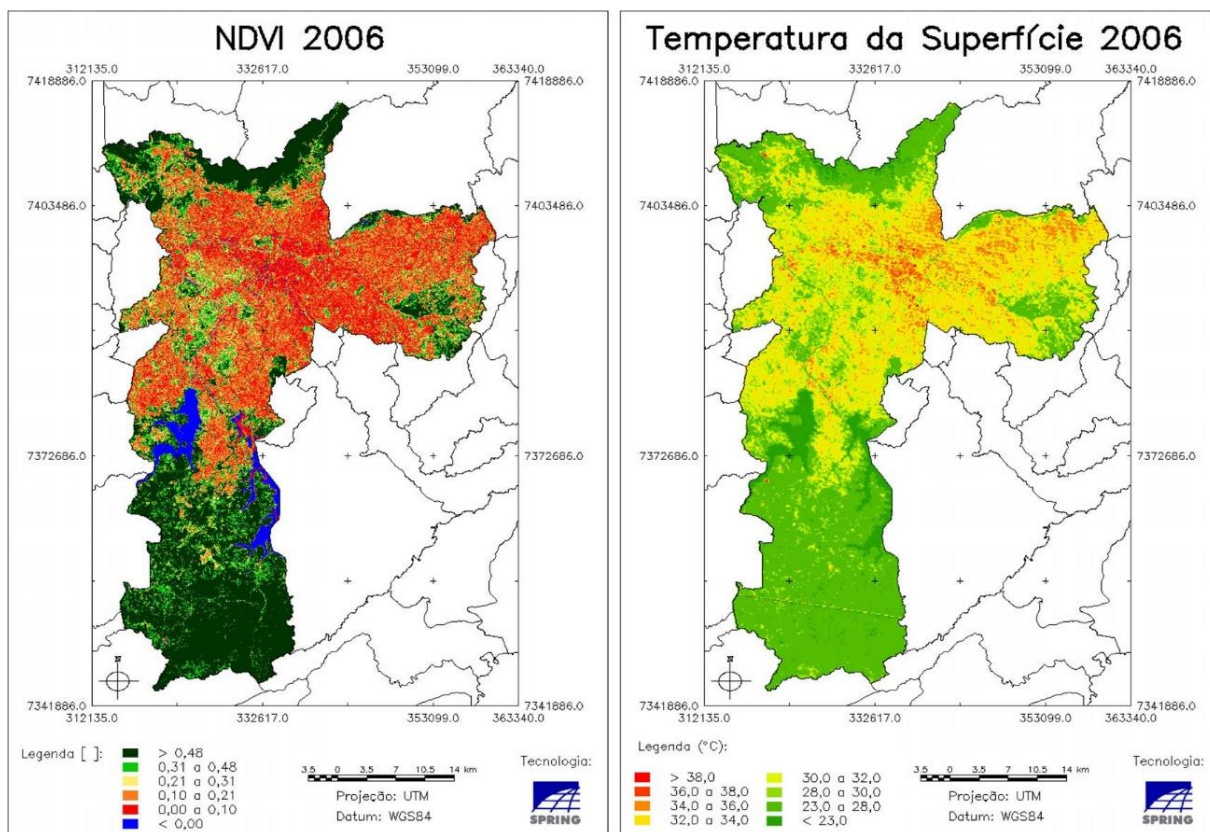


Figura 1. Mapas da cidade de São Paulo, SP. NDVI (a) e Temperatura da superfície (b) para o ano de 1992. Adaptado de Cavalcante *et al.* (2020), p. 15.

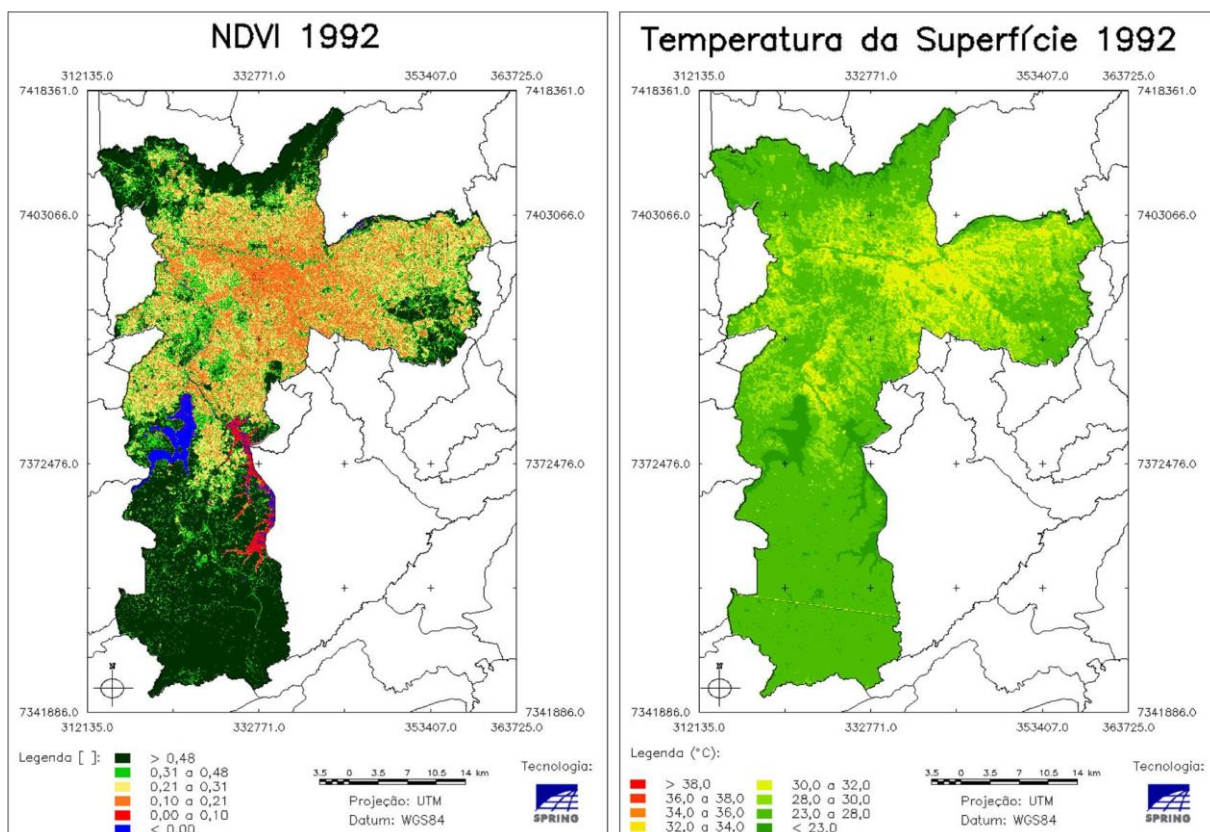


Figura 2. Mapas da cidade de São Paulo, SP. NDVI (a) e Temperatura da superfície (b) para o ano de 2006. Adaptado de Cavalcante *et al.* (2020), p. 15.

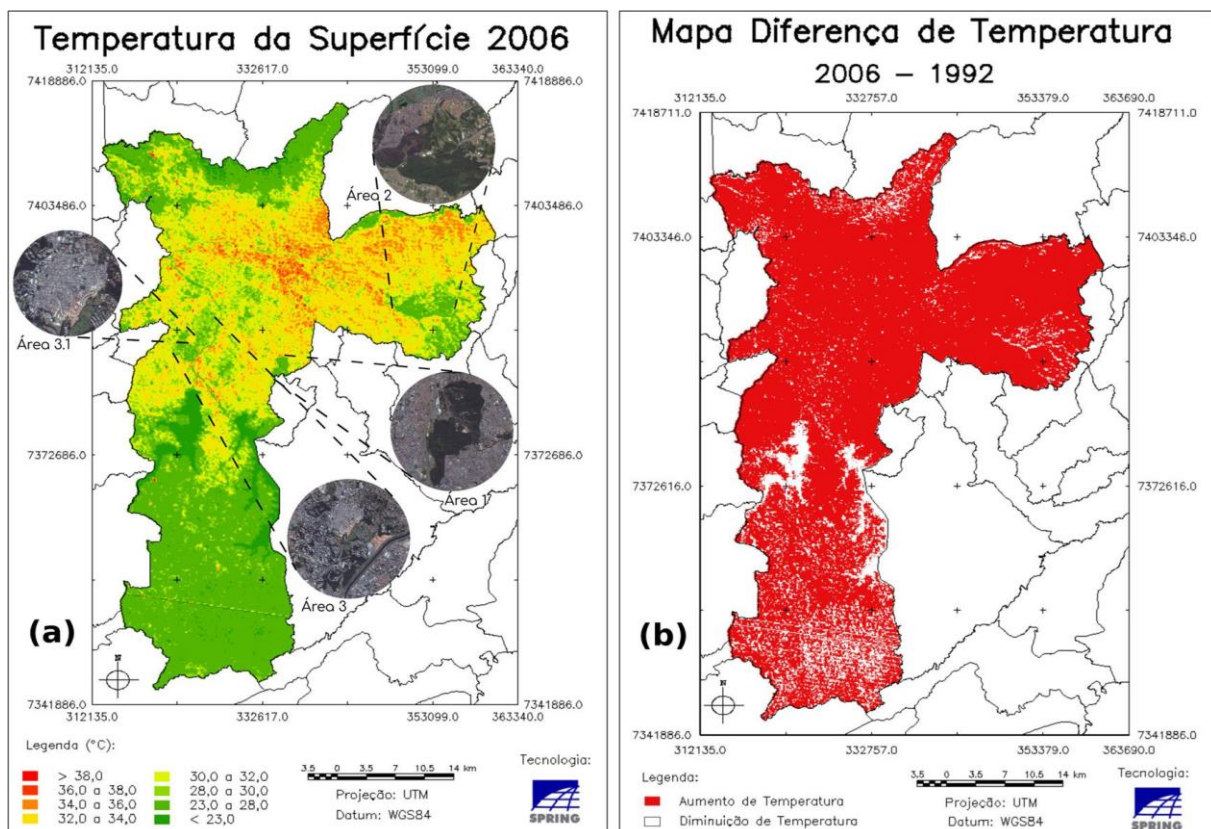


Figura 3. Mapas da cidade de São Paulo, SP.(a) Comparações de áreas para o ano de 2006, (b) Mapa diferença de temperatura 2006-1992. Adaptado de Cavalcante *et al.* (2020), p. 16.

No estudo de Cavalcante *et al.* (2020), observou-se que a substituição de áreas verdes por superfícies pavimentadas contribuiu diretamente para o aumento das temperaturas, como é comum em grandes centros urbanos. Além disso, o estudo de Cavalcante focou na análise da variabilidade temporal da temperatura e do NDVI entre os anos de 1992 e 2002 na cidade de São Paulo, SP.

Entretanto, Cavalcante *et al.* (2020) ainda observa um aumento significativo da temperatura em áreas verdes, essa alteração pode se dar por diversos fatores. Cavalcante *et al.* (2020) utiliza imagens de satélite Landsat 5 de 1992 e 2006 para analisar a variação de temperatura da superfície em São Paulo. No entanto, a utilização de dados absolutos de temperatura para comparar essas duas datas distantes apresenta limitações significativas. Embora as imagens sejam de setembro, o clima entre os dois anos pode ter variado consideravelmente, influenciando as medições de temperatura. Fatores como diferenças nas condições climáticas de cada ano e as variações nos níveis de poluição atmosférica ao longo do tempo podem impactar diretamente a radiação e, portanto, a estimativa de temperatura da superfície. Esses elementos não são controlados adequadamente ao utilizar os valores absolutos das temperaturas, o que pode comprometer a precisão dos resultados. Uma abordagem mais adequada seria calcular a diferença de temperatura entre os dois períodos, o que ajudaria a minimizar essas variações externas e proporcionaria uma análise mais confiável das mudanças térmicas no município de São Paulo.

Os efeitos das UHI são mais pronunciados em grandes centros urbanos. A pesquisa realizada por De Faria Peres *et al.* (2018) revelou que, ao longo dos últimos 30 anos na cidade do Rio de Janeiro, capital do Estado do Rio de Janeiro, o aumento das áreas urbanizadas intensificou significativamente as variações térmicas entre as zonas urbanas e rurais, destacando a importância de se monitorar as temperaturas urbanas através de dados de SR. Além disso,

Errea *et al.* (2023) relatam que as iniciativas de urbanização sustentável, como a criação de áreas verdes e a implementação de estratégias de mobilidade sustentável, vêm desempenhando um papel crucial na mitigação dos efeitos das UHI. Entretanto, estudos realizados em regiões periféricas e menos visíveis, como a Baixada Fluminense, são igualmente cruciais para entender a dinâmica das UHI, mas frequentemente recebem menos atenção em relação às grandes metrópoles.

A Baixada Fluminense, por exemplo, possui características urbanísticas e ambientais que refletem a urbanização acelerada, com áreas de baixa cobertura vegetal e alto grau de impermeabilização, fatores que contribuem diretamente para o aumento das temperaturas locais. No entanto, a falta de recursos, infraestrutura de pesquisa e visibilidade acadêmica em áreas como a Baixada Fluminense dificulta o avanço de estudos nessas regiões. Esses estudos são essenciais para entender os impactos ambientais e a saúde pública em áreas periféricas, onde as populações mais vulneráveis podem ser mais afetadas pelos efeitos das UHI.

“Em Nova Iguaçu, município da Baixada Fluminense, observou-se que a classe ‘Áreas Construídas’ esteve diretamente associada às maiores temperaturas de superfície, refletindo o processo de urbanização acelerada no município e seus impactos nas dinâmicas hidrogeomorfológicas e climáticas” (Menezes; Mendes, 2017). A conversão de áreas verdes em empreendimentos urbanos reflete uma tendência comum nas cidades brasileiras, que priorizam o crescimento econômico sem considerar os impactos ambientais a longo prazo. A redução da vegetação tem aumentado significativamente a temperatura local, como observado na Figura 4, o que demanda a implementação de soluções urbanísticas sustentáveis para mitigar os impactos térmicos (Menezes; Mendes, 2017). Neste contexto, observando a importância do monitoramento de UHI em centros urbanos, o presente trabalho irá buscar trazer uma análise mais recente da variabilidade da LST e do NDVI no período de 2014 a 2025 na cidade de Nova Iguaçu, RJ. De maneira inovadora, será dada uma ênfase particular na análise de como a substituição das áreas verdes por pavimentos impacta, de forma pontual, na formação das UHI, o que ainda não foi explorado em estudos já presentes na literatura.

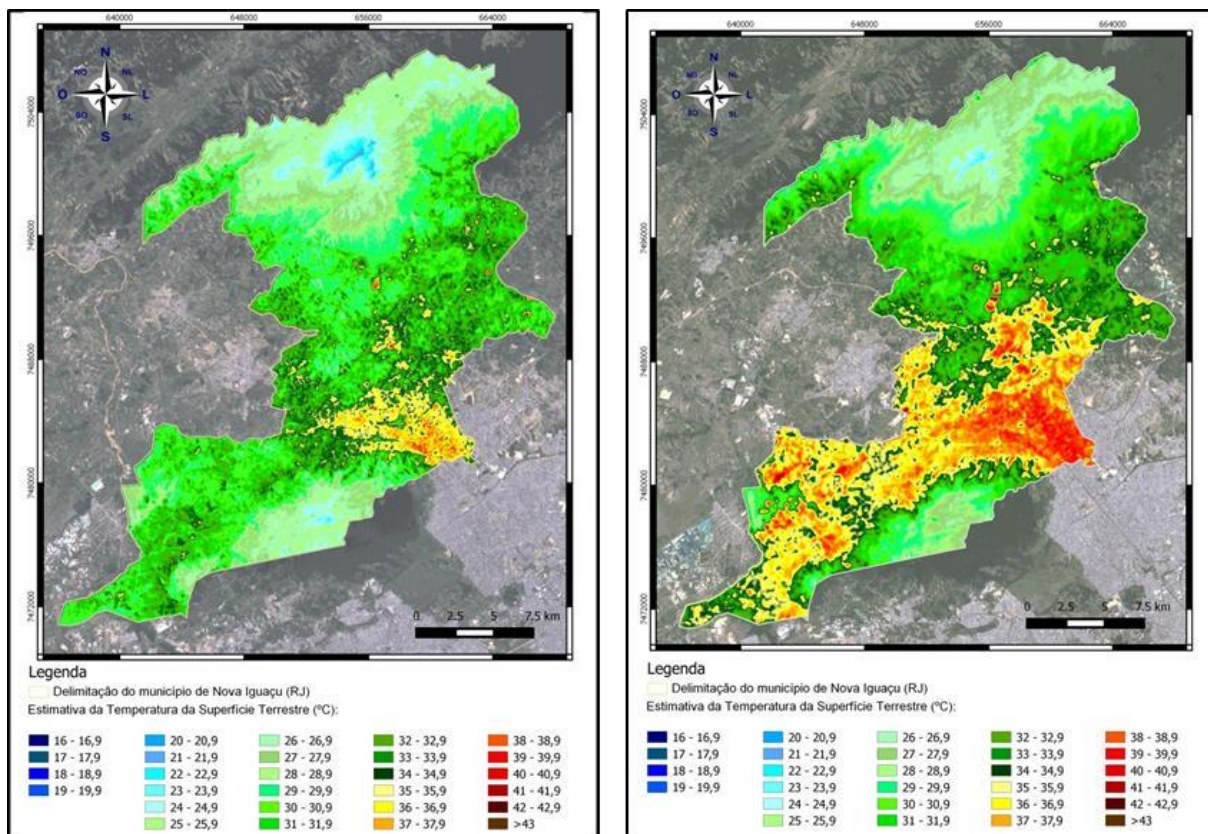


Figura 4. Mapas de Estimativa da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) do município de Nova Iguaçu-RJ nos anos de 2000 e 2015. Adaptado de Menezes e Mendes (2017), p. 10.

2.3. Sensoriamento Remoto na Análise de Mudanças Ambientais

O uso de SR tem revolucionado o monitoramento de mudanças no uso da terra e seus impactos ambientais. A utilização do NDVI, amplamente empregado para avaliar a densidade vegetal, apresenta algumas limitações, como interferência atmosférica, sazonalidade e resolução espacial, que podem afetar sua precisão. No entanto, como apontado por Burton *et al.* (2024), quando adequadamente aplicado, o NDVI se torna uma ferramenta poderosa e confiável para o monitoramento de longo prazo da vegetação, especialmente ao considerar variáveis climáticas e outros fatores contextuais. Valores de NDVI próximos a 1 indicam vegetação densa, enquanto valores próximos a 0 ou negativos caracterizam superfícies urbanas ou solo exposto. Já a LST, derivada de bandas térmicas de satélites como o Landsat, possibilita mapear variações de temperatura com alta resolução espacial (Avdan; Jovanovska, 2016).

