



Relación espacio-temporal de la temperatura superficial con el tipo de cobertura y uso del suelo, en los barrios del municipio de Paracatu, Mina Gerais, Brasil

Arthur Pereira dos Santos¹; Henzo Henrique Simionatto²; Leticia Tondato Arantes³; Angie Paola Santacruz Salas⁴; Darllan Collins da Cunha e Silva⁵

Recibido: 6 de junio del 2023 / Enviado a evaluar: 20 de junio del 2023 / Aceptado: 22 de enero del 2024

Resumen. Este trabajo aborda la influencia del tipo de cobertura vegetal del suelo, medido a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) con la variación de la Temperatura Superficial (LST) de los barrios del municipio de Paracatu, Mina Gerais (Brasil). Fueron utilizadas imágenes de los satélites Landsat – 5 y 8 y la aplicación de los cálculos permitió verificar que la variación de la LST está relacionado con la supresión de la vegetación por la expansión urbana. Esta eliminación es la responsable de que específicamente el barrio Bom Pastor (28) presente la mayor variación del promedio de la LST con el pasar de los años. El factor vegetativo también fue el responsable para que el barrio Jardim Europa (47) revele una menor fluctuación en el promedio de este parámetro, revelando la importancia de estos resultados para fines de gestión urbana.

Palabras clave: NDVI; NDBI; Expansión urbana; Factor vegetativo.

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología (ICT). Universidad Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, São Paulo (Brasil).

E-mail: arthur.p.santos@unesp.br

² Facultad de Ingeniería de Ilha Solteira (FEIS). Universidad Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, São Paulo (Brasil).

E-mail: henzo.h.simionatto@unesp.br

³ Instituto de Ciencia y Tecnología (ICT). Universidad Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, São Paulo (Brasil).

E-mail: leticia.tondato@unesp.br

⁴ Instituto de Ciencia y Tecnología (ICT). Universidad Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, São Paulo (Brasil).

E-mail: paola.santacruz@unesp.br

⁵ Instituto de Ciencia y Tecnología (ICT) - Universidad Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, São Paulo (Brasil).

E-mail: darllan.collins@unesp.br

[en] Spatial-temporal relationship of surface temperature with the type of cover and land use, in the neighborhoods of the municipality of Paracatu, Minas Gerais, Brazil

Abstract. This work addresses the influence of the type of vegetation cover on soil, measured through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), with the variation of Surface Temperature (LST) in the neighborhoods of the municipality of Paracatu, Minas Gerais (Brazil). Landsat-5 and 8 satellite images were used, and the calculations showed that the variation of LST is related to the suppression of vegetation due to urban expansion. This elimination is responsible for the specific neighborhood of Bom Pastor (28) presenting the highest variation in the average LST over the years. The vegetative factor was also responsible for the Jardim Europa neighborhood (47) revealing a lower fluctuation in the average of this parameter, highlighting the importance of these results for urban management purposes.

Keywords: NDVI; NDBI; Urban expansion; Vegetative factor.

[fr] Relation spatio-temporelle de la température de surface avec le type de couverture et l'utilisation des terres, dans les quartiers de la municipalité de Paracatu, Minas Gerais, Brésil

Résumé. Ce travail aborde l'influence du type de couverture végétale du sol, mesurée à travers l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) et l'Indice de Différence Construite Normalisée (NDBI) avec la variation de la Température de Surface (LST) des quartiers de la municipalité de Paracatu, Minas Gerais (Brésil). Des images des satellites Landsat – 5 et 8 ont été utilisées et l'application des calculs a permis de vérifier que la variation du LST est liée à la suppression de la végétation due à l'expansion urbaine. Cette élimination est responsable du fait que précisément le quartier de Bom Pastor (28) présente la plus grande variation du LST moyen au fil des ans. Le facteur végétal est également responsable du fait que le quartier Jardim Europa (47) révèle une fluctuation plus faible de la moyenne de ce paramètre, révélant l'importance de ces résultats à des fins de gestion urbaine.

Mots-clés: NDVI; NDBI; L'étalement urbain; Facteur végétatif.

