



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO *DEL-REI*
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
*CAMPUS SETE LAGOAS***

VICTOR AVELAR DUARTE

**AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE E A COBERTURA VEGETAL DA ÁREA URBANA DE
SETE LAGOAS, MINAS GERAIS**

Sete Lagoas, MG

2023

VICTOR AVELAR DUARTE

**AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE E A COBERTURA VEGETAL DA ÁREA URBANA DE
SETE LAGOAS, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Área de concentração: Sensoriamento Remoto

Orientador: Prof. Gustavo Eduardo Marcatti

Sete Lagoas, MG

2023

VICTOR AVELAR DUARTE

**AVALIAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE E A COBERTURA VEGETAL DA ÁREA URBANA DE
SETE LAGOAS, MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Sete Lagoas, 20 de dezembro de 2023.

Banca avaliadora:

Dr. Gustavo Eduardo Marcatti, Orientador — UFSJ

Dra. Daniela de Carvalho — UFSJ

Dra. Patrícia Aparecida de Souza — UFSJ

Data de aprovação: 20 de dezembro de 2023

“Não sei como posso parecer para o mundo, mas para mim eu pareço apenas como um menino brincando à beira-mar, me divertindo ao encontrar de vez em quando uma pedrinha mais suave ou uma concha mais bonita que o comum, enquanto o imenso oceano da verdade permanecia completamente desconhecido diante de mim.”

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Como forma de gratidão de tudo e todos que estiveram ao meu lado durante 5 anos dessa minha jornada até a formação, venho deixar meus sinceros e mais profundos agradecimentos.

Agradeço à Deus por iluminar meus passos e poder me dar condições de ser uma pessoa forte, saudável e capaz de lutar contra os desafios, e vencê-los. Agradeço aos ensinamentos, enquanto vida, do meu avô Hugo Duarte, que sempre me incentivou a entregar o melhor de mim mesmo nas tarefas mais simples ou mais complexas tarefas.

Agradeço aos meus avós Dalva e Júlio pela oportunidade concedida em estudar. Agradeço a oportunidade em residir durante todo o percurso da minha graduação ao lado de vocês.

Agradeço aos meus pais Hugo Duarte Filho e Gisele Avelar por serem o meu alicerce da vida. Obrigado por serem tanto para mim quando eu podia ser tão pouco. Obrigado por todo carinho, conselhos e zelo.

Agradeço aos meus irmãos Izabella Avelar, Laís Duarte e Rafael Avelar por todo carinho, cuidado e amor que sempre tiveram comigo, serei eternamente grato a vocês.

Sou grato também a todos os meus outros familiares que também estiveram comigo durante essa trajetória.

Agradeço a minha namorada Fernanda Gabriela por ser muito mais que uma namorada. Você foi e é uma pessoa que me impulsiona a ser melhor nos estudos. Agradeço pelos momentos compartilhados durante a graduação, os ensinamentos, agradeço por tudo que fez e faz por mim. Agradeço por ser companhia em noites de estudos sem dormir em busca desse propósito e por acreditar que tudo era possível.

Agradeço ao Victor Alexandre por me fazer entender que a vida também pode ser um livro, e que somos autores de um livro perpétuo em branco, em que cada momento pode ser eternizado em nossas estantes.

Aos amigos e colegas de graduação, deixo minhas mais sinceras gratidões e agradecimentos por estarem comigo durante essa jornada.

Agradeço ao meu orientador pela orientação e dedicação para realização e conclusão dessa etapa.

Por fim, agradeço com muito carinho à banca avaliadora, composta pela Prof. ^a Dra. Daniela de Carvalho Lopes e pela Prof. ^a Dra. Patrícia Aparecida de Souza, que apesar do convite repentino, não hesitaram em compor a banca.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
	2.1 Delimitação da área de estudo.....	11
	2.2 Clima e vegetação	12
	2.3 Obtenção das imagens Landsat 8/9	13
	2.4 Fotointerpretação dos dados	13
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
	3.1 Distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície	14
	3.2 Distribuição espacial e temporal do NDVI	17
	3.3 Correlação entre a temperatura da superfície e NDVI	19
4	CONCLUSÃO.....	21
5	REFERÊNCIAS	22

RESUMO

Os efeitos nocivos das mudanças climáticas são amplificados nas cidades, dado que no processo de urbanização há supressão da vegetação em detrimento de construções, feitas com matérias impermeáveis e de baixo albedo, contribuindo para que as temperaturas da superfície (Ts) sejam superiores em relação a áreas adjacentes vegetadas. A arborização é uma estratégia que pode ser adotada para mitigar os problemas decorrentes interrupção de serviços ecossistêmicos de regulação na área urbana. Nesse sentido, o município de Sete Lagoas, Minas Gerais, apresenta cerca de 70% dos domicílios situados em vias arborizadas. Contudo estudos avaliando a correlação entre a Ts e cobertura vegetal, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), podem potencializar os benefícios associados a presença de vegetação na área urbana. Assim, este estudo teve o objetivo de avaliar a correlação entre temperatura de superfície terrestre e o NDVI da área urbana densa do município de Sete Lagoas. Para isso, foram obtidas imagens espectrais dos sensores acoplados aos satélites Landsat 8 e 9, durante o período entre dezembro de 2021 e novembro de 2022, para posterior processamento no software QGIS. A partir dos dados gerados, foi feita a análise da distribuição espacial e temporal da Ts e do NDVI, bem como a avaliação da correlação entre as variáveis. Os resultados demonstraram que há variações mensais da distribuição das variáveis, sendo que no mês de janeiro foram observados as maiores médias de Ts e NDVI. A análise gráfica das variáveis permite concluir que há uma correlação negativa entre elas, de modo que as Ts são maiores em áreas menos vegetadas. A continuação de trabalhos como este, avaliando-se intervalos mais amplos é de suma importância para nortear estratégias eficazes de arborização urbana do município, ao passo que possibilitará o mapeamento de ilhas de calor, onde o desconforto térmico é mais percebido.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Arborização Urbana. Sensoriamento Remoto. Temperatura da Superfície. NDVI.

ABSTRACT

The harmful effects of climate change are amplified in cities, since in the process of urbanization, vegetation is suppressed to the detriment of buildings, made of impermeable materials with low albedo, contributing to higher surface temperatures (Ts) compared to adjacent vegetated areas. Afforestation is a strategy that can be adopted to mitigate the problems arising from the interruption of regulating ecosystem services in urban areas. In this sense, the municipality of Sete Lagoas, Minas Gerais, has around 70% of households located on tree-lined streets. However, studies evaluating the correlation between TS and vegetation cover, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), could enhance the benefits associated with the presence of vegetation in urban areas. The aim of this study was to evaluate the correlation between land surface temperature and NDVI in the dense urban area of the municipality of Sete Lagoas. To this end, spectral images were obtained from the sensors attached to the Landsat 8 and 9 satellites, during the period between December 2021 and November 2022, for subsequent processing in the QGIS software. The data generated was used to analyze the spatial and temporal distribution of TS and NDVI, as well as assessing the correlation between the variables. The results showed that there are monthly variations in the distribution of the variables, with the highest averages of TS and NDVI being observed in January. The graphical analysis of the variables allows us to conclude that there is a negative correlation between them, so that the TS are higher in less vegetated areas. The continuation of studies like this one, evaluating wider intervals, is of the utmost importance to guide effective urban afforestation strategies in the municipality, as it will make it possible to map heat islands, where thermal discomfort is most perceived.

Key words: Climate Change. Urban afforestation. Remote Sensing. Surface Temperature. NDVI.

1 INTRODUÇÃO

Alterações climáticas podem ser entendidas como variações de padrões climáticos de maneira persistente, abrangendo as projeções de cenários caracterizados pela elevação da temperatura média global em 1,5 °C (IPCC, 2021). Essas mudanças são intensificadas por ações antrópicas, principalmente relacionadas às mudanças no uso da terra, as quais afetam a dinâmica de distribuição de energia na superfície (MANOEL, 2010). Nesse sentido, as cidades são as principais afetadas pelos efeitos adversos das mudanças climáticas, uma vez que no processo de urbanização ocorre a supressão da vegetação para construção de edificações, composta por materiais impermeáveis e com alta retenção de calor (OKE, 2002). Materiais como asfaltos, telhados e concretos comumente exibem menor capacidade de refletir a radiação incidente, característica expressa por meio do fator albedo, além da baixa capacidade de reter umidade, o que retarda a perda de água pela superfície da Terra e contribui para o aumento da temperatura superficial (CALLEGARI et al., 2011; KRÜGER; GONZALEZ, 2016; LU et al., 2009; SANTOS et al., 2017).

As maiores médias de temperatura superficial de áreas de alta densidade construtiva em relação áreas adjacentes tipifica o fenômeno da ilha de calor, que também está atrelado à redução da qualidade do ar, dada as interferências no padrão de circulação de ar atmosférico próximo à superfície (SILVA et al., 2014). Para além das características inerentes aos materiais que compõem a infraestrutura urbana e o incremento à geração de calor por atividades antropogênicas, a ocupação desordenada de uma área intensifica a manifestação dos fenômenos da ilha de calor e o desconforto térmico (OKE, 2002). A formação das cidades brasileiras reflete esse cenário, dado que a transição da população para áreas urbanizadas ocorreu de maneira muito acentuada e sem planejamento, levando cerca de seis décadas para atingir um percentual de população urbana próximo dos valores atuais (MARICATO, 2000).

Nesse sentido, a arborização urbana, caracterizada pela inclusão de espécies arbóreas em corredores ecológicos, florestas urbanas, parques, praças e/ou vias, pode ser adotada como medida para mitigar os efeitos nocivos da urbanização (EMBRAPA, 2002; RAIMUNDO, 2006). Essa estratégia é possível dado que a copa das árvores, sobretudo com folhagem verde, além de apresentar maior albedo, contribuem para formação de áreas sombreadas, onde a incidência de radiação solar direta é menor, reduzindo a retenção e consequente emissão de calor pela superfície (KRÜGER; GONZALEZ, 2016). Assim, a presença de vegetação em áreas urbanas é capaz de proporcionar um microclima de maior conforto térmico (SANTOS et al.,

2017).

Esse benefício constitui os serviços ecossistêmicos (SE) oriundos da interação dos elementos da paisagem, notadamente os serviços de regulação associados à manutenção da qualidade do ar, controle da erosão, sequestro de carbono, prevenção de desastres e amenização do clima (MEA, 2005; MMA, 2021). Além desses, serviços como provisão de recursos, de suporte a outros serviços ecossistêmicos e benefícios culturais são cruciais para o bem-estar humano (MMA, 2021). Assim, a arborização urbana figura como um serviço ambiental ao passo que possibilita a recuperação de serviços ecossistêmicos interrompidos pela remoção indiscriminada da vegetação em áreas urbanas (SEAMANS, 2013).

Os conhecimentos acerca dos SE associados à paisagem urbana permitem inferir que a relação entre a temperatura da superfície e a presença de espécies arbóreas não é espúria, havendo trabalhos na literatura que respaldam essa afirmação (SANTOS et al., 2017; GOMES et al., 2017; TRINDADE; SALDANHA; PEREIRA FILHO, 2017; ALMEIDA et al., 2020). Nesse sentido, a análise conjunta dessas informações possibilitaria traçar estratégias para planejamento e melhoria da arborização nas cidades brasileiras. Tais informações podem ser obtidas por meio de imagens coletadas de sensores remotos acoplados a satélites orbitais capazes de captar a radiação refletida, absorvida e emitida por corpos distantes (FERREIRA et al., 2001; NOVO, 2010).

O programa Landsat, gerenciado pela Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA) e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), possibilita o acesso a imagens da superfície terrestre. Atualmente, os satélites em órbita, Landsat 8 e 9, dispõem de sensores Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), que captam comprimentos no espectro visível, infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (SWIR) e infravermelho termal (NASA, 2019). As imagens geradas a partir da combinação de diferentes bandas espectrais, apresentam números digitais atribuídos a cada pixel que podem ser processados, em softwares como QGIS, possibilitando a obtenção de informações úteis para o monitoramento do solo, de recursos hídricos, da vegetação e de mudanças climáticas (INPE, 2020).

A temperatura da superfície pode ser estimada a partir do processamento da banda espectral termal infravermelha, a qual está associada à radiação térmica emitidas pelos corpos, sendo útil para detecção de queimadas, geadas e mapeamento de ilhas de calor (FERREIRA et al., 2004; LAZARIM; ZULLO JUNIOR, 2009; PEREIRA et al., 2012). Dados quantitativos e

qualitativos da vegetação de um determinado local podem ser obtidos pelo cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual expressa a diferença entre a radiação absorvida no espectro vermelho, para o qual a clorofila tem baixa reflectância, e a radiação emitida no espectro infravermelho próximo (GOMES et al., 2017; OLIVEIRA; FREITAS, 2015; ROUSE et al., 1973). Os valores de NDVI variam de -1 a +1, sendo o limite inferior associado a superfícies sem clorofila e o limite superior associado a superfícies densamente vegetadas (ROUSE et al., 1973). Usando a reflectância do infravermelho médio, em detrimento do vermelho, é possível fazer a distinção entre superfície estéreis por meio do cálculo do Índice Construtivo pela Diferença Normalizada (NDBI), que atribui valores menores que zero para corpos d'água e valores maiores que zero para áreas construídas ou com solo exposto (ZHA; GAO, NI, 2003). Dessa maneira esses índices, isolados ou combinados, podem ser usados para quantificar a cobertura vegetal presente nas áreas urbanizadas.

De acordo com uma estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o município de Sete Lagoas, Minas Gerais, apresenta 71,6% dos domicílios situados em vias públicas arborizadas. Apesar disso, o direcionamento de estratégias pautadas em informações que possibilitem a delimitação de áreas afetadas pela ocorrência de ilha de calor e na sistematização da arborização patrimoniada podem potencializar os benefícios associados a essa prática (SILVA; LIBÓRIO; LAUDARES, 2016). Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a existência da correlação entre a temperatura da superfície e a presença de cobertura vegetal na malha urbanizada do município de Sete Lagoas, Minas Gerais, no período de dezembro de 2021 a novembro de 2022, testando-se a hipótese de que as temperaturas superficiais são menores em regiões mais arborizadas da cidade.

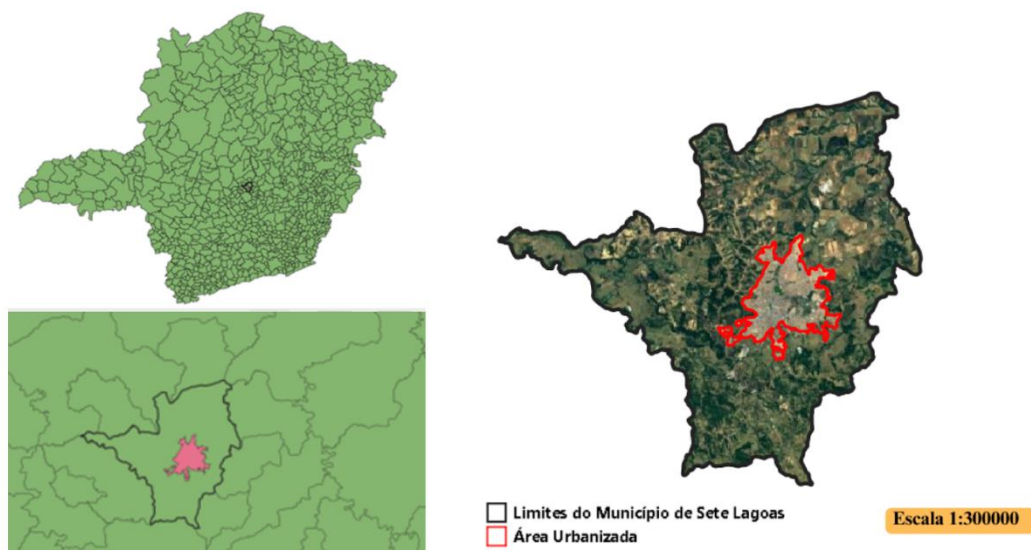
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo corresponde ao município de Sete Lagoas, Minas Gerais, situado na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, entre as latitudes 19° 25' e 19° 30' sul e longitudes 44° 13' e 44° 16' oeste. De acordo com o IBGE (2019; 2022a; 2022b), o município apresenta uma extensão territorial de 536,928 km², com área urbanizada de 66,15 km², e população de 227.397 habitantes.

As feições relativas aos limites da cidade foram obtidas no site do IBGE (2021). A partir de uma tabela de atributos, foi delimitada a porção da cidade com maior densidade populacional, a qual foi usada para análise da correlação entre temperatura de superfície e cobertura vegetal (Figura 1).

Figura 1 – Localização e delimitação da área urbanizada densa do município de Sete Lagoas, Minas Gerais.



2.2 Clima e vegetação

De acordo com a classificação de Köppen, o município fica situado numa região com clima do tipo Cwa, sendo caracterizado pela ocorrência de verão úmido e inverno seco, atingindo valores de temperatura média e de precipitação anuais equivalentes a 21,1 °C e 1384 mm, respectivamente. A ocorrência de chuvas fica concentrada entre os meses de outubro a março. Nota-se também variações nas temperaturas médias mensais, com a amplitude térmica próxima de 6 °C, de modo que se observa temperaturas mais amenas nos meses de junho e julho e médias próximas de 30 °C nos meses em que ocorre concentração de chuvas (GOMIDE et al., 2021).

No que tange a vegetação, a maior parte do território de Sete Lagoas fica situada sobre domínio do bioma Cerrado, predominando a fitofisionomia Cerrado *Sensu Stricto* em relação

ao Campo Cerrado, Campo Limpo e Campo de Várzeas. Coexistem com essas feições, áreas menores com formações florestais como Cerradão e Mata Mesófila Subcaducifólia (BRANDÃO et al., 1993).

2.3 Obtenção das imagens Landsat 8

As imagens Landsat 8 foram obtidas no site do United States Geological Survey -USGS Earth Explore, tendo sido selecionadas as imagens com menor obstrução de nuvens entre os meses de dezembro de 2021 e novembro de 2022 (USGS, 2022).

As bandas espectrais 4, 5 e 10, correspondentes às faixas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho termal, respectivamente, foram selecionadas para obtenção de valores de NDVI e temperatura de superfície da área estudada, por meio de seu processamento no *software* QGIS 3.28.4.

2.4 Fotointerpretação dos dados

A temperatura de superfície foi obtida a partir do Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), integrado ao *software* QGIS. O plug-in possibilita a classificação supervisionada das imagens obtidas via sensores remotos por meio da aplicação conjunta de ferramentas de processamento raster (CONGEDO, 2016). Dessa forma, a partir da conversão da radiação termal infravermelha foi possível obter a temperatura de brilho do sensor, que é uma estimativa da temperatura da superfície (ROSA, 2007). Como os valores de temperatura são retornados na escala Kelvin, fez-se necessário a conversão dos valores para escala Celsius, a fim de facilitar a interpretação dos resultados.

O NDVI foi calculado por meio da fórmula proposta por Rouse et al., (1973) a partir de dados sobre a reflectância no espectro vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) (Eq. (1)).

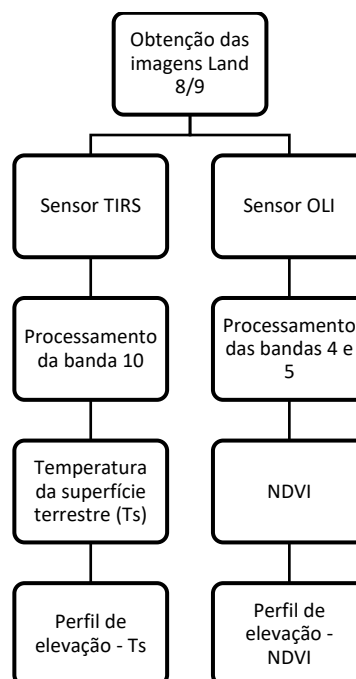
$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Após a obtenção desses parâmetros, as imagens foram recortadas a partir do *shapefile* da área urbanizada densa de Sete Lagoas e classificadas conforme os gradientes “RdBu” e “NDVI”. Em posse dos dados numéricos, foram gerados gráficos, por meio do *software* Excel,

com as temperaturas de superfície e NDVI observados para cada mês. Para o mês com maior média de temperatura, foi gerado um perfil topográfico para as variáveis estudadas por meio do plug-in Profile Tool, possibilitando a visualização da correlação entre elas.

Todas as operações de processamento foram realizadas utilizando-se o software QGIS 3.28.4, sendo descritas de modo simplificado no fluxograma abaixo (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma das etapas desenvolvidas.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

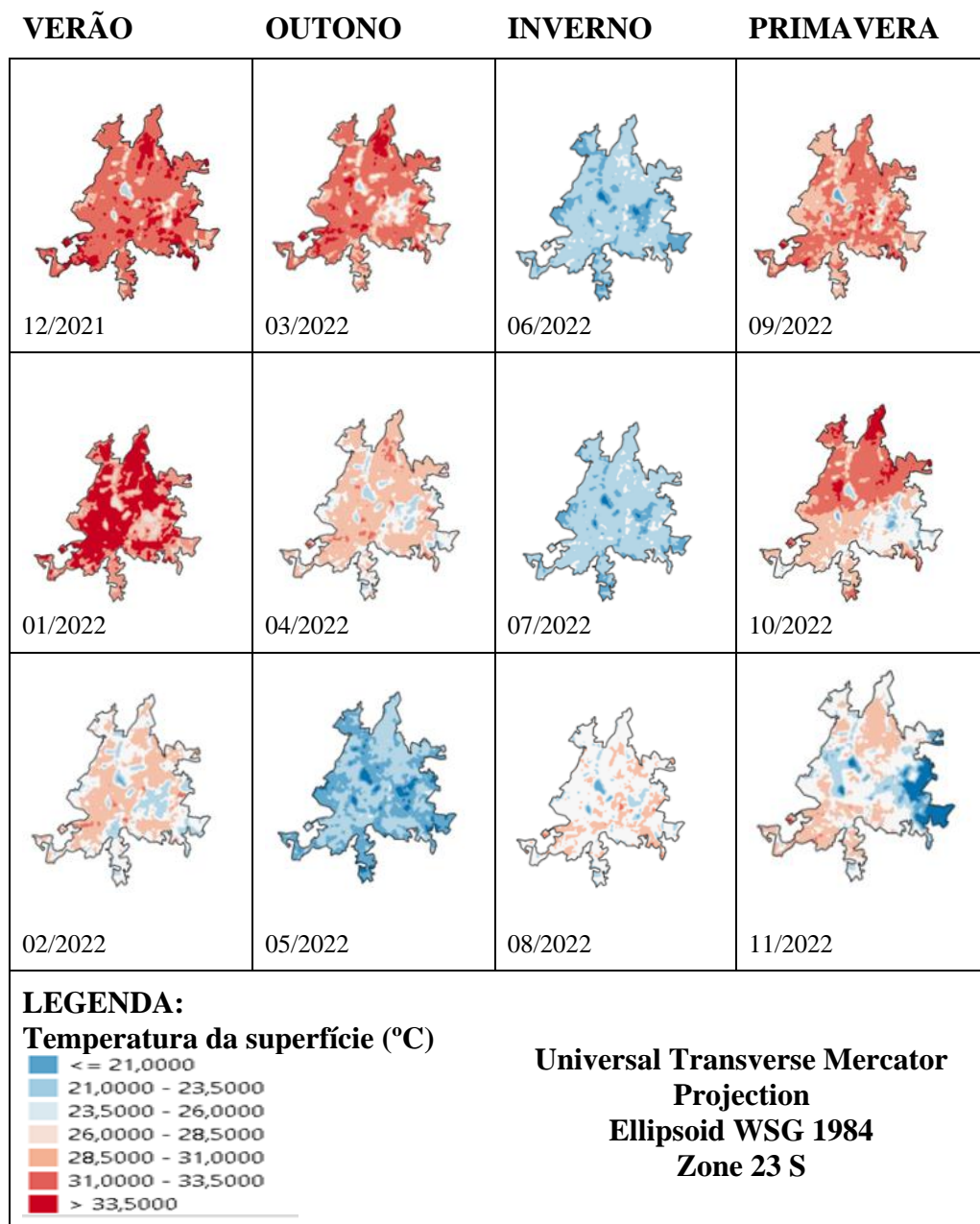
Os resultados das análises das imagens da temperatura de superfície e de NDVI foram dispostos em função das estações do ano, conforme o mês de captura pelo sensor.

3.1 Distribuição espacial e temporal da temperatura da superfície

A Figura 3 evidencia a distribuição espacial da temperatura da superfície (Ts) ao longo do período entre dezembro de 2021 e novembro de 2022. Por meio da classificação adotada, percebe-se que os maiores valores de Ts registrados ocorreram nos meses que correspondem

ao verão, estação em que ocorre maior distribuição espacial de temperaturas superiores a 33,5 °C. Por outro lado, a concentração de valores de Ts mais amenos foi observada de maio a julho, abrangendo parte das estações de outono e inverno, com predomínio de valores inferiores a 21,0 °C e entre 21,0 e 23,5 °C.

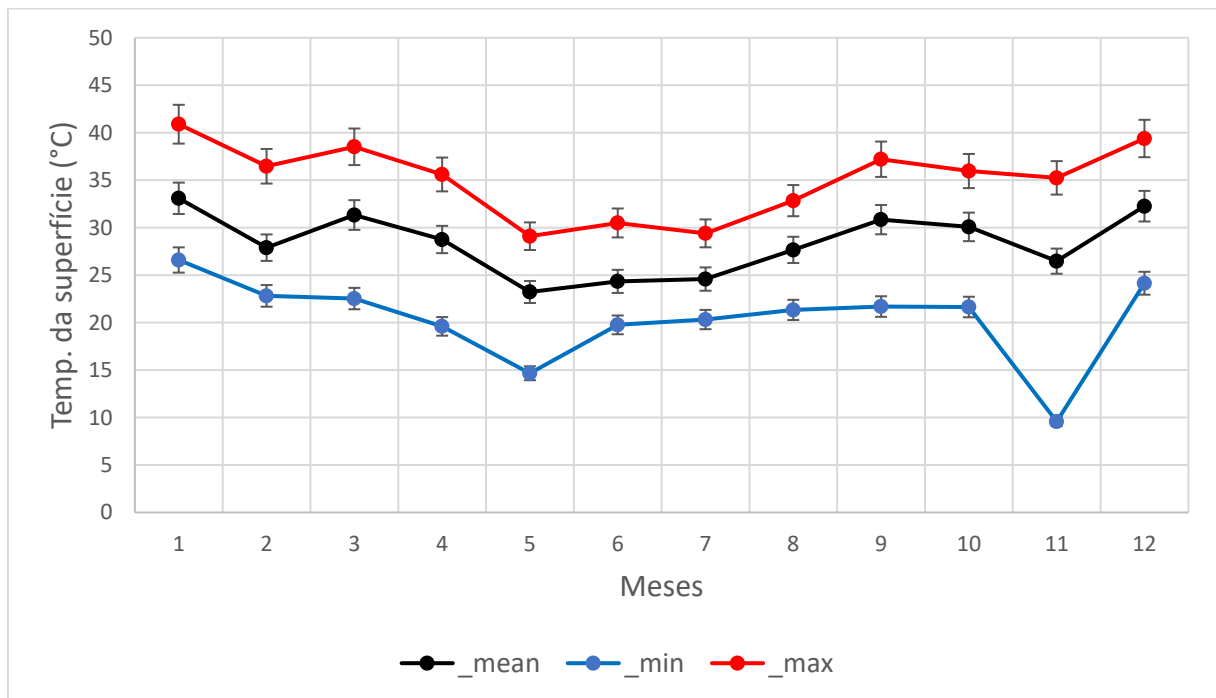
Figura 3 – Distribuição espacial da temperatura da superfície da área urbanizada densa de Sete Lagoas, MG, durante dezembro de 2021 a novembro de 2022.



Foram obtidos parâmetros estatísticos descritivos para a Ts que suportam as interpretações visuais das imagens geradas (Figura 4). Assim, constatou-se que as maiores

médias de Ts ocorrem nos meses de janeiro (33,08 °C) e dezembro (32,26 °C), e as menores médias ocorreram nos meses de junho (23,22 °C) e julho (24,34 °C). Valores mínimos e máximos foram registrados para os meses de novembro (9,57 °C) e janeiro (40,90 °C), respectivamente.

Figura 4 – Temperatura de superfície máxima, média e mínima mensais registradas em Sete Lagoas, MG.



Padrões similares de variações da distribuição da Ts entre os meses foram observados por Santos et al., (2017) em um estudo objetivando avaliar a distribuição espacial e temporal das ilhas de calor de Vila Velha, Espírito Santo, entre 2008 e 2011. Nesse estudo, valores máximos de Ts foram registrados durante o verão e mínimos durante o outono, embora temperaturas extremas superiores a 34,0 °C tenha coberto em 45% e 63% da área total do município de Vila Velha durante o inverno de 2010 e primavera de 2011, respectivamente (SANTOS et al., 2017).

Trindade; Saldanha; Pereira Filho, 2017 também observaram diferenças significativas na distribuição das Ts em Santa Maria, Rio Grande do Sul, de 1994 a 2014. Durante o verão os valores de Ts foram mais elevados variando de 23,0 a 38,0 °C, em contraposição ao inverno, em que as temperaturas variaram de 11,0 a 23,0 °C (TRINDADE; SALDANHA; PEREIRA FILHO, 2017).

Visualmente, é possível observar que para o período estudado, fevereiro e novembro, que são meses caracterizados por maiores médias térmicas, exibiram distribuição de temperaturas mais amenas, se comparado as imagens dos meses imediatamente anterior e posterior a eles. Acredita-se, que a ocorrência de chuvas próxima das datas de captura das imagens possa ter contribuído para redução da T_s , tal como observado por Trindade; Saldanha; Pereira Filho (2017) em novembro de 2013.

3.2 Distribuição espacial e temporal do NDVI

Na Figura 5, foram representadas a distribuição espacial do NDVI durante período estudado. Dado que valores de NDVI entre 0 e +1 correspondem a área vegetadas, sendo as áreas mais densamente vegetadas representada por tons de verde, é possível verificar que há variação na cobertura vegetal da área urbana densa de Sete Lagoas. A vegetação é mais expressiva durante os meses de janeiro a maio, possivelmente em razão do regime pluviométrico da região. Durante os meses mais secos do ano, que para os padrões climático da região correspondem a estação de inverno, predomina valores de NDVI próximos ou menores que zero, associados a superfícies com menor reflectância para luz incidente (CALLEGARE et al., 2011).

A maior contribuição da vegetação para distribuição de valores de NDVI próximos de +1 é retomada a partir do mês de outubro das margens para o centro da área estuda, em razão do início das chuvas. Tais observações são suportadas pelos valores médios de NDVI obtidos para intervalo avaliado, os quais são expressos graficamente na Figura 6.

Verificou-se que os maiores valores médios de NDVI ocorreram nos meses de janeiro (0,210) e fevereiro (0,205), meses em que a vegetação reestabelece seu vigor de copa, com folhas fotossinteticamente ativas verdes, em razão do regime hídrico favorável, as quais tendem a exibir maior albedo (KRÜGER; GONZALEZ, 2016).

Figura 5 - Distribuição espacial do NDVI na área urbanizada densa de Sete Lagoas, MG, entre dezembro de 2021 e novembro de 2022

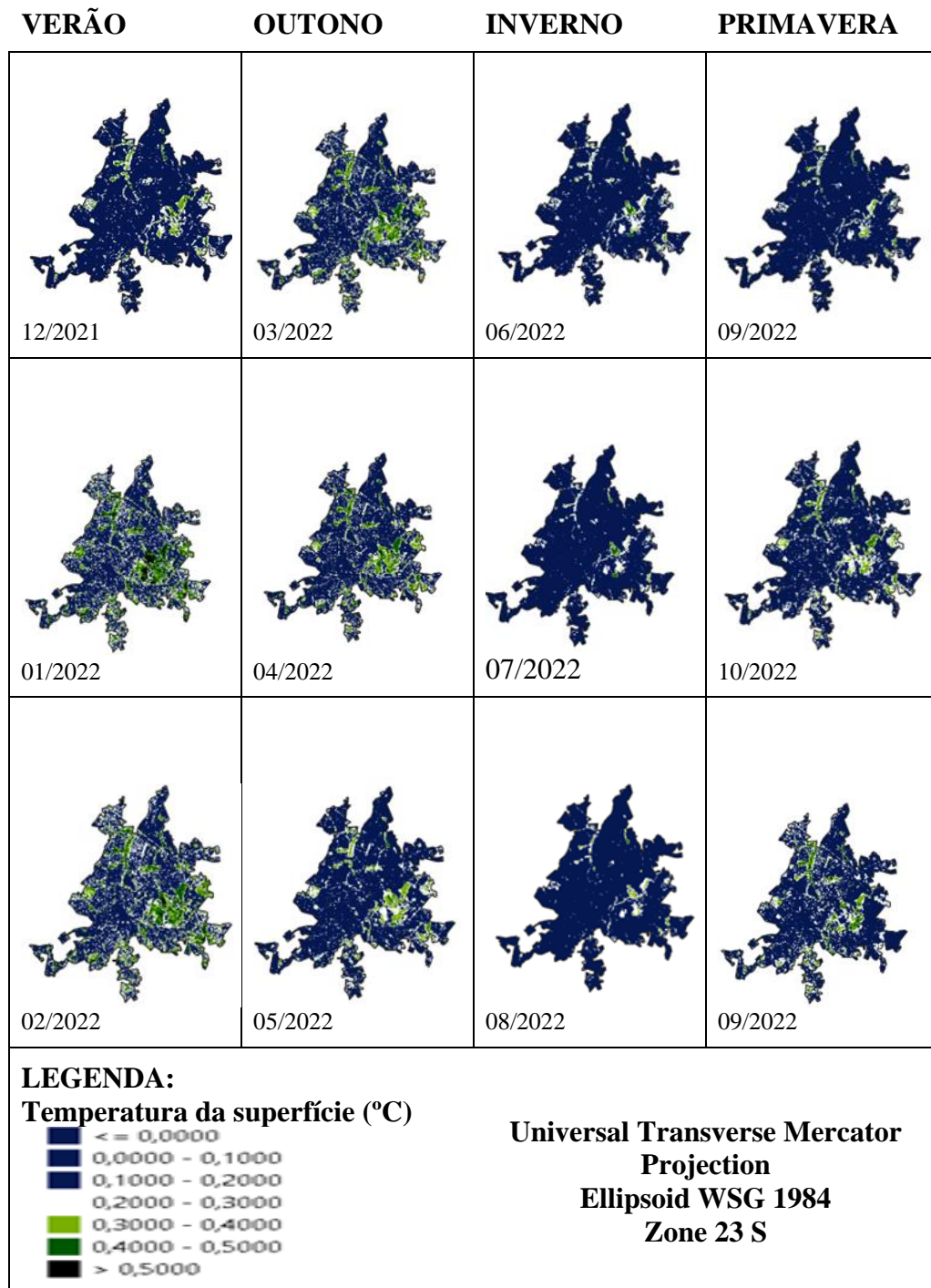
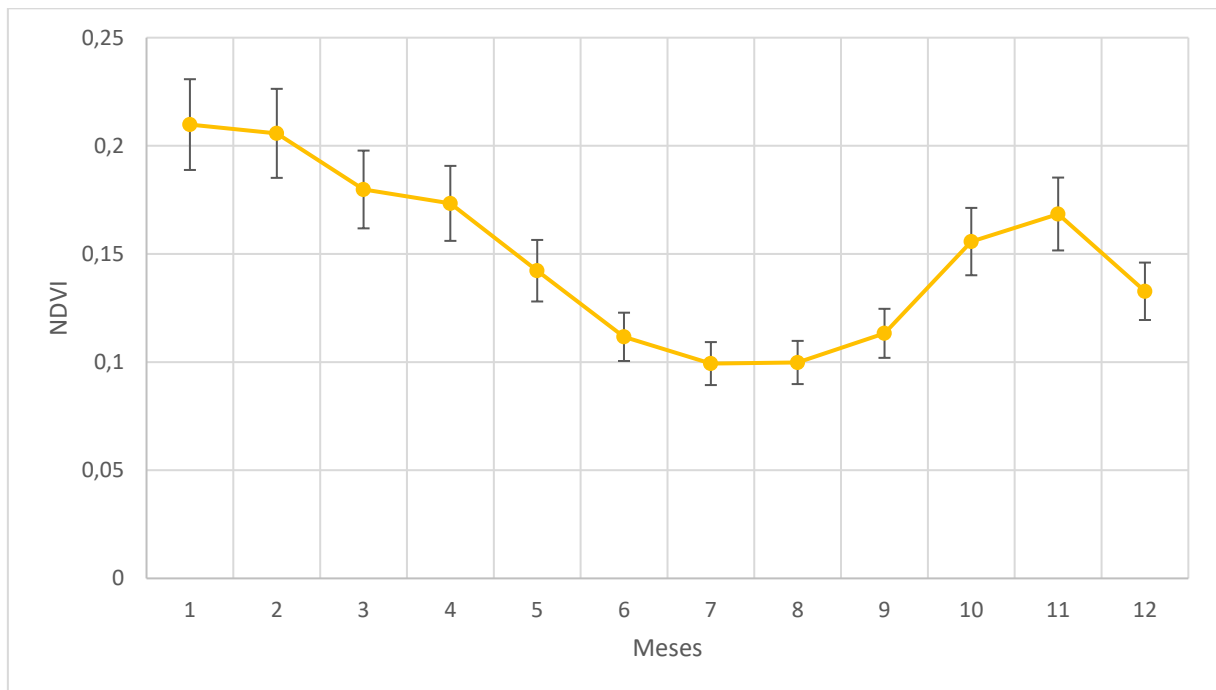


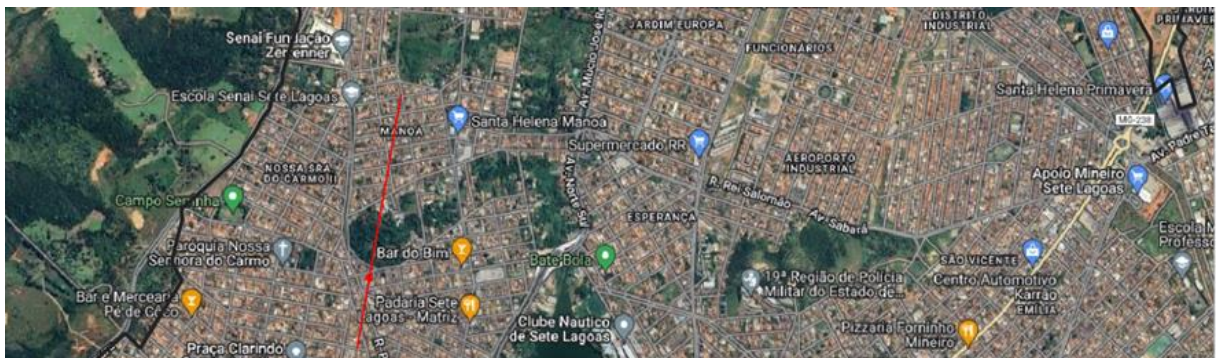
Figura 6 – Valores médios mensais de NDVI da área urbanizada densa de Sete Lagoas, Minas Gerais.



3.3 Correlação entre a temperatura da superfície e NDVI

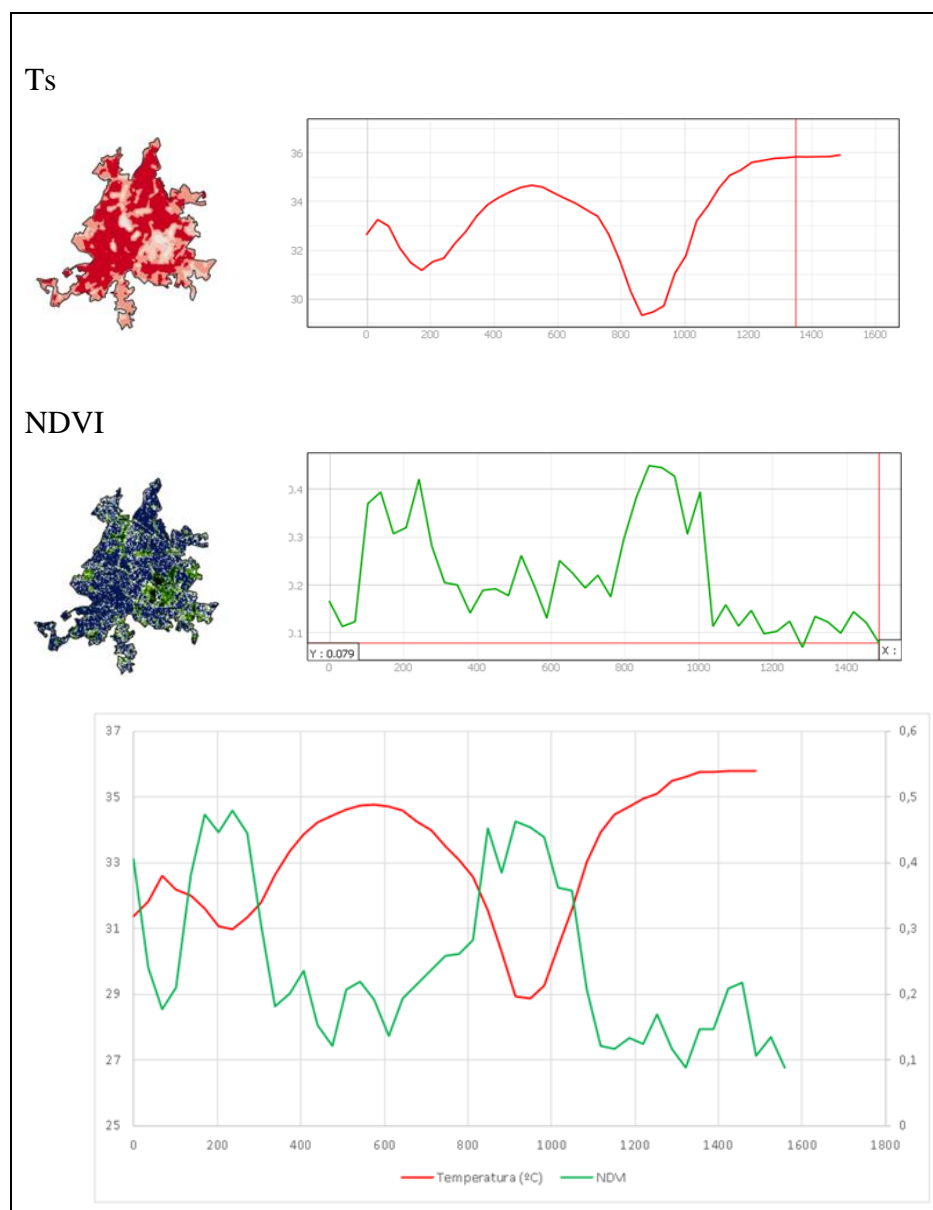
Foram gerados perfis topográficos das variáveis Ts e NDVI para o mês de janeiro, dado que é o mês com maior distribuição de temperaturas superficiais altas, bem como com maiores valores médios de NDVI. Os perfis obtidos foram utilizados para análise visual da correlação entre as variáveis, embora acredite-se que o comportamento esperado possa ser observado em maior ou menor grau durante os demais meses do ano. A linha para geração do perfil foi posicionada na porção Noroeste da área urbanizada, onde observa-se um gradiente entre área densamente construída e vegetada (Figura 7).

Figura 7 – Linha correspondente ao perfil topográfico gerado para Sete Lagoas, MG.



A Figura 8 evidencia que há uma correlação negativa entre as variáveis temperatura da superfície e NDVI, dado que se observa que os pontos em que as temperaturas são mais elevadas correspondem aos pontos com menores valores de NDVI, sendo que a associação inversa também pode ser visualizada no gráfico. Observa-se graficamente, que o pico de temperatura (35,80 °C) ocorreu para a porção com baixo valor de NDVI (0,106), enquanto menor temperatura (28,88 °C) foi registrada para um NDVI (0,454) próximo dos maiores valores observados.

Figura 8 – Perfis topográficos de temperatura da superfície e NDVI.



Esses resultados também foram observados em outros estudos objetivando avaliar a distribuição de ilhas de calor em área urbanizadas. Santos et al., (2017), observaram a

ocorrência de ilhas de calor em Vila Velha, ES, onde as médias de temperaturas foram de 2,34 a 7,19 °C superiores às áreas não urbanizadas da cidade. Ressalta-se que embora os padrões de comportamento das variáveis sejam semelhantes aos observados neste estudo, Vila Velha está situada sobre o bioma Mata Atlântica e clima Aw, de acordo com Köppen, o que justifica diferenças na distribuição espacial e temporal das variáveis (IBGE, 2016; SANTOS et al., 2017). Almeida et al., (2020), demonstraram ocorrência de ilhas de calor em Montes Claros, MG, está associada diferenças no uso do solo, de modo que anomalias positivas com temperaturas superiores são observadas nas regiões centrais com alta densidade construtiva, enquanto anomalias negativas são típicas das margens da cidade, onde há condomínios de alto padrão com áreas verdes.

Embora não tenha sido feitos cálculos para detecção e mapeamento de ilhas de calor neste estudo, o comportamento das variáveis possibilita inferir que seriam observadas ilhas de calor nas regiões não vegetadas de Sete Lagoas. Esse comportamento tem sua explicação associada às diferenças entre a vegetação e os materiais que compõem a malha urbana. Superfícies escuras como asfalto e concreto são impermeáveis e apresentam baixo albedo, o que contribui para o aumento da temperatura superficial do entorno ao afetar o fluxo de calor e transpiratório na superfície (CALLEGARE et al., 2011; GARTLAND, 2008; LU et al., 2009). Por outro lado, solos vegetados consomem mais energia térmica, reduzindo a emissão de calor na superfície e a incidência de radiação solar direta pelo efeito de sombreamento, amenizando as temperaturas superficiais adjacentes a e manifestação do fenômeno das ilhas de calor (KRÜGER; GONZALEZ, 2016; MANOEL, 2010).

4 CONCLUSÃO

Conclui-se a partir deste estudo que há uma correlação negativa entre a temperatura da superfície (Ts) e o NDVI na área urbanizada densa de Sete Lagoas, Minas Gerais, corroborando a hipótese inicial levantada. O perfil topográfico gerado para o mês de janeiro, em que foram registrados os maiores valores de Ts e NDVI, demonstrou que o pico de temperatura (35,80 °C) associado a um baixo NDVI (0,106), enquanto a menor temperatura (28,88 °C) estava associada a um NDVI de 0,454. Embora não tenha sido escopo do trabalho avaliar, por meio de cálculos, a distribuição de ilhas de calor, os resultados são consonantes aos estudos mais aprofundados disponíveis, o que permite inferir que Sete Lagoas apresenta ilhas de calor com temperaturas superiores em virtude da maior densidade construtiva em relação à área adjacentes vegetadas.

Assim, estudos envolvendo avaliações por períodos mais longos podem ser úteis para o mapeamento de ilhas de calor no município, fomentando as informações necessária para delinear projetos eficientes de arborização urbana.

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. I. S. de; SILVA, L. A. P. da.; LEITE, M. E.; LAURENTINO, C. M. de M.; MARQUES, S. C. S.; LEITE, M. R. **Ilhas de calor urbano em Montes Claros – MG**. Revista do Departamento de Geografia, [S. l.], v. 40, p. 120-131, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.163718. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/163718>. Acesso em: 13 dez. 2023.

BRANDÃO, M.; GAVILANES, M. L.; LACA-BUENDIA, J. P.; GROSSI, M. **Cobertura vegetal no município de Sete Lagoas – MG**. Dapne , v. 2, pág. 21-38, 1993.

CALLEGARE, A. O.; LOPES, C. R.; SOUZA, L. J.; BRIZOLLA, M. C.; HONORATA, V. **Estudo sobre o albedo em diferentes tipos de superfície**, 10p. 2011.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

EMBRAPA. 2002. **Arborização urbana e produção de mudas de essências florestais nativas em Corumbá, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002.

FERREIRA, M.E.; ANDRADE, L. R. M.; SANO, E.E; CARVALHO, A. M. **Uso de processadores de imagens digitais na avaliação da taxa de cobertura do solo**. 2001.

FERREIRA, N.J. (Coordenador) **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

GARTLAND, L. Heat islands: understanding and mitigating heat urban areas. **Earthscan**. UK and USA. 215p. 2008.

GOMES, H. B.; CAVALCANTE, L. B.; SILVA JUNIOR, R. S.; SANTOS, M. N. Temperatura da superfície e albedo na região de Ilha Solteira, São Paulo. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, e16018, 2017.

GOMIDE, R. L.; DE ALBUQUERQUE, P. E. P.; DE ANDRADE, C. L. T.; DURÃES, F. O. M.; VIANA, J. H. M. **Caracterização Climática**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29733/1/Caracterizacaoclimatica.pdf>. Acesso em: 10 dezembro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sete-lagoas/panorama>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área urbanizada: IBGE**. Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sete-lagoas/panorama>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha setorial de 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=sobre>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023a. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html?localidade=BR&tema=1>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022: População e domicílios**. IBGE, 2023b. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html?localidade=BR&tema=1>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. **Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press. In Press. 41 pp, 2021.

KRÜGER, E. L.; GONZALEZ, D. E. G. Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 89–106, jul. 2016.

LAZARIM, C. G.; ZULLO JUNIOR, J. Estimativa da temperatura da superfície terrestre, através de imagens do satélite AVHRR/NOAA, destinada ao monitoramento agrometeorológico. **Anais**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6943-6949.

LU, Y.; FENG, P.; SHEN, C.; SUN, J. Ilha de calor urbana no verão de Nanjing com base em dados de TM. **Anais do Evento Conjunto de Sensoriamento Remoto Urbano de 2009**. Xangai, China. P. 1-5. 2009. <http://dx.doi.org/10.1109/URS.2009.5137628>.

MANOEL, R. L. **Sensoriamento remoto aplicado na análise temporal da relação uso da terra/temperatura e albedo de superfície na bacia do Rio Vieira no norte de Minas Gerais**. Uberlândia, MG. 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Uberlândia, Minas Gerais, 2011.

MARICATO, E. **Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras**. São Paulo em perspectiva, v. 14, n. 4, p. 21-33, 2000.

MEA - MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and human well-being: Biodiversity Synthesis**. World Resource Institute, Washington, DC. Island Press, 31 p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA CLIMÁTICA. **Serviços ecossistêmicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecosistemas-1/conservacao-1/servicos-ecossitemicos>

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Landsat**. Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World. Vol. 23, Issue 6, pp. 4-10. 2011. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Landsat Nine**. FS, 2019. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>.

NOVO, E. M. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Bluncher, 2010. 387 p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge, 2002.

OLIVEIRA, G. C. M. de; FREITAS, M. A. V. de. Análise de correlações entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e dados hidrometeorológicos de entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí - PA utilizando imagens Landsat-5 TM. **Anais**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa, PB. INPE, 2015.

PEREIRA, C. C.; MARIANO, Z. F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. **Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na Bacia da Barra dos Coqueiros (Goiás)**. Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.1243 – 1255, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitorando Sistemas de Vegetação nas Grandes Planícies com ERTS (Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres). Anais do 3º Simpósio de Satélites de Tecnologia de Recursos Terrestres, Greenbelt, 10-14 de dezembro, SP-351, p. 309-317. 1973.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6º ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p.

SANTOS, A. R. dos; DE OLIVEIRA, F. S.; DA SILVA, A. G.; GLERIANI, J. M.; GONÇALVES, W.; MOREIRA, G. L.; SILVA, F. G.; BRANCO, E. R. F.; MOURA, M. M.; DA SILVA, R. G.; JUVANHOL, R. S.; DE SOUZA, K. B.; RIBEIRO, C. A. A. S.; DE QUEIROZ, V. T.; COSTA, A. V.; LOREZON, A. S.; DOMINGUES, G. F.; MARCATTI, G. E.; DE CASTRO, N. L. M. RESENDE, R. T.; GONZALEZ, D. E.; TELLES, L. A. A.; TEIXEIRA, T. R.; DOS SANTOS, G. M. A. D. A.; MOTA, P. H. S. Spatial and Temporal Distribution of Urban Heat Islands. **The Science of the Total Environment**. 605-606 (2017): 946-56.

SEAMEANS, G. S. Mainstreaming the environmental benefits of street trees. **Urban Forestry & Urban Greening**, Davis, v.12 n. 1, 2-11, 2013.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. **Clima e Saúde em Contextos Urbanos: Uma Revisão da Literatura**. Biblio 3W, Barcelona, v. 19, n.1092 p.1-27. 2014.

SMALL, C. **Multitemporal analysis of urban reflectance. Remote Sensing of Environment**, v. 81, n.3, p. 427-442, 2002.

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

TRINDADE, P. M. P.; SALDANHA, D. L.; PEREIRA FILHO, W. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbana. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 4, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n4-44338.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Explorer Earth**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. 2022.

ZAO, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 4, n. 3, p.583-594, 2003.