

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE NO MUNICÍPIO DE MOATIZE, REGIÃO CENTRO DE MOÇAMBIQUE

Victor Benjamin Victor¹, Ringo Benjamin Victor², Ismael Ramos Pereira¹, Gisele Mara Hadlich¹

¹Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Av. Barão de Jeremoabo, s/n. 40170-290 Salvador, BA, victor.valane@gmail.com; iramosgeologo@hotmail.com, giselemara.ufba@gmail.com; ²Universidade Púnguè – Campus Universitário de Cambinde – EN106, Matundo, Cidade de Tete, Moçambique, mgauptete@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu em observar as características térmicas sobre a superfície do município de Moatize, Província de Tete, na região centro de Moçambique nos anos de 2013, 2017 e 2022, nos períodos de verão e inverno, utilizando dados obtidos através do satélite Landsat 8. Foram constatadas fortes reduções da cobertura vegetal e posteriormente um elevado aumento da temperatura ao longo dos anos estudados. As máximas foram obtidas em 2022, com as maiores áreas com temperaturas acima de 35°C, tanto no verão quanto no inverno. Verificou-se ser satisfatório o uso desta técnica para estudos desta natureza para o monitoramento ambiental.

Palavras-chave — *Temperatura de superfície, Landsat 8, Moatize, Moçambique.*

ABSTRACT

This study aims to observe the thermal characteristics on the surface of the municipality of Moatize, Tete Province, in the central region of Mozambique in the years 2013, 2017 and 2022, in the summer and winter periods, using Landsat 8 images. Strong reductions in vegetation cover were identified and subsequently a high increase in temperature over the years studied. The maximums were obtained in 2022, with the largest areas with temperatures above 35°C, both in summer and winter. It is satisfactory to use this technique for studies of this nature for environmental monitoring.

Keywords — *Surface Temperature, Landsat 8, Moatize, Mozambique.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de geotecnologias, com destaque para o sensoriamento remoto (SR) integrado com o sistema de informações geográficas (SIG), possuem grande relevância no auxílio à pesquisa em seus diversos campos [1,2,3]. Deste modo, o sensoriamento remoto, adquiriu nas últimas décadas grande notoriedade no meio acadêmico em função do surgimento e acesso a *hardwares*, *softwares* e produtos

gratuitos, a exemplo das imagens de satélites, dados interferométricos, dentre outros, favorecendo às análises e aplicações, tais como nas pesquisas geográficas [1]. Alguns estudos importantes que utilizaram dados e técnicas de sensoriamento remoto foram feitos com os objetivos de identificar áreas de risco, realizar estudos geológicos, geomorfológicos, analisar crescimento urbano, conforto térmico, uso e cobertura da terra, entre outros [1,4,5,6].

O crescimento urbano e diversas atividades humanas trouxeram consequências de ordem ambiental que podem ser percebidas devido à degradação vegetal e ao aumento da quantidade de construções e coberturas asfaltadas, contribuindo para o grande armazenamento de radiação solar; tal processo intensifica o desconforto térmico [7]. Assim, o clima de uma área urbana sofre alteração local devido à ação do homem na superfície, sendo possível constatar diferenças nos elementos climáticos conforme a influência na cobertura da terra [1,6,7].

É possível demonstrar que as áreas urbanas podem ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite [8]. Sendo assim, pesquisadores como Fialho [9], Souza e Ferreira Júnior [10], Nascimento [11], dentre outros, usaram sistemas de SR com dados de radiação da faixa do infravermelho termal para documentar o efeito de ilha de calor urbana e extrair informações de temperatura da superfície de distintos materiais.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo contribuir na difusão das geotecnologias aplicadas na estimativa da temperatura da superfície no município de Moatize, centro de Moçambique, apresentando a fórmula de obtenção de temperatura da superfície em Celsius utilizando as bandas *Thermal Infrared Sensor* TIRS/Landsat-8, em ambiente SIG, de forma a contribuir significativamente nas pesquisas geográficas relacionadas com o clima regional/urbano, como também na produção de material de apoio para elaboração de diretrizes e planos municipais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo realiza-se no município de Moatize, Província de Tete, tendo como limites oficiais: ao Norte, o distrito de Chiúta e Tsangano; ao Sul os distritos de Tambara,

Guro, Changara e município de Tete; a Leste a República de Malawi; a Oeste, os distritos de Chiúta e Changara (Figura 1). Moatize é predominado pelo clima do tipo estepe local de acordo com a classificação do clima de *Thornthwaite* [12] (sistema de classificação climática).



Figura 1: Localização da área em estudo.

2.1. Aquisição dos Dados

Para o mapeamento da temperatura de superfície – *Landsat Surface Temperature* (LST), foi utilizada a banda 10 das imagens do satélite Landsat 8, relativa aos dois períodos de estudo, inverno e verão, considerando a classificação climática da região. Foram utilizadas as bandas do vermelho e do infravermelho próximo para o cálculo da condição da vegetação (NDVI) e termal (temperatura da superfície terrestre – TST) do Landsat 8. Os atributos referências dos dados são descritos na Tabela 1,

Ano	Data	Hora	Orbita
2013	07/02	07:48:04	168
	30/10	07:48:53	
2017	26/01	07:47:15	
	03/06	07:46:47	
2022	30/04	07:46:56	
	23/10	07:47:46	

Tabela 1. Especificação do período das imagens utilizadas

As imagens foram disponibilizadas em formato GeoTIFF e classificadas como nível 1 ortorretificadas, e foram obtidas a partir do aplicativo da internet Earth Explorer (USGS) [13].

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foi elaborado a partir da seguinte equação:

$$NDVI = (IRIVP - IRV) / (IRIVP + IRV)$$

onde: IRIVP = refletância da banda do infravermelho próximo (banda 5); e IRV = refletância da banda do vermelho (banda 4).

Para elaboração da TST utilizou-se a metodologia da USGS [13] e dos autores Qin, Karnieli e Berliner [14]; Sobrino, Jiménez-Munoz e Paolini [15]; Avdan e Jovanoska [16]; Pires e Ferreira Jr [17]; e Silva e Rangel [18], e envolveu as seguintes etapas: conversão de ND para radiância; conversão de temperatura de brilho do topo da atmosfera; proporção de vegetação; emissividade e temperatura de superfície terrestre.

As fórmulas são mostradas na Tabela 2, onde:

ML = fator de redimensionamento multiplicativo da banda do termal (*metadado*); Qcal = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN na banda termal; AL = fator de redimensionamento aditivo da banda do termal (*metadado*); K₁ = Constante de calibração 1 (*metadado*) e K₂ = Constante de calibração 2 (*metadado*). LST = temperatura corrigida pela emissividade, com °K convertidos em °C; Tb = temperatura do brilho no sensor; Lλ é o comprimento de onda da radiância emitida; P = h × c/σ (1.438 × 10⁻² m k), σ = constante de Boltzmann (1.38 × 10⁻²³ J/K), h = constante de Planck (6.626 × 10⁻³⁴ Js), c = velocidade da luz (2,998 × 10⁸ m/s).

Etapa	Fórmula
Conversão de ND para Radiância	$L_{\lambda} = ML * Qcal + AL$
Conversão de Temperatura de brilho do topo da atmosfera	$Tb = K2 / \ln (K1/L_{\lambda}) + 1$
Proporção da Vegetação (Pv)	$Pv = ((NDVI - NDVImin) / (NDVImax - NDVImin))^2$
Emissividade	$\epsilon = 0.004 * Pv + 0.986$
Temperatura da Superfície Terrestre	$TST = (Tb / (1 + (0,00115 * Tb / 1.4388) * \ln (\epsilon)))$

Tabela 2. Fórmulas utilizadas nos cálculos para obtenção da TST.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas de temperaturas de superfície (Figura 2), obtidos a partir do produto *Landsat* 8, apresentam as temperaturas mínimas para o período do inverno, analisado nos anos 2013, 2017 e 2022, variando entre 16°C e 25°C no inverno e entre 19°C e 26°C no verão. Para as máximas, para o inverno, as temperaturas variaram entre 28°C e 45°C e, para o verão, entre 31°C e 48,5°C, para os respectivos períodos e anos.

Os valores de temperatura foram divididos em 5 (cinco) intervalos de cores, limitados entre 15 e maior que 35 °C, como ilustra o gráfico 1. No ano de 2013, no período de inverno, verifica-se a predominância do tom verde-claro (20 - 25 °C) e amarelo (25 - 30 °C), totalizando 46,56% da área do município (1988,45 km²) e 40,19% (1716,8 km²), respectivamente. As áreas com tonalidade verde-escuro (30 °C), representam pouco menos de 1% da área total do município.

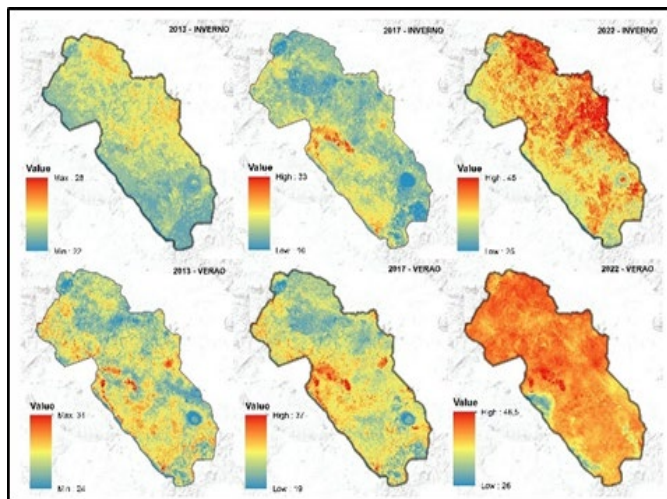


Figura 2. Mapas de distribuição da temperatura nos anos de 2013, 2017 e 2022 para a região estudada.

A partir do verão do mesmo ano em análise, ocorreu um aumento significativo na faixa mais elevada de temperatura, na área de estudada, como demonstra a Figura 3. De forma detalhada, a classe que representa a faixa de temperatura entre 30°C e 35°C ocupou 0,1% de área (0,59 km²) no período do inverno, e aumentou para 18,30% (781,6km²), não desprezando as demais classes de temperaturas que também mantiveram-se elevadas.

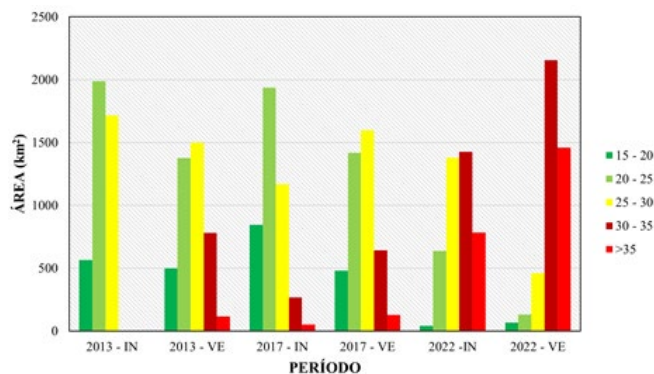


Figura 3. Distribuição das faixas de temperatura nos períodos e anos.

Em 2017, no período de inverno, predomina a classe de temperatura entre 20°C e 25°C, ocupando uma área de 45,35% (1.936,82 km²), seguida da classe correspondente à faixa de 25°C a 30°C que totaliza 27,38% da área total (1.169,59 km²).

No mesmo ano houve um registo significativo de temperaturas na faixa de 30-35°C que não foi registrada no ano de 2013. Esta classe representou um total de 6,27% da área municipal (268,06 km²). A classe representante da faixa de temperatura superior a 35°C representou 1,18 % da aérea do estudo (equivalente a 50,59 km²).

No verão de 2017 prevaleceu a faixa de temperatura entre 20°C e 25°C, com uma diminuição significativa de

45,53% para 33,19% (1.417,73k m²) em relação ao inverno do mesmo ano, e um aumento das classes 25-30°C (de 27,38% para 37,43%; representando 1.598,68 km²) e 30-35°C (de 6,27% para 15,06 %, perfazendo uma área de 643,5 km²). Para a faixa de temperatura acima de 35°C ocorreu um aumento de 1% no inverno para 3% no verão, ocupando uma área de 130,04 km².

Em 2022, as temperaturas mínimas e máximas da superfície terrestre encontradas na região foram as mais elevadas em relação aos anos anteriores, em ambos os períodos. Houve maior destaque para a faixa de temperatura entre 30-35°C, que registou 33,40% da área (1.426,74 km²) no período de inverno e 50,45% (2.154,76 km²) no verão. Para a faixa acima de 35°C, corresponde a 18,38% da área estudada (equivalente a 785,08 km²) no inverno e 34,14% (1.458,41 km²) no verão.

Pela análise da imagem termal da temperatura de superfície para a região de estudo, pode-se concluir que no período entre 2013 até 2022, ocorreu o aumento significativo da temperatura da superfície na região, sendo que em 2022, os períodos de inverno e de verão apresentaram as temperaturas mais elevadas, concentrando-se na faixa de 26°C a 48,5°C.

Possíveis explicações para o aumento das faixas de temperatura ao longo dos anos são: a dinâmica natural do clima local (estepes); o processo de modificação da paisagem natural sofrida pela expansão da mineração de carvão mineral; as queimadas que implica a redução do vigor vegetativo, registrados nos valores baixos de NDVI, assim como algumas mudanças na intensificação de uso da terra, como o processo de urbanização e densidade demográfica (Figura 3).

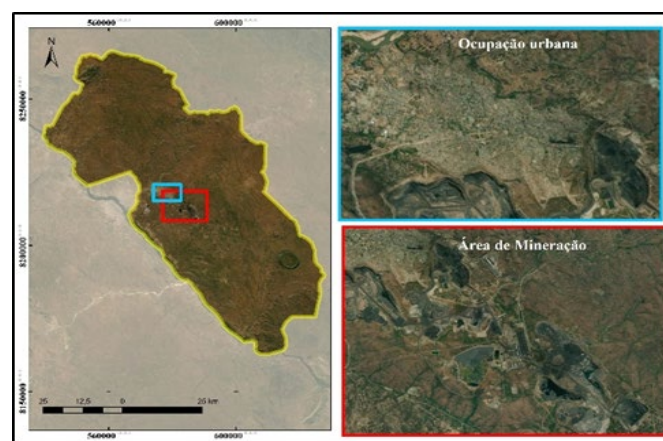


Figura 2. Locais de habitação e mineração observados na área de estudo.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista que o crescimento populacional e a urbanização continuam evoluindo na área estudada, o que pode influenciar na intensificação da temperatura da

superfície devido às constantes alterações no uso e ocupação do solo, faz-se necessária a realização de estudos climáticos mais detalhados acompanhadas de monitoramento das condições do meio, de forma a oferecer suporte à criação de políticas públicas que permitam o melhor planejamento local e regional.

Apesar do cálculo da TST ser uma técnica muito sensível à variação das condições de registro, essas informações podem ser utilizadas, juntamente com outras variáveis, no planejamento territorial, podendo ser útil na definição e monitoramento de áreas críticas evitando maiores impactos futuros.

6. REFERÊNCIAS

- [1] A. L. N. Coelho. Uso de produtos de sensoriamento remoto para delimitação de área efetivamente inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benavente Anchieta-ES. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 4, p. 53-63, 2010.
- [2] P. R. Fitz. Geografia tecnológica. In: *Geoprocessamento sem complicação*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, p 19-29.
- [3] C. P. Lo., A. K. Yeung. *Concepts and techniques of geographic information systems*. Pearson Prentice Hall, 2007.
- [4] A. L. N. Coelho. Sistema de Informações Geográficas (SIG) como suporte na elaboração de Planos Diretores Municipais. *Caminhos de Geografia*, v. 10, p. 93-110, 2009.
- [5] F. J. Ponzoni; Y. E. Shimabukuro. *Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação*. Parêntese, São José dos Campos, 2010.
- [6] J. R. Jensen. Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Ed. Parêntese, São José dos Campos, SP, 598p, 2009.
- [7] J. O. Ayoade. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 15ª ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 2011. 350 p.
- [8] E. B. M. Moreira. *Balanco de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto*. 152f. Universidade Federal de Pernambuco, 2014.
- [9] E. S. Fialho. Estudos climáticos em sítios urbanos e rurais. *Concepções e Ensaio da Climatologia Geográfica* e-book. UFGD Editora, Dourados, 2012. p. 83-112.
- [10] S. B. de Souza, L. G. Ferreira Júnior. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *Revista Espaço Geográfico em Análise*, v. 26, p. 75-99, 2012.
- [11] D. T. F. Nascimento. *Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)*. Universidade Federal de Goiás, 2011. 96 p.
- [12] C. W. Thornthwaite, An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, New York, n. 1, p. 55-94, 1948.
- [13] United States Geological Survey. Using the USGS Landsat Level-1 Data Product. 2018. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Acesso em: 30 out. 2021.
- [14] Z.Quin., A. Karnieli, P. Berliner. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, *International Journal of Remote Sensing*, volume 22, número 18, páginas 3719-3746, 2001.
- [15] J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, L. Paolini. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5, *Elsevier Remote Sensing of Environment*, número 90, páginas 434-440, 2004.
- [16] U. Avdan, G. Jovanoska. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data, *Journal of Sensors*, volume 2016
- [17] E. G. Pires, G. L. Ferreira Jr. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2015, João Pessoa.
- [18] F. S. Silva, M. E. S. Rangel. Avaliação da temperatura superficial terrestre do município de São Luís/MA usando imagens dos sensores TM/LANDSAT-5 e OLI/LANDSAT-8. In: *XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2017.