Cómo citar. Pereira dos Santos, A., Henrique Simionatto, E., Tondato Arantes, L., Santacruz Salas, A.P. y Collins da Cunha e Silva, D. (2024): Relación espacio-temporal de la temperatura superficial con el tipo de cobertura y uso del suelo, en los barrios del municipio de Paracatu, Minas Gerais, Brasil. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 44(1), 235-249.

Sumario. 1. Introducción. 2. Materiales y métodos. 2.1. Caracterización del área de estudio. 2.2. Selección del periodo analizado, adquisición y normalización de los datos. 2.3. Cálculo de los índices LST, NDVI y NDBI de las imágenes satelitales. 2.4. Estimación de los valores de píxel de la malla urbana y análisis de los datos. 3. Resultados y discusiones. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas.

1. Introducción

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y al Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA) actualmente, el planeta presenta la mayor tasa de crecimiento urbano de la historia, con más de la mitad de la población

mundial residiendo en las ciudades y con la tendencia de que esta tasa aumente en las próximas décadas (UN, 2018; UNFPA, 2020; Lee et al., 2022).

En Brasil, este proceso se inició a mediados de la década de 1970, cuando la disparidad poblacional de las ciudades transformó áreas permeables en impermeables, provocando cambios en el uso, así como también, en la ocupación del suelo, y afectando las funciones ecosistémicas, como el grado de absorción de la radiación solar, al igual que, la transferencia y el almacenamiento de calor del suelo (Hua y Ping, 2018; Choudhury et al., 2019; Das y Angadi, 2020), lo que subsecuentemente generó efectos en el clima local, también conocido como clima urbano (Monteiro, 1976).

El proceso de urbanización origina numerosos impactos ambientales negativos (Cardoso y Amorim, 2017; Kaur y Pandey, 2022), destacando la formación de Islas de Calor Urbanas (ICU), recurrentes a nivel mundial y foco de investigación para diferentes áreas. Así, Lee et al. (2022) y Wang (2022) destacan que estos análisis multidisciplinares son necesarios para que el monitoreo ambiental urbano ocurra de forma efectiva.

La evolución de las investigaciones que involucran la expansión urbana y el uso del suelo presentan un crecimiento gradual, especialmente después del inicio del uso de imágenes satelitales y técnicas de Teledetección, pues, en relación a las mediciones *in situ*, poseen ventajas como bajo costo y observación a gran escala, siendo esenciales para fines de monitoreo ambiental (Pavão et al., 2017).

De acuerdo al autor anteriormente citado, la importancia de esta técnica también se puede relacionar con los análisis de la formación de las ICU, ya que puede identificar patrones espacio-temporales de los parámetros ambientales, con el objetivo de analizar los procesos climatológicos a escala local y global.

Frente a estos indicadores, se destaca el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, siglas de: *Normalized Difference Vegetation Index*), el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI, siglas de: *Normalized Difference Built-up Index*) y la temperatura superficial (LST, siglas de: *Land Surface Temperature*), que, aunque tienen la capacidad de monitorear el cambio espacio-temporal de la cobertura terrestre (Alademomi et al., 2020; Hussain et al., 2020; Chen et al., 2022; Jardim et al., 2022), aún son pocos los estudios que exploran su interrelación, por lo que su investigación es necesaria. Los estudios ambientales sobre este tema aportan información a la climatología geográfica de ciudades de tamaño medio, como Paracatu, que pasaron a presentar un notorio crecimiento económico, lo que reflejó un aumento representativo en el territorio brasileiro.

Además, presentan considerables ventajas para identificar sus paisajes intraurbanos, permitiendo de esta manera una mejor comprensión de la interacción sociedad-naturaleza en la construcción del clima urbano (Mendonça, 1995; Teixeira y Amorim, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar, en el municipio de Paracatu – Mina Gerais (Brasil), las posibles causas de la variación de la LST en su núcleo urbano a lo largo de los años, así como también, analizar los factores que posiblemente son los responsables de que tal cambio ocurriera.