O SR tem se mostrado essencial para o monitoramento da biodiversidade urbana e seus impactos térmicos. De acordo com Finizio *et al.* (2024), o uso de dados de satélites tem permitido um mapeamento eficaz das áreas verdes urbanas e sua relação com as temperaturas superficiais, contribuindo para a compreensão dos efeitos das UHI. O uso de satélites para medir a LST tem sido crucial para entender a interação entre a superfície e a atmosfera. Como descrito por Li *et al.* (2023), os avanços nos métodos de estimativa de LST proporcionaram dados mais precisos sobre o impacto da urbanização nas temperaturas das áreas urbanas. A correlação estabelecida entre a LST e a temperatura do ar ajuda a compreender os processos climáticos em cada espaço e sua urbanização, destacando a relevância do SR na análise das variações térmicas urbanas (Asaeda *et al.*, 1996; Dias; Nascimento, 2014; Lombardo, 1985; Salata *et al.*, 2016 apud Do Nascimento *et al.*, 2022). Destaca-se a capacidade dos satélites para análises temporais detalhadas e a identificação de padrões térmicos em diferentes tipos de cobertura do solo (Jahangir; Moghim, 2019; Wu *et al.*, 2014; Hord; Brooner, 1976, apud Venkatraman *et al.*,

2024). De forma complementar, Cetin *et al.* (2024) confirmam a eficácia do satélite Landsat no monitoramento do aquecimento das superfícies urbanas.

A análise do comportamento espectral das superfícies urbanas e vegetadas é fundamental. Áreas verdes, como parques e praças, tendem a emitir menos radiação térmica do que superfícies urbanas, como concreto e asfalto, devido à sua menor temperatura superficial, influenciada por processos como a transpiração e a maior capacidade de sombreamento. Além disso, a diferença no albedo das superfícies influencia diretamente a quantidade de radiação solar que é refletida ou absorvida por elas, contribuindo para a variação da LST (Liguori; Monteiro, 2024). Esse contraste é um dos principais responsáveis pela formação das UHI, fenômeno monitorado amplamente por SR, permitindo identificar áreas vulneráveis ao aquecimento e à perda de vegetação.

Além do uso da LST, pesquisas têm realizado o monitoramento da cobertura da superfície utilizando o NDVI, como é o caso de Weng *et al.* (2004). Os autores relatam que encontraram forte correlação negativa entre NDVI e LST em áreas urbanas, indicando que a perda de vegetação é um preditor confiável do aumento térmico. Almeida *et al.* (2021) destacaram o SR, a partir de dados de NDVI e LST, como ferramenta essencial para monitorar mudanças ambientais em grandes cidades, especialmente para identificar e mitigar os impactos das UHI. O monitoramento das temperaturas urbanas ao longo do tempo, por meio de dados dos satélites Landsat, tem sido essencial para entender a evolução desse fenômeno e suas implicações, principalmente frente as alterações climáticas.

No Brasil, essa abordagem de correlação entre NDVI e LST foi aplicada em estudos como Venkatraman *et al.* (2024), que usaram dados Landsat para avaliar os efeitos da urbanização em áreas como São Paulo. A escolha do Landsat 8 e 9, com continuidade na série histórica e resolução adequada, permitiu uma análise robusta das mudanças térmicas em áreas como Nova Iguaçu ao longo de uma década. Leonardo *et al.* (2025) destacam o SR como ferramenta essencial para monitorar mudanças ambientais em grandes cidades brasileiras, especialmente para identificar e mitigar os impactos das UHI. Fernandes *et al.* (2024) realizaram uma análise das UHI nas capitais do Nordeste do Brasil, utilizando dados do satélite Sentinel-3. O estudo destacou que a intensidade das UHI variou substancialmente entre as cidades, com algumas mostrando um aumento nas temperaturas superficiais devido à expansão urbana desordenada.

Além disso, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), por meio do programa ARSET (*Applied Remote Sensing Training*), tem desenvolvido treinamentos e recursos sobre o uso de SR para medir as UHI e suas implicações ambientais. O ARSET fornece treinamentos para profissionais de diversas áreas, promovendo o uso de dados de satélite para monitorar e quantificar os efeitos das UHI nas cidades, o que tem sido essencial para entender como as mudanças no uso da terra afetam o clima urbano, especialmente em cidades tropicais (NASA Applied Remote Sensing Training Program, 2022).

Aqui nesta presente pesquisa, a área de estudo refere-se ao município de Nova Iguaçu, onde o uso de imagens dos satélites Landsat 8 e 9 foram fundamentais para quantificar as mudanças na LST e NDVI ao longo da última década. A combinação dessas duas variáveis proporcionou uma análise detalhada dos efeitos da expansão urbana na formação de ilhas de calor e ajuda a compreender como as mudanças no uso da terra afetam a qualidade de vida no centro urbano.

2.4. Limitações das Medidas Compensatórias

No Brasil, a supressão de vegetação urbana é frequentemente autorizada sob o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), que prevê medidas compensatórias como o plantio em outras áreas ou pagamento financeiro. Embora as compensações possam ajudar a mitigar a perda de

vegetação, Liguori e Monteiro (2024) destacam que elas não conseguem replicar a regulação térmica local, um serviço fundamental fornecido pelas áreas verdes urbanas. Isso se torna particularmente problemático em cidades densamente urbanizadas, onde o aumento da LST é diretamente influenciado pela perda de áreas verdes urbanas.

Cetin *et al.* (2024) discutem a importância da distribuição espacial das áreas verdes na mitigação do efeito de Ilha de Calor Urbano (UHI), destacando que, embora a vegetação tenha um papel essencial na melhoria do ambiente térmico nas cidades, sua eficácia está diretamente ligada à sua localização estratégica. Eles observam que áreas verdes localizadas em pontos críticos da cidade, como parques urbanos, têm um impacto significativo na redução de ondas de calor e na melhoria da qualidade do ar, em comparação com o plantio de vegetação em áreas distantes, que não oferece os mesmos benefícios locais. Este ponto levanta uma questão relevante para as políticas compensatórias, pois muitas vezes essas políticas não consideram adequadamente a distribuição espacial dos serviços ecossistêmicos. Como resultado, medidas compensatórias que envolvem o plantio de vegetação em áreas distantes podem não ser tão eficazes quanto o fortalecimento de áreas verdes já existentes em locais estratégicos, onde os benefícios para o bem-estar urbano são mais pronunciados.

Além da preservação, é fundamental que as áreas de vegetação urbana possuam planos de manejo adequados, caso contrário, elas podem se transformar em depósitos de rejeitos e focos de atividades ilegais, como ocorre em algumas áreas próximas ao aeroporto de Nova Iguaçu. A falta de manutenção nessas áreas pode também criar ambientes propícios ao surgimento de doenças, o que agrava ainda mais os desafios enfrentados pelas comunidades locais. Esse fenômeno tem contribuído para a desvalorização dessas áreas e aumentado a pressão por sua conversão em terrenos para construções (Cavalcante *et al.*, 2020; Liguori; Monteiro, 2024).

Estudos internacionais também reforçam essa crítica. Cetin *et al.* (2024) argumentam que os benefícios das áreas verdes são espacialmente dependentes, ou seja, a remoção de vegetação em um ponto específico não pode ser compensada adequadamente por ações em locais distantes. Liguori e Monteiro (2024) mencionam que, embora a ampliação de áreas verdes em áreas distantes seja uma alternativa viável para compensação, ele não consegue substituir de maneira eficaz os benefícios térmicos e outros serviços fornecidos pelas áreas verdes urbanas no contexto imediato de sua remoção. Esta lacuna na legislação e na prática ambiental ressalta a necessidade de políticas que priorizem a preservação *in situ* de áreas verdes, especialmente em cidades tropicais como Nova Iguaçu, onde os efeitos climáticos da urbanização são mais intensos.

Deste modo, a eficácia das medidas compensatórias pode ser aprimorada com o aumento do potencial de monitoramento e fiscalização. Embora projetos de compensação como o plantio de árvores sejam implementados, a falta de uma avaliação rigorosa e contínua de sua eficácia a longo prazo pode comprometer seus resultados. Por fim, a ampliação da equipe e a implementação de sistemas de monitoramento mais robustos podem contribuir significativamente para garantir que essas compensações cumpram seu papel de restaurar os serviços ecossistêmicos perdidos.

2.5. Legislação Ambiental Municipal

A Lei nº 3.129/2000, que institui o Código de Meio Ambiente de Nova Iguaçu, e o Decreto nº 11.032/2017, que regulamenta as compensações ambientais, oferecem a base legal para o manejo de vegetação urbana no município. Ambos os instrumentos têm como objetivo a preservação da vegetação e a mitigação dos impactos ambientais decorrentes da urbanização. No entanto, uma análise crítica revela que, apesar de suas intenções, essas legislações não são adequadas para proteger as ilhas de frescor urbanas, áreas que desempenham papel crucial na

regulação térmica e qualidade do ar, mas que frequentemente não são reconhecidas formalmente.

O Artigo 70 da Lei nº 3.129/2000 estabelece que, em novos empreendimentos urbanos, deve haver a obrigatoriedade do plantio de árvores, com o objetivo de manter a cobertura vegetal urbana. Essa medida, embora essencial para o aumento da área verde nas cidades, não assegura a preservação das áreas verdes existentes, especialmente as ilhas de frescor urbanas, que possuem um impacto significativo na regulação térmica local. Essas áreas, muitas vezes não reconhecidas oficialmente como áreas de preservação ambiental, podem ser removidas para dar espaço a novos empreendimentos, sem que sua perda seja compensada adequadamente.

A Lei nº 3.129/2000 também não faz uma distinção clara entre a vegetação urbana com importância climática e a vegetação que pode ser facilmente, em sua totalidade, substituída em projetos urbanos. Ao focar apenas na obrigatoriedade do plantio de árvores, ela não contempla a necessidade de proteger as áreas verdes já existentes e estratégicas para a mitigação das UHI.

O Decreto nº 11.032/2017 estabelece a Moeda Verde (Mv) como uma ferramenta para calcular as medidas compensatórias pela remoção de vegetação. A Moeda Verde atribui um valor monetário às árvores removidas, sendo usada para determinar a quantidade de mudas a serem plantadas em compensações. No entanto, esse modelo de compensação é insuficiente para preservar a funcionalidade climática das áreas de vegetação original, como as ilhas de frescor, que não podem ser compensadas apenas pelo plantio de mudas em outras áreas. A compensação em áreas distantes não substitui os serviços ecossistêmicos locais prestados pelas áreas de vegetação, como a regulação térmica, a absorção de poluentes e a redução de temperaturas em áreas críticas da cidade.

Além disso, o Artigo 14 do Decreto permite que, na impossibilidade de realizar o plantio no mesmo terreno, a compensação ambiental seja feita em áreas do entorno imediato ou dentro da mesma microbacia hidrográfica, mediante justificativa técnica. No entanto, essa flexibilização pode não ser plenamente eficaz em contextos urbanos densamente povoados, onde as áreas adequadas para plantio são limitadas. Embora essa flexibilização possa atender a exigências operacionais, ela pode enfraquecer a proteção das ilhas de frescor urbanas em regiões de alta densidade populacional e elevado estresse térmico, como o centro de Nova Iguaçu. A localização estratégica das áreas verdes é fundamental para a mitigação das UHI, e compensações em locais não adjacentes à área impactada podem falhar em restaurar os serviços ecossistêmicos locais, especialmente os relacionados ao conforto térmico imediato.

Ambas as leis e decreto falham em garantir a proteção das áreas verdes urbanas mais importantes, especialmente as ilhas de frescor, que são áreas de vegetação com impacto direto na qualidade do ar e regulação térmica. Além disso, a fiscalização e o monitoramento inadequados podem comprometer ainda mais a eficácia das políticas de compensação ambiental. Considerando um município de grande proporção territorial, onde pode faltar um número suficiente de profissionais para acompanhar de perto as ações, muitas das mudas plantadas acabam sendo negligenciadas, o que resulta em sua morte por falta de manutenção, antes que possam cumprir seu objetivo de restaurar os serviços ecossistêmicos perdidos. O plantio sem supervisão, aliado à falta de um processo sustentável, faz com que muitas dessas compensações falhem em trazer os benefícios ambientais desejados. Isso evidencia a importância de se contar com um número adequado de profissionais capacitados, que garantam a eficácia das compensações e a manutenção da qualidade do processo de plantio.

Proteger áreas com vegetação densa no meio urbano, especialmente aquelas com funções climáticas essenciais, como as ilhas de frescor urbanas, é mais eficaz do que depender de compensações por supressão de vegetação. Embora o plantio de mudas possa ser uma alternativa para mitigar a perda de vegetação, o seu desenvolvimento pode levar anos até representar os benefícios ecossistêmicos que a área original detinha. Além disso, a vegetação existente já oferece benefícios imediatos, como o resfriamento direto de áreas densamente

povoadas, que são fundamentais para o conforto térmico da população. A perda dessas áreas sem uma compensação adequada compromete a resiliência urbana e o bem-estar das pessoas, tornando a proteção dessas áreas uma prioridade, em vez de se confiar exclusivamente em soluções compensatórias que muitas vezes são ineficazes.

Embora a Lei nº 3.129/2000 e o Decreto nº 11.032/2017 forneçam um arcabouço legal importante para a preservação e manejo da vegetação urbana, elas não são suficientes para proteger efetivamente as ilhas de frescor urbanas, essenciais para a mitigação das UHI. É necessário um aprimoramento dessas normas, com a inclusão de critérios específicos para a proteção de áreas verdes com funções climáticas importantes. A preservação das ilhas de frescor urbanas consolidadas deve ser uma prioridade para as políticas de planejamento urbano sustentável, especialmente em cidades como Nova Iguaçu, que enfrentam pressão urbana crescente e desafios climáticos intensos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende o município de Nova Iguaçu, localizado na Baixada Fluminense, estado do Rio de Janeiro (latitude aproximada 22°45'S, longitude 43°27'O) (Figura 5 e 6). O município ocupa uma área territorial de aproximadamente 520 km², e possui uma população estimada em cerca de 843.000 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). A cidade é predominantemente urbana, com uma grande concentração de áreas residenciais, comerciais e industriais, especialmente na região central e em torno das principais rodovias. A principal atividade econômica de Nova Iguaçu envolve comércio, indústria e prestação de serviços, com um crescente setor de serviços urbanos. O município de Nova Iguaçu também possui algumas áreas de cultivo agrícola, principalmente nas regiões mais periféricas, mesmo que embora a urbanização tenha avançado significativamente sobre essas áreas nas últimas décadas. O município enfrenta um processo acelerado de expansão urbana, o que tem causado uma crescente pressão sobre as áreas naturais e as zonas verdes, o que afeta diretamente a dinâmica de uso e cobertura do solo.

O clima de Nova Iguaçu é classificado como tropical úmido, com verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos (Peel *et al.* 2007). A temperatura do ar média anual é de aproximadamente 26 °C, com máximas no verão que ultrapassam frequentemente 35 °C, e mínimas no inverno que podem atingir cerca de 15 °C.

Os locais de estudo estão estrategicamente posicionados entre importantes Unidades de Conservação (UC) que, mesmo distantes, influenciam diretamente o contexto ambiental e a dinâmica de uso da terra na região (Figura 5). Dentre elas, destacam-se duas principais: ao norte, encontra-se a Reserva Biológica do Tinguá (Rebio Tinguá), uma UC de proteção integral que abriga vastas áreas de Mata Atlântica preservada, que desempenham papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na regulação climática local; no extremo sul, localiza-se o Maciço do Mendanha, cuja maior UC é a Área de Proteção Ambiental Gericinó-Mendanha, que se destaca como uma área de relevância ecológica, caracterizada por cobertura vegetal densa e relevo acidentado (Figura 6, áreas em verde escuro). Essa localização, entre as UCs, insere a área de estudo em um corredor ecológico, conferindo-lhe uma importância estratégica, pois está sujeita a pressões urbanas intensas, o que impacta indiretamente os padrões de NDVI e LST analisados neste trabalho.

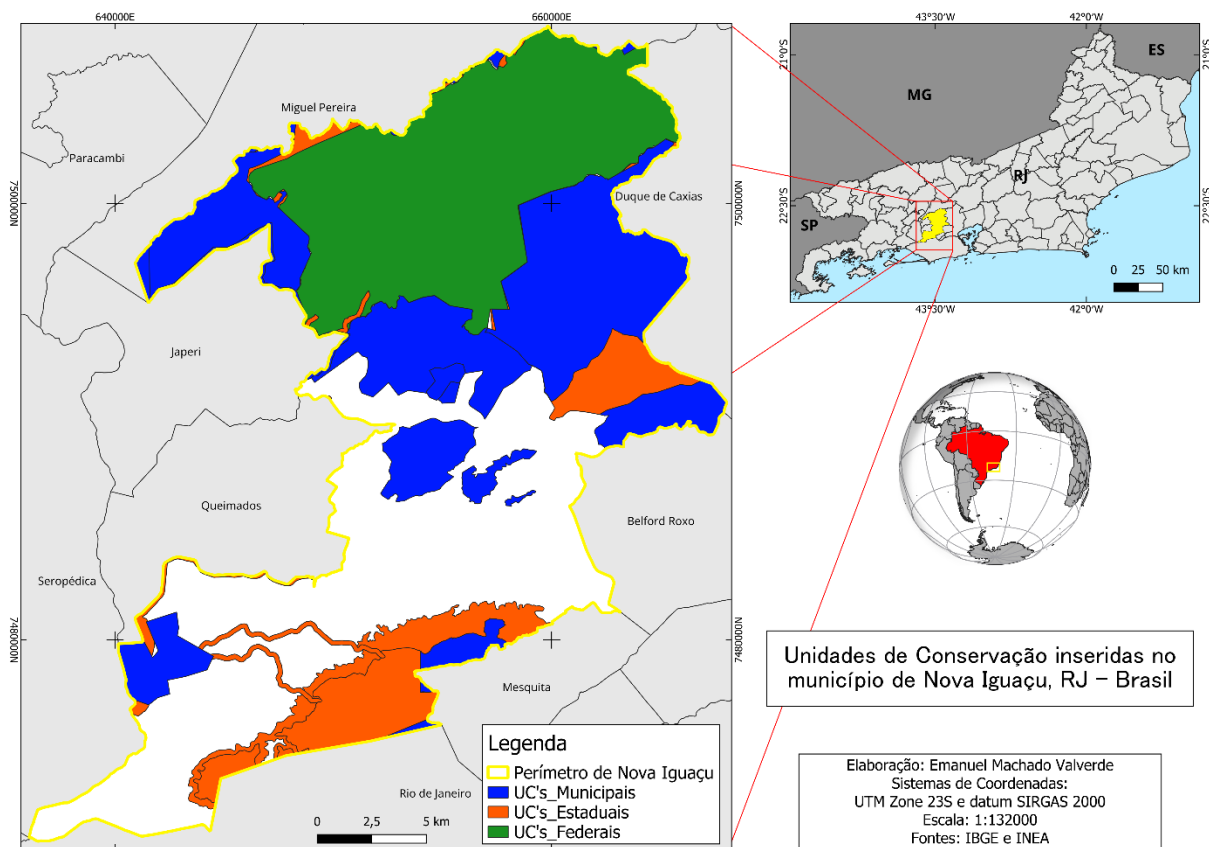


Figura 5. Mapa de localização do município de Nova Iguaçu e Unidades de Conservação inseridas no respectivo município.

