RGe ISSN: 2177-3246

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA O MONITORAMENTO TÉRMICO DE ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF REMOTE SENSING FOR THERMAL MONITORING OF SOLID WASTE DISPOSAL AREAS IN PERNAMBUCO STATE, BRAZIL

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA TELEDETECCIÓN PARA EL MONITOREO TÉRMICO DE ÁREAS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL

10.56238/revgeov17n6-089

Camila de Melo Tavares
Mestre em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
E-mail: camila.mtavares@ufpe.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2470-1480
Lattes: http://lattes.cnpq.br/8781935252216463

José Fernando Thomé Jucá
Doutor em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
E-mail: jucah@ufpe.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-8956-7905
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4911355639660442

Maria Odete Holanda Mariano
Doutora em Engenharia Civil
Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
E-mail: odete.mariano@ufpe.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6027-0510
Lattes: http://lattes.cnpq.br/5767436323453224

RESUMO
O monitoramento ambiental de áreas de disposição de resíduos sólidos é fundamental para a avaliação das condições ambientais associadas a esses locais, sendo o sensoriamento remoto uma ferramenta capaz de fornecer informações espaciais e temporais em diferentes escalas. Neste contexto, o presente estudo avaliou o comportamento térmico de 17 áreas de disposição de resíduos sólidos localizadas no estado de Pernambuco por meio de dados de temperatura superficial terrestre obtidos do produto MOD11A1 do sensor MODIS, processados na plataforma Google Earth Engine. As análises contemplaram os períodos de verão e inverno de 2019, considerando condições diurnas e noturnas, além de avaliações espaciais e temporais da temperatura superficial. Os resultados evidenciaram diferenças térmicas entre as áreas avaliadas, indicando a ocorrência de distintos padrões de temperatura

superficial terrestre. De modo geral, os maiores valores foram observados durante o período diurno de verão, enquanto os menores ocorreram durante os períodos noturnos e durante o inverno. Entre as áreas analisadas, o município de Iati apresentou destaque recorrente nas avaliações de temperatura máxima, mínima e média, além de persistência desse comportamento nas análises temporais realizadas. Os resultados demonstram que a utilização de dados orbitais de temperatura superficial terrestre permite identificar padrões térmicos espaciais e temporais em áreas de disposição de resíduos sólidos, contribuindo para o monitoramento ambiental em escala regional.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Temperatura Superficial Terrestre. Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

Environmental monitoring of solid waste disposal sites is essential for assessing the environmental conditions associated with these areas, and remote sensing has emerged as a valuable tool for providing spatial and temporal information at different scales. In this context, this study evaluated the thermal behavior of 17 solid waste disposal sites located in the state of Pernambuco, northeastern Brazil, using land surface temperature (LST) data derived from the MOD11A1 product of the MODIS sensor and processed through the Google Earth Engine platform. The analyses included summer and winter periods of 2019 under both daytime and nighttime conditions, as well as spatial and temporal assessments of land surface temperature. The results revealed thermal differences among the evaluated sites, indicating the occurrence of distinct land surface temperature patterns. In general, the highest temperatures were observed during daytime in summer, whereas the lowest values occurred during nighttime and winter periods. Among the evaluated sites, the municipality of Iati consistently exhibited the highest maximum, minimum, and mean temperature values, as well as persistence of this behavior throughout the temporal analyses. The findings demonstrate that orbital land surface temperature data can be used to identify spatial and temporal thermal patterns in solid waste disposal areas, contributing to environmental monitoring at a regional scale.

Keywords: Remote Sensing. Land Surface Temperature. Solid Waste.

RESUMEN

El monitoreo ambiental de áreas de disposición de residuos sólidos es fundamental para la evaluación de las condiciones ambientales asociadas a estos sitios, siendo la teledetección una herramienta capaz de proporcionar información espacial y temporal a diferentes escalas. En este contexto, el presente estudio evaluó el comportamiento térmico de 17 áreas de disposición de residuos sólidos ubicadas en el estado de Pernambuco, Brasil, mediante datos de temperatura superficial terrestre obtenidos del producto MOD11A1 del sensor MODIS y procesados en la plataforma Google Earth Engine. Los análisis incluyeron los períodos de verano e invierno de 2019, considerando condiciones diurnas y nocturnas, además de evaluaciones espaciales y temporales de la temperatura superficial terrestre. Los resultados evidenciaron diferencias térmicas entre las áreas evaluadas, indicando la existencia de distintos patrones de temperatura superficial terrestre. En general, los valores más elevados se registraron durante el período diurno de verano, mientras que los más bajos ocurrieron durante los períodos nocturnos y durante el invierno. Entre las áreas analizadas, el municipio de Iati presentó un comportamiento destacado en las evaluaciones de temperatura máxima, mínima y media, además de mantener este patrón en los análisis temporales realizados. Los resultados demuestran que el uso de datos orbitales de temperatura superficial terrestre permite identificar patrones térmicos espaciales y temporales en áreas de disposición de residuos sólidos, contribuyendo al monitoreo ambiental a escala regional.

Palabras clave: Teledetección. Temperatura Superficial Terrestre. Residuos Sólidos.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a urbanização acelerada e o aumento dos padrões de consumo têm contribuído para a elevação contínua da geração de resíduos sólidos urbanos em todo o mundo. Como consequência, a disposição final desses resíduos permanece como um dos principais desafios ambientais enfrentados pelos sistemas de gestão de resíduos, exigindo mecanismos capazes de assegurar o monitoramento e o controle ambiental dessas áreas ao longo do tempo (Abrelpe, 2023; Brasil, 2010).

As áreas de disposição de resíduos sólidos constituem ambientes complexos e dinâmicos, nos quais ocorrem diversos processos físicos, químicos e biológicos que podem influenciar as condições ambientais locais. Em razão dessas características, o monitoramento ambiental dessas áreas desempenha papel fundamental na avaliação de seu comportamento temporal, na identificação de alterações ambientais e no suporte à tomada de decisão pelos órgãos gestores e operadores dos empreendimentos (Castilhos Júnior, 2003; Jucá, 2003).

Tradicionalmente, o monitoramento dessas áreas é realizado por meio de inspeções de campo, levantamentos topográficos, análises ambientais e instrumentação geotécnica. Entretanto, tais procedimentos frequentemente demandam elevados custos operacionais, mão de obra especializada e campanhas periódicas de aquisição de dados, o que pode limitar sua aplicação em escalas espaciais mais amplas. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem se consolidado como uma importante ferramenta complementar de monitoramento ambiental, permitindo a obtenção de informações espaciais e temporais de forma sistemática, não invasiva e com ampla cobertura geográfica (Papale *et al*., 2023; Fraternali *et al*., 2024).

O avanço dos sensores orbitais e a crescente disponibilidade de dados geoespaciais ampliaram significativamente as possibilidades de aplicação do sensoriamento remoto em estudos ambientais. De acordo com Papale *et al*. (2023), imagens de satélite têm sido empregadas no monitoramento de aterros e áreas de disposição de resíduos para avaliação de alterações superficiais, detecção de anomalias ambientais e acompanhamento temporal das condições desses locais. Revisão recente conduzida por Fraternali *et al*. (2024) destaca ainda que as técnicas de sensoriamento remoto vêm assumindo papel cada vez mais relevante na identificação, caracterização e monitoramento de áreas de disposição de resíduos em diferentes escalas espaciais.

Entre os diversos produtos derivados do sensoriamento remoto, a temperatura superficial terrestre (Land Surface Temperature – LST) destaca-se por sua ampla utilização em estudos relacionados ao monitoramento ambiental, mudanças de uso e cobertura do solo, clima urbano e avaliação de padrões espaciais. A disponibilidade de séries temporais de temperatura superficial possibilita identificar variações espaciais e temporais da superfície terrestre, fornecendo informações que podem contribuir para análises ambientais em escala regional.

Paralelamente, plataformas de processamento em nuvem têm revolucionado a forma como grandes volumes de dados geoespaciais são armazenados, processados e analisados. Nesse contexto, o Google Earth Engine (GEE) destaca-se como uma das principais plataformas para análise geoespacial em larga escala, disponibilizando acesso a extensos acervos de imagens orbitais e recursos computacionais capazes de viabilizar análises multitemporais de forma rápida e eficiente (Gorelick *et al*., 2017).

Embora o uso do sensoriamento remoto para monitoramento ambiental venha crescendo significativamente nos últimos anos, ainda são limitados os estudos voltados à avaliação do potencial da temperatura superficial como ferramenta para identificação de padrões térmicos em áreas de disposição de resíduos sólidos em escala regional, especialmente no contexto brasileiro. Dessa forma, a utilização de dados orbitais pode contribuir para o desenvolvimento de metodologias complementares de monitoramento ambiental, auxiliando na identificação de áreas com comportamento térmico diferenciado e na priorização de investigações de campo.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o potencial do sensoriamento remoto para o monitoramento térmico de áreas de disposição de resíduos sólidos no estado de Pernambuco, por meio da análise de padrões térmicos obtidos a partir de dados de temperatura superficial processados na plataforma Google Earth Engine.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE COMO VARIÁVEL DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

A temperatura superficial terrestre (Land Surface Temperature – LST) corresponde à temperatura radiométrica da superfície observada pelos sensores termais orbitais, constituindo uma das principais variáveis utilizadas em estudos ambientais. Segundo Jensen (2009), a energia térmica emitida pelos diferentes alvos da superfície terrestre pode ser detectada por sensores remotos, permitindo a obtenção de informações relacionadas ao comportamento térmico de áreas naturais e antropizadas.

Nas últimas décadas, a temperatura superficial tem sido amplamente empregada em estudos relacionados às mudanças de uso e cobertura do solo, ilhas de calor urbanas, monitoramento ambiental, recursos hídricos e avaliação de impactos ambientais. De acordo com Hereher (2016), a análise espacial da temperatura superficial possibilita identificar padrões térmicos associados às características da superfície terrestre e às condições ambientais locais.

A utilização de séries temporais de temperatura superficial apresenta especial relevância para estudos ambientais, uma vez que permite avaliar a variabilidade espacial e temporal dos fenômenos observados. Segundo Li *et al.* (2013), a disponibilidade de dados orbitais de temperatura superficial

terrestre possibilita a análise de padrões térmicos em diferentes escalas espaciais e temporais, contribuindo para a compreensão da dinâmica ambiental e para o monitoramento de alterações observadas na superfície terrestre.

Além disso, a disponibilidade contínua de dados orbitais favorece o monitoramento de grandes áreas geográficas, possibilitando análises que seriam operacionalmente inviáveis por meio de campanhas convencionais de campo. Nesse contexto, a temperatura superficial tem sido cada vez mais utilizada como variável complementar em programas de monitoramento ambiental e avaliação territorial.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MONITORAMENTO DE ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O sensoriamento remoto tem desempenhado papel crescente no monitoramento ambiental devido à sua capacidade de fornecer informações espaciais e temporais de forma contínua, não invasiva e economicamente viável. Segundo Schowengerdt (2007), os sistemas orbitais possibilitam a observação sistemática da superfície terrestre, permitindo o acompanhamento de transformações ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais.

No contexto das áreas de disposição de resíduos sólidos, as técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas para identificação de áreas de descarte, monitoramento de alterações superficiais, análise de expansão de empreendimentos e acompanhamento de parâmetros ambientais. Coppin *et al.* (2004) destaca que o sensoriamento remoto possibilita o monitoramento contínuo de alterações ambientais por meio da análise temporal de dados espaciais, contribuindo para avaliações que seriam de difícil execução apenas com campanhas de campo.

Papale *et al.* (2023), em revisão sobre aplicações de sensoriamento remoto no monitoramento de aterros e áreas de disposição de resíduos, observaram que imagens orbitais podem fornecer informações relevantes para avaliação ambiental desses locais, permitindo a identificação de alterações espaciais, anomalias superficiais e tendências temporais. De forma semelhante, Fraternali *et al.* (2024) destacam que a crescente disponibilidade de dados orbitais e o avanço dos métodos de processamento vêm ampliando significativamente as aplicações do sensoriamento remoto em estudos relacionados aos resíduos sólidos.

Esses avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de metodologias de monitoramento ambiental capazes de integrar informações obtidas por sensores remotos e análises geoespaciais, favorecendo avaliações em escala regional e subsidiando processos de tomada de decisão.

2.3 IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES TÉRMICOS E ANOMALIAS AMBIENTAIS POR SENSORIAMENTO REMOTO

A identificação de padrões térmicos por meio de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizada em estudos voltados à caracterização ambiental e ao monitoramento territorial. Segundo Jensen (2009), diferenças observadas na temperatura superficial podem refletir características distintas dos alvos terrestres, permitindo a identificação de comportamentos espaciais diferenciados em uma determinada área de estudo.

Nos últimos anos, a análise de anomalias térmicas passou a ser utilizada em diferentes aplicações ambientais, incluindo monitoramento de áreas urbanas, atividades industriais, recursos naturais e áreas potencialmente impactadas por atividades antrópicas. Nesses estudos, o objetivo principal não consiste necessariamente em determinar a causa direta das variações térmicas observadas, mas identificar padrões espaciais e temporais que possam indicar a necessidade de investigações complementares.

Segundo Papale *et al.* (2023), o sensoriamento remoto apresenta elevado potencial para aplicações de monitoramento ambiental preliminar, permitindo identificar áreas que merecem avaliações mais detalhadas em campo. Essa abordagem tem se mostrado particularmente relevante em estudos conduzidos em escala regional, nos quais o monitoramento convencional de múltiplos locais pode apresentar limitações operacionais e econômicas.

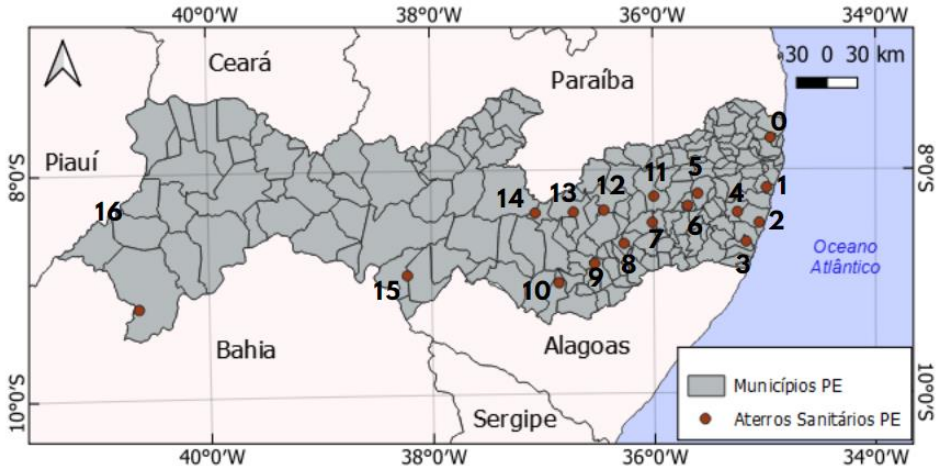
Nesse contexto, a análise de padrões térmicos obtidos por sensoriamento remoto constitui uma ferramenta promissora para o monitoramento ambiental de áreas de disposição de resíduos sólidos, possibilitando a identificação de comportamentos térmicos diferenciados e contribuindo para a priorização de ações de inspeção e investigação ambiental.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em 17 áreas de disposição de resíduos sólidos localizadas no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 1). As áreas selecionadas encontram-se distribuídas em diferentes regiões do estado, abrangendo municípios inseridos em distintos contextos climáticos e ambientais. Essa distribuição espacial possibilitou a realização de análises comparativas em escala regional, permitindo avaliar a variabilidade dos padrões térmicos observados entre os diferentes locais estudados.

Figura 1. Distribuição das 17 áreas de disposição de resíduos sólidos utilizadas no estudo no estado de Pernambuco.



Fonte: Os Autores (2026).

As coordenadas geográficas das áreas foram obtidas por meio de técnicas de geoprocessamento e posteriormente utilizadas para extração dos dados de temperatura superficial terrestre. A identificação dos locais analisados foi realizada a partir de imagens de satélite disponíveis na plataforma Google Earth Pro, permitindo a delimitação das áreas de disposição de resíduos sólidos e a obtenção de suas respectivas coordenadas geográficas (Tabela 1).

Tabela 1. Coordenadas geográficas das áreas de disposição de resíduos sólidos analisados.

Ponto	**Área de disposição de resíduos sólidos**	**Coordenadas**	
		Longitude	**Latitude**
0	CTR Pernambuco	-34.95	-7.71
1	CTR Candeias	-34.98	-8.17
2	Aterro Ipojuca	-35.04	-8.48
3	Aterro Rio Formoso	-35.16	-8.65
4	Aterro Escada	-35.24	-8.39
5	Aterro Gravatá	-35.60	-8.22
6	Aterro Sairé	-35.69	-8.33
7	Aterro Altinho	-36.01	-8.48
8	Aterro Lajedo	-36.27	-8.66
9	Aterro Garanhuns	-36.53	-8.84
10	Aterro Iati	-36.85	-9.01
11	Aterro Caruaru	-36.00	-8.20
12	Aterro Belo Jardim	-36.44	-8.36
13	Aterro Pesqueira	-36.72	-8.38
14	Aterro Arcoverde	-37.07	-8.39
15	Aterro Petrolândia	-38.23	-8.93
16	Aterro Petrolina	-40.50	-9.37

Fonte: Os Autores (2026).

3.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE

A temperatura superficial terrestre (Land Surface Temperature – LST) representa a temperatura radiométrica da superfície observada por sensores orbitais e constitui uma importante variável utilizada em estudos ambientais e de monitoramento territorial (Jensen, 2009).

Para este estudo foram utilizados dados do produto MOD11A1, disponibilizado pelo sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), a bordo do satélite Terra. Esse produto fornece estimativas diárias de temperatura superficial terrestre com resolução espacial aproximada de 1 km, sendo amplamente empregado em estudos climáticos e ambientais devido à sua cobertura global e elevada disponibilidade temporal (Wan, 2014).

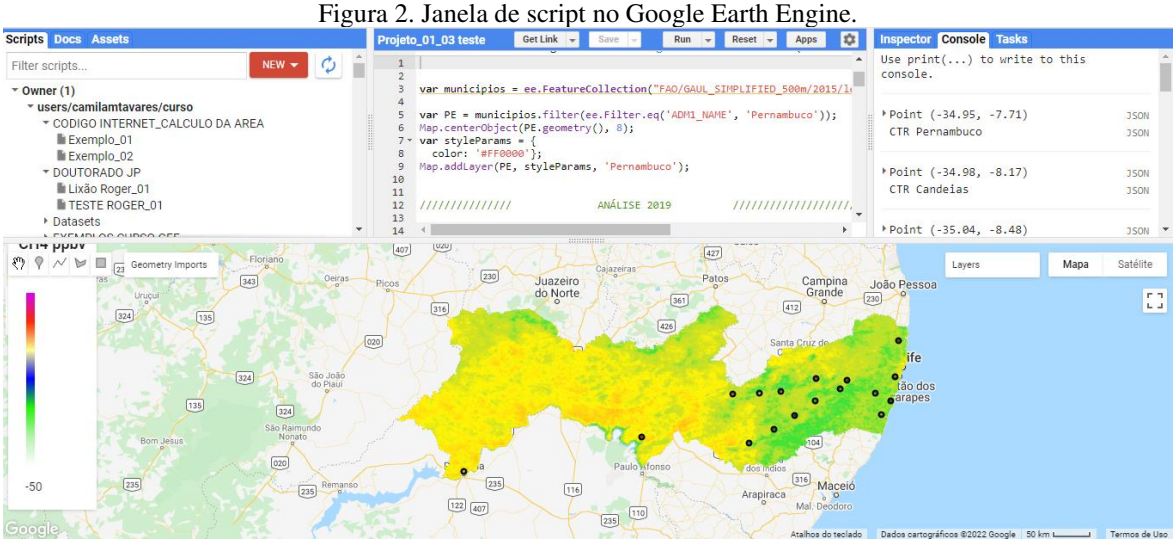
Foram analisadas as bandas LST_Day_1km e LST_Night_1km, correspondentes às temperaturas superficiais diurnas e noturnas, respectivamente.

Foi selecionado o ano de 2019 para aplicação da metodologia proposta devido à disponibilidade completa e consistente dos dados de temperatura superficial terrestre, permitindo a realização das análises sazonais e temporais necessárias ao estudo. A escolha desse período possibilitou a comparação entre condições representativas de verão e inverno, bem como a avaliação dos padrões térmicos diurnos e noturnos nas áreas investigadas.

3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS NO GOOGLE EARTH ENGINE

O processamento dos dados foi realizado na plataforma Google Earth Engine (GEE), ambiente computacional baseado em nuvem desenvolvido para armazenamento, processamento e análise de grandes volumes de dados geoespaciais (Gorelick *et al*., 2017). A Figura 2 apresenta a janela de comando do GEE onde é possível o usuário criar se próprio script utilizando programação.

Figura 2. Janela de script no Google Earth Engine.



Fonte: Os Autores (2026).

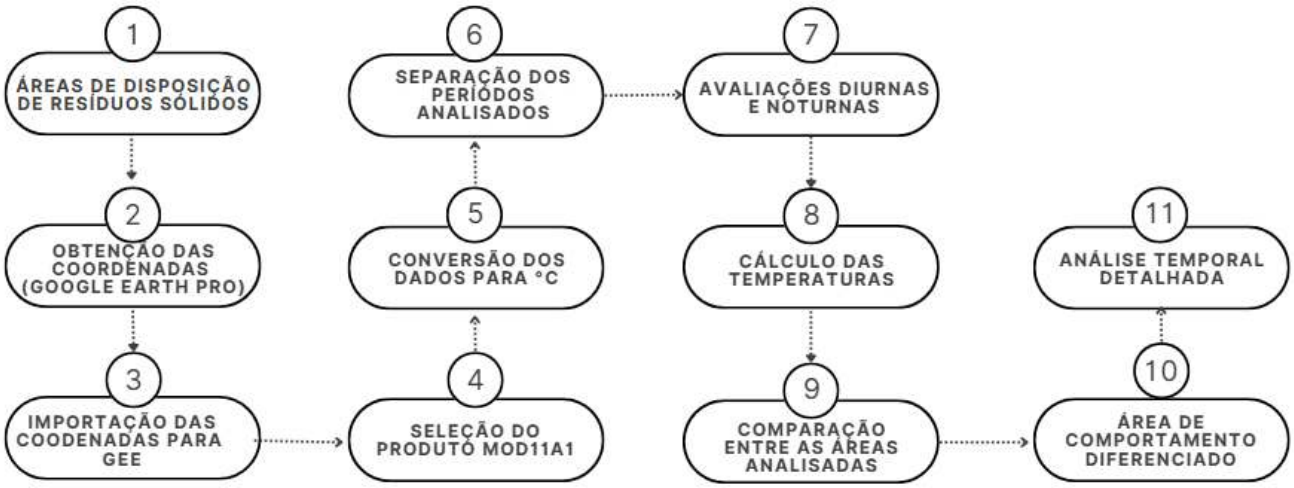
Inicialmente, as áreas delimitadas no Google Earth Pro foram inseridas no ambiente do GEE por meio de rotinas desenvolvidas em linguagem JavaScript. Em seguida, foram aplicados filtros espaciais e temporais para seleção das imagens correspondentes às áreas de estudo e aos períodos analisados.

Foram definidos dois intervalos sazonais representativos:

- Inverno: 22 de maio de 2019 a 21 de julho de 2019;
- Verão: 21 de novembro de 2019 a 20 de janeiro de 2020.

As imagens selecionadas foram processadas para obtenção das temperaturas superficiais diurnas e noturnas. Os valores originais do produto MOD11A1 foram convertidos para graus Celsius utilizando os fatores de correção recomendados pela documentação oficial do produto MODIS (Wan, 2014). A Figura 3 apresenta o fluxograma com todas as etapas realizadas no desenvolvimento da pesquisa.

Figura 3. Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Os Autores (2026).

3.4 ANÁLISE DOS PADRÕES TÉRMICOS

A análise dos padrões térmicos foi realizada por meio da comparação das temperaturas superficiais observadas nas 17 áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas.

Inicialmente foram calculadas as temperaturas máximas, mínimas e médias para cada área de estudo, considerando os períodos de verão e inverno e as condições diurnas e noturnas. Posteriormente, os resultados foram comparados buscando identificar diferenças espaciais e sazonais entre os locais analisados.

Além da análise comparativa entre os locais de disposição de resíduos sólidos, foi realizada uma avaliação temporal detalhada da área que apresentou comportamento térmico diferenciado em relação às demais, com o objetivo de verificar a persistência dos padrões observados ao longo do período estudado.

A interpretação dos resultados foi baseada na identificação de padrões térmicos recorrentes e de possíveis anomalias observadas entre as áreas investigadas, considerando o potencial da temperatura superficial terrestre como variável complementar para aplicações de monitoramento ambiental por sensoriamento remoto.

3.5 ELABORAÇÃO DOS MAPAS E GRÁFICOS

Os resultados obtidos foram organizados em mapas temáticos, gráficos comparativos e séries temporais, permitindo a visualização da distribuição espacial das temperaturas superficiais e a comparação dos padrões térmicos observados entre as áreas de disposição de resíduos sólidos.

Os produtos cartográficos e gráficos gerados foram utilizados para subsidiar as análises de variabilidade espacial, sazonal e temporal das temperaturas superficiais, bem como para avaliação do potencial do sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento ambiental em escala regional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

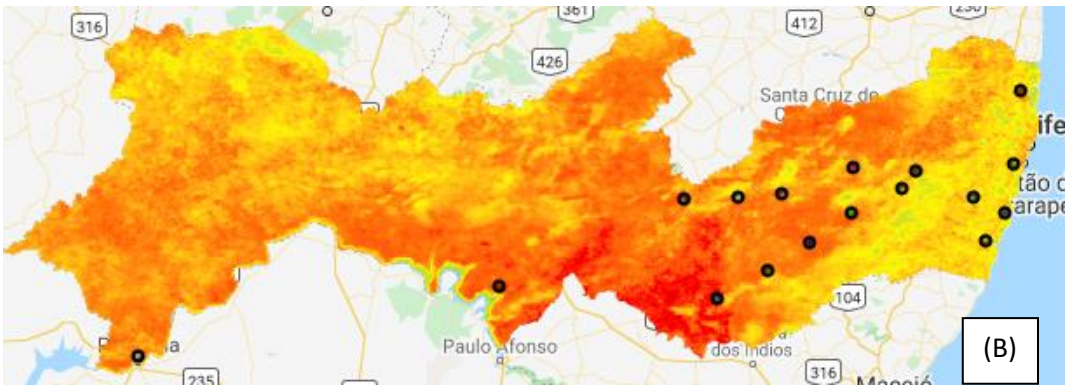
4.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA SUPERFICIAL EM PERNAMBUCO

A temperatura superficial terrestre constitui uma importante variável para análise das condições térmicas da superfície, sendo amplamente empregada em estudos ambientais e aplicações de sensoriamento remoto (Jensen, 2009; Li *et al.,* 2013). Os dados obtidos para o estado de Pernambuco evidenciaram diferenças espaciais e sazonais nos padrões de temperatura superficial observados ao longo do período analisado.

As distribuições espaciais da temperatura superficial terrestre para os períodos representativos de verão e inverno de 2019 são apresentadas nas Figuras 4 e 5. As imagens contemplam os períodos diurno e noturno, permitindo avaliar a influência da sazonalidade e do período do dia sobre os padrões térmicos observados no estado de Pernambuco.

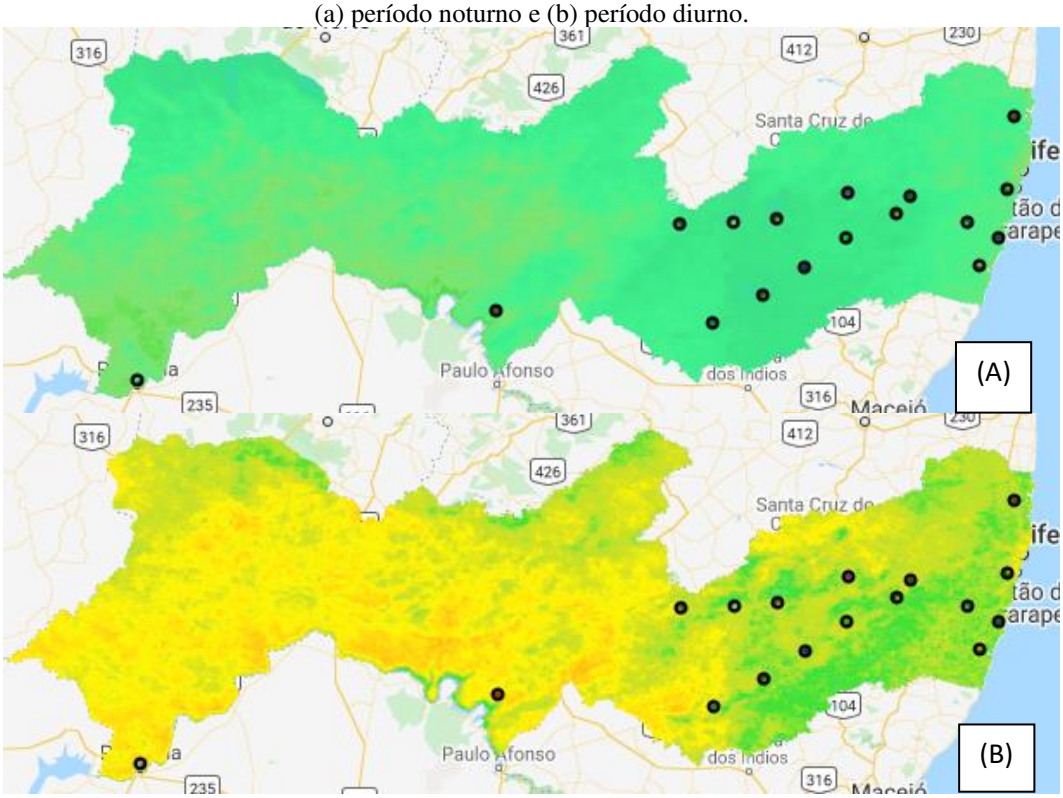
Figura 4. Distribuição espacial da temperatura superficial terrestre no estado de Pernambuco durante o verão de 2019: (a) período noturno e (b) período diurno.





Fonte: Os Autores (2026).

Figura 5. Distribuição espacial da temperatura superficial terrestre no estado de Pernambuco durante o inverno de 2019: (a) período noturno e (b) período diurno.



Fonte: Os Autores (2026).

Observou-se que os maiores valores de temperatura superficial ocorreram durante o período diurno, especialmente no verão, enquanto os menores valores foram registrados durante o período noturno e durante o inverno. Esse comportamento é compatível com a dinâmica térmica da superfície terrestre, influenciada principalmente pela disponibilidade de radiação solar ao longo do ano (Voogt; Oke, 2003).

As Figuras 4 e 5 também evidenciam diferenças espaciais na distribuição da temperatura superficial ao longo do estado de Pernambuco. Embora tenha sido observada uma tendência sazonal comum, verificou-se a ocorrência de distintos padrões térmicos entre as regiões analisadas. Resultados semelhantes foram reportados por Li *et al.* (2013), que destacam a influência das condições ambientais e climáticas locais sobre a variabilidade espacial da temperatura superficial terrestre.

Além das diferenças sazonais, verificou-se a ocorrência de variabilidade espacial da temperatura superficial ao longo do território pernambucano. As áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas encontram-se distribuídas em regiões com distintas características ambientais, climáticas e de uso e cobertura da terra, fatores frequentemente associados às diferenças observadas nos padrões térmicos da superfície (Hereher, 2016; Li *et al*., 2013).

Outro aspecto relevante refere-se à representação simultânea das áreas estudadas e da temperatura superficial terrestre nos mapas apresentados. A distribuição dos pontos analisados em diferentes regiões do estado permitiu contextualizar os resultados obtidos para cada área em relação ao comportamento térmico regional, possibilitando uma análise integrada dos padrões observados.

Os resultados demonstram o potencial do sensoriamento remoto para obtenção de informações térmicas em escala regional, permitindo a avaliação simultânea de múltiplas áreas distribuídas geograficamente. Segundo Gorelick e*t al*. (2017), o uso de plataformas de processamento em nuvem associadas a produtos orbitais favorece a realização de análises ambientais multitemporais em larga escala, ampliando significativamente as possibilidades de monitoramento ambiental. Nesse contexto, a utilização de dados de temperatura superficial terrestre mostrou-se adequada para identificação e acompanhamento de padrões térmicos em áreas de disposição de resíduos sólidos.

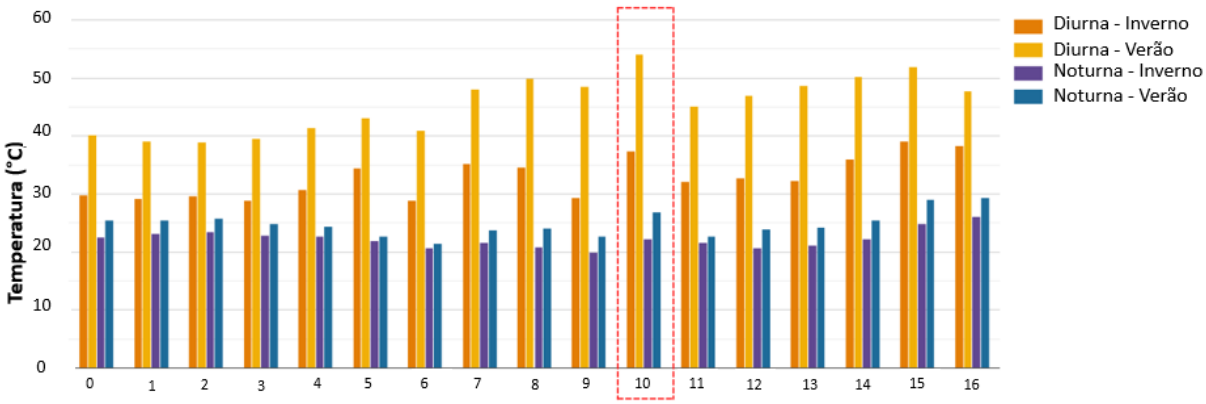
4.2 COMPARAÇÃO TÉRMICA ENTRE AS ÁREAS ESTUDADAS

As temperaturas máximas, mínimas e médias observadas nas áreas de disposição de resíduos sólidos analisadas são apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8. Os resultados permitiram avaliar a variabilidade térmica existente entre os diferentes locais estudados no estado de Pernambuco, considerando os períodos de verão e inverno, bem como as condições diurnas e noturnas.

Os resultados obtidos evidenciaram que as áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas não apresentaram comportamento térmico uniforme, sendo observadas diferenças entre as temperaturas máximas, mínimas e médias registradas nos diferentes locais estudados. A ocorrência dessa variabilidade térmica é compatível com observações realizadas em estudos de monitoramento ambiental por sensoriamento remoto, nos quais fatores ambientais, climáticos e superficiais influenciam diretamente os padrões de temperatura superficial terrestre (Weng, 2009; Hereher, 2016).

A análise das temperaturas máximas (Figura 6) mostrou que os maiores valores ocorreram predominantemente durante o período diurno de verão, enquanto os menores valores foram observados durante os períodos noturnos. Entre as áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas, o município de Iati (Ponto 10) apresentou o maior valor registrado, superando os valores observados nas demais áreas analisadas. Embora os demais locais também tenham apresentado comportamento sazonal semelhante, observou-se para Iati uma intensidade térmica superior à observada nos demais pontos monitorados.

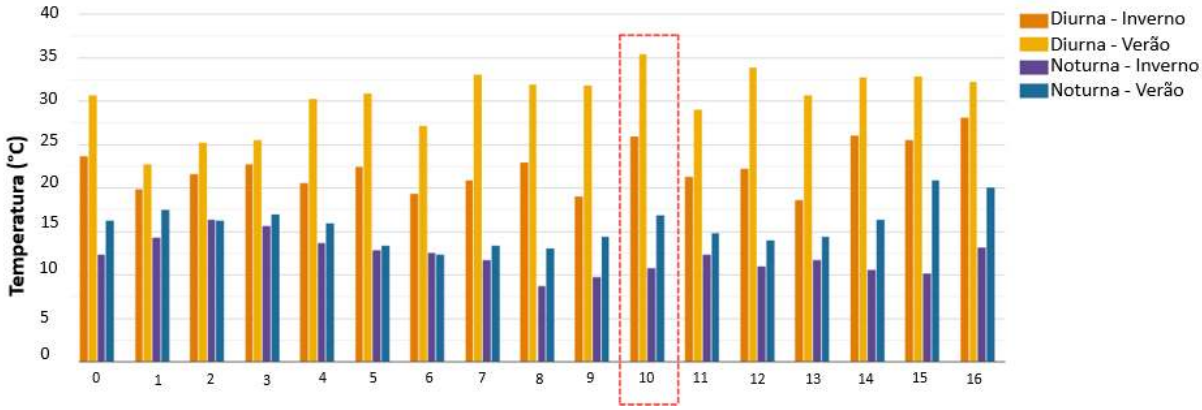
Figura 6. Temperaturas máximas registradas nas áreas de disposição de resíduos sólidos analisadas.



Fonte: Os Autores (2026).

Comportamento semelhante foi identificado para as temperaturas mínimas apresentadas na Figura 7. Os resultados demonstraram que os valores mínimos também variaram entre as áreas avaliadas, indicando que a variabilidade térmica observada não esteve restrita apenas aos valores extremos de temperatura máxima. Verificou-se ainda que o município de Iati permaneceu entre os locais com maiores temperaturas mínimas registradas, evidenciando que seu destaque térmico ocorreu tanto para os valores máximos quanto para os valores mínimos observados.

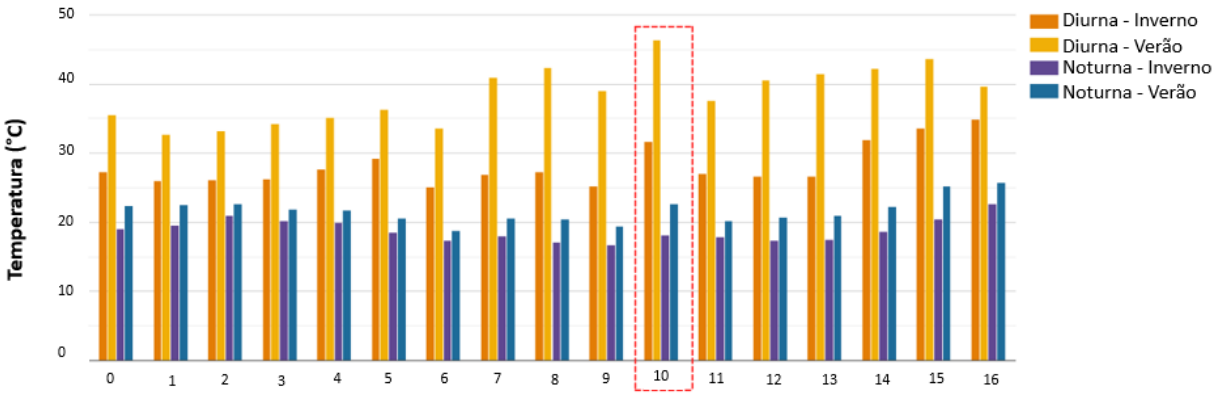
Figura 7. Temperaturas mínimas registradas nas áreas de disposição de resíduos sólidos analisadas.



Fonte: Os Autores (2026).

Os resultados das temperaturas médias (Figura 8) corroboram as observações realizadas para as temperaturas máximas e mínimas. Verificou-se que os maiores valores médios ocorreram durante o período diurno de verão, enquanto os menores valores foram observados nos períodos noturnos. Entre as áreas avaliadas, o município de Iati apresentou os maiores valores médios registrados, destacando-se novamente em relação aos demais locais analisados. A recorrência desse comportamento nas três métricas avaliadas demonstra consistência no padrão térmico observado para essa área.

Figura 8. Temperaturas médias registradas nas áreas de disposição de resíduos sólidos analisadas.



Fonte: Os Autores (2026).

De forma geral, os resultados demonstram a existência de diferenças térmicas entre as áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas, bem como a influência da sazonalidade e do período do dia sobre os valores observados. Estudos conduzidos por Voogt e Oke (2003) e Li *et al.* (2013) destacam que análises espaciais e temporais da temperatura superficial terrestre constituem ferramentas importantes para a identificação de padrões térmicos em diferentes ambientes, permitindo avaliar a variabilidade térmica observada entre áreas submetidas a distintas condições ambientais.

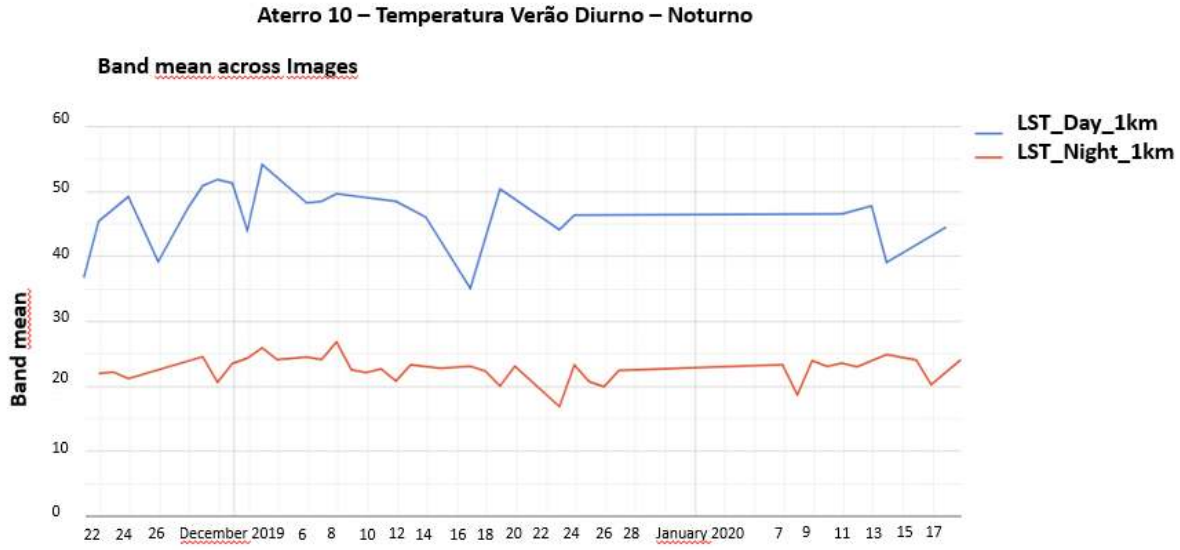
Observou-se ainda que o destaque apresentado pelo município de Iati ocorreu de forma consistente nas análises de temperatura máxima, mínima e média. Esse comportamento diferencia essa área das demais avaliadas e evidencia a importância de análises multitemporais para a identificação de padrões térmicos persistentes em estudos de monitoramento ambiental por sensoriamento remoto.

4.3 AVALIAÇÃO TEMPORAL DA ÁREA COM COMPORTAMENTO TÉRMICO DIFERENCIADO

A área localizada no município de Iati (Ponto 10) foi selecionada para uma análise temporal mais detalhada devido à recorrência de valores superiores aos observados na maior parte das áreas estudadas. O destaque dessa área nas análises de temperatura máxima, mínima e média sugere a existência de um comportamento térmico distinto em relação aos demais locais avaliados.

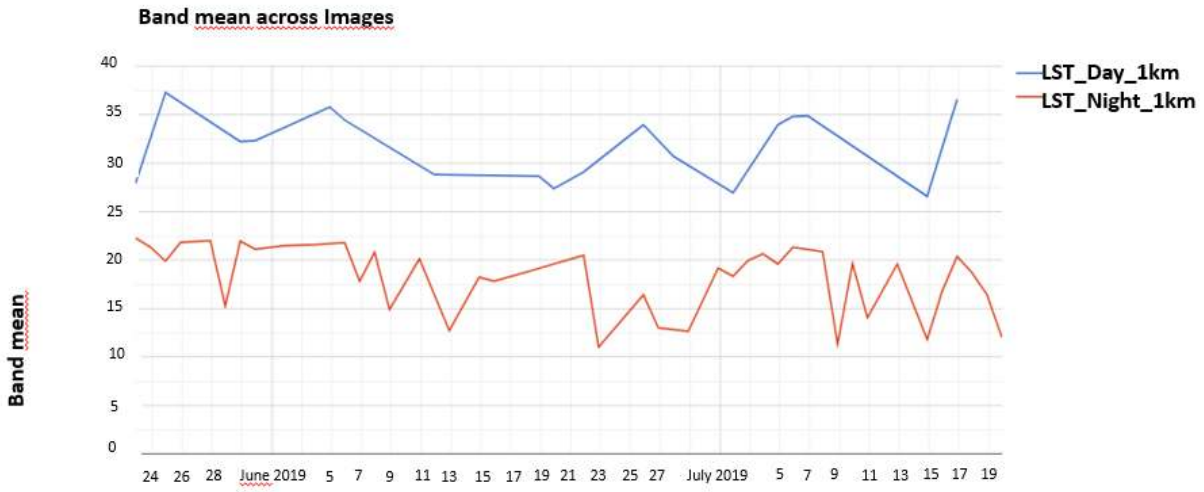
As séries temporais de temperatura superficial terrestre para o município de Iati durante os períodos de verão e inverno são apresentadas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9. Variação temporal da temperatura superficial terrestre no município de Iati durante o período de verão de 2019, considerando as condições diurnas e noturnas.



Fonte: Os Autores (2026).

Figura 10. Variação temporal da temperatura superficial terrestre no município de Iati durante o período de inverno de 2019, considerando as condições diurnas e noturnas.



Fonte: Os Autores (2026).

Observou-se que os maiores valores de temperatura superficial ocorreram durante o período diurno, enquanto os menores valores foram registrados durante o período noturno, comportamento semelhante ao observado para as demais áreas analisadas. Entretanto, os resultados indicam que a área manteve valores relativamente elevados ao longo dos diferentes períodos avaliados, tanto no verão quanto no inverno.

A comparação entre as séries temporais demonstra que o comportamento identificado para o município de Iati não esteve associado a um único evento isolado, mas foi observado de forma recorrente ao longo do período analisado. Essa persistência temporal reforça a consistência dos padrões térmicos previamente identificados nas análises comparativas entre as áreas estudadas.

Segundo Weng (2009), análises multitemporais de temperatura superficial terrestre permitem identificar padrões espaciais e temporais que dificilmente seriam observados por meio de avaliações pontuais. De forma semelhante, Gorelick *et al.* (2017) destacam que a disponibilidade de séries temporais obtidas por sensoriamento remoto amplia significativamente as possibilidades de monitoramento ambiental em escala regional.

Os resultados obtidos demonstram que o comportamento térmico observado para o município de Iati ocorreu de forma recorrente durante os períodos analisados, evidenciando a persistência temporal do padrão identificado para essa área de disposição de resíduos sólidos.

4.4 POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Os resultados obtidos evidenciaram diferenças nos padrões térmicos das áreas de disposição de resíduos sólidos avaliadas, demonstrando que os locais analisados não apresentaram comportamento térmico uniforme. A variabilidade observada entre as temperaturas máximas, mínimas e médias registradas nos diferentes locais é compatível com estudos que apontam a influência de fatores ambientais, climáticos e superficiais sobre a temperatura superficial terrestre obtida por sensoriamento remoto (Weng, 2009; Hereher, 2016).

Além das diferenças observadas entre as áreas avaliadas, verificou-se influência da sazonalidade e do período do dia sobre os valores registrados. De forma geral, as maiores temperaturas ocorreram durante o período diurno de verão, enquanto os menores valores foram observados durante os períodos noturnos e durante o inverno. Esse comportamento está de acordo com a dinâmica térmica da superfície terrestre descrita por Voogt e Oke (2003), que destacam a influência da radiação solar na distribuição espacial e temporal da temperatura superficial.

Outro aspecto relevante observado neste estudo foi a identificação de comportamento térmico diferenciado para o município de Iati. O destaque dessa área foi constatado nas análises de temperatura máxima, mínima e média, bem como nas avaliações temporais realizadas para os períodos de verão e inverno. A recorrência desse comportamento ao longo das diferentes análises sugere que o padrão identificado não esteve associado apenas a variações pontuais registradas durante os períodos avaliados.

Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos que empregam séries temporais de temperatura superficial terrestre para avaliação de padrões térmicos ambientais. Segundo Li *et al.* (2013), análises multitemporais permitem identificar comportamentos persistentes ao longo do tempo, reduzindo a influência de variações meteorológicas de curto prazo e contribuindo para interpretações mais consistentes dos padrões observados.

5 CONCLUSÃO

A metodologia empregada permitiu avaliar o comportamento térmico de áreas de disposição de resíduos sólidos distribuídas em diferentes regiões do estado de Pernambuco, demonstrando a viabilidade da utilização de dados orbitais de temperatura superficial terrestre para análises em escala regional.

Os resultados evidenciaram a ocorrência de diferenças térmicas entre as áreas avaliadas, indicando que os locais estudados não apresentaram comportamento uniforme ao longo dos períodos analisados. Além disso, verificou-se influência da sazonalidade e das condições diurnas e noturnas sobre os valores registrados de temperatura superficial.

Entre as áreas analisadas, o município de Iati apresentou destaque recorrente nas avaliações de temperatura máxima, mínima e média, mantendo comportamento semelhante nas análises temporais realizadas. Esse resultado demonstra a importância da abordagem multitemporal para a identificação de padrões térmicos persistentes em estudos de monitoramento ambiental.

Dessa forma, o sensoriamento remoto mostrou-se uma ferramenta promissora para o acompanhamento térmico de áreas de disposição de resíduos sólidos, permitindo análises comparativas entre diferentes locais e contribuindo para a geração de informações que podem subsidiar ações de monitoramento ambiental.

Recomenda-se que estudos futuros integrem informações de temperatura superficial terrestre com dados ambientais e operacionais das áreas avaliadas, ampliando o entendimento sobre os fatores associados aos padrões térmicos observados.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023. São Paulo: ABRELPE, 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. **Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review**. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 9, p. 1565–1596, 2004.

FRATERNALI, P.; MORANDINI, L.; HERRERA GONZÁLEZ, S. L. **Solid Waste Detection, Monitoring and Mapping in Remote Sensing Images: A Survey.** Waste Management, v. 184, p. 1–18, 2024.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18–27, 2017.

HEREHER, M. E. **Assessment of land surface temperature in relation to land use/land cover changes in Assiut, Egypt.** Journal of African Earth Sciences, v. 120, p. 238–251, 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (Org.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 35–52.

LI, Z.-L.; TANG, B.-H.; WU, H.; REN, H.; YAN, G.; WAN, Z.; TRIGO, I. F.; SOBRINO, J. A. **Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives**. Remote Sensing of Environment, v. 131, p. 14–37, 2013.

PAPALE, L. G.; GUERRISI, G.; DE SANTIS, D.; SCHIAVON, G.; DEL FRATE, F. **Satellite Data Potentialities in Solid Waste Landfill Monitoring: Review and Case Studies**. Sensors, v. 23, n. 8, 3917, 2023.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3. ed. Burlington: Academic Press, 2007.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Thermal remote sensing of urban climates**. Remote Sensing of Environment, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.

WAN, Z. **New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products**. Remote Sensing of Environment, v. 140, p. 36–45, 2014.

WENG, Q. **Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies:**

methods, applications and trends. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 64, n. 4, p. 335–344, 2009.