2. Materiales y métodos

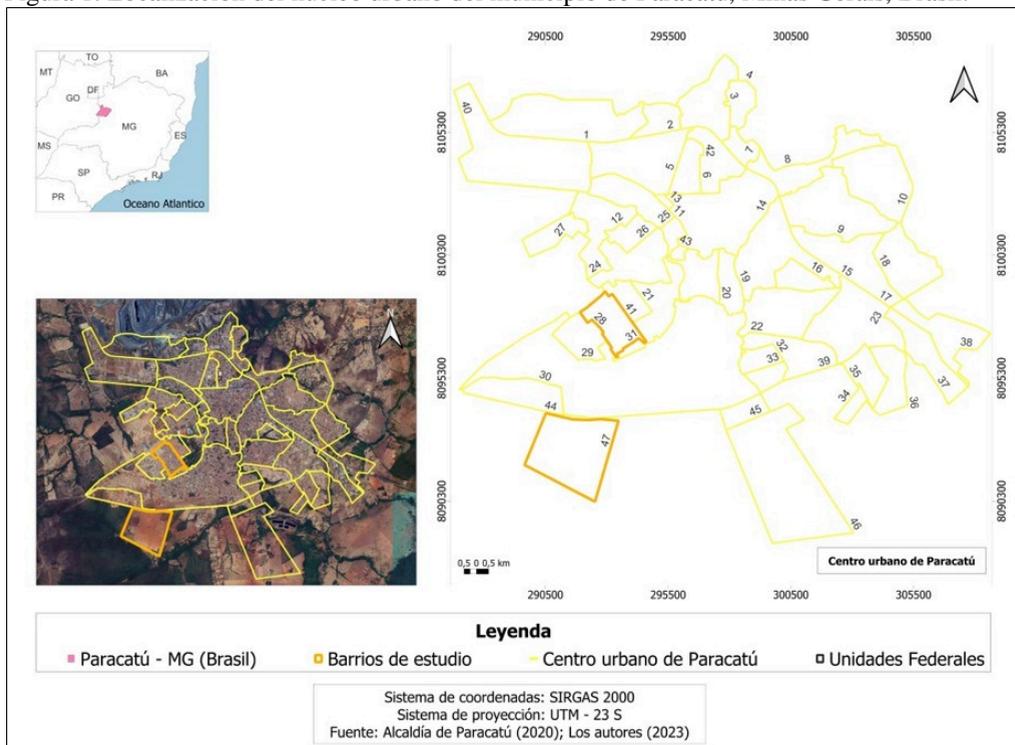
2.1. Caracterización del área de estudio

El área de estudio se refiere al núcleo urbano del municipio de Paracatu, que es el único municipio histórico de la mesorregión Noroeste de Minas Gerais (MG) (Figura 1). Reconocido por su turismo y riqueza mineral, siendo esta última la clave para su creación en el año 1744 (Pimentel, 2020).

La altitud del municipio está entre los 500 y 950 m.s.n.m. La fauna y la flora pertenecen, en su totalidad, al bioma del Cerrado y su clima es de sabana tropical húmeda, con invierno seco y verano lluvioso, tipo Aw, según la clasificación de Köppen (1931).

La temperatura media anual es de 22,6 °C, con una media mensual de 18 °C en la estación más fría y de 29,1°C en la más calurosa. La precipitación media anual es de 1.450 mm (Brasil, 1992). Según el último censo del Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística (IBGE), Paracatu tiene una población de aproximadamente 94.000 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 1. Localización del núcleo urbano del municipio de Paracatu, Minas Gerais, Brasil.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Selección del periodo analizado, adquisición y normalización de los datos

Las imágenes de los satélites Landsat-5 y Landsat-8 se obtuvieron del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, siglas de *United States Geological Survey* (USGS)). Se destaca que, debido a su resolución temporal, los estudios que involucran datos de Teledetección y variación espacio-temporal de la LST, suelen utilizar una cierta cantidad de imágenes para representar una respectiva estación del año e incluso un año entero, según estudios correlacionados (Guilherme et al., 2016; Wang et al., 2018; Bezerra et al., 2018; Abdolalizadeh et al., 2019; Govind y Ramesh, 2019; Carrasco et al., 2020).

Sin embargo, en este estudio se optó primero por analizar los años considerados normales, es decir, en los que no se presentó los fenómenos de El Niño y La Niña. Además, se realizó un promedio de las imágenes elegidas (Tabla 1), es decir, para cada período seleccionado, se promediaron dos imágenes para representar la estación en todos sus índices y análisis, evitando así cuestionamientos sobre la representatividad de los estudios que involucran datos de teledetección.

Se escogieron como periodos de estudio los años 2005 y 2019, ya que se buscó analizar años en los cuales fuera posible explorar un período mínimo de diez años de diferencia, considerando que, en este espacio de tiempo, fue posible verificar una expansión urbana considerable en el área de estudio.

Tabla 1. Fechas de las imágenes utilizadas.

Año	Imagen 1	Imagen 2
2005	11/04	13/05
2019	02/05	21/06

Fuente: USGS (2016).

La estación del año se seleccionó de acuerdo a los siguientes factores:

- a) Mayor neutralidad de la disponibilidad hídrica del suelo, considerando que esta influye directamente en las variaciones de temperatura superficial (Sohoulan-de et al., 2015; Amorim, 2017)
- b) Baja incidencia de nubes, lo que garantiza una mejor visibilidad de la superficie y una mayor atenuación de los efectos atmosféricos;
- c) Estación que separa el periodo húmedo, con posible excedente de agua en el suelo, con el periodo seco, de posible estrés hídrico (INMET, 2020)
- d) Estudio comparativo entre la LST y los datos de las estaciones meteorológicas oficiales, los cuales muestran una precisión de hasta el 86,2% entre las estaciones primavera-verano, mientras que para la estación otoño-invierno, esta precisión puede llegar hasta el 93,1%. Además, los periodos entre primavera-verano se caracterizan por presentar gran amplitud térmica de la LST, mientras que para el otoño-invierno, la LST está más distribuida (Nascimento, 2022).

Se utilizaron imágenes en las que no había presencia de nubes en la zona de estudio y se realizó el proceso de remuestreo y reducción de resolución (*Resampling and*

Reducing Resolution), con la técnica del vecino más cercano, con el software QGIS 3.2.12 (QGIS, 2021), para normalizar todos los píxeles de los diferentes satélites utilizados (100 metros).

2.3. Cálculo de los índices LST, NDVI y NDBI de las imágenes satelitales

Para el cálculo de los índices NDVI, LST y NDBI se aplicaron las ecuaciones y recomendaciones sugeridas por Rouse (1973), USGS (2016) y Zha et al. (2003), respectivamente. Para ello, en cada imagen obtenida se utilizó el software Qgis 3.2.12 (QGIS, 2019) y se realizó, mediante la calculadora raster, el promedio entre las dos imágenes de la Tabla 1.

Respecto al cálculo de la LST del satélite LANDSAT-8, se añadió el valor de -0,29 para cada píxel de la imagen resultante del promedio, esto se realizó de acuerdo a las recomendaciones del USGS, debido a que las bandas térmicas 10 y 11 reciben interferencias de luz difusa de zonas adyacentes a la escena fotografiada y, por tanto, necesitan dicho ajuste. Se utilizó la banda 10 para la estimación de la temperatura, porque de según el USGS el problema de la luz difusa ocurre, con mayor intensidad, en la banda 11 (USGS, 2016).

2.4. Estimación de los valores de píxel de la malla urbana y análisis de los datos

En esta etapa, se utilizó una máscara que representaba la realidad de la malla urbana del municipio, siendo esta, obtenida del Departamento de Planificación del municipio de Paracatu y con escala de 1:50.000.

Después del recorte de los índices, los archivos fueron exportados para realizar la unión de las tablas de atributos que contenían los resultados de los respectivos índices. A continuación, se utilizó un software de análisis estadístico para realizar el Coeficiente de Determinación (R^2) y la Correlación de Pearson (r), con el objetivo de analizