

Emprego de Geotecnologias como subsídio no Monitoramento Climático da Cultura do Morango em Espírito Santo do Dourado (MG)

Use of Geotechnologies as a tool for Climate Monitoring of Strawberry
Cultivation in Espírito Santo do Dourado (MG)

Uso de Geotecnologías como herramienta para el Monitoreo Climático
del Cultivo de Fresa en Espírito Santo do Dourado (MG)

Gustavo de Oliveira Alexandre – gustavo.alexandre@sou.unifal-mg.edu.br
Mestrando em Geografia da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG
Orcid : <https://orcid.org/0000-0001-7844-2659>

Claudia Vanessa dos Santos Correa – email@email.com
Prof. Dr.^a do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL - MG
Prof. Dr.^a na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas - FT/UNICAMP
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2524-8443>

Resumo

As mudanças climáticas têm impactado a produção agrícola, especialmente em culturas sensíveis às variações de temperatura e precipitação, como o morango. Nesse contexto, o monitoramento climático por meio de sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta relevante para o planejamento agrícola. O presente estudo foi desenvolvido no município de Espírito Santo do Dourado (MG), no Sul e Sudoeste de Minas Gerais. O objetivo foi analisar a relação entre a Temperatura de Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature – LST*) e a precipitação, associando essas variáveis às fases fenológicas da cultura do morango no período de 2019 a 2024. Foram utilizados dados do MODIS/061/MOD11A2 para *LST* e CHIRPS para precipitação, processados no Google Earth Engine (GEE), além de imagens do Sentinel-2 para identificação das áreas de cultivo. Os resultados indicaram temperaturas mais amenas e baixa precipitação durante a floração, enquanto o período de colheita apresentou aumento dessas variáveis, elevando os riscos fitossanitários. A análise espacial permitiu delimitar as áreas cultivadas e extrair métricas associadas. Conclui-se que a integração de dados climáticos e orbitais é eficaz para o monitoramento agrícola e apoio à tomada de decisão.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Temperatura de superfície terrestre; Precipitação; Agricultura; Google Earth Engine

Abstract

Climate change has significantly impacted agricultural production, particularly in crops sensitive to variations in temperature and precipitation, such as strawberries. In this context, climate monitoring using remote sensing has become an important tool for agricultural planning. This study was conducted in the municipality of Espírito Santo do Dourado (MG), in the southern region of Minas Gerais, Brazil. The objective was to analyze the relationship between Land Surface Temperature (LST) and precipitation, associating these variables with the phenological stages of strawberry cultivation from 2019 to 2024. Data from MODIS/061/MOD11A2 (LST) and CHIRPS (precipitation) were processed using the Google Earth Engine (GEE), along with Sentinel-2 imagery for identifying cultivated areas. The results indicated milder temperatures and lower precipitation during the flowering stage, while the harvest period

showed an increase in both variables, raising phytosanitary risks. Spatial analysis allowed the delimitation of cultivated areas and the extraction of associated metrics. It is concluded that the integration of climatic and orbital data is effective for agricultural monitoring and decision-making support.

Key words: Remote sensing; Land surface temperature; Precipitation; Agriculture; Google Earth Engine

Resumen ou Résumé

El cambio climático ha impactado significativamente la producción agrícola, especialmente en cultivos sensibles a las variaciones de temperatura y precipitación, como la fresa. En este contexto, el monitoreo climático mediante teledetección se ha consolidado como una herramienta relevante para la planificación agrícola. El presente estudio se desarrolló en el municipio de Espírito Santo do Dourado (MG), en la región sur de Minas Gerais, Brasil. El objetivo fue analizar la relación entre la temperatura de la superficie terrestre (*Land Surface Temperature* – *LST*) y la precipitación, asociando estas variables con las fases fenológicas del cultivo de fresa en el período de 2019 a 2024. Se utilizaron datos de *MODIS/061/MOD11A2* para *LST* y *CHIRPS* para precipitación, procesados en *Google Earth Engine (GEE)*, además de imágenes de Sentinel-2 para la identificación de las áreas cultivadas. Los resultados indicaron temperaturas más moderadas y baja precipitación durante la floración, mientras que el período de cosecha presentó un aumento de estas variables, elevando los riesgos fitosanitarios. El análisis espacial permitió delimitar las áreas cultivadas y extraer métricas asociadas. Se concluye que la integración de datos climáticos y orbitales es eficaz para el monitoreo agrícola y el apoyo a la toma de decisiones.

Palavras-chave: Temperatura de la superficie terrestre; Precipitación; Agricultura; Google Earth Engine

Recebido em: 28/11/2025
Aceito para publicação: 29/07/2026

Introdução

A agricultura, tanto em grandes escalas, como na produção de monoculturas (milho e soja), quanto em pequenas e médias propriedades voltadas a cultivos especializados, como o morango no Sul de Minas Gerais, configura-se como um setor fundamental para a segurança alimentar global (FAO, 2022). No entanto, as mudanças climáticas, expressas por alterações no regime de precipitação e nos padrões de Temperatura de Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature – LST*), têm impactado significativamente a produção agrícola, impondo pressões sobre os sistemas produtivos e resultando em perdas de solo, lavouras e produtividade, especialmente em culturas mais vulneráveis (IPCC, 2019; FAO, 2022).

As variáveis climáticas, especialmente a precipitação e a temperatura, exercem influência decisiva sobre o desempenho das atividades agrícolas, afetando desde a germinação até a produtividade final (Guimarães, 2018). A disponibilidade hídrica adequada e a manutenção de temperaturas dentro de limites toleráveis são determinantes para o sucesso dos cultivos, uma vez que tanto o déficit quanto o excesso de água, assim como temperaturas extremas, podem comprometer processos fisiológicos e reduzir o rendimento das lavouras (Fan *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, o monitoramento das condições climáticas e sua relação com os ciclos produtivos torna-se essencial para a identificação de anomalias e para a compreensão de seus impactos na agricultura. Nesse sentido, as geotecnologias destacam-se como ferramentas importantes, pois permitem a coleta, análise e interpretação de dados ambientais e climáticos de forma integrada, contribuindo para a tomada de decisão no meio agrícola (Maio *et al.*, 2008; Campos *et al.*, 2022).

O uso de geotecnologias na agricultura tem se expandido significativamente, especialmente com a incorporação de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento de variáveis ambientais. A integração de informações como a *LST*, obtida por sensores como o MODIS, e dados de precipitação provenientes do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)* possibilita a identificação de padrões climáticos e sua relação com o desempenho agrícola, auxiliando na gestão e mitigação de riscos. Esses produtos apresentam ampla aplicação em estudos agroclimáticos devido à sua consistência, resolução temporal e capacidade de geração de informações multitemporais (Harrison *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022).

Sob essa perspectiva, plataformas como o *Google Earth Engine (GEE)* têm ampliado a capacidade de processamento e avaliação de grandes volumes de dados espaciais e temporais, contribuindo para aplicações mais robustas no monitoramento agrícola. Estudos demonstram a eficácia da aplicação integrada de séries temporais de *LST* e precipitação para o monitoramento de condições agrícolas e identificação de áreas vulneráveis às oscilações climáticas (Sandeep

et al., 2021), reforçando a relevância do uso dessas ferramentas no acompanhamento das dinâmicas ambientais.

Nesse sentido, as geotecnologias na agricultura transcendem o mapeamento estático, oferecendo suporte à interpretações de variáveis biofísicas complexas e ao monitoramento da saúde dos ecossistemas vegetal sob a influência de fatores climáticos e antropogênicos (Shi *et al.*, 2023) O uso de séries temporais do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) correlacionadas a dados de LST e precipitação orbital via CHIRPS permite a identificação precoce de anomalias hídricas e do estresse na vegetação em áreas onde os registros terrestres são escassos (Helmi *et al.*, 2024; Quirós; Fragoso-Campón, 2024). Ademais, a variação da temperatura de superfície influencia diretamente os processos biológicos e o rendimento das safras (Zhou; Lu, 2021). Índices como o LAI (*Leaf Area Index*) mostram-se fundamentais para compreender a resposta da vegetação a eventos climáticos extremos, fornecendo subsídios sólidos para a tomada de decisão agrícola (Quirós; Fragoso-Campón, 2024)

No contexto regional, o município de Espírito Santo do Dourado (MG), localizado no Sul de Minas Gerais, apresenta condições favoráveis para o cultivo do morango, destacando-se como área de produção relevante. Entretanto, a dependência das condições climáticas torna essa atividade suscetível às variações de temperatura e precipitação ao longo do ciclo produtivo. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar, de forma multitemporal, a relação entre a LST e a precipitação no município de Espírito Santo do Dourado (MG), associando essas variáveis às fases fenológicas da cultura do morango no período de 2019 a 2024, visando identificar padrões e vulnerabilidades climáticas.

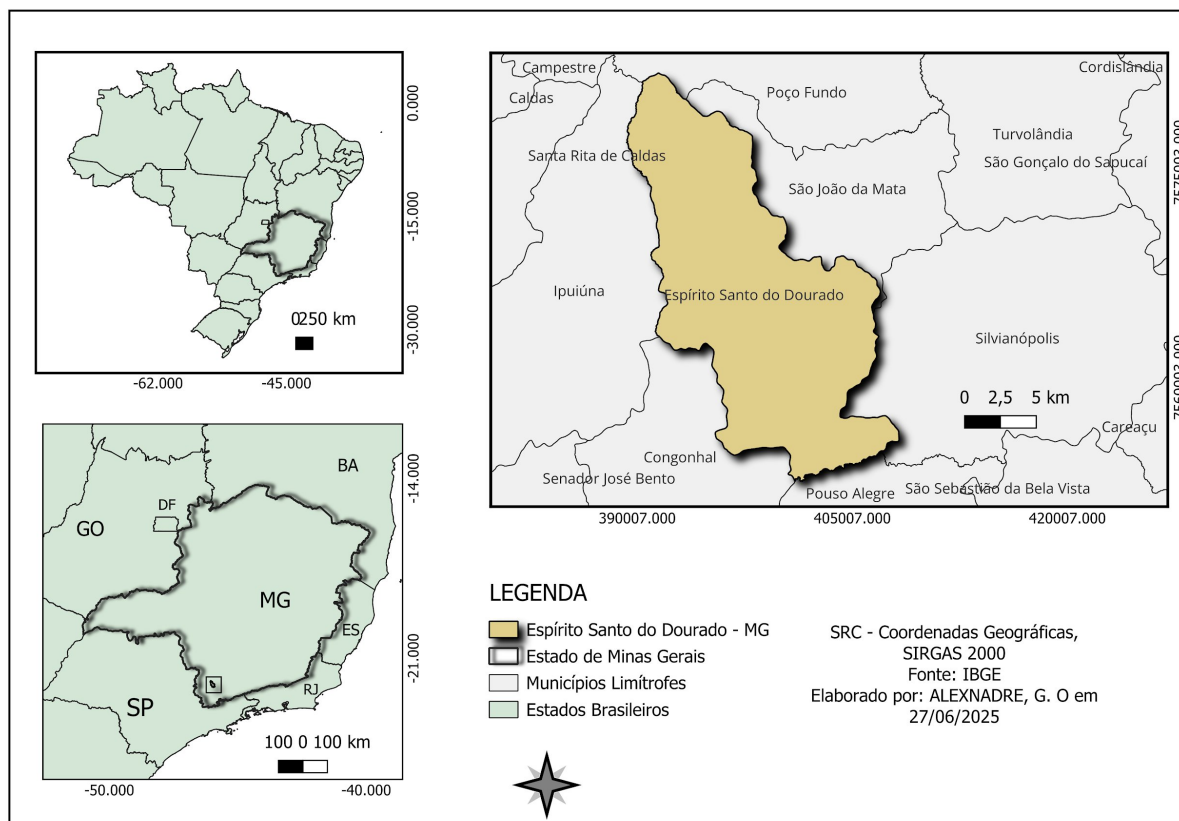
Metodologia

De acordo com a divisão regional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1990, o município de Espírito Santo do Dourado está localizado na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais, pertencendo à microrregião de Pouso Alegre (IBGE, 1990). Com uma extensão territorial de 263,879 km², o município situa-se entre seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 22° 2' 16" Sul e Longitude: 45° 56' 37" Oeste. Sob a ótica geomorfológica, exibe um relevo serrano, segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Espírito Santo do Dourado - MG (2018) e o IBGE (2022). Conforme o que foi proposto pelo INPE (2008), o município possui um terreno que apresenta desde ondulações suaves até características montanhosas e escarpadas

Após análise dos dados disponíveis no IDE-Sisema (SEMARH-MG, 2023), que reúne metadados de diversos órgãos públicos e privados, verificou-se que o município apresenta relevo variando de ondulações suaves a áreas com características montanhosas e escarpadas. Segundo Ab'Sáber (2003), a região em que o município se insere é caracterizada por geomorfologia de escudos

expostos, com abóbadas de arqueamento e saliências das dorsais. A localização da área de estudo pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Mapa de localização e Espírito Santo do Dourado - MG



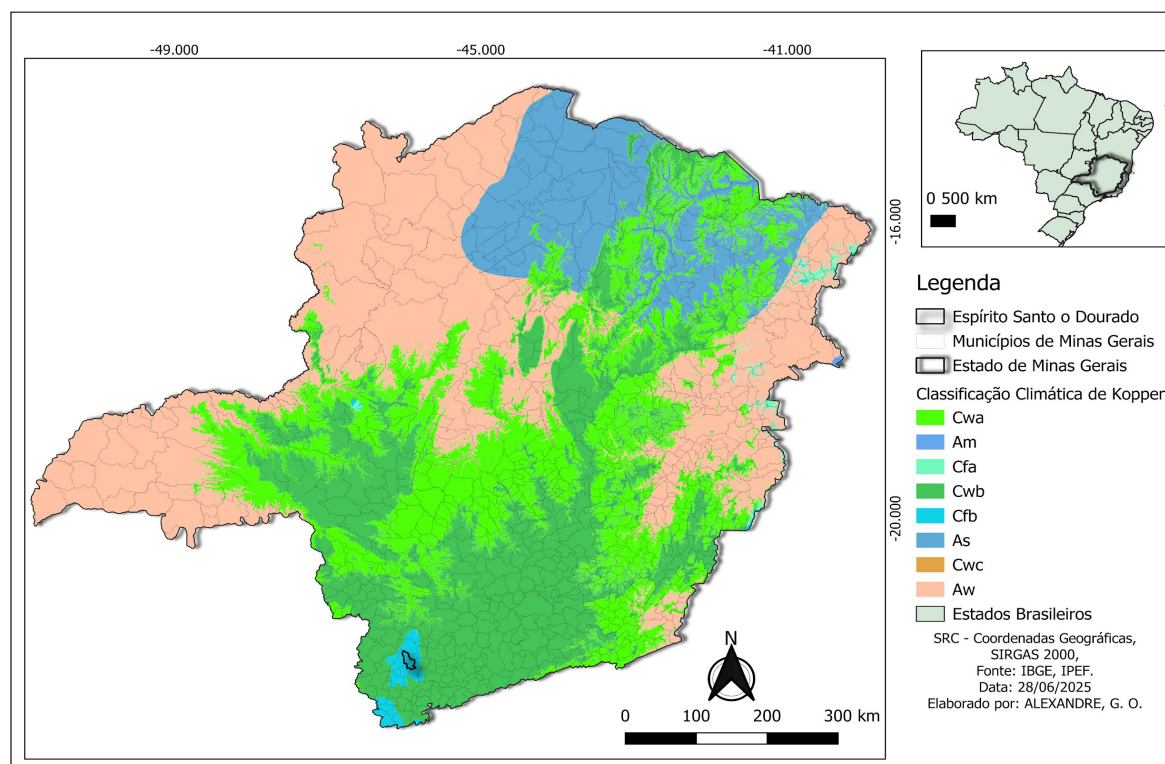
Fonte: Elaborado pelo autor, (2025), a partir de dados geoespaciais do (IBGE, 2022).

Regionalmente, o clima se caracteriza como Tropical Úmido, sendo uma zona climática "subquente", apresentando uma média entre 15°C e 18°C em pelo menos um mês do ano (IBGE, 2002). Outra classificação bastante utilizada pelo IBGE é a de *Wilhelm Köppen* (1846/1940), proposta que relaciona os tipos de clima com os tipos de vegetação, considerando que está última variável é a melhor expressão do clima (Torres; Machado, 2019). Assim, o clima de Espírito Santo do Dourado segundo essa classificação é o "Cfb" (Figura 2), sendo úmido em todas as estações e com verões moderadamente quentes (Ayoade, 2003). De acordo com o IBGE (2019), o município encontra-se inserido integralmente no bioma Mata Atlântica, e quanto aos fragmentos percebidos, os pequenos se apresentam com árvores grandes e densas, sendo permanentemente verdes (IEF, 2025).

Considerando as características físicas e bióticas supracitadas, o uso e cobertura da terra do município tem uma certa diversidade quanto ao manejo e ocupação do solo. Para além da ocupação urbana, é possível identificar na (Figura 3) também uma extensa área de pastagem e lavouras, sejam temporárias, como

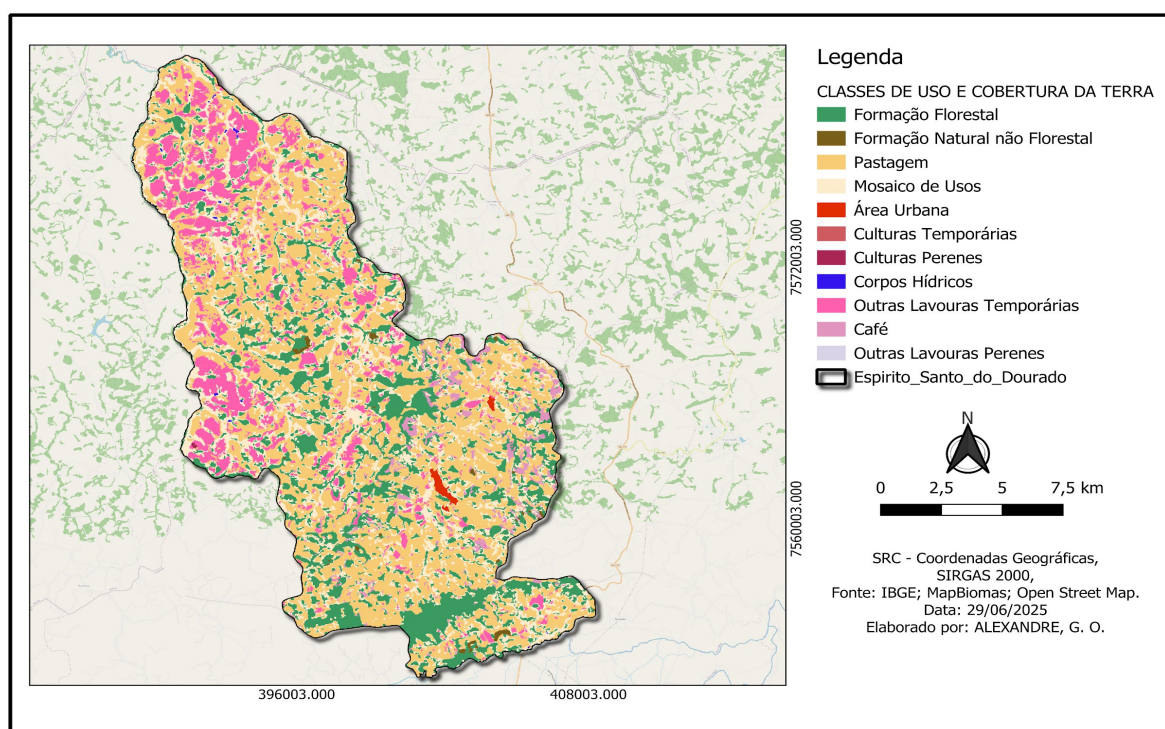
o morango, ou permanentes, como o café. Aspectos como clima ameno com médias entre 15°C e 18°C em pelo menos 1 mês do ano IBGE (2002), influenciado pelo relevo e localização, são essenciais para que o cultivo dessas culturas seja bem-sucedido. Mesmo o morango, que tipicamente é cultivado em climas temperados, com algumas adaptações se torna resiliente ao clima regional e local (Araújo; Silva, 2017; Emater, 2018; Embrapa, 2023).

Figura 2: Classificação Climática de Köppen (1918)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais do IBGE (2022), IPEF (2025)

Figura 3: Mapa de Uso e Cobertura da Terra



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais do IBGE, MapBiomas; (2024) Open Street Map (2025).

O período utilizado na análise foi de seis anos (2019-2024), sendo que não foram analisados todos os meses do ano, mas sim dois períodos trimestrais por ano. O período de plantio e início da floração, que geralmente vai de maio a julho, período que está entre o final do outono e o início do inverno. Já o segundo período refere-se a frutificação e o pico da colheita que ocorrem em meados de agosto até final de outubro. Os recortes temporais analisados relacionam-se ao pico de movimentação das respectivas fases, uma vez que o plantio e a colheita também ocorrem em menor escala nos outros meses do ano (SENAR, 2019).

Para individualização da área selecionada, foi utilizado o polígono dos limites municipais de Minas Gerais disponibilizado pelo IBGE (2022). A partir do arquivo bruto, que continha todas as feições municipais de todos os municípios mineiros, foi realizada uma aplicação da ferramenta de geoprocessamento filtragem em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) *Quantum Gis (QGis)*, de modo a destacar o município de Espírito Santo do Dourado.

O processamento dos dados foi realizado na plataforma *Google Earth Engine*, amplamente utilizada para análise de dados geoespaciais em ambiente de computação em nuvem. Com o objetivo de otimizar o desenvolvimento das rotinas de processamento computacional, foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial, como o *Google Gemini*, exclusivamente como apoio na

estruturação inicial dos códigos. Destaca-se que todos os *scripts* foram revisados, ajustados e validados manualmente, sendo os parâmetros definidos pelo pesquisador, sem qualquer interferência da Inteligência Artificial na coleta, geração ou interpretação dos dados. Dessa forma, garante-se a autoria e o controle integral do processo metodológico.

O primeiro passo para iniciar a análise foi identificar aspectos da superfície terrestre do município de Espírito Santo do Dourado (MG). Para realizar esse processo, a plataforma *online* do *GEE* foi de suma importância, tanto para essa etapa quanto para as posteriores. Inicialmente, foi necessário inserir o polígono, previamente filtrado em ambiente *QGIS* para a delimitação da área de estudo. Logo após, foi executado, por meio de código de programação *JavaScript*, a obtenção de imagens orbitais do satélite *Sentinel-2* da coleção de Reflectância da Superfície ("*COPERNICUS/S2_SR*"). As imagens foram filtradas para abranger a área do município e selecionadas para o período de maio a julho de 2024, restringindo às com até 10% de nuvens, priorizando a imagem mais limpa para garantir a qualidade da análise.

Como resultado do processo de identificação da superfície do recorte do município de Espírito Santo do Dourado, o *GEE* gerou algumas composições em formato *Raster*, que foram posteriormente exportadas e analisadas no ambiente *QGIS*, são essas composições: *SWIR-NIR-RED*, uma combinação de falsa cor, usada para destacar área de vegetação e umidade do solo; *BRIGHTNESS*, que se trata de uma composição derivada de bandas que indica contraste de cena *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), um índice calculado a partir do infravermelho próximo e do vermelho para medir o vigor da vegetação e *RGB*, que indica cores naturais que o sistema visual humano percebe ao seu redor (Maio *et al.* 2008; IBGE, 2013).

Em seguida, passo foi investigar a *LST* com o *GEE* que foi derivada da coleção *MODIS/061/MOD11A2*. O produto dessa coleção oferece dados diurnos de *LST* com uma resolução espacial de 1 km e uma resolução temporal de 8 dias. Essa agregação temporal de 8 dias ajuda a minimizar a influência das nuvens e outras interrupções dos dados.

Para o processamento, a coleção *MODIS* foi acessada diretamente no *GEE* e filtrada por datas e pelo polígono do município. Os valores brutos da banda *LST_Day_1km* estavam originalmente em *Kelvin* e multiplicados por um fator de escala de 0,02, foram convertidos para graus Celsius por meio da multiplicação pelo fator de escala e posterior subtração de 273,15°. De modo complementar, aplicou-se a máscara de qualidade (*QC_Day*), considerando apenas pixels classificados como de boa confiabilidade (*bits* 0–1). Para garantir consistência, foram mantidos apenas valores entre -5 °C e 45 °C, eliminando anomalias.

A partir dos dados estratificados em intervalos de 8 dias, o *GEE* calculou a mediana da *LST* para cada período de interesse, exportando mapas em formato

GeoTIFF. Também foram geradas séries temporais de médias pontuais da temperatura para a área de estudo, permitindo a investigação multitemporal das condições térmicas associadas às fases fenológicas do morango.

Para a análise da precipitação, foi utilizada a coleção *UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY*, que disponibiliza estimativas quase globais com resolução espacial de aproximadamente $0,05^\circ$ ($\sim 5,5$ km) e resolução temporal diária. A coleção foi acessada e filtrada para as mesmas janelas temporais e para o polígono do município. Cada imagem diária passou por pré-processamento no *GEE*, considerando apenas valores dentro de um intervalo plausível (entre 0 e 300 mm/dia) para evitar distorções.

Diferentemente da análise de *LST*, para a precipitação o *GEE* realizou a soma dos valores diários em intervalos de 8 dias, compatíveis com a periodicidade do *MODIS*. Essa precipitação acumulada foi então reduzida para o polígono por meio de médias, resultando em séries temporais representativas da chuva total em cada intervalo de 8 dias na área de estudo.

A seleção dos sensores e base de dados foi orientada pelo equilíbrio entre resolução temporal e espacial, de modo a atender às necessidades específicas do estudo (Liu, 2023). O *MODIS* foi utilizado para obtenção da Temperatura da Superfície Terrestre (*LST*) por disponibilizar séries temporais contínuas por meio do produto *MOD11A2* (Wan, 2019). Este produto apresenta agregação de 8 dias e resolução espacial nominal de 1 quilômetro, especificações técnicas que permitem o acompanhamento de processos ecológicos em escalas curtas (Wan, 2019). Tais características são adequadas para monitorar fases fenológicas como a floração e a colheita, visto que o período de composição de oito dias foi desenhado para coincidir com o ciclo orbital da plataforma Terra (Wan, 2019).

O *CHIRPS* foi empregado para a análise da precipitação por oferecer estimativas quase globais em uma grade de $0,05^\circ$ ($\sim 5,5$ km) (Funk *et al.*, 2026; Liu, 2023). O conjunto de dados possui resolução diária e é amplamente reconhecido em estudos agroclimáticos por sua utilidade na tomada de decisões agrícolas, monitoramento de secas e avisos precoces de fome (Funk *et al.*, 2026). Ressalta-se que o *dataset* continua sendo atualizado, como demonstrado pelo recente lançamento da Versão 3, e permanece sendo validado e utilizado em pesquisas científicas recentes de alta resolução (Funk *et al.*, 2026; Liu, 2023).

O sensor *Sentinel-2 MSI* é amplamente adotado para a delimitação espacial de áreas cultivadas, dada sua alta resolução de 10 a 20 metros e frequência de revista global a cada 5 dias (Maolana *et al.*, 2024; Segarra *et al.*, 2020). Essas especificações técnicas permitem a identificação precisa de unidades de plantio em sistemas de pequenos produtores, reduzindo significativamente o impacto de pixels mistos em propriedades fragmentadas (Maolan *et al.*, 2024). Em contrapartida, embora o *Landsat 8* apresente resolução de 30 metros, seu intervalo temporal de 16 dias é frequentemente considerado insuficiente para monitorar adequadamente ciclos fenológicos rápidos e cobrir estágios críticos do crescimento vegetal, razão pela qual dados

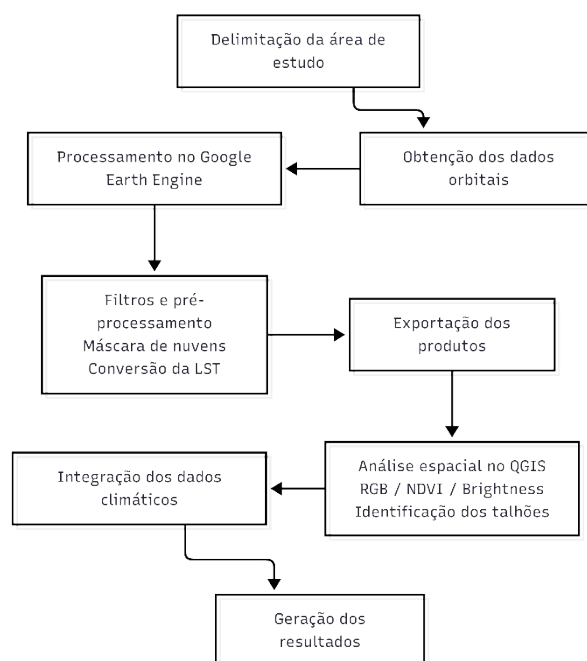
de maior frequência temporal são priorizados na agricultura de precisão (Dhillon *et al.*, 2023; Segarra *et al.*, 2020).

Todos os *scripts* utilizados nos procedimentos descritos e implementados no *GEE* estão disponíveis em:

- MODIS/CHIRPS (*LST* e precipitação): [Script de *LST* e Precipitação](#)
- Sentinel-2(*NDVI*, *RGB*, *Brightness*): [Script de coleta de imagens](#)
- Uso e cobertura da terra: [Coleção de uso e cobertura da terra](#)

A Figura 4 apresenta o fluxograma metodológico seguido durante a construção da pesquisa.

Figura 4: Fluxograma metodológico de manipulação e análise dos dados climáticos e orbitais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

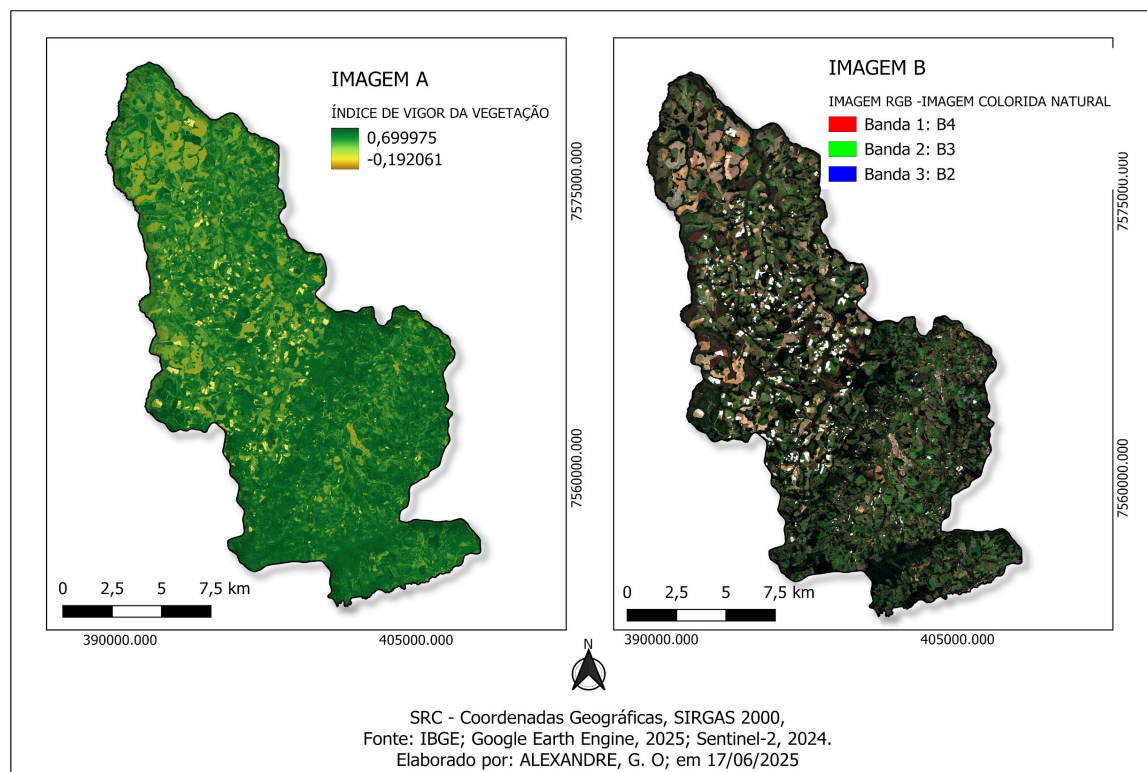
Resultado e discussões

Os produtos das composições de imagens foram exportados para o ambiente SIG, utilizando o software *QGIS*, onde foram organizados e recortados de acordo com o limite do município. A partir de ajustes nas combinações espectrais e avaliação comparativa das composições geradas, verificou-se que as composições de *NDVI* e *RGB* apresentaram melhor desempenho na representação da superfície e na identificação das feições de interesse.

Essas composições possibilitaram a distinção dos talhões de cultivo de morango, os quais se destacaram devido ao padrão de reflectância associado à presença de lonas plásticas de coloração branca, característica comum desse tipo

de cultivo. Tal padrão permitiu diferenciar essas áreas das demais coberturas superficiais, conforme observado nas (Figuras 5, 6 e 7)

Figura 5: Mapas correspondentes aos resultados da (A) aplicação do índice espectral NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e da (B) composição colorida RGB (4R3G2B).

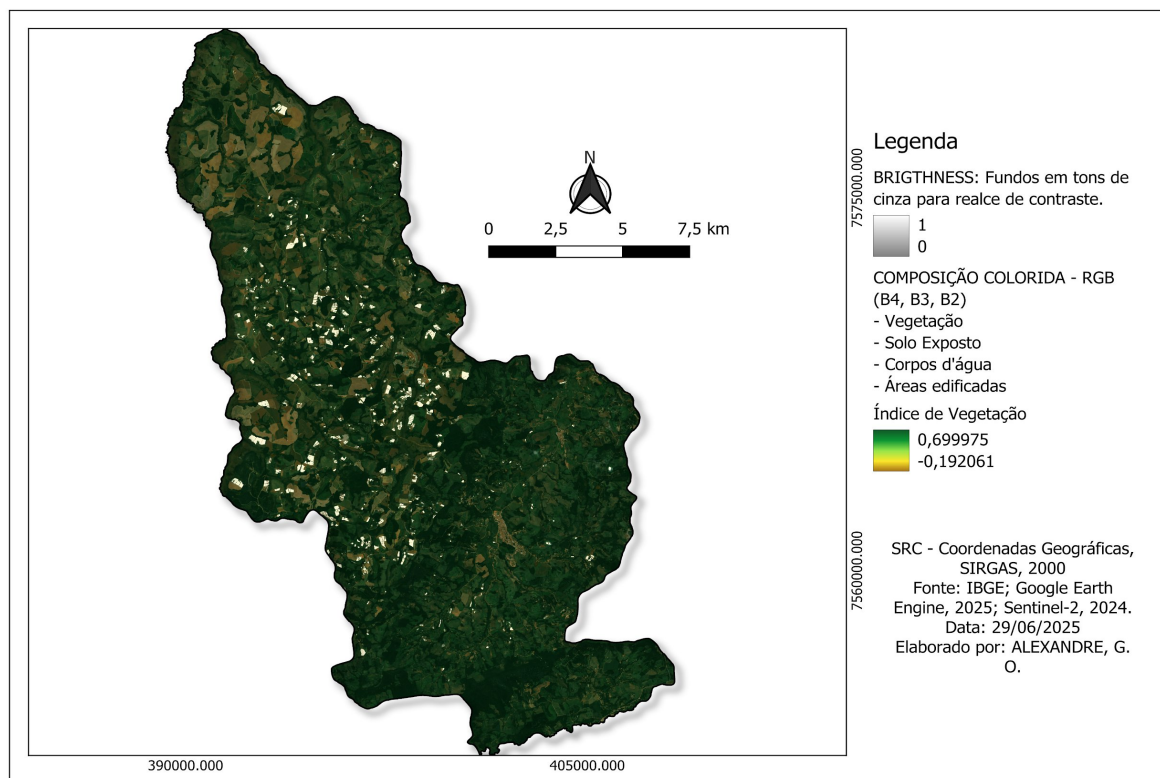


Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais do IBGE (2022) *Google Earth Engine* (2025), *Sentinel-2* (2025).

A observação das composições permitiu identificar as áreas de cultivo de morango no município. A Figura 4A, referente ao NDVI, evidenciou o vigor da vegetação, enquanto a Figura 4B (RGB) possibilitou melhor distinção visual das áreas cultivadas. Portanto, a integração das composições NDVI, RGB e *Brightness*, apresentada na Figura 5, resultou em uma representação mais eficiente das feições superficiais, facilitando a identificação dos talhões. A composição final foi obtida por sobreposição das camadas, com NDVI (100% de opacidade), RGB (60%) e *Brightness* (40%), o que contribuiu para maior clareza na delimitação das áreas de cultivo.

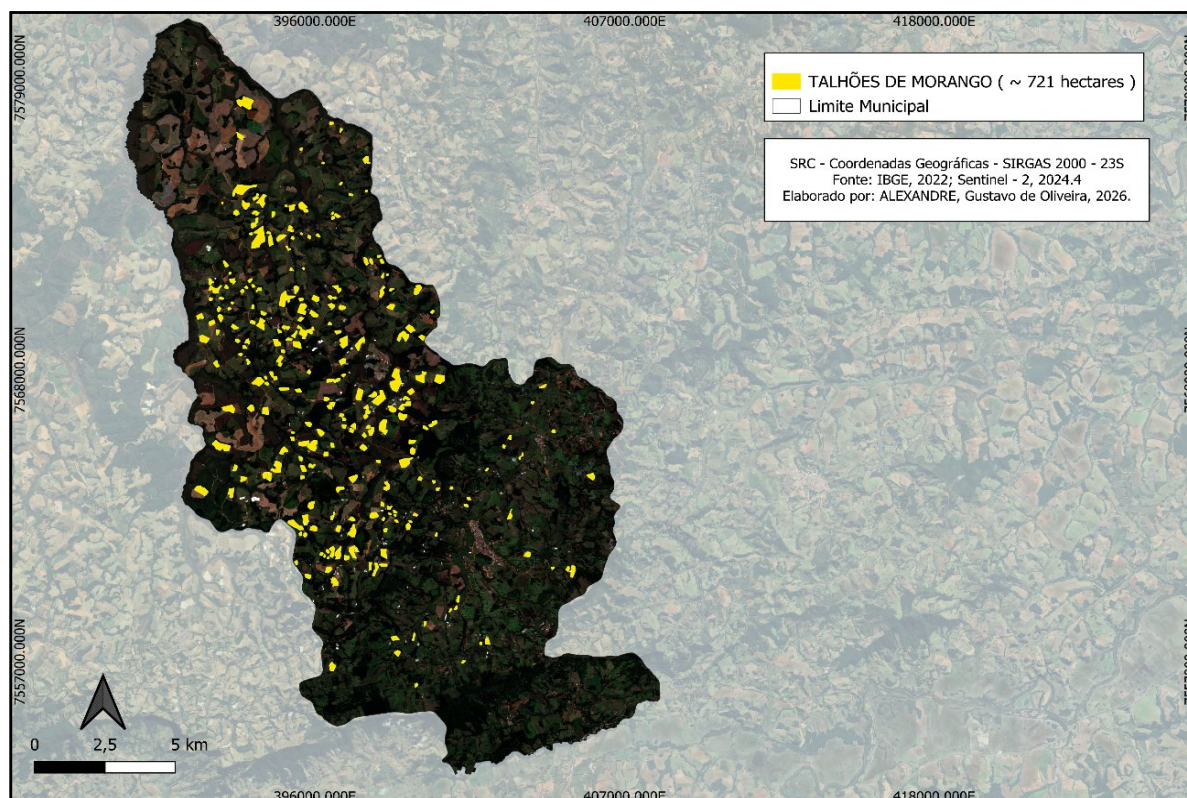
A vetorização dessas áreas resultou em 266 polígonos, totalizando aproximadamente 721 hectares (Figura 7), o que corresponde a 2,7% da área municipal. Essa quantificação espacial evidencia a relevância da cultura e fornece base para relacionar os cultivos às condições climáticas observadas.

Figura 6: Mapa de Identificação das lavouras de Morango (*Fragaria* × *ananassa*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais do IBGE (2022) Google Earth Engine (2025), Sentiel-2 (2025).

Figura 7: Mapa de Identificação das lavouras de Morango (*Fragaria* × *ananassa*) por meio de vetorização.

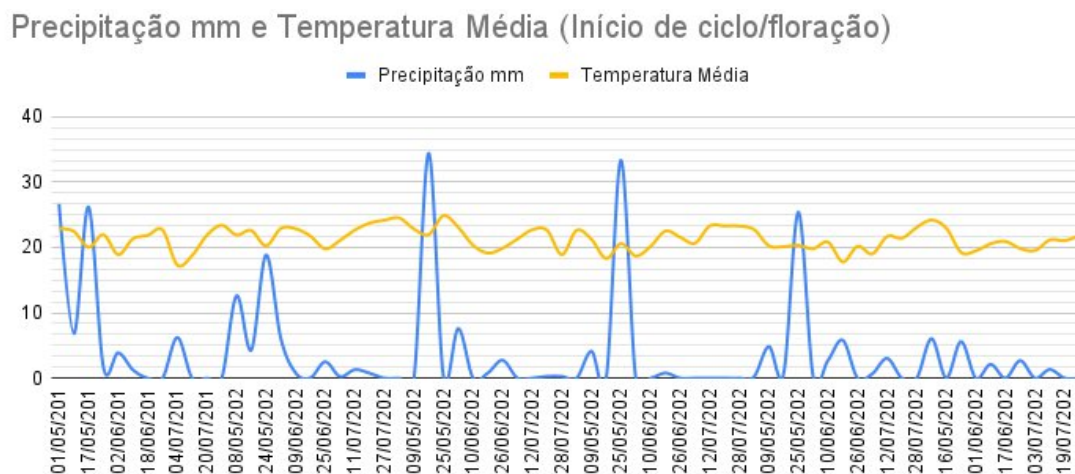


Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais do IBGE (2022) *Google Earth Engine* (2025), *Sentinel-2* (2025).

Com as áreas de plantação identificadas, os dados de *LST* e de precipitação para o município foram analisados. Os dados estão representados em dois gráficos (Figuras 8 e 10) os conjuntos das médias dos dois componentes, e separados por períodos, os quais foram divididos em: início de ciclo/floração e pico de colheita/frutificação. As informações apresentadas nas respectivas figuras são representações numéricas de médias de temperaturas para os períodos estudados.

No total, 70 datas foram tabuladas. A metade delas foi representada, após serem filtradas de acordo com os parâmetros definidos na planilha *Google Planilhas*. Como resultado do processamento das *LSTs*, os mapas gerados contribuíram para um melhor entendimento da análise (Figura 9 e 11).

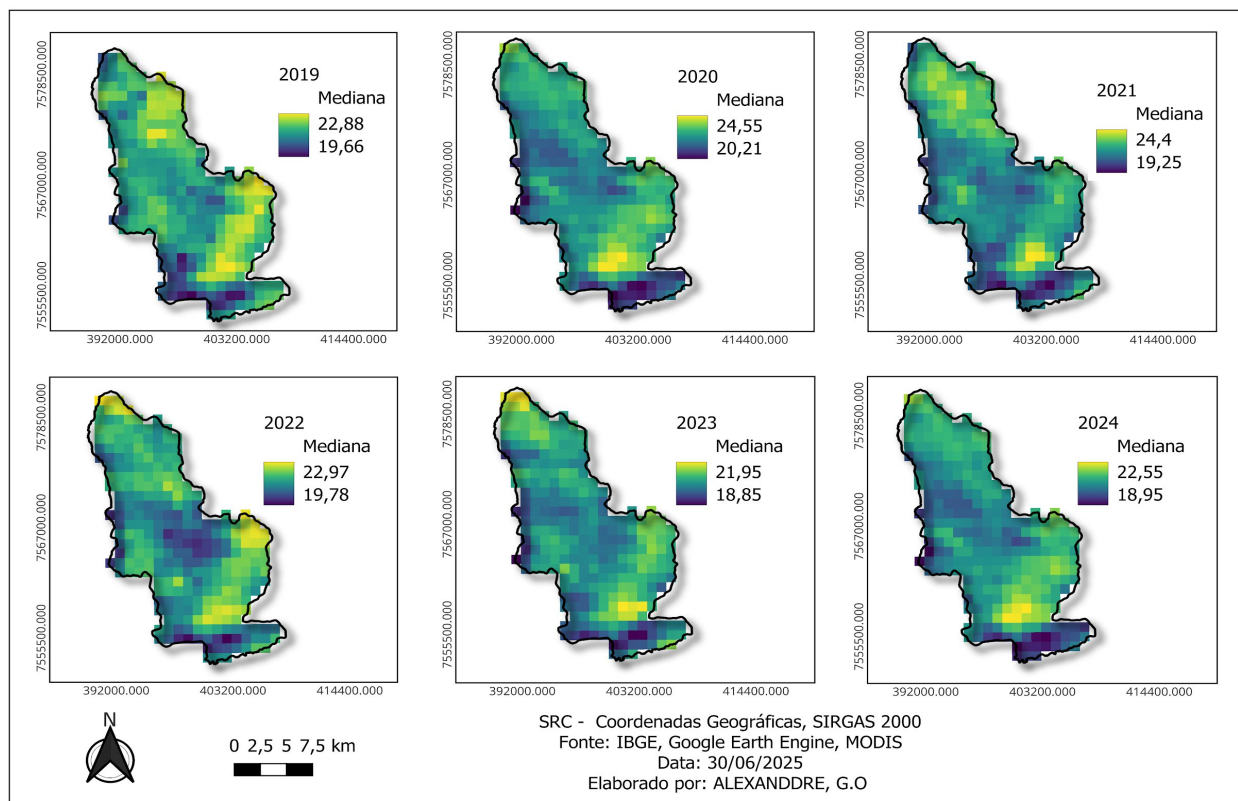
Figura 8: Gráfico de média de temperatura e precipitação de início de ciclo/floração



Data de Registro das Imagens

Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados do *MODIS* (2024); *CHIRPS*, (2024).

Figura 9: Representação de *LST* entre os anos de 2019 e 2024.



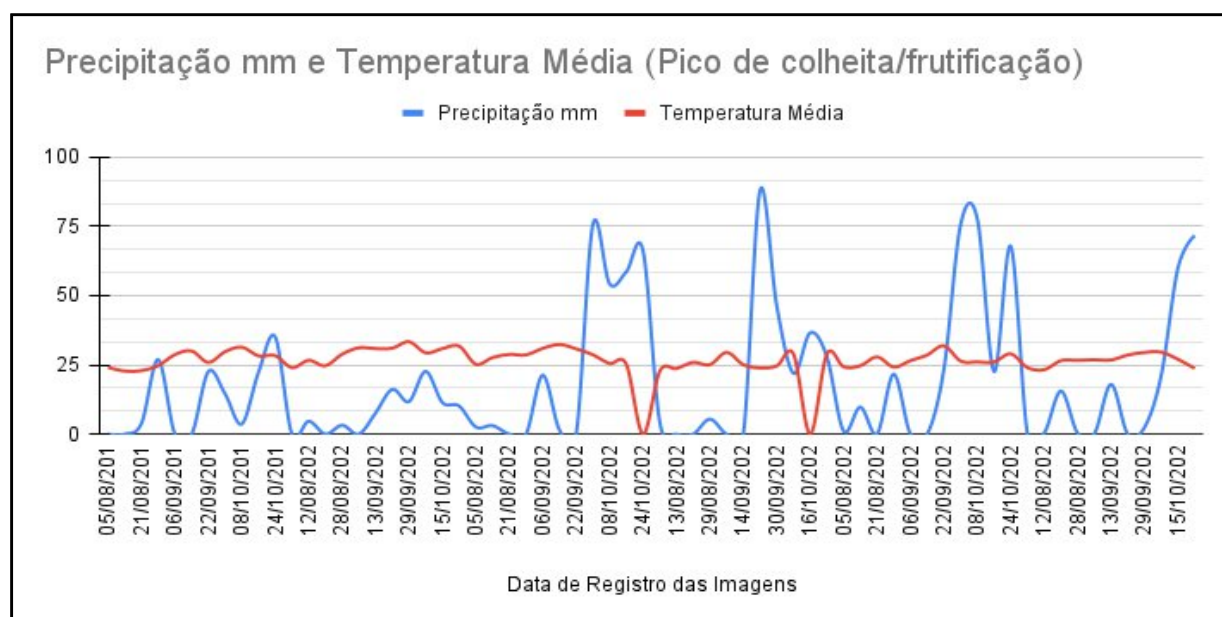
Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais obtidos IBGE; *Google Earth Engine*; *MODIS*.

O gráfico apresentado na Figura 8 exibe as médias diárias de precipitação e temperatura para o período de 2019 a 2024, correspondente à fase de início do ciclo e floração do morango em Espírito Santo do Dourado. Observa-se que a

precipitação, representada pela linha azul, mantém-se predominantemente baixa, em geral abaixo de 10 mm/dia, com ocorrência de picos isolados, indicando um período de menor disponibilidade hídrica. Essa condição favorece a floração do morangueiro, ao reduzir a incidência de doenças associadas ao excesso de umidade (Santos, 1993; SENAR, 2019). A temperatura média, representada pela linha amarela, apresenta comportamento relativamente estável, variando entre 18°C e 25°C, faixa considerada adequada para o desenvolvimento inicial e indução floral da cultura.

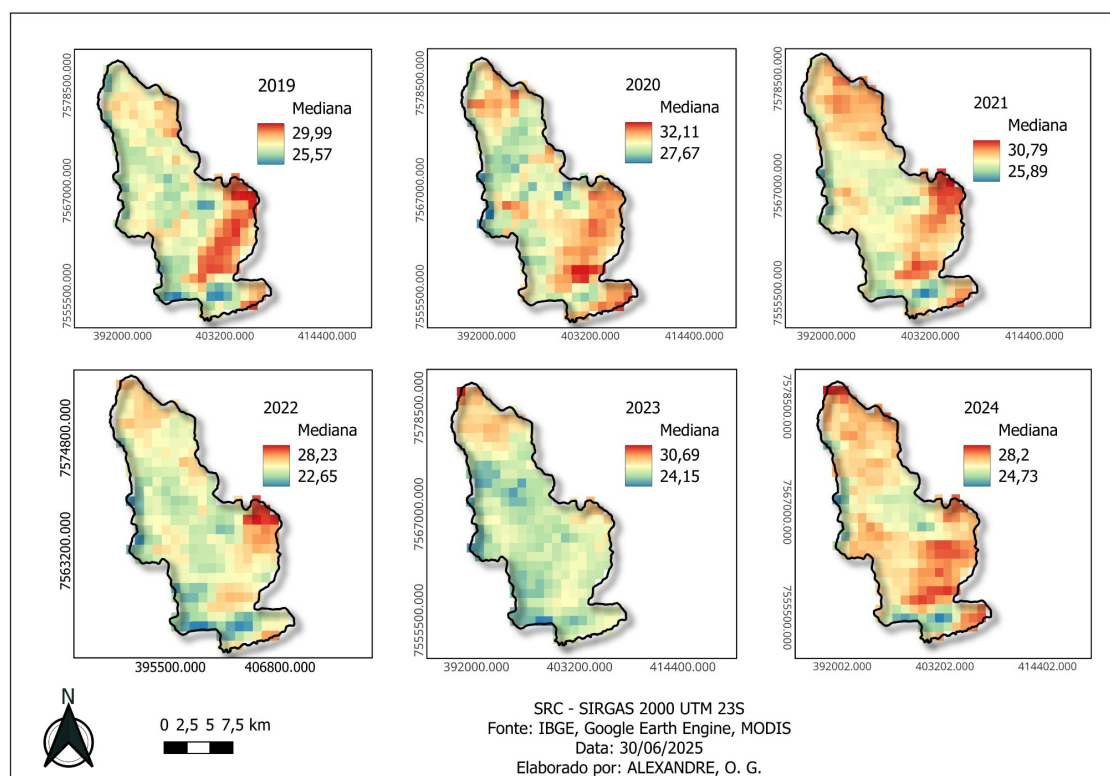
Em períodos de estiagem mais prolongados, torna-se necessária a suplementação hídrica por meio de irrigação (SENAR, 2019). De modo complementar, os mapas da Figura 9 apresentam a mediana da *LST* para cada ano analisado, com valores variando entre aproximadamente 18,85°C e 24,55°C, corroborando os padrões observados no gráfico. As variações espaciais e temporais identificadas, embora sutis, indicam diferenças locais na distribuição térmica que podem influenciar o desenvolvimento inicial da cultura.

Figura 10: Gráfico de Média de Temperatura e Precipitação de Pico de Colheita



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados do MODIS (2024); CHIRPS, (2024).

Figura 11: Representação de *LST* entre os anos de 2019 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025) a partir de dados geoespaciais obtidos IBGE; *Google Earth Engine*; *MODIS*.

O gráfico apresentado na Figura 10 exibe as médias diárias de precipitação e temperatura para o período de 2019 a 2024, referente à fase de pico de colheita e frutificação do morango em Espírito Santo do Dourado. Observa-se aumento expressivo da precipitação em relação ao período anterior, com ocorrência frequente de picos superiores a 50 mm, indicando maior disponibilidade hídrica. Esse cenário, associado à transição do inverno para a primavera, favorece o desenvolvimento dos frutos e o aumento da produtividade.

No entanto, o excesso de umidade pode criar condições favoráveis à ocorrência de doenças e comprometer a qualidade dos frutos, especialmente quanto ao teor de açúcar (Morton *et al.*, 2017). A temperatura média, representada pela linha vermelha, apresenta valores mais elevados e maior variabilidade, predominando entre 22°C e 30°C, caracterizando um ambiente mais quente e úmido durante essa fase.

Os mapas apresentados na Figura 11, ilustram a mediana da *LST* para o período de pico de colheita entre 2019 e 2024, com valores variando aproximadamente entre 24,73°C e 32,11°C. Esses valores corroboram os padrões observados no gráfico, indicando elevação térmica da superfície durante essa fase produtiva. As variações interanuais, como os valores mais elevados registrados em determinados anos, evidenciam diferenças nas condições térmicas que podem influenciar o desempenho da cultura. Temperaturas mais elevadas, associadas à

alta umidade, tendem a intensificar riscos fitossanitários e impactar negativamente a qualidade e o rendimento dos frutos (Ullah, 2024).

Considerações finais

O presente estudo evidenciou a importância do uso de geotecnologias aplicadas ao monitoramento climático em áreas agrícolas, com destaque para o município de Espírito Santo do Dourado (MG), onde a produção de morango possui relevância econômica local. A partir da análise multitemporal da *LST* e da precipitação entre 2019 e 2024, foram identificados padrões térmicos e pluviométricos associados às principais fases fenológicas da cultura.

Os resultados demonstraram que o período de plantio/floração está relacionado a menores volumes de precipitação e temperaturas mais amenas, condições favoráveis ao desenvolvimento inicial e à indução floral, enquanto a fase de frutificação/colheita apresentou elevação da temperatura de superfície e da precipitação, aumentando a disponibilidade hídrica, mas também os riscos fitossanitários devido ao excesso de umidade e calor.

As análises espaciais, realizadas com imagens *Sentinel-2* e composições espectrais (*RGB*, *NDVI* e *Brightness*), possibilitaram a identificação dos talhões de cultivo, evidenciando o potencial do sensoriamento remoto na delimitação de áreas agrícolas. A integração entre dados climáticos e informações espaciais demonstrou-se eficaz para compreender a dinâmica agrícola local e subsidiar práticas de manejo. Conclui-se que o uso integrado de dados orbitais, como *LST* (*MODIS*) e precipitação (*CHIRPS*), aliado a plataformas como o Google Earth Engine, constitui uma abordagem eficiente para o monitoramento climático aplicado à agricultura, sendo recomendada sua ampliação em diferentes contextos para o aprimoramento do manejo e mitigação de riscos climáticos.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ÁLVARES, C. A et. al. Köppen's Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro. Bertrand, 2003.

CAMPOS, S. K. et al. Drivers relacionados à agricultura, ambiente e sociedade com impacto para a Ciência do Solo. In: TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. (Ed.). **Megatendências da Ciência do Solo 2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. E-book. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1142164/megatendencias-da-ciencia-do-solo-2030>

CHRISTOFOLETTI, A. Signifiância da teoria de sistemas em Geografia Física. **Boletim de Geografia Teorética**. Associação de Geografia Teorética, vol. 16, n. 31-34, p. 119-128, São Paulo, 1987.

DHILLON, M. S. *et al.* Evaluation of MODIS, Landsat 8 and Sentinel-2 Data for Accurate Crop Yield Predictions: A Case Study Using STARFM NDVI in Bavaria, Germany. **Remote Sensing**, v. 15, n. 7, 1830, 2023.

EMATER. **Cultivo do morango em Minas Gerais**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2018.

EMBRAPA. **Sistema de produção de morango**. Brasília: EMBRAPA, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1106348/sistema-de-producao-de-morango>. Acesso em: 27 jun. 2025.

FAN, X. *et al.* Influence of high temperature and drought stress at jointing stage on crop physiological responses and growth in summer maize plants (*Zea mays* L.). **Frontiers in Plant Physiology**, v. 2, p. 1331421, 2024.

FAO. **The state of food security and nutrition in the world 2022**. Rome: FAO, 2022.

FUNK, C. *et al.* The Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations, Version 3. **Scientific Data**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1-21, abr. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-026-07096-4>. Acesso

Florestas. **IEF**. Disponível em: <<https://www.ief.mg.gov.br/florestas>>. Acesso em: 24 jun. 2025.

GOOGLE EARTH ENGINE. Script de processamento para séries temporais de LST e precipitação (MODIS/CHIRPS). Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fgustavoalexandre%2FESDLANDS%3ALST_PRECIPITA%C3%87%C3%83O>. Acesso em: 09/05/2026.

GOOGLE EARTH ENGINE. Script de processamento para composições Sentinel-2 (NDVI, RGB, Brightness). Disponível em: <<https://code.earthengine.google.com/3fba4753329ec7d734790a1aaaod8239>>. Acesso em: 09/05/2026.

GOOGLE EARTH ENGINE. Script de processamento para uso e cobertura da terra. Disponível em:

<https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fgustavoalexandre%2FESDLANDS%3AE_S_D>. Acesso em: 09/05/2026.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

GUIMARÃES, D. P. **Climatologia agrícola**. Lavras: UFLA, 2018.

Geovisualizador IDE SISEMA/MG. Gov.br. Disponível em:
<<https://visualizador.idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 18 jun.. 2025.

HARRISON, L. *et al.* Advancing early warning capabilities with CHIRPS-compatible NCEP GEFS precipitation forecasts. **Scientific Data**, 2022.

HELMI, A. M. *et al.* Comparing Remote Sensing and Geostatistical Techniques in Filling Gaps in Rain Gauge Records and Generating Multi-Return Period Isohyetal Maps in Arid Regions—Case Study: Kingdom of Saudi Arabia. **Water**, v. 16, n. 7, 925, 2024. DOI: 10.3390/w16070925. Acesso em: 02/05/2026

IBGE. Clima. **IBGE – Geociências**. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>. Acesso em: 18 jun.. 2025.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IPCC. Climate Change 2019: **Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2019.

LI, Z.-L. *et al.* Satellite remote sensing of global land surface temperature: Definition, Methods, Products, and Applications. **Reviews of Geophysics**, v. 61, e2022RG000777, 2023.

LIU, Z. Comprehensive Evaluation of High-Resolution Satellite Precipitation Products over the Qinghai–Tibetan Plateau Using the New Ground Observation Network. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 15, n. 13, p. 3381, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15133381>. Acesso em: 08/05/2026.

MAIO, M. A. *et al.* **Uso e cobertura da terra e sensoriamento remoto. In: Sensoriamento remoto e geoprocessamento para estudos ambientais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

MAPBIOMAS BRASIL. **Códigos de legenda. MapBiomas**. Disponível em:
<https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

MAOLAN, K. *et al.* Sentinel-2 image based smallholder crops classification and accuracy assessment by UAV data. **Geocarto International**, v. 39, n. 1, 2361733, 2024. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2361733>. Acesso em: 08/05/2026

MORTON, L. W. *et al.* Climate, Weather and Strawberries. **Sociology Technical Report 1047**. Ames, Iowa: Department of Sociology, Iowa State University, 2017. 16 p.

QUIRÓS, E.; FRAGOSO-CAMPÓN, L. Spatial analysis of remote sensing and meteorological indices in a drought event in southwestern Spain. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, p. 3757-3770, 2024. DOI: 10.1007/s00704-024-04846-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04846-5>. Acesso em: 03/05/2026

Repositório Institucional de Geociências: Home. Gov.br. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

REPOSITÓRIO Institucional de Geociências: Home. Gov.br. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SANDEEP, P. *et al.* Monitoring of agricultural drought in semi-arid ecosystem of Peninsular India through indices derived from time-series CHIRPS and MODIS datasets. **Ecological Indicators**, v. 125, 2021.

SANTOS, R. **Doenças do morango no Brasil**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993.

SEGARRA, J. *et al.* Remote Sensing for Precision Agriculture: Sentinel-2 Improved Features and Applications. **Agronomy**, v. 10, n. 5, 641, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10050641>. Acesso em: 07/05/2026

SENAR. **Cartilha de boas práticas no cultivo do morango**. Belo Horizonte: SENAR-MG, 2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Olericultura: cultivo do morango. Brasília:** Senar, 2019. 80 p. (Coleção Senar, 238).

SHI, S. *et al.* Quantitative Analysis of the Contributions of Climatic and Anthropogenic Factors to the Variation in Net Primary Productivity, China. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, 789, 2023. DOI: 10.3390/rs15030789. Acesso em: 01/05/2026

TOPODATA - **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Inpe.br. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 2 de jun. 2025.

TORRES, R. R. MACHADO, C. J. S. **Fundamentos de climatologia**. Belo Horizonte: Autêntica, 2019.

ULLAH, S. *et al.* High-temperature stress in strawberry: understanding physiological, biochemical and molecular responses. **Horticulture Research**, v. 11, e387, 2024.

WAN, Z. **MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide: Collection-6**. Santa Barbara: University of California, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.061>. Acesso em: 08/05/2026

ZHOU, J.; LU, T. Long-Term Spatial and Temporal Variation of Near Surface Air Temperature in Southwest China During 1969–2018. **Frontiers in Earth Science**, v. 9, 753757, 2021. DOI: 10.3389/feart.2021.753757.