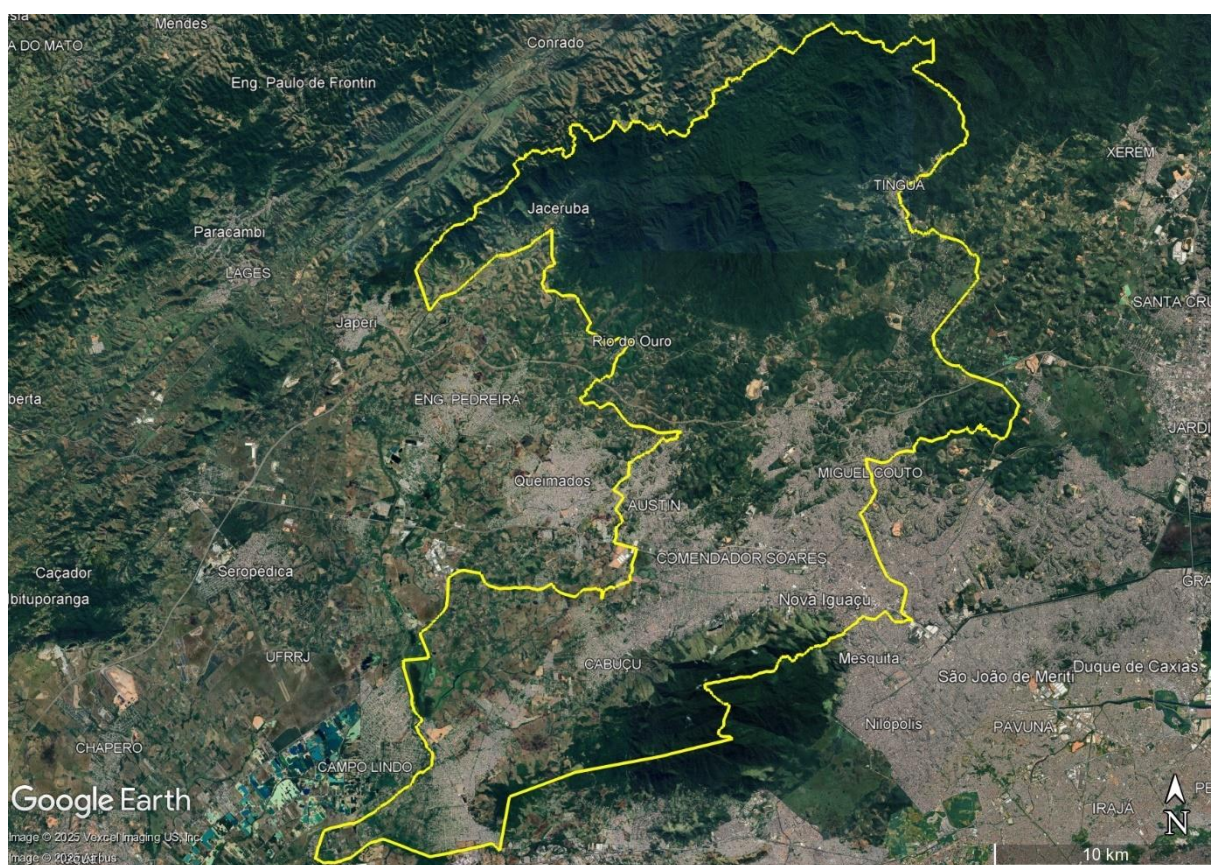


Figura 6. Mapa do perímetro do município de Nova Iguaçu em amarelo, no espectro visível.

Fonte: Google Earth.

Para a análise espacial da temperatura do ar em Nova Iguaçu, foi utilizado um banco de dados fornecido por Xavier *et al.* (2022), que contém informações modeladas sobre a temperatura máxima diária média para o período de 2014 a 2024. Este banco de dados foi escolhido devido à ausência de estações meteorológicas na região de estudo, o que torna sua utilização uma alternativa viável para analisar o padrão climático local. Os dados fornecem uma visão detalhada das variações temporais e espaciais da temperatura máxima do ar, permitindo a construção de mapas de distribuição para a área de Nova Iguaçu.

Para a obtenção das cotas altimétricas do município de Nova Iguaçu, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado dos dados do Copernicus Global Digital Surface Model (DSM). O DSM fornece informações detalhadas sobre a elevação da superfície terrestre, incluindo características como edificações e vegetação. As cotas altimétricas foram extraídas a partir do DSM do Copernicus, que possui uma resolução espacial de 30 metros e uma cobertura global. O processo de extração das cotas foi realizado por meio de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS, que possibilitaram o processamento e a análise espacial dos dados. Esse procedimento permitiu a visualização clara das zonas de maior e menor altitude, essenciais para a compreensão da dinâmica térmica e do impacto do relevo nas condições climáticas locais.

A seleção da Unidade Regional de Governo (URG) I Centro (Figura 7), deve-se à sua representatividade como núcleo urbano consolidado, onde processos de supressão vegetal e expansão imobiliária são intensos, além de concentrar ilhas de frescor remanescentes, críticas para o equilíbrio térmico municipal. O relevo da área urbana do centro de Nova Iguaçu, inserida na URG I, é predominantemente plano, característico da Baixada Fluminense. A planície apresenta altitudes médias entre 20 e 40 metros, com suaves ondulações locais, sem variações acentuadas que caracterizem morros ou vales profundos. Assim, a variação do relevo não influencia diretamente a variação dos dados de temperatura.

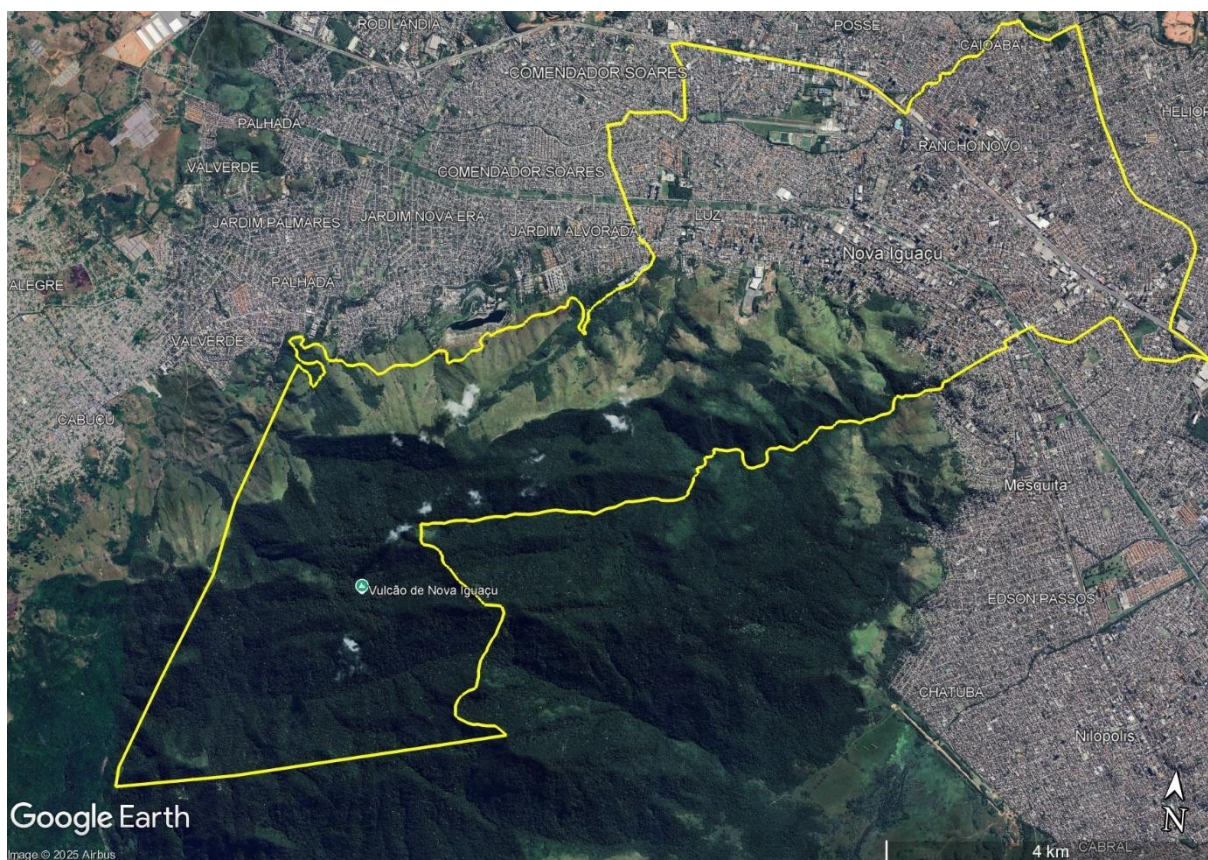


Figura 7. Mapa do perímetro URG I - Centro de Nova Iguaçu no espectro visível. Fonte: Google Earth.

A planície homogênea que caracteriza a URG I Centro de Nova Iguaçu foi determinante para a expansão urbana desenfreada, o que facilitou a ocupação da terra e a conexão entre zonas residenciais, comerciais e industriais (Figura 8). No entanto, essa mesma uniformidade topográfica pode intensificar os efeitos das UHI, o que pode dificultar a dispersão do calor acumulado e de poluentes atmosféricos. Nesse cenário, as ilhas de frescor analisadas emergem como elementos estratégicos, uma vez que a vegetação arbórea e arbustiva não apenas ameniza as temperaturas locais, mas também restaura parcialmente a capacidade de resiliência climática em um ambiente fortemente impactado pela impermeabilização do solo.

A hidrografia da área urbanizada do centro de Nova Iguaçu é marcada pela presença de cursos d'água que, embora significativos do ponto de vista histórico e ambiental, sofrem com os impactos da urbanização acelerada (Figura 8). A região é atravessada por rios e canais integrantes da sub-bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, com destaque para o Rio Botas, que juntos desempenharam papel crucial na formação do município. Contudo, o processo de ocupação desordenada resultou na degradação desses corpos hídricos, com problemas como assoreamento, poluição por esgoto doméstico e resíduos sólidos, além de retificações e canalizações que alteraram seu regime natural. A impermeabilização do solo nas áreas centrais agrava a situação, o que reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, o que potencializa inundações durante eventos de chuva intensa.

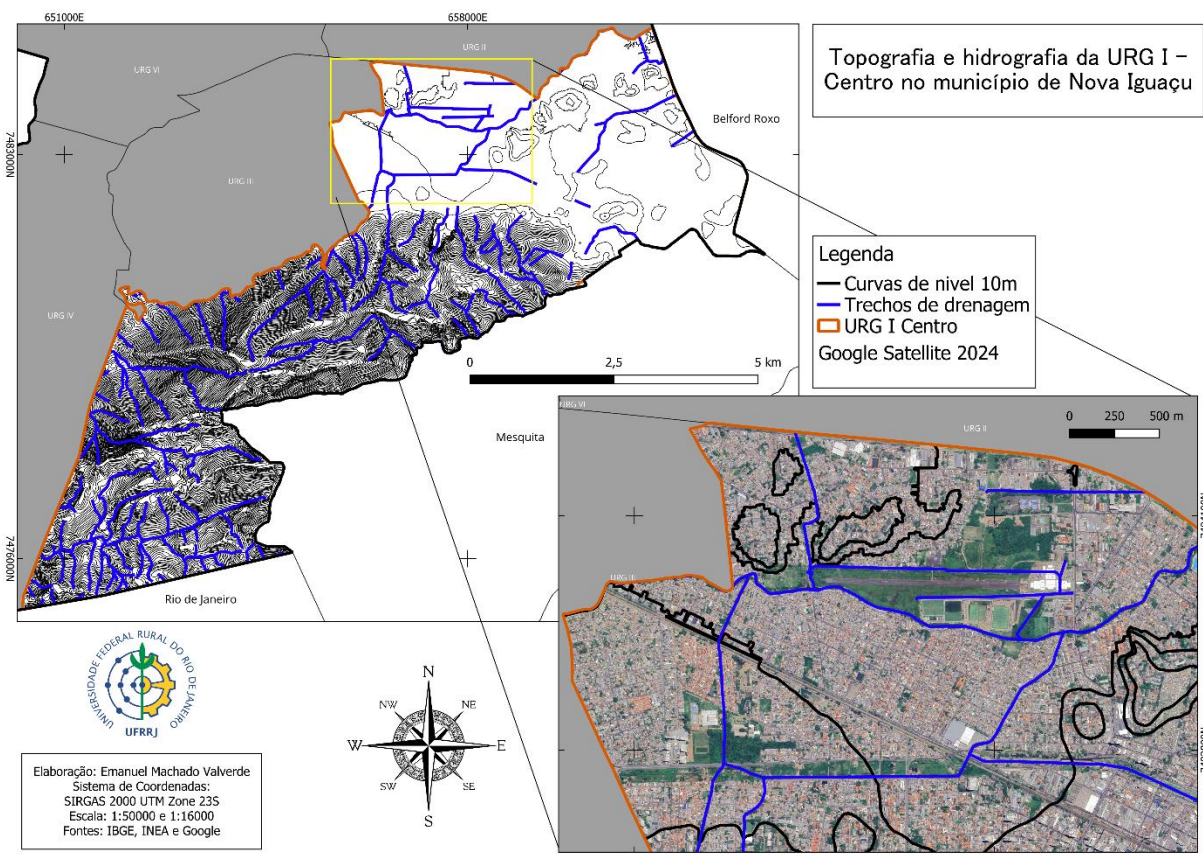


Figura 8. Topografia, hidrografia e localização da área de estudo na URG I – Centro do município de Nova Iguaçu.

A presença de fragmentos florestais em margens de corpos hídricos é crucial para a preservação ambiental e para a regulação hídrica da Baixada Fluminense. Apesar dos impactos da urbanização acelerada, esses fragmentos desempenham papéis essenciais, como a mitigação da poluição, controle do assoreamento e prevenção de inundações. A vegetação nas margens atua como uma barreira natural, absorvendo contaminantes e melhorando a qualidade da água, ao mesmo tempo em que reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração da água no solo, mitigando o risco de alagamentos. Além disso, esses espaços verdes contribuem para a conservação da biodiversidade e ajudam a regular o microclima urbano. A recuperação e a proteção desses fragmentos florestais são fundamentais para garantir a resiliência climática da região e integrar os cursos d'água ao planejamento urbano de forma sustentável.

Este estudo busca analisar a influência de duas ilhas de frescor localizadas no centro urbano de Nova Iguaçu, inseridas nos limites da URG I Centro (Figura 9, 10, 11 e 12). Essas áreas são caracterizadas pela presença de vegetação urbana remanescente, incluindo espécies arbóreas, gramados e arbustos, sendo elas nativas ou exóticas, que são cruciais na regulação microclimática da região.

A primeira ilha de frescor (Figura 9 e 10), denominada "Vegetação SESI-SENAI", está, em sua maior parte, situada em terreno privado pertencente aos serviços da FIRJAN, sendo esses o Serviço Social da Indústria (SESI) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), instituições de interesse público. Essa ilha de frescor é predominantemente composta por vegetação arbórea, contribuindo para a redução de temperaturas urbanas.



Figura 9. Mapa da “Vegetação SESI-SENAI” e “Vegetação suprimida em 2025” no espectro visível em 2024. Fonte: Google Earth.



Figura 10. Mapa da “Vegetação SESI-SENAI” e “Vegetação suprimida em 2025” no espectro visível em 2025.

visível em 2025. Fonte: Google Earth.

Em 2025, um fragmento da ilha de frescor “Vegetação SESI-SENAI” foi suprimido para a construção de um empreendimento residencial (Figura 10), restando apenas a vegetação pertencente ao SESI e ao SENAI, em conformidade com as exigências de compensação ambiental estabelecidas pelo Código de Meio Ambiente de Nova Iguaçu. A remoção de áreas verdes urbanas, mesmo quando acompanhada de medidas compensatórias, levanta questões sobre os impactos ambientais locais, especialmente no que diz respeito à regulação térmica e à qualidade de vida urbana, temas centrais deste estudo. Vale ressaltar, que até a data do presente estudo, esta área ainda se contra apenas com o solo exposto.

A segunda ilha de frescor (Figura 11 e 12), denominada como “Vegetação aeroporto” em razão da maior parte estar inserida em área privada pertencente ao Aeroclube de Nova Iguaçu, localizada entre o mesmo e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto Multidisciplinar – Campus Nova Iguaçu. Essa ilha de frescor é composta majoritariamente por vegetação de porte arbustivo, porém é marcada por ações antrópicas irregulares, como descarte de resíduos sólidos e entulho.



Figura 11. Mapa da “Vegetação aeroporto” e “Hospital HERC” no espectro visível em 2019. Fonte: Google Earth.



Figura 12. Mapa da “Vegetação aeroporto” e “Hospital HERC” no espectro visível em 2020.
Fonte: Google Earth.

No ano de 2020, em resposta à pandemia de COVID-19, parte desta área foi ocupada pela construção emergencial do Hospital Estadual Ricardo Cruz (HERCRUZ). Embora o hospital se enquadre como empreendimento de utilidade pública e interesse social, sua implantação implicou a substituição de cobertura vegetal por infraestrutura urbanizada, configurando-se como um caso relevante para análise dos efeitos da perda de áreas verdes em ambientes urbanos.

3.2. Delimitação da Área de Estudo

Inicialmente a área de estudo foi definida para obter quatro pontos de controle, a fim de compará-los posteriormente com o quinto ponto correspondente à Vegetação suprimida em 2025. Para isso, foram selecionados dois pontos no centro das ilhas de frescor, representando áreas de vegetação densa, as quais possuem distância entre si de aproximadamente 2 km, e outros dois pontos em áreas urbanas consolidadas, representando as UHI. Outro fato relevante, foi que em um dos pontos analisados dessas áreas urbanas, ocorreu a supressão da área verde recentemente em 2020, possibilitando um estudo mais aprofundado da mesma. A escolha destes pontos foi definida de forma representativa, com a finalidade de buscar caracterizar as diferenças nos comportamentos da superfície, tal como de cobertura vegetal (arbórea/arbustiva) e urbanização (áreas impermeabilizadas), garantindo comparações entre os extremos de NDVI/LST.

Vale ressaltar que não há grandes edifícios verticais, como arranha-céus, ou outras estruturas próximas aos pontos selecionados que possam interferir nos dados de SR coletados para análise, garantindo a ausência de sombreamento e influências térmicas.

Os pontos de interesse, foram identificados e numerados conforme sua localização

(Figura 13):

- Ponto 1 – Vegetação SESI-SENAI: Área com predominância de vegetação de porte arbóreo nas dependências das instituições de ensino SESI-SENAI.
- Ponto 2 – Vegetação suprimida 2025: Área onde ocorreu supressão a fim de dar lugar à construção de um empreendimento residencial, adjacente ao Ponto 1.
- Ponto 3 – Vegetação aeroporto: Área com predominância de vegetação de porte arbustivo acerca do Aeroclube de Nova Iguaçu.
- Ponto 4 – Supermercado Assaí: Localização de um grande supermercado, representando uma área urbanizada.
- Ponto 5 – Hospital HERC: Hospital Estadual Dr. Ricardo Cruz, construído no ano de 2020, o qual representava uma área com predominância de vegetação de porte arbustivo em período anterior à 2020.

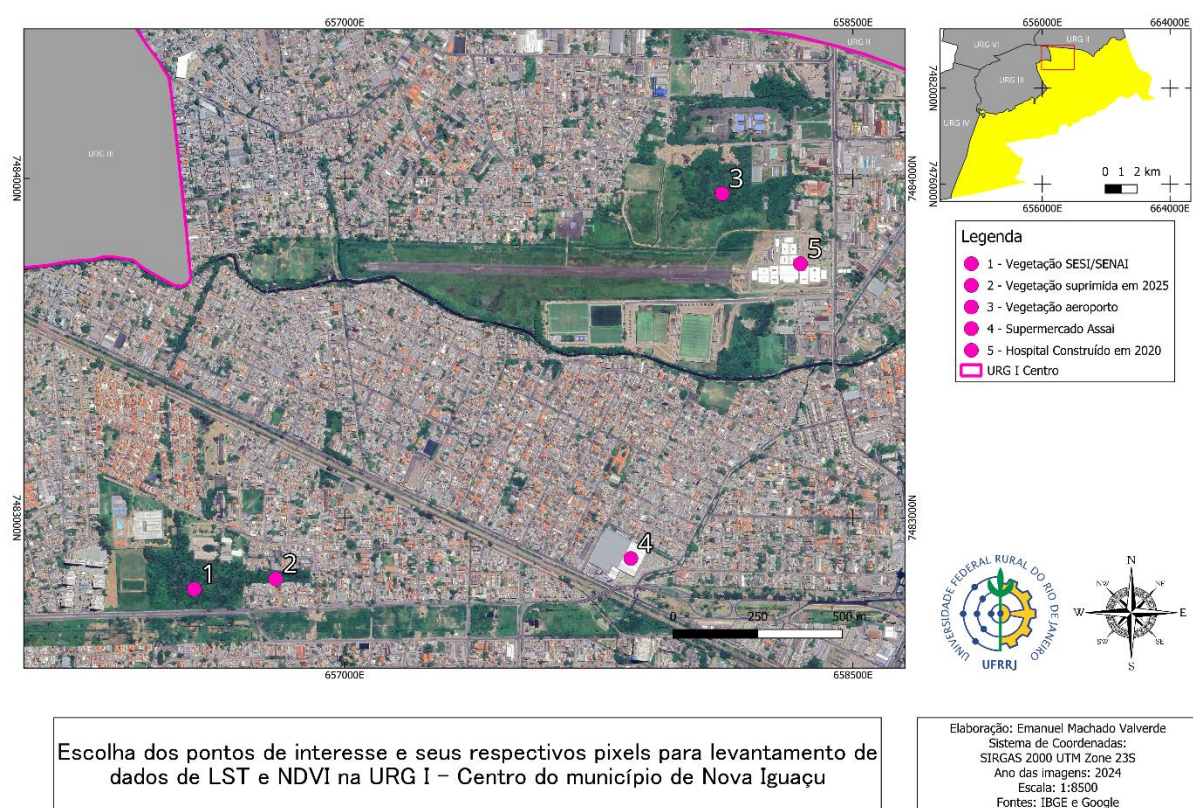


Figura 13. Mapa de localização dos pontos de interesse, inseridos na área de estudo, no município de Nova Iguaçu.

A partir da análise espaço-temporal do NDVI e da LST nos pontos de interesse, será possível avaliar a dinâmica entre a presença de vegetação e as mudanças na cobertura da terra, assim como seus impactos sobre o microclima local. A Figura 14 demonstra parte do levantamento e georreferenciamento das imagens de satélite utilizadas para realizar a análise temporal da LST e do NDVI. Essa abordagem foi essencial para garantir a precisão dos dados extraídos e possibilitar a quantificação das alterações na cobertura do solo ao longo do período de estudo. A análise temporal nesta pesquisa irá abranger o intervalo de 2014 a 2025, sendo analisado os meses mais quente do ano (janeiro, fevereiro e março), conforme a disponibilidade de imagens provenientes de SR na área, visando evitar a cobertura de nuvens e pixels com baixo controle de qualidade.

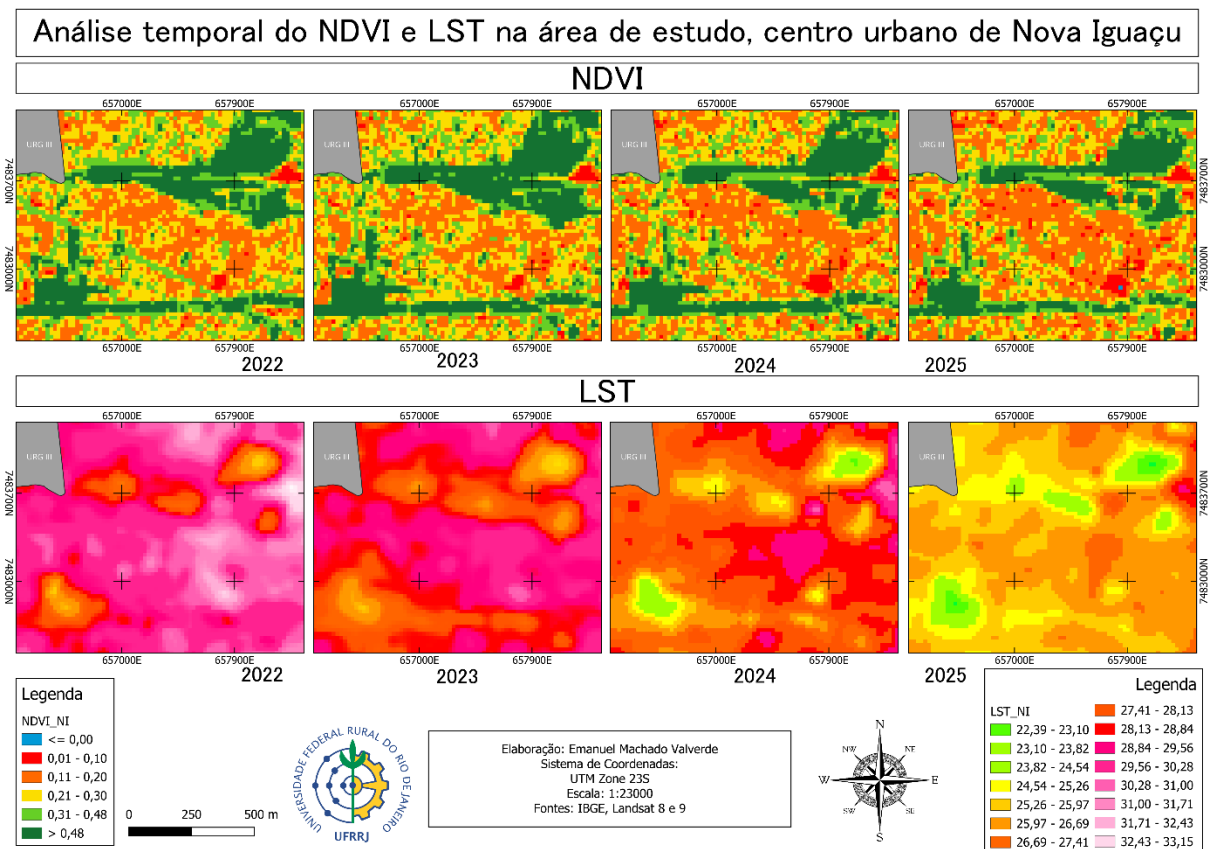


Figura 14. Demonstrativo do levantamento das imagens de satélite para a realização da análise temporal na área de estudo.

3.3. Imagens de Satélite

Para a análise temporal das mudanças no uso da terra e a relação entre a supressão de vegetação e o aumento de LST, foram utilizadas imagens de SR obtidas pelos satélites Landsat 8 e 9. As imagens foram processadas para calcular os índices NDVI e LST, permitindo observar as variações sazonais e as tendências temporais nas áreas de estudo. O NDVI foi calculado a partir das bandas do vermelho e infravermelha próxima, enquanto a LST foi derivada da banda termal.

O período analisado (2014–2025) abrange eventos-chave de transformação urbana, como a construção do HERC (2020) e a supressão vegetal em 2025, permitindo avaliar impactos cumulativos e intensificação das UHI.

3.3.1. Aquisição das imagens de satélite

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas do banco de dados do USGS (*United States Geological Survey*) Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Optou-se pelo uso de imagens do Collection 2 Level 1 do Landsat 8 e 9, que correspondem a produtos ortorretificados e radiometricamente calibrados e, assim garantem a máxima qualidade e consistência para análises multitemporais e multiescalares. Essa coleção oferece dados com correções geométricas e radiométricas padronizadas, facilitando comparações temporais e o uso em sistemas de informações geográficas (SIG) sem necessidade de correções prévias complexas (USGS, 2017).

O horário em que o Landsat 8 e 9 passa sobre o Rio de Janeiro, por volta das 10h00 ± 15 minutos do horário de Brasília (GMT-3), é particularmente importante para a análise de

fenômenos urbanos, como as UHI, devido à sua capacidade de captar a influência direta da radiação solar. Durante a passagem destes satélites, é possível verificar a variação das temperaturas da superfície terrestre influenciada, principalmente pelo aquecimento solar, proporcionando dados representativos do impacto térmico das áreas urbanizadas.

Os satélites Landsat 8 e 9 são parte da série Landsat, que oferece uma longa série temporal de imagens de SR com alta resolução espacial. Esses satélites têm como principal objetivo monitorar mudanças no uso da terra, cobertura vegetal, água e mudanças ambientais ao longo do tempo. O Landsat 8 foi lançado em 2013 e o Landsat 9 foi lançado em 2021, ambos pela NASA e pelo USGS. A principal característica dessas missões é a continuidade a coleta de dados de alta qualidade para monitoramento ambiental (USGS, 2021).

O Landsat 9 mantém a mesma configuração do Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros nas bandas multiespectrais e 100 metros na banda termal. A principal diferença entre os dois satélites é a melhoria no desempenho do Landsat 9 em termos de radiometria e a maior estabilidade dos dados em relação a eventuais falhas. As bandas espectrais dos Landsat 8 e 9 são semelhantes, com a mesma faixa de comprimentos de onda para cada banda.

Para cada ano foi selecionada uma imagem de satélite representativa para a estação de verão. Assim, foram selecionadas as seguintes datas: 10/02/2014, 12/01/2015, 31/01/2016, 18/02/2017, 24/02/2019, 26/01/2020, 28/01/2021, 23/01/2022, 02/01/2023, 17/03/2024 e 16/02/2025. A escolha dessas datas se deve ao fato de as imagens de satélite apresentarem nebulosidade inferior a 5%, exceto a do ano de 2020, que apresentou nebulosidade entre 5% e 10%. O ano de 2018 foi excluído da análise devido à presença de elevada nebulosidade nas imagens disponíveis. Vale ressaltar que, a imagem de satélite adquirida para representar o ano de 2020 é referente a um mês anterior à supressão da vegetação para a construção do hospital HERC, portanto, a construção do hospital foi representada por dados de imagens de satélite referentes ao ano 2021 em diante. Essas imagens foram selecionadas com o objetivo de representar os anos de interesse, com a menor incidência de nuvens possível, para garantir a qualidade dos dados e a consistência temporal para a análise comparativa do NDVI e LST.

Os sensores orbitais acoplados ao Landsat 8 e 9 se destacam por sua resolução radiométrica de 16 bits, que permite captar até 65.536 níveis de brilho por pixel, valor muito superior aos 256 níveis do Landsat 5. Além disso, a banda termal, originalmente com resolução espacial de 100 metros, é disponibilizada com reamostragem para 30 metros, o que possibilita análises mais detalhadas e compatíveis com as bandas multiespectrais do sensor OLI (USGS, 2017; Vale *et al.*, 2020). Considerando que o estudo envolve pequenos fragmentos de vegetação em áreas urbanas, a resolução espacial de 30 metros foi fundamental para a escolha desses sensores, embora essa escala ainda possa subestimar detalhes em microescala dos fragmentos vegetais, sendo, contudo, adequada para análises intraurbanas.

Para a análise, foram selecionadas as seguintes bandas espectrais:

- Banda 4 (Vermelho) e Banda 5 (Infravermelho Próximo): Essas bandas foram utilizadas para calcular o NDVI, que é um indicador importante para monitorar a densidade e saúde da vegetação. A Banda 4 (vermelho) tem comprimento de onda de 0,64 - 0,67 μm , e a Banda 5 (infravermelho próximo) cobre 0,85 - 0,88 μm . A combinação dessas bandas é eficaz na distinção entre áreas vegetadas e não vegetadas.
- Banda 10 (Termal): Utilizada para calcular a LST. Esta banda possui intervalo de comprimento de onda entre 10,60 - 11,19 μm , o que permite a medição da radiação térmica da superfície da Terra, sendo uma ferramenta crucial para avaliar os efeitos das UHI.

Tabela 1. Especificações técnicas comparativas dos satélites Landsat 8 e Landsat 9 utilizados no estudo.

Característica	Landsat 8 (OLI/TIRS)	Landsat 9 (OLI-2/TIRS-2)	Relevância para o Estudo
Lançamento	11/02/2013	27/09/2021	Continuidade da série temporal (2014–2025).
Banda Espectral (NDVI)	B4 (Vermelho: 0,64–0,67 μm) B5 (NIR: 0,85–0,88 μm)	Idêntica ao Landsat 8	Permite cálculo consistente do NDVI.
Banda Térmica (LST)	B10 (10,6–11,19 μm)	B10 (10,6–11,19 μm)	Cálculo da temperatura da superfície (LST).
Resolução Espacial	30 m (multiespectral) 100 m (térmica) reamostrada para 30 m	30 m (multiespectral) Idêntica	Adequada para análise de fragmentos urbanos. Compatibilidade com SIG.
Resolução Radiométrica	12 bits (4.096 níveis)	14 bits (16.384 níveis)	Maior precisão na detecção de variações sutis.
Recobrimento Temporal	16 dias	16 dias (em conjunto com L8: 8 dias)	Monitoramento sazonal.
Correções Atmosféricas	Nível L1T (ortorretificado)	Nível L1T (melhorias na calibração)	Redução de ruídos para NDVI/LST.
Fonte de Dados	USGS Earth Explorer	USGS Earth Explorer	Padronização da aquisição.

3.3.2. Pré-processamento das imagens de satélite

O pré-processamento das imagens de satélite foi realizado em duas etapas principais:

- (1) Correção radiométrica e atmosférica utilizando o plugin Semi-Automatic Classification (SCP) do software de código aberto Quantum GIS (QGIS) (Congedo, 2020), e;
- (2) Correção geométrica empregando ferramenta de processamento geográfico do software.

Inicialmente, as bandas espectrais foram convertidas de valores de número digital (DN) para reflectância de superfície e temperatura de brilho, utilizando os parâmetros radiométricos contidos nos arquivos MTL de cada imagem. A correção atmosférica foi aplicada mediante o método *Dark Object Subtraction* (DOS1), implementado automaticamente pelo plugin SCP, que permite a redução dos efeitos de espalhamento atmosférico de forma padronizada. Este procedimento é particularmente importante para garantir a comparabilidade temporal dos dados em análises de séries temporais.

Posteriormente, as imagens foram reprojetadas para o sistema de referência Datum SIRGAS 2000 com projeção UTM zona 23S (EPSG:31983), utilizando a ferramenta “reprojetar coordenadas” do QGIS. Esta etapa foi essencial para adequar os dados à área de estudo no município de Nova Iguaçu-RJ, o que garantiu a consistência espacial necessária para as análises subsequentes.

A abordagem adotada, que combinou as funcionalidades especializadas do plugin SCP com as capacidades de processamento espacial do QGIS, mostrou-se eficiente para o pré-processamento de imagens Landsat. Esta metodologia permitiu a obtenção de dados com qualidade radiométrica e geométrica adequadas para o cálculo de índices espectrais e análise

da dinâmica espaço-temporal da área de estudo.

3.3.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI foi calculado a partir de imagens de satélite multiespectrais obtidas dos satélites Landsat 8 e 9, utilizando a banda 4 do vermelho (RED) e a banda 5 do infravermelho próximo (NIR). Assim, o NDVI pode ser obtido por meio da equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Este índice varia entre -1 e +1, onde valores próximos a +1 indicam vegetação vigorosa, valores próximos a zero representam solo exposto ou áreas urbanas, e valores negativos correspondem a corpos d'água.

Para classificar a cobertura vegetal, adotaram-se os intervalos de NDVI:

- $NDVI \leq 0$: Áreas não vegetadas
- $0 < NDVI \leq 0,1$: Vegetação quase ausente
- $0,1 < NDVI \leq 0,25$: Vegetação esparsa
- $0,25 < NDVI \leq 0,4$: Vegetação moderada
- $NDVI > 0,4$: Vegetação densa

Essa classificação foi validada com dados de campo coletados em áreas amostrais, utilizando fotografias georreferenciadas.

3.3.4. Temperatura da Superfície Terrestre (LST)

O cálculo da LST foi realizado com base na metodologia proposta por Coelho e Correa (2013) e descrita por Vale *et al.* (2020). Para a conversão da radiação térmica da banda 10 do satélite Landsat em graus Celsius, foi aplicada a seguinte equação resultante:

$$LST = \left(\frac{1321,08}{\ln \left(\frac{774,89}{3,3420E - 04 \times Banda10 + 0,1} + 1 \right)} \right) - 273,15 \quad (2)$$

Em que, Banda 10 refere-se à banda térmica do Landsat, que captura a radiação térmica emitida pela superfície da Terra. A equação permite a conversão de níveis de cinza da imagem (NC), conversão dos dados de radiância para temperatura em Kelvin (K) e conversão para temperatura em graus Celsius (°C).

Esse método foi escolhido por sua eficácia no mapeamento térmico em ambientes urbanos, especialmente em áreas com diversidade de coberturas do solo e uso urbano intensivo, como no caso da região de Nova Iguaçu. A correção radiométrica é necessária para remover as variações atmosféricas e garantir que os valores de radiação térmica captados pela banda 10 sejam adequados para o cálculo preciso da LST. A metodologia de Coelho e Correa (2013) é amplamente utilizada para monitoramento térmico em áreas urbana, a fim de obter dados confiáveis sobre a distribuição espacial da LST. O uso dessa técnica proporciona uma análise detalhada dos impactos térmicos da urbanização, como a formação de UHI, permitindo comparar a temperatura das superfícies urbanizadas com áreas naturais.

Para evitar a influência de variáveis como variabilidade climática ou condições específicas de dias mais quentes ou frios, que poderiam afetar os dados obtidos em imagens de satélite de diferentes dias, adotou-se uma abordagem baseada na média das imagens para cada

ano. Foi utilizada a ferramenta de análise estatística do QGIS para obter a média dos valores dos pixels de cada imagem de satélite dentro do perímetro da URG I Centro, inserida no município de Nova Iguaçu, permitindo uma análise mais robusta e representativa das variações de temperatura ao longo do tempo. Essa metodologia assegura que as variações térmicas observadas sejam refletidas pela tendência geral das condições climáticas do mesmo dia e horário de cada imagem de satélite, minimizando o impacto de condições climáticas pontuais. Portanto, esses valores de variação da LST foram obtidos a partir da seguinte equação:

$$\text{Variação da LST} = \text{Valor absoluto da LST} - \text{Média da LST na URG I Centro} \quad (3)$$

A aplicação desta metodologia possibilitou uma análise mais robusta das mudanças nas condições térmicas ao longo do tempo, além de fornecer uma base quantitativa para comparar a intensidade e a direção das variações de temperatura nas diferentes áreas urbanas de Nova Iguaçu. A metodologia adotada, ao integrar análises multitemporais de NDVI e LST com alta resolução espacial, oferece um modelo replicável para estudos de microclima urbano em cidades de média e alta densidade, particularmente em regiões tropicais sob pressão antrópica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das Unidades de Conservação (UCs)

A análise espacial indicou que o município de Nova Iguaçu está situado entre duas grandes Unidades de Conservação (UCs) localizadas nas extremidades Norte e Sul, com a presença de outras UCs menores, como as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) municipais (Figura 15). Essas UCs influenciam diretamente as condições ambientais da região, contribuindo para a modulação do microclima local. A área de estudo pode ser classificada como um corredor ecológico potencial, inserida em um contexto complexo fragmentos de vegetação isolados, com vegetação densa, especialmente nas UC's, desempenhando um papel importante na regulação térmica e proteção à biodiversidade. No entanto, a intensa urbanização ao redor limita a conectividade entre os fragmentos de vegetação, permitindo que apenas espécies de aves se movam entre essas áreas.

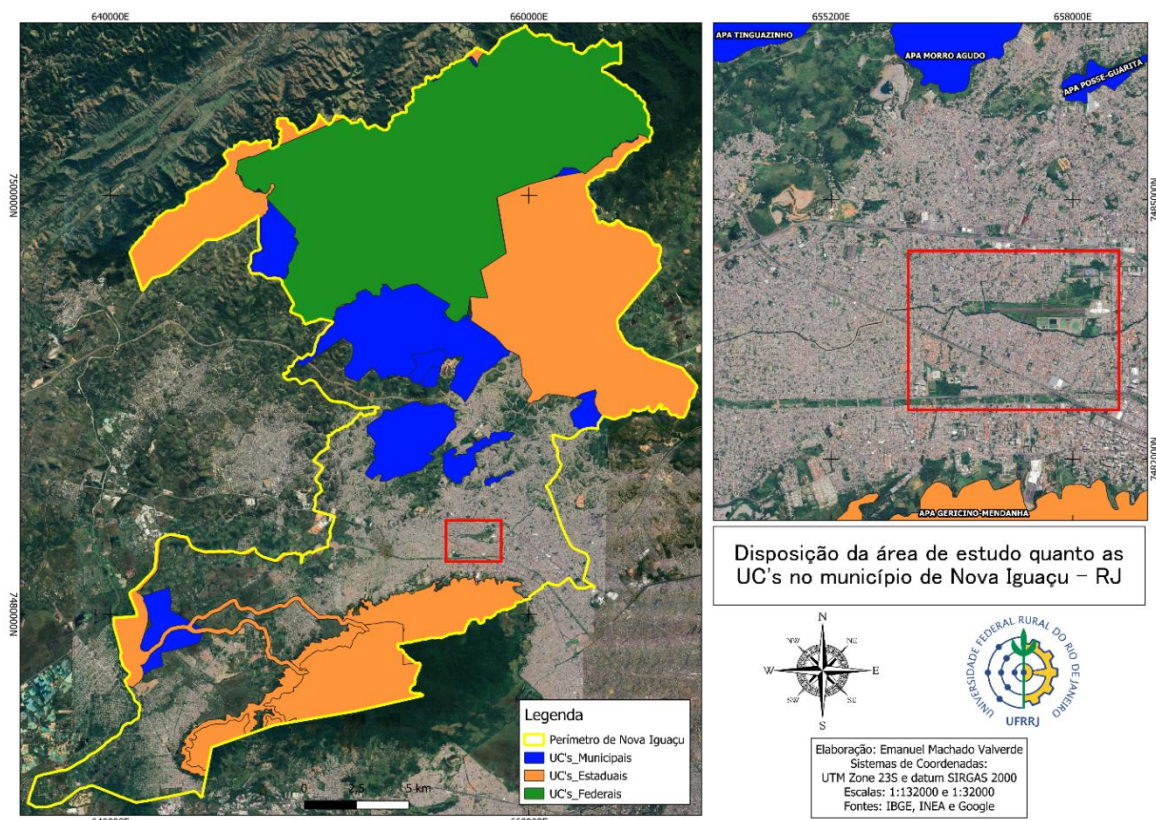


Figura 15. Localização da área de estudo em relação às UC's em Nova Iguaçu.

Além das ilhas de frescor inseridas na área de estudo, que desempenham um papel importante na regulação térmica, também há outros fragmentos de vegetação na área urbana que contribuem de forma similar para a modulação do microclima. Embora esses fragmentos não sejam classificados como UCs, sua importância é igualmente relevante, especialmente devido à sua localização estratégica no perímetro urbano, no centro do município (Figura 15, ver recorte de imagem a direita). Esses fragmentos ajudam a mitigar os efeitos das UHI e são fundamentais para a sustentabilidade climática da região. Além das grandes Unidades de Conservação, existe a expectativa de que, no futuro, essas áreas possam ser interligadas de maneira mais eficiente, formando um ecossistema integrado que favoreça a conectividade entre os fragmentos de vegetação e a biodiversidade local.

4.2. Análise da Temperatura do Ar e Caracterização do Relevo Local

A Figura 16 apresenta a distribuição espacial da média da temperatura máxima do ar para os meses de janeiro, utilizando um banco de dados de modelagem climática (Xavier *et al.*, 2022) referente ao período de 2014 a 2024, para a região de Nova Iguaçu. A análise temporal até o ano de 2025 não foi possível devido ao banco de dados de Xavier *et al.* (2022) possuir informações de 1691 a 2024. A variabilidade espacial da temperatura máxima do ar apresentou um padrão com áreas mais quentes no sul e áreas mais amenas ao norte do município de Nova Iguaçu. A região central e o sul do município são caracterizados por temperaturas superiores a 32,5 °C, enquanto a porção norte apresenta temperaturas em torno de 30 a 31 °C. A predominância de temperatura mais alta ao sul pode estar associada a fatores urbanos, como o efeito de UHI, enquanto as áreas mais ao norte possuem características ambientais que favorecem temperaturas ligeiramente mais amenas. Esta distribuição espacial reflete a interação entre os elementos urbanos e a geografia local, sendo importante para entender as variáveis climáticas que impactam as análises de NDVI e LST.

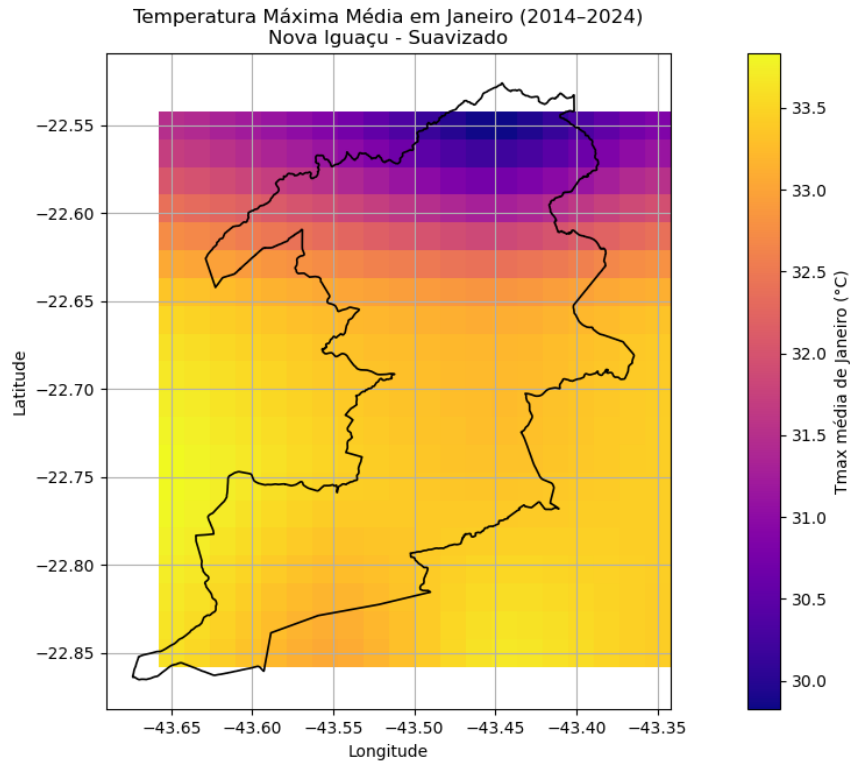


Figura 16. Gráfico da temperatura máxima média em janeiro (2014-2024) no município de Nova Iguaçu.

Outro aspecto importante quanto a influência da variação da temperatura do ar está relacionada as características do relevo em Nova Iguaçu. As regiões central e sul do município estão localizadas em áreas mais planas e urbanizadas, com temperaturas superiores a 32,5 °C. Por outro lado, as áreas mais ao norte, com temperaturas em torno de 30 a 31 °C, apresentam um relevo mais diversificado, com elevações que podem contribuir para o resfriamento do ar, conforme apresentado na Figura 17, que ilustra tanto as áreas mais planas quanto as mais elevadas do município. Deve-se ressaltar que o relevo pode influenciar a dinâmica dos ventos, bem como a retenção e dissipação de calor. Assim, para análises espaciais é importante considerar a geografia local nas análises de dados climáticos e ambientais, junto aos índices de NDVI e a LST.

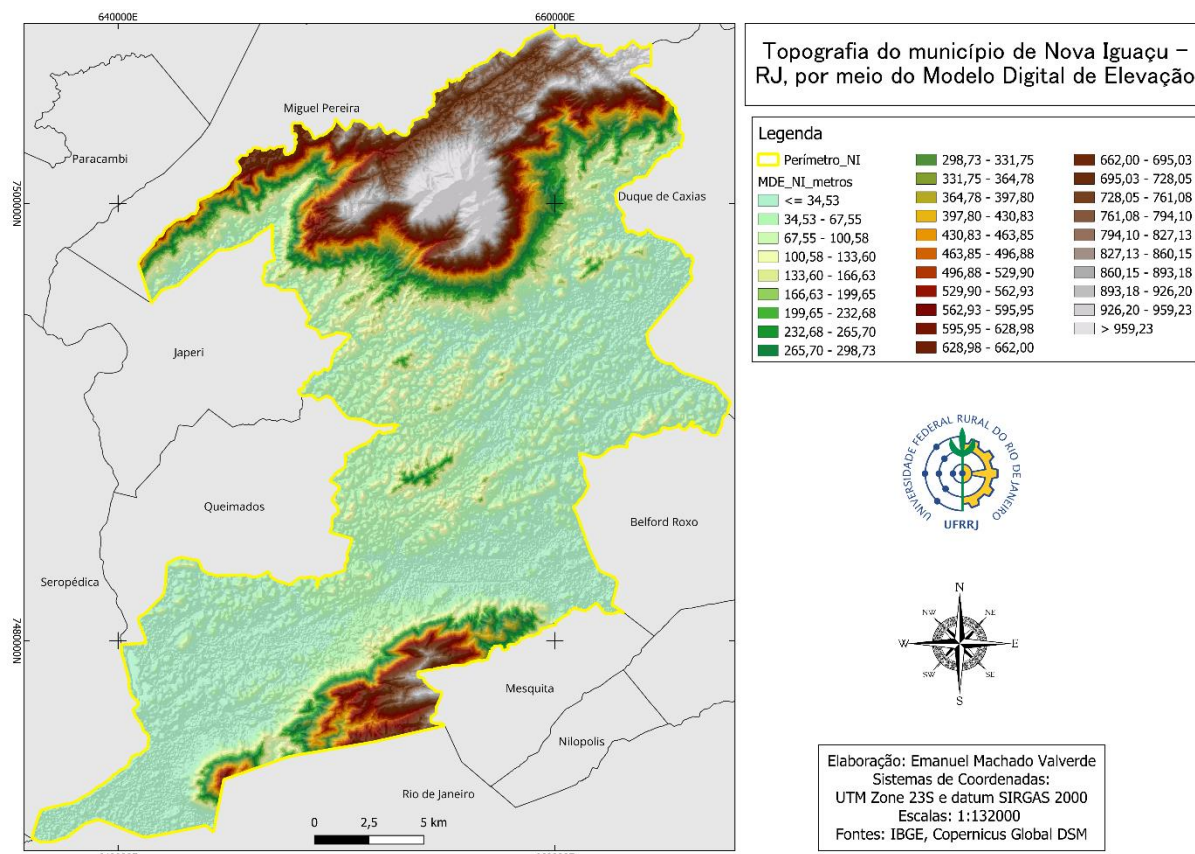


Figura 17. Topografia do município de Nova Iguaçu-RJ, por meio do modelo digital de elevação.

A Figura 17 mostra a distribuição das cotas altimétricas para o município de Nova Iguaçu, por meio de modelo digital de elevação (MDE). Os valores de cota variam de acordo com a altimetria do terreno. As áreas com as menores cotas, inferiores a 34,53 metros, representam áreas de planícies como, por exemplo, a área de estudo. Já as áreas com as maiores cotas, acima de 959,23 metros, representam topo de morros inseridos em UCs, representando as elevações mais pronunciadas do município. Este gradiente reflete a variação altimétrica do relevo de Nova Iguaçu, com áreas elevadas situadas principalmente ao norte, enquanto as zonas mais baixas estão concentradas nas regiões mais ao sul. A análise desses dados é importante para entender como o relevo pode afetar fatores climáticos e urbanos, como a distribuição da temperatura do ar analisada acima.

4.3. Análise dos Padrões de NDVI e LST

Uma análise espacial foi conduzida para examinar a relação entre LST e NDVI no município de Nova Iguaçu. Os resultados revelaram que as áreas com Unidades de Conservação (UCs) e fragmentos de vegetação urbana apresentaram temperaturas significativamente menores em comparação com as áreas urbanizadas, com amplitude de 21,53°C, caracterizadas por um maior grau de impermeabilização e ausência de vegetação (Figura 18). As UCs que possuem vegetação densa, e fragmentos de vegetação urbana, como praças e parques, ajudam a regular a temperatura local, promovendo uma redução da LST devido à evapotranspiração e ao sombreamento proporcionado pela vegetação. Essas áreas com maior índice de NDVI apresentam um ambiente térmico mais ameno, contrastando com as zonas urbanizadas, que frequentemente exibem valores de LST mais altos.

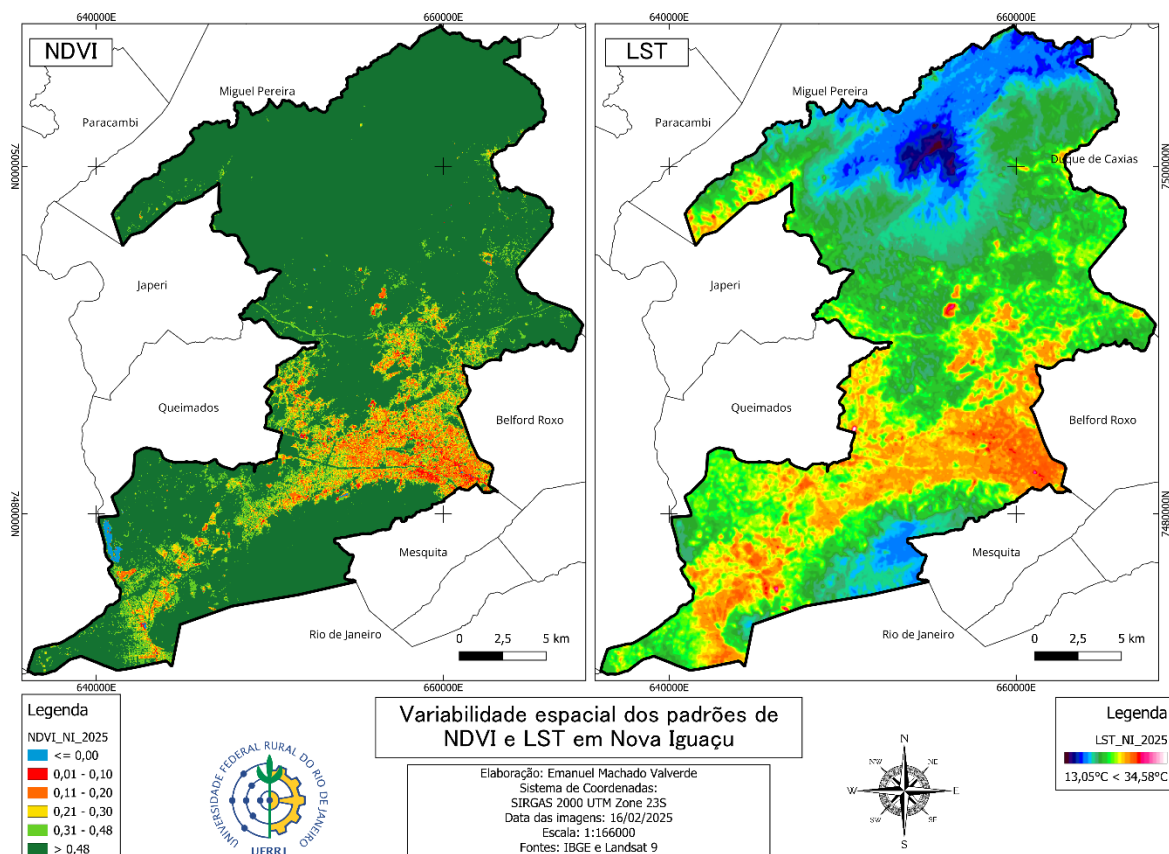


Figura 18. Variabilidade espacial dos padrões de NDVI e LST em Nova Iguaçu. Imagem referente ao dia 16 de fevereiro de 2025.

Por outro lado, as áreas urbanizadas, especialmente aquelas com alta densidade de construções e asfaltamento, apresentam valores elevados de LST, indicando a formação de UHI. Nessas áreas, a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto, resulta em maior absorção de radiação solar e menor dissipação do calor, intensificando os efeitos térmicos (Farid *et al.*, 2022). Por meio, desta análise espacial de NDVI e LST, observou-se que as áreas com menor vegetação apresentam temperaturas mais altas ($\sim 26^{\circ}\text{C}$), intensificando a formação de UHI. Em contraste, as áreas com maior vegetação, tanto dentro das UCs quanto em fragmentos urbanos, demonstraram um comportamento térmico mais equilibrado, com temperaturas relativamente mais baixas ($\sim 17^{\circ}\text{C}$), o que destaca a importância da vegetação na mitigação do calor urbano em Nova Iguaçu.

4.4. Análise Pontual da Mudança do Uso da Terra e Formação de UHI

Uma análise detalhada da área de estudo, em pontos específicos, foi realizada na URG I Centro de Nova Iguaçu (Figura 19). Essa área é caracterizada por alta densidade populacional e sofre intensa pressão urbanística devido à expansão das áreas construídas e à supressão de vegetação. Esses fatores tornam a URG I Centro uma excelente representação dos impactos da urbanização sobre o microclima local. Ao analisar esta unidade, foi possível observar um contraste térmico entre as áreas urbanizadas e as áreas vegetadas, especialmente as UCs, que desempenham um papel crucial na regulação térmica do centro da região.

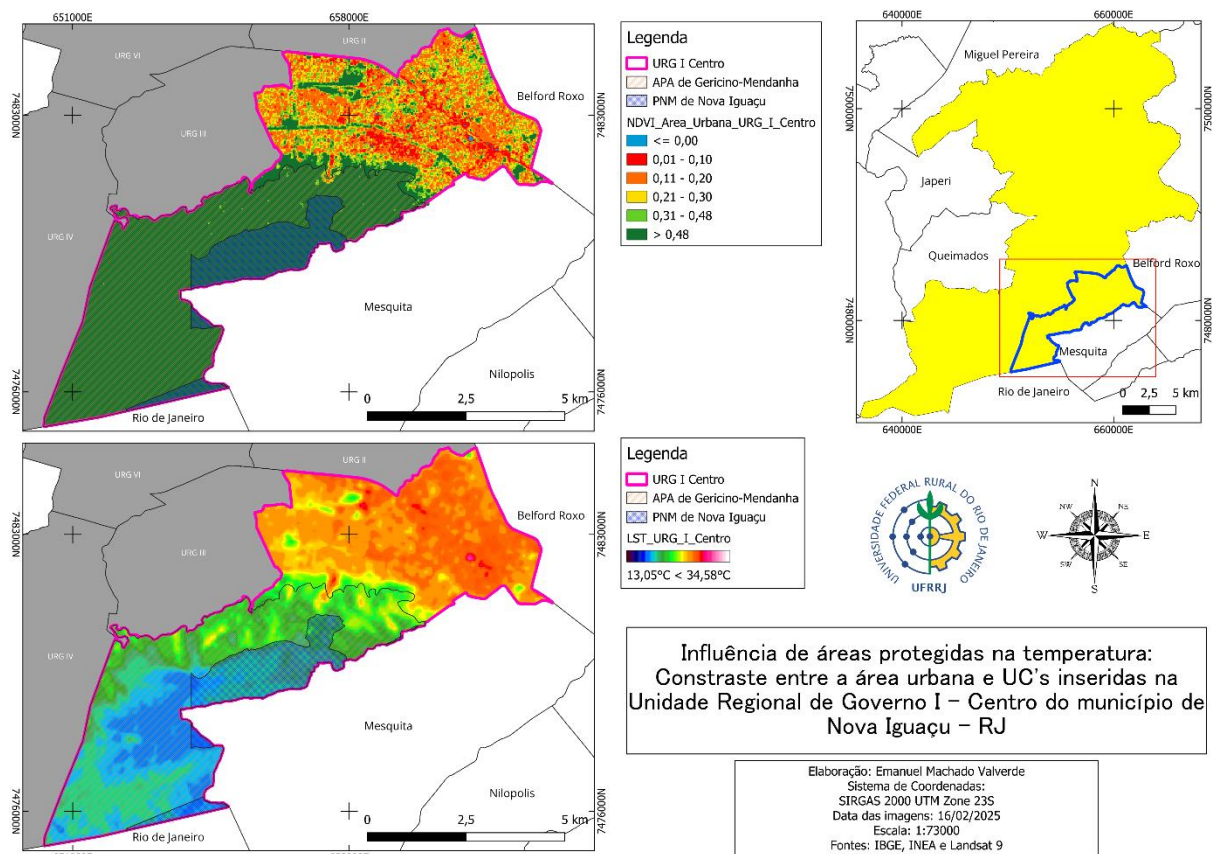


Figura 19. Influência de áreas protegidas na LST da URG I – Centro, município de Nova Iguaçu.

Ademais, ao considerar exclusivamente a área urbanizada, identificou-se um gradiente Oeste-Leste, no qual a extremidade Oeste apresenta maior quantidade de fragmentos de cobertura vegetal, resultando na presença de ilhas de frescor (Figura 19). Em contrapartida, à medida que se avança para a região Leste, observou-se aumento significativo na urbanização, o que resulta em uma maior incidência de UHI, destacando a relação direta entre o nível de urbanização e o agravamento dos impactos térmicos. Além da URG I Centro, a análise se torna mais pontual as ilhas de frescor inseridas na área de estudo (Figura 20).

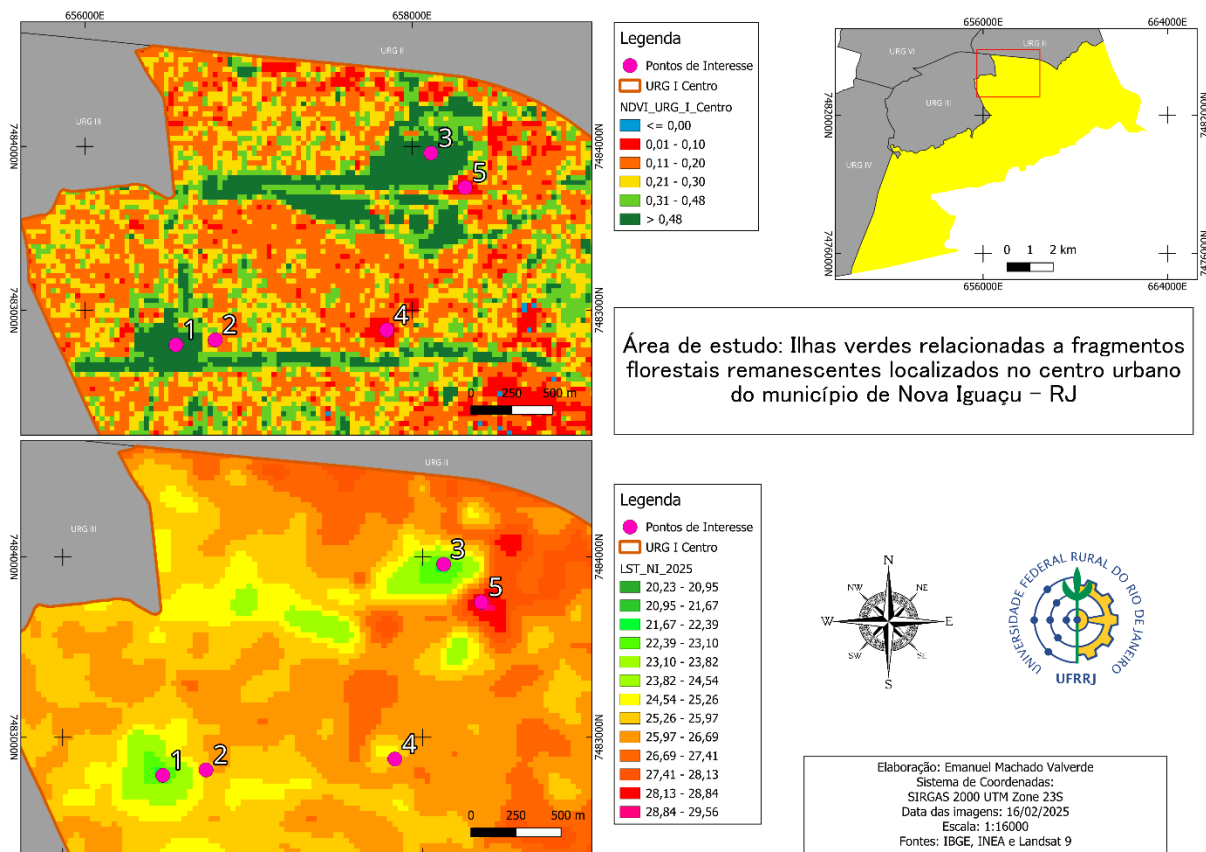


Figura 20. NDVI e LST na área de estudo, inserida na URG I – Centro, município de Nova Iguaçu.

Finalmente, ao analisar a área de estudo, observou-se a interação entre as áreas urbanizadas e os fragmentos de vegetação remanescente, que desempenham papéis cruciais na modulação do microclima local (Figura 20). Essa interação é especialmente visível nos pontos de interesse selecionados para a análise da LST e NDVI. As áreas urbanizadas, caracterizadas pela alta densidade de construções e superfícies impermeáveis, contrastam com os fragmentos de vegetação, como parques e áreas verdes remanescentes, que apresentam temperaturas significativamente mais baixas. Esse contraste térmico reflete os impactos diretos das mudanças no uso da terra, destacando a relevância das áreas vegetadas na regulação térmica urbana. As áreas com maior índice de NDVI, associadas à vegetação densa, mostram uma capacidade de mitigação das UHI, ajudando a reduzir os efeitos térmicos nas regiões adjacentes.

Além disso, a literatura científica também apoia a observação de que a urbanização e a substituição de vegetação desempenham um papel fundamental na modulação térmica das áreas urbanas. Cavalcante *et al.* (2020) apontam que, em áreas urbanizadas de São Paulo, a presença de superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, tem um impacto direto no aumento da LST, enquanto as áreas de vegetação contribuem para a redução das temperaturas, criando microclimas mais amenos. De forma semelhante, Fernandes *et al.* (2024) destacam que a vegetação densa em áreas urbanas, associada a altos índices de NDVI, pode atenuar significativamente os efeitos das UHI. A pesquisa demonstra que zonas verdes não apenas ajudam a melhorar a qualidade térmica das áreas adjacentes, mas também promovem o conforto térmico para a população, o que reforça a importância do planejamento urbano sustentável e da preservação de áreas vegetadas para mitigar os efeitos negativos da urbanização acelerada.

4.5. Análise Temporal

A análise temporal foi essencial para avaliar a evolução da LST e NDVI ao longo dos anos, com especial atenção ao período anterior e posterior à supressão da vegetação até 2025. As figuras 21 e 22 ilustram a variação temporal do NDVI e LST (ponto 1 e 2), correspondentes à área de vegetação densa que foi mantida (ponto 1) e à área onde a vegetação foi removida em 2025 (ponto 2), revelando uma alteração do padrão destes índices após a supressão. Essa redução no NDVI é indicativa da diminuição da cobertura verde, refletindo a perda significativa de áreas vegetadas no local. A diminuição do NDVI está diretamente associada à intensificação da urbanização e à transformação do uso da terra, o que reduz as funções ecossistêmicas, como a regulação térmica e a absorção de poluentes, impactando diretamente o microclima da região.

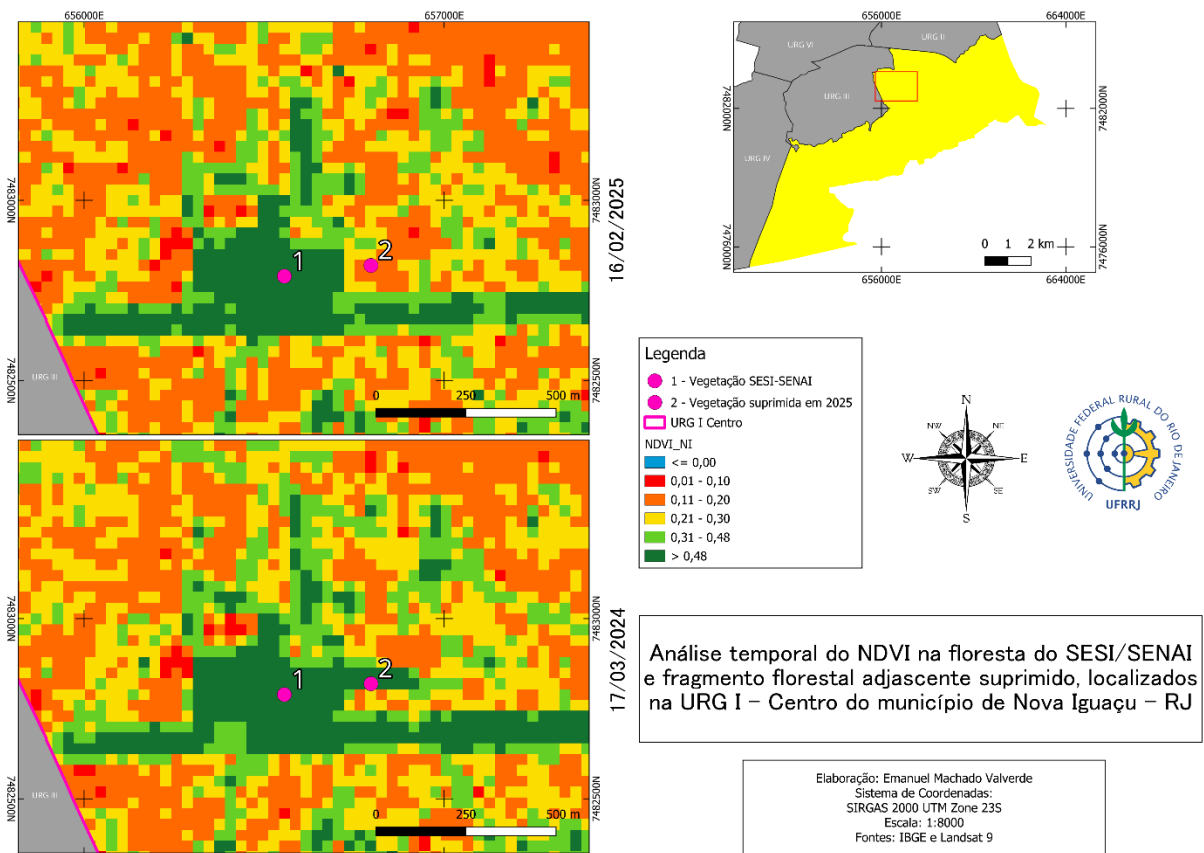


Figura 21. Análise temporal do NDVI no período anterior e posterior à supressão no ponto 2, município de Nova Iguaçu.

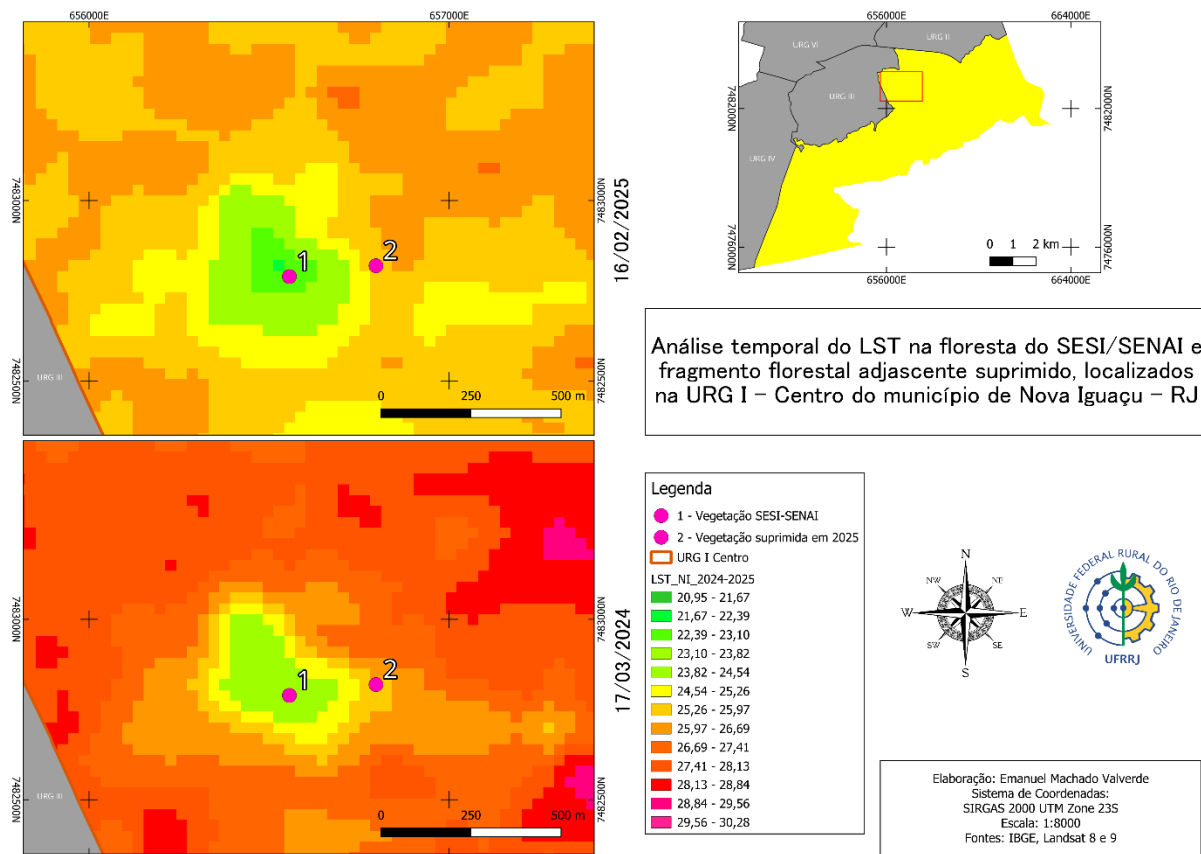


Figura 22. Análise temporal da LST no período anterior e posterior à supressão de área verde no ponto 2, município de Nova Iguaçu.

De forma semelhante à supressão da vegetação em 2025, a construção do hospital em 2020 também resultou em mudanças significativas nas variáveis LST e NDVI (ponto 5) e manutenção dos padrões em áreas de vegetação que foram mantidas (ponto 3). A análise realizada, apresentada nas Figuras 23 e 24, ilustra a variação temporal do NDVI e da LST entre os anos de 2019 e 2020, mostrando uma diminuição do NDVI nas áreas adjacentes à nova construção, refletindo a substituição de vegetação por superfícies impermeáveis e construções. Essa diminuição do NDVI está associada à intensificação da urbanização na região, que foi corroborada pelo aumento na LST observado nas áreas ao redor da construção (Figura 24).

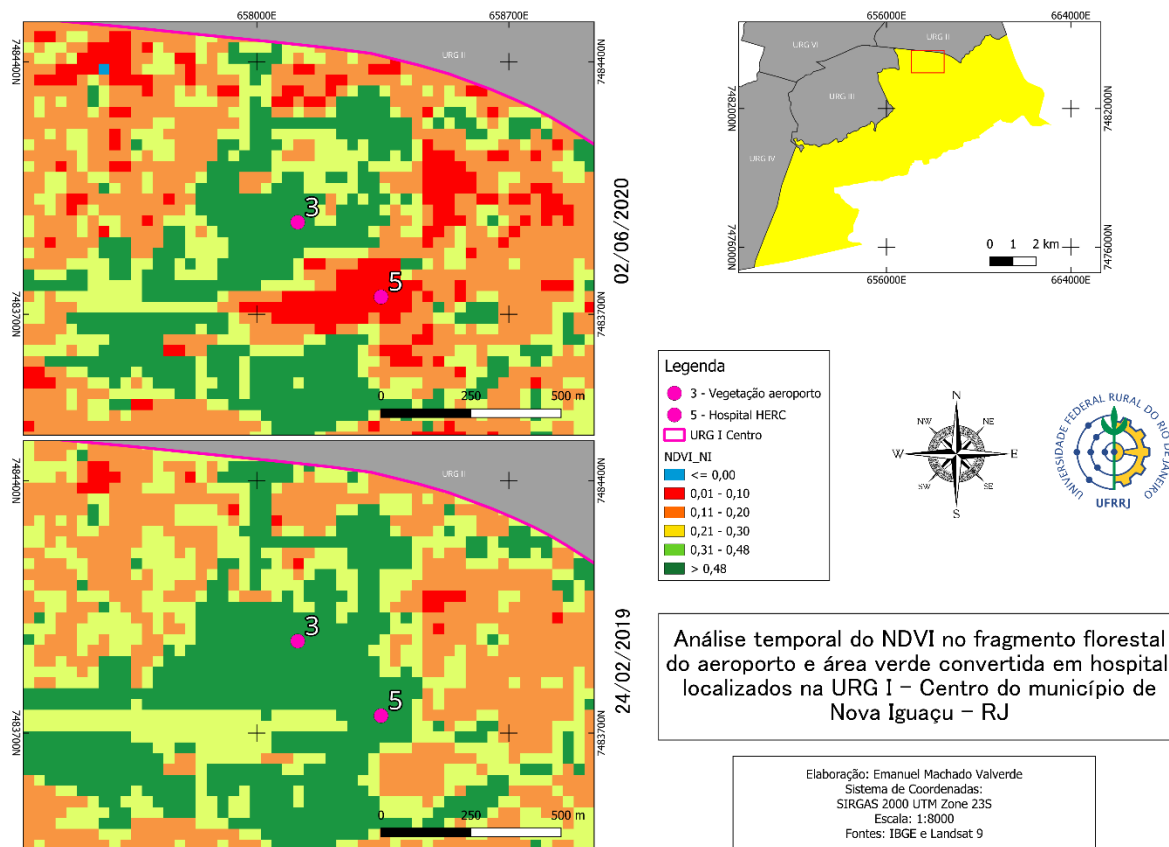


Figura 23. Análise temporal do NDVI no período anterior e posterior à construção do hospital HERC (ponto 5), município de Nova Iguaçu.

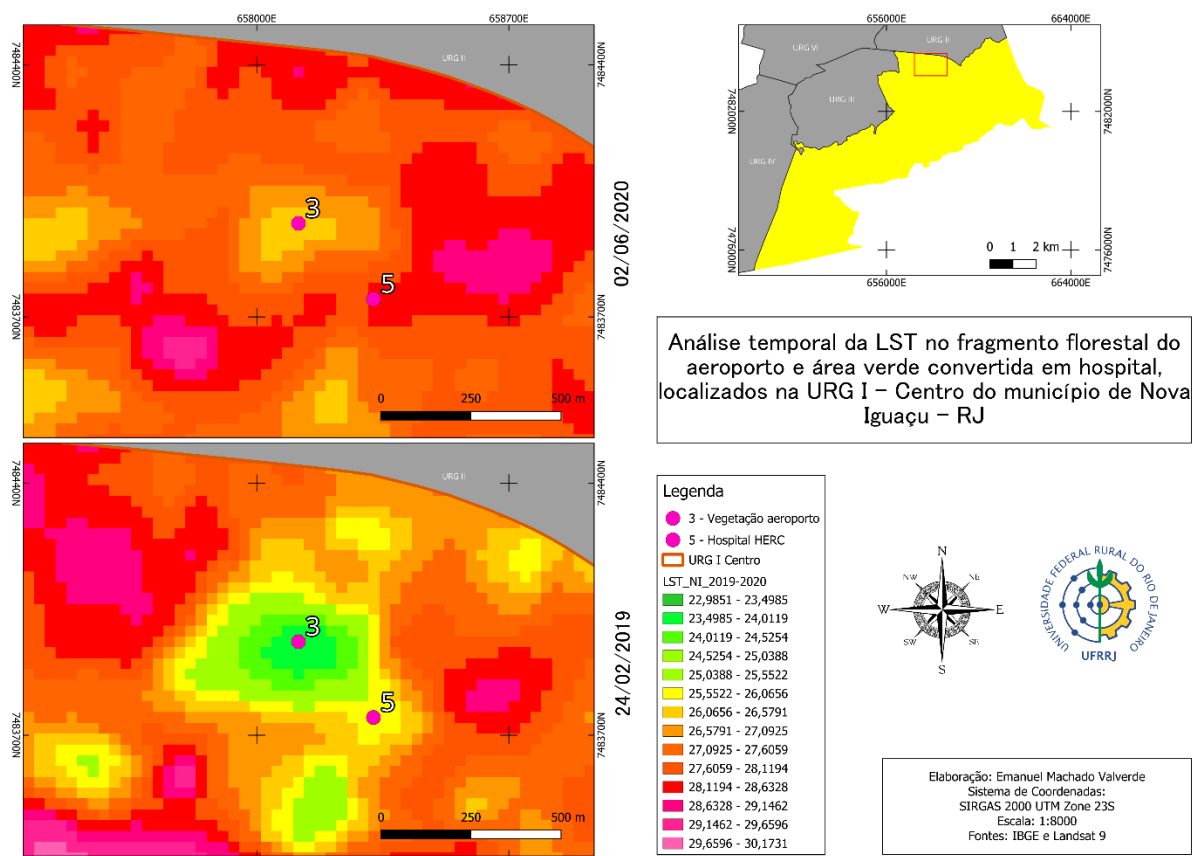


Figura 24. Análise temporal da LST no período anterior e posterior à construção do hospital

HERC (ponto 5), município de Nova Iguaçu.

A partir dos pontos de controle de interesse devidamente identificados e georreferenciados, foram extraídos os valores de NDVI e LST correspondentes aos pixels (Tabelas 2 e 3). Esta metodologia permite uma avaliação quantitativa e espacialmente precisa das variações térmicas na região, proporcionando subsídios valiosos para a compreensão dos padrões de distribuição da temperatura em Nova Iguaçu.

A análise dos dados apresentados na Tabela 2 e no gráfico da Figura 25 revela as variações do NDVI ao longo dos anos, nos diferentes pontos de interesse em Nova Iguaçu. O NDVI é um indicador fundamental para monitorar a saúde da vegetação, sendo essencial para entender as mudanças ambientais na região. A vegetação na área do SESI-SENAI, por exemplo, mostrou uma tendência de estabilidade, com valores de NDVI que permaneceram relativamente altos entre 2014 e 2021, indicando uma vegetação saudável. Isso sugere que a área manteve sua vegetação densa ao longo do tempo, resistindo relativamente bem às pressões externas.

Tabela 2. Valores absolutos NDVI nos pontos de interesse definidos (2014-2025) no município de Nova Iguaçu.

PONTOS DE INTERESSE						
Ponto	1	2	3	4	5	
Geo_Loc	656556,04 O	656796,54 O	658113,71 O	657844,66 O	658324,17 O	
UTM	7482789,27 S	7482819,27 S	7483955,10 S	7482879,88 S	7483749,46 S	
23S						
Título	Vegetação SESI-SENAI	Vegetação suprimida em 2025	Vegetação aeroporto	Supermercado Assai	Hospital construído em 2020	
Índice de Vegetação por Diferença	2014	0,4366	0,5559	0,5741	0,1331	0,3463
	2015	0,6356	0,6819	0,7024	0,1547	0,4665
	2016	0,7725	0,6317	0,7963	0,1455	0,6425
	2017	0,7577	0,6638	0,7536	0,1286	0,5996
	2018	-	-	-	-	-
	2019	0,7133	0,5768	0,7052	0,1543	0,5764
	2020	0,3841	0,4788	0,7486	0,1933	0,5117
	2021	0,7977	0,5609	0,7706	0,1287	0,0017
	2022	0,7968	0,5934	0,7938	0,1593	0,0279
	2023	0,8498	0,6393	0,8215	0,1932	0,0274
	2024	0,7965	0,6854	0,7915	0,0150	0,0308
	2025	0,8074	0,1568	0,7750	0,0122	0,0461

Em contraste, o ponto 2 apresenta uma queda acentuada nos valores de NDVI em 2025, de um valor de 0,6854 para 0,1568. Esse declínio significativo reflete a transformação da vegetação em área de solo exposto a ser urbanizada. Esse padrão de degradação é uma evidência clara do impacto da urbanização sobre os ecossistemas locais, resultando na perda de vegetação e na redução da qualidade ambiental. Já a vegetação ao redor do aeroporto segue uma tendência semelhante à da área SESI-SENAI, com valores relativamente altos até 2020, o que indica uma manutenção da vegetação. Entretanto, a queda no valor do NDVI em 2020 nos pontos 1 e 2, é explicado pela alta nebulosidade, onde podemos observar a manutenção dos valores de NDVI

nas imagens de satélite subsequentes.

A área onde está localizado o Supermercado Assai apresenta valores de NDVI muito próximos a 0, refletindo os efeitos da construção que já estava preestabelecida desde antes do período de análise, o valor mais baixo foi registrado em 2025 (0,0122). Por fim, a área onde o Hospital foi construído em 2020 mostra uma diminuição drástica nos valores de NDVI, com o valor mais baixo registrado de 0,0017 em 2021, o que reflete a perda quase total da vegetação devido à construção.

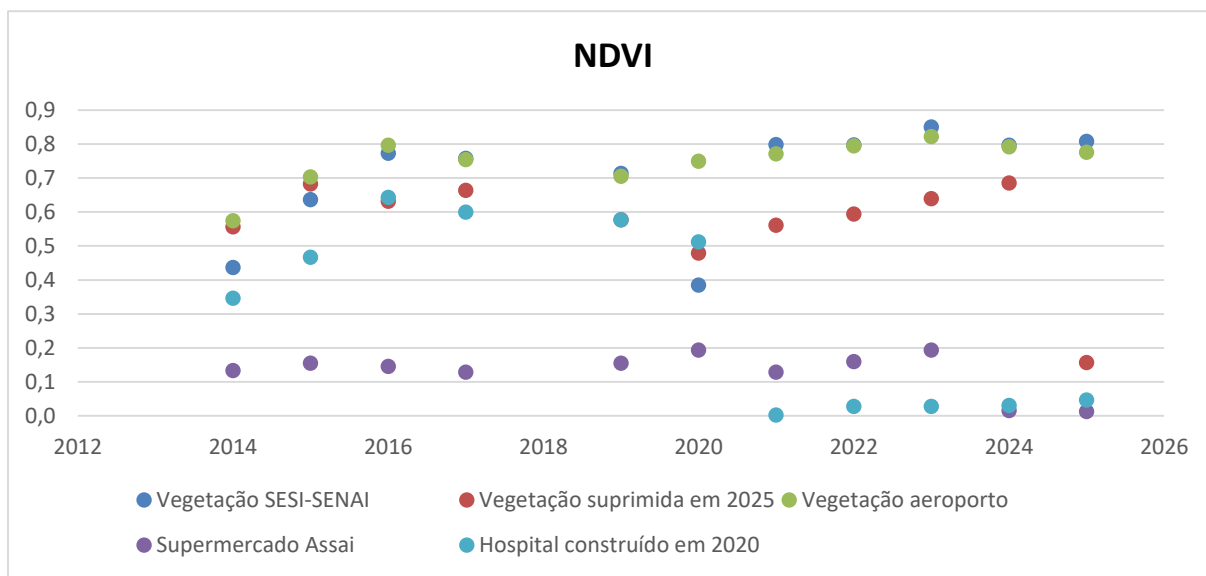


Figura 25. Variação dos valores absolutos de NDVI nos pontos de interesse definidos no município de Nova Iguaçu.

De forma geral, o gráfico e a tabela ilustram claramente o impacto da urbanização sobre a vegetação local, com áreas de construção, como do hospital e supermercado, mostrando uma queda acentuada no NDVI. Por outro lado, áreas mais preservadas, como a vegetação do Sesi-Senai e do aeroporto, demonstram uma capacidade maior de manter a saúde da vegetação ao longo do tempo, resistindo melhor aos efeitos da urbanização. A redução do NDVI na área “Vegetação suprimida em 2025” reflete diretamente os efeitos negativos da transformação da área verde em área urbanizada, o que pode acarretar consequências ambientais.

Os dados obtidos revelaram flutuações significativas na LST, que podem ser atribuídas a uma série de fatores, incluindo mudanças na cobertura vegetal, a expansão urbana e variações climáticas regionais. A análise dessas flutuações oferece uma visão detalhada dos efeitos da urbanização e da supressão de vegetação sobre o microclima local, permitindo identificar áreas mais vulneráveis ao aumento da temperatura. A tabela 3 apresenta os valores absolutos de LST em °C no período compreendido entre os anos de 2014 e 2025. Esses pontos incluem áreas com diferentes tipos de cobertura, como a vegetação do Sesi-Senai, Vegetação suprimida em 2025, fragmentos de vegetação no aeroporto, áreas urbanizadas como o supermercado Assai, e a área do hospital HERC construído em 2020.

Tabela 3. Valores absolutos de LST nos pontos de interesse definidos (2014-2025) no município de Nova Iguaçu.

PONTOS DE INTERESSE						
Ponto	1	2	3	4	5	
Título	Vegetação SESI-SENAI	Vegetação suprimida em 2025	Vegetação aeroporto	Supermercado Assaí	Hospital construído em 2020	
Temperatura de superfície terrestre em	2014	33,65	35,11	32,65	37,68	36,81
	2015	33,43	35,48	33,31	37,47	36,19
	2016	31,84	35,00	31,06	38,12	33,42
	2017	29,91	32,76	29,64	34,97	32,10
	2018	-	-	-	-	-
	2019	24,38	26,28	23,67	30,13	25,56
	2020	22,59	24,83	25,19	26,58	26,67
	2021	31,23	32,42	31,74	35,48	38,04
	2022	18,88	20,77	18,75	24,68	25,16
	2023	25,46	27,24	25,01	31,13	30,64
	2024	20,19	21,38	19,74	20,94	24,34
	2025	22,50	25,66	22,41	25,53	28,93

Esses pontos fornecem um panorama abrangente da mudança do uso da terra frente aos impactos térmicos na cidade. De modo geral, os pontos 1 e 3 apresentaram os menores valores de LST. Este fato está diretamente associado a cobertura vegetal superfície. Apesar da área do SESI-SENAI, manter uma cobertura vegetal significativa, os menores valores de LST foram observados para a vegetação próxima ao aeroporto, apresentado o menor valor de LST (18,75 °C) para toda a série de estudo durante o ano de 2022. Em contraste, o hospital HERC (ponto 5) que foi construído em 2020, e a área do supermercado Assaí (ponto 4), apresentam as temperaturas mais elevadas, refletindo os efeitos causados pela perda da vegetação. A LST nessas áreas é consistentemente alta, com destaque para o hospital, que apresentou uma LST de 38,04 °C em 2021, um aumento notável após a sua construção.

Outro resultado relevante foi a diferença na amplitude de variação da LST entre áreas com vegetação e áreas construídas. Em áreas de vegetação em que não houve supressão, como a vegetação SESI-SENAI, a variação de temperatura ao longo do período analisado ficou em torno de 14,77 °C. Já em áreas construídas, como o caso do supermercado Assaí que já estava preestabelecido, apresentou amplitude maior, variando cerca de 17,18 °C, o que reflete o impacto das construções sobre o microclima local.

A Tabela 4 apresenta a média da LST da URG I Centro para cada ano, obtida a partir das imagens de satélite selecionadas para este estudo. Essas médias são fornecidas como parâmetro de comparação para avaliar as variações absolutas de LST observadas nos pontos de interesse. Assim, de modo geral, observou-se uma tendência de redução nos valores de LST ao longo do período analisado (2014–2025), destacando-se os maiores valores de LST entre os anos de 2014 a 2017 e em 2021. Entretanto, embora essas médias sejam úteis para observar a tendência geral de LST no município, é importante ressaltar que elas podem ser influenciadas por uma série de eventos, como variações climáticas. Portanto, essas médias não devem ser utilizadas como um parâmetro absoluto, mas sim como uma base para a comparação com os dados de LST obtidos nos pontos de interesse da mesma imagem de satélite, oferecendo uma

visão mais detalhada e confiável das mudanças térmicas locais.

Tabela 4. Média da LST da URG I Centro, correspondente a imagem de satélite de cada ano (2014-2025).

Média LST °C	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	32,26	32,29	31,26	29,61	-	25,06	22,81	30,54	18,81	25,73	20,18	22,54

A Tabela 5 mostra a variação dos valores absolutos de LST nos pontos de interesse (Tabela 3) em relação à média da LST da URG I Centro (Tabela 4). As áreas com maior urbanização, como o supermercado Assaí e o hospital, apresentam variações acentuadas em relação à média correspondente, destacando a formação e intensificação das UHI nessas regiões. Em contrapartida, áreas com maior NDVI apresentaram oscilações térmicas menos expressivas. A análise dessas informações revela que as mudanças no uso da terra impactaram significativamente a LST. No ponto 2, observa-se o registro de um valor de LST mais elevado em relação ao ano anterior à supressão +3,12°C, valor consideravelmente maior que o do ano anterior +1,2°C. De forma semelhante, ao analisar a mudança do uso da terra no ponto 5, verifica-se uma elevação significativa na variação da LST, registrando o valor de +7,50 °C no ano correspondente à conclusão da construção do hospital em 2021, enquanto o ano anterior registrou um valor de +3,86°C. Observa-se que, nos anos posteriores à construção do hospital, a variação da LST permaneceu elevada.

Tabela 5. Variação da LST com relação à média correspondente, para os anos de 2014 a 2025.
VARIAÇÃO DA LST COM RELAÇÃO À MÉDIA DA URG I CENTRO

Ponto		1	2	3	4	5
Título		Vegetação Sesi-SENAI	Vegetação suprimida em 2025	Vegetação aeroporto	Supermercado Assai	Hospital construído em 2020
Temperatura de superfície terrestre em	2014	1,39	2,85	0,39	5,42	4,55
	2015	1,14	3,19	1,02	5,18	3,90
	2016	0,58	3,74	-0,20	6,86	2,16
	2017	0,30	3,15	0,03	5,36	2,49
	2018	-	-	-	-	-
	2019	-0,68	1,22	-1,39	5,07	0,50
	2020	-0,22	2,02	2,38	3,77	3,86
	2021	0,69	1,88	1,20	4,94	7,50
	2022	0,07	1,96	-0,06	5,87	6,35
	2023	-0,27	1,51	-0,72	5,40	4,91
	2024	0,01	1,20	-0,44	0,76	4,16
	2025	-0,04	3,12	-0,13	2,99	6,39

A Figura 26 ilustra graficamente essa variação, mostrando de forma clara a discrepância entre os valores absolutos de LST e a média da URG I Centro, destacando as áreas mais críticas e os impactos da urbanização no microclima local. Com isso, foi possível observar uma tendência de aumento das temperaturas em áreas onde houve supressão de vegetação, com

destaque para a área onde ocorreu a supressão de vegetação em 2025. Essa área já apresentava, nos anos anteriores, temperaturas significativamente mais elevadas (média de +2,27 °C) em comparação com áreas com vegetação preservada, como as zonas de vegetação do SESI-SENAI e do aeroporto. Este padrão térmico sugere um processo gradual de degradação ambiental, associado à urbanização crescente nas áreas vizinhas.

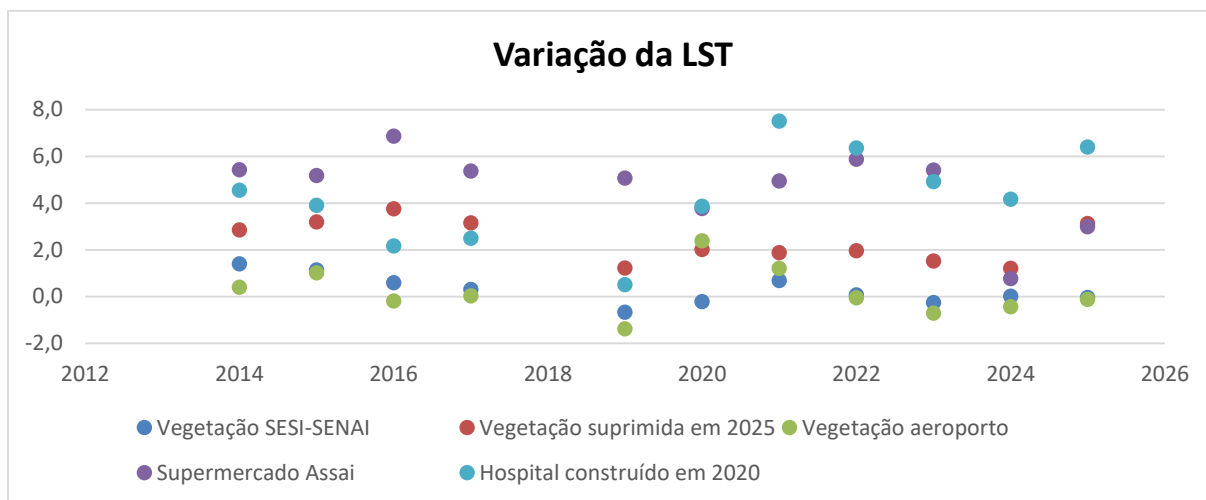


Figura 26. Variação dos valores absolutos de LST com relação à média de LST correspondente.

Além disso, o valor e da LST em 2025 no ponto 2 “vegetação suprimida em 2025”, antes da remoção da vegetação, quando comparado com o valor da LST em 2025, quando a vegetação foi totalmente removida,” mostrou uma elevação de +1,92 °C na variação da LST da área suprimida. De forma semelhante, no período em que houve supressão no ponto 5, a variação da LST sofreu um aumento de +3,64°C. Essas variações na temperatura da superfície foram significativamente maiores do que as observada em áreas vegetadas, como o ponto 1 (-0,04°C) e o ponto 3 (-0,13°C). Os resultados encontrados aqui neste estudo, corroboram os achados de Cavalcante *et al.* (2020), que destacam o impacto da remoção da vegetação no aumento da LST e na intensificação das UHI. Cavalcante *et al.* (2020) sugerem que a perda de cobertura verde não só eleva as temperaturas superficiais, mas também compromete a capacidade de mitigação do calor nas áreas urbanas.

Estudos como o de Farid *et al.* (2022) também corroboram essa relação entre urbanização e aumento da LST, mostrando que em megacidades como Lahore, a substituição de áreas verdes por construções resulta em um aumento contínuo da temperatura de superfície e, consequentemente, no agravamento das UHI. Esses achados são consistentes com os resultados obtidos em Nova Iguaçu, reforçando a ideia de que a supressão da vegetação urbana, especialmente em áreas densamente urbanizadas, intensifica os efeitos térmicos locais e agrava os problemas de conforto térmico e saúde urbana.

A remoção da vegetação e a transformação de áreas verdes em espaços urbanizados, como o Hospital HERC e o supermercado Assaí, resultaram em aumentos substanciais na LST. Esses achados corroboram estudos como o de De Lucena *et al.* (2012), que reafirmam que a urbanização desordenada tem efeitos térmicos significativos. Esse aumento destaca a necessidade urgente de políticas de planejamento urbano sustentável, com o incentivo à preservação de áreas verdes e criação/manutenção de parques.

5. CONCLUSÃO

A análise do impacto da urbanização na cidade de Nova Iguaçu revela que a remoção de áreas verdes, especialmente as ilhas de frescor urbanas, tem um efeito significativo no aumento da temperatura local, exacerbando a formação de ilhas de calor urbanas (UHI). O estudo demonstrou que a supressão de vegetação, associada à impermeabilização do solo, eleva a LST afetando diretamente o conforto térmico e a qualidade de vida dos habitantes. As áreas que mantiveram cobertura vegetal, como as áreas do SESI-SENAI e do aeroporto, apresentaram temperaturas significativamente mais baixas, destacando o papel essencial da vegetação na mitigação térmica urbana.

Além disso, a análise temporal de 2014 a 2025 confirmou a correlação entre a perda de vegetação e o aumento da LST, evidenciando que a urbanização desordenada está diretamente associada ao agravamento das UHI. A pesquisa mostrou um aumento médio de 2,78 °C na LST das áreas afetadas pela supressão de vegetação, o que evidenciou a perda da função de regulação térmica proporcionada pelas áreas verdes. A pesquisa reforça que a preservação das áreas verdes urbanas, especialmente aquelas com funções climáticas cruciais, como as ilhas de frescor, é fundamental para conter os efeitos negativos da urbanização e melhorar a sustentabilidade urbana.

Portanto, é imprescindível que as políticas públicas de planejamento urbano em Nova Iguaçu priorizem a proteção e a recuperação das áreas verdes urbanas, implementando medidas mais rigorosas para a preservação das ilhas de frescor e evitando compensações ineficazes. A criação de corredores ecológicos e o reforço das legislações ambientais, que incentivem a integração da vegetação existente, são passos essenciais para reduzir os impactos térmicos da urbanização, promovendo ambientes urbanos mais resilientes e confortáveis para a população.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribui para a compreensão dos impactos da urbanização no microclima de Nova Iguaçu, destacando o papel crucial da vegetação na modulação das temperaturas urbanas. Os resultados sugerem que a supressão da vegetação em áreas urbanizadas não apenas contribui para o aumento das UHI, mas também intensifica os problemas relacionados ao aquecimento global e ao conforto térmico da população.

É imperativo que políticas públicas voltadas para o planejamento urbano sustentável considerem a importância das áreas verdes já estabelecidas, além de incentivar o plantio de vegetação e a recuperação de áreas verdes urbanas. A implementação de soluções como a proteção das áreas verdes consolidadas, como criação de UCs, parques urbanos e corredores ecológicos pode ser eficaz na redução das UHI e na melhoria da qualidade de vida nas cidades. Em contrapartida, considerando as pressões políticas e econômicas, o cenário descrito tende a ser utópico, porém o simples enrijecimento de instrumentos legislativos pode ser visto como solução alternativa, como por exemplo a obrigatoriedade de manter uma porcentagem adequada de área de vegetação original.

Apesar da contribuição significativa deste estudo, é importante reconhecer suas limitações, como a dependência das imagens de satélite, que podem ser afetadas por fatores como nuvens e resoluções espaciais. Futuros estudos podem expandir a análise para outras áreas do município e região ou realizar uma abordagem mais detalhada sobre o impacto de diferentes tipos de vegetação na redução da LST, bem como ampliar a análise da série temporal. Além

disso, seria interessante explorar a relação entre as UHI e a saúde pública, considerando os impactos das temperaturas elevadas em doenças respiratórias e cardiovasculares.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Cátia Rodrigues de; TEODORO, Ana Cláudia; GONÇALVES, Artur. Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. **Environments**, v. 8, n. 10, p. 105, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/environments8100105>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ASAEDA, T.; CA, V.T.; WAKE, A. Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 413-427, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5). Acesso em: 23 jun. 2025.

AVDAN, Ugur; JOVANOVSKA, Gordana. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. **Journal of sensors**, v. 2016, n. 1, p. 1480307, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 23 jun. 2025.

BURTON, Chad A. *et al.* Enhancing long-term vegetation monitoring in Australia: a new approach for harmonising the Advanced Very High Resolution Radiometer normalised-difference vegetation (NVDI) with MODIS NDVI. **Earth System Science Data**, v. 16, n. 10, p. 4389-4416, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/essd-16-4389-2024>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CAVALCANTE, Lucas Barbosa *et al.* Análise de ilhas de calor e frescor utilizando-se de processamento digital de imagens-estudo de caso Município de São Paulo/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 835-846, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/YHHdDTHsdszFp6zHNLpvgjB/?lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CETIN, Mehmet *et al.* Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye. **Natural Hazards**, v. 120, n. 6, p. 5509-5536, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>. Acesso em: 23 jun. 2025.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor tirs/landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/2996>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CONGEDO, Luca. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 64, p. 3172, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>. Acesso em: 23 jun. 2025.

MENEZES, Wallace de Araújo; MENDES, Laura Delgado. A heterogeneidade e dinâmicas da paisagem na interação terra-atmosfera no município de Nova Iguaçu (RJ) a partir da aplicação

de geotecnologias livres. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.48827>. Acesso em: 23 jun. 2025.

DE FARIA PERES, Leonardo *et al.* The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 64, p. 104-116, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.012>. Acesso em: 23 jun. 2025.

DE LUCENA, Andrews José *et al.* A evolução da ilha de calor na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 8–21–8–21, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2475/2283>. Acesso em: 23 jun. 2025.

DIAS, M.B.G.; NASCIMENTO, D.T.F. Clima urbano e ilhas de calor: Aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, p. 27-41, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/1980082710122014902>. Acesso em: 23 jun. 2025.

DO NASCIMENTO, Augusto Cezar Lima *et al.* Comparison between air temperature and land surface temperature for the city of São Paulo, Brazil. **Atmosphere**, v. 13, n. 3, p. 491, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos13030491>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ERREA, Cristina Laurenti *et al.* Remote sensing analysis of the surface urban heat island effect in Vitoria-Gasteiz, 1985 to 2021. **Remote Sensing**, v. 15, n. 12, p. 3110, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15123110>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FARID, Nasir *et al.* Monitoring the impact of rapid urbanization on land surface temperature and assessment of surface urban heat island using landsat in megacity (Lahore) of Pakistan. **Frontiers in Remote Sensing**, v. 3, p. 897397, 2022. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022FrRS....3.7397F/abstract>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FERNANDES, Rodrigo *et al.* Urban Heat Island Assessment in the Northeastern State Capitals in Brazil Using Sentinel-3 SLSTR Satellite Data. **Sustainability**, v. 16, n. 11, p. 4764, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16114764>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FINIZIO, Michele *et al.* Remote Sensing for Urban Biodiversity: A Review and Meta-Analysis. **Remote Sensing**, v. 16, n. 23, p. 4483, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs16234483>. Acesso em: 23 jun. 2025.

GAMARRA, Nancy Laura Rios; CORRÊA, Marcelo de Paula; TARGINO, Admir Crésio de Lima. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina-PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 537-550, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130671>. Acesso em: 23 jun. 2025

SILVA, Guilherme Francisco da; CORREIA, Adalberto Antônio da Mota; DUARTE, Cristiana Coutinho. A ocupação das colinas da cidade do Recife: racismo ambiental frente às disparidades sociais. In: GONÇALVES, Cláudio Ubiratan (Org.). **Meio ambiente em foco – racismo ambiental: conflitos, territórios e resistências**. 1. ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2023. p. 202-207. Disponível em: <https://saltheebooks.com.br/wp-content/uploads/2023/09/ebook-meio-ambiente-em-foco.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

GOOGLE EARTH. Imagem de satélite de Nova Iguaçu/RJ. Coordenadas: 22°45'00"S, 43°28'00"O. 2019-2025. Múltiplas imagens digitais, color. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

GUHA, S.; GOVIL, H.; DEY, A.; GILL, N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 667–678, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494>. Acesso em: 23 jun. 2025.

HORD, R. M.; BROONER, W. Land-use map accuracy criteria. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 671–677, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Área territorial e estimativa populacional de Nova Iguaçu/RJ. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/nova-iguacu.html>. Acesso em: 23 jun. 2024.

JAHANGIR, M. S.; MOGHIM, S. Assessment of the urban heat island in the city of Tehran using reliability methods. **Atmospheric Research**, v. 225, p. 144-156, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.038>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LEONARDO, Haylla Rebeka de Albuquerque Lins *et al.* Remote sensing applied to biophysical parameters and land cover to identify urban heat islands in Recife (PE), Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 60, p. e2107-e2107, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94782107>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LIGUORI, Iara Nogueira; MONTEIRO, Leonardo Marques. Surface urban heat island and geospatial indicators: comparative decadal assessment through remote sensing. **Ambiente Construído**, v. 24, p. e138042, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100769>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LOMBARDO, M.A. Ilha de Calor nas Metrópoles: O Exemplo de São Paulo. São Paulo: **Hucitec Editora**, 1985.

MONTEIRO, Felipe Ferreira *et al.* Assessment of Urban Heat Islands in Brazil based on MODIS remote sensing data. **Urban Climate**, v. 35, p. 100726, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100726>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NASA APPLIED REMOTE SENSING TRAINING PROGRAM (ARSET). Satellite remote sensing for measuring urban heat islands and constructing heat vulnerability indices. 2022. Disponível em: <https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-satellite-remote-sensing-measuring-urban-heat-islands-and>. Acesso em: 23 jun. 2024.

NOVA IGUAÇU. Decreto nº 11.032, de 2 de agosto de 2017. **Revoga o decreto nº 8.307 de 03 de fevereiro de 2009 que regulamenta dispositivos da lei municipal nº 3.129, de 10 de novembro de 2000.** Nova Iguaçu, 2017. Disponível em: <http://www.novaiguacu.rj.gov.br/semadetur/wp-content/uploads/sites/20/2018/08/decreto-11-302-medida-compensatoria.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NOVA IGUAÇU. Lei nº 3.129, de 10 de novembro de 2000. **Institui o Código de Meio Ambiente da cidade de Nova Iguaçu e dá outras providências.** Nova Iguaçu, 2000.

Disponível em: <http://www.novaiguacu.rj.gov.br/semadetur/wp-content/uploads/sites/20/2018/08/codigo-de-meio-ambiente.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

NOWAK, David J.; DWYER, John F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: **Urban and community forestry in the northeast**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. p. 25-46. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2. Acesso em: 23 jun. 2025.

KAVLAK, M.; CABUK, S. N.; CETIN, M. Development of forest fire risk map using geographical information systems and remote sensing capabilities: Ören case. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 25, p. 33265–33291, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13080-9>. Acesso em: 23 jun. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Climate Change 2023: Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report (AR6). Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>. Acesso em: 23 jun. 2025.

PEEL, Murray C.; FINLAYSON, Brian L.; MCMAHON, Thomas A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SALATA, F.; GOLASI, I.; VOLLARO, R.D.L.; VOLLARO, A.D.L. Outdoor thermal comfort in the Mediterranean area. A transversal study in Rome, Italy. **Building and Environment**, v. 96, p. 46-61, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.023>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SANTAMOURIS, Mattheos. Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar energy**, v. 103, p. 682-703, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>. Acesso em: 23 jun. 2025.

SOUTO, Jefferson Inayan de Oliveira; COHEN, Julia Clarinda Paiva. Spatiotemporal variability of urban heat island: Influence of urbanization on seasonal pattern of land surface temperature in the Metropolitan Region of Belém, Brazil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, p. e20200260, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200260>. Acesso em: 23 jun. 2025.

TAHOONI, Amir; KAKROODI, Ata Abdollahi; KIAVARZ, Majid. Monitoring of land surface albedo and its impact on land surface temperature (LST) using time series of remote sensing data. **Ecological Informatics**, v. 75, p. 102118, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102118>. Acesso em: 23 jun. 2025.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 8 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-1, Collection 1. 2017. Dataset. Disponível em: <https://doi.org/10.5066/F71835S6>. Acesso em: 23 jun. 2025.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 9. 2021. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>. Acesso em: 23 jun. 2025.

VALE, Wesley Kevin Souto do; DIODATO, Marco Antonio; GRIGIO, Alfredo Marcelo; SARAIVA, Ana Luiza Bezerra da Costa; SOUZA NETO, Luiz Tavernard de. Mapeamento da Temperatura Superficial Terrestre (TST), com Base em Imagem de Satélite: Caso da Área Urbana de Mossoró/RN. *In*: PARANHOS FILHO, Antonio Conceição (Org.). **Geotecnologias para Aplicações Ambientais**. Unidesul Editora, 2020. p. 277-287. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/527680>. Acesso em: 23 jun. 2025.

VENKATRAMAN, S. *et al.* Assessment of urban heat island using remote sensing and geospatial application: A case study in Sao Paulo city, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 134, p. 104763, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104763>. Acesso em: 23 jun. 2025.

WENG, Qihao; LU, Dengsheng; SCHUBRING, Jacquelyn. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>. Acesso em: 23 jun. 2025.

WU, J. Urban ecology and sustainability: the state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 209–221, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>. Acesso em: 23 jun. 2025.

XAVIER, Alexandre C. *et al.* New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.7731>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ZARGARI, Motahhareh *et al.* Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 643, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50757-2>. Acesso em: 23 jun. 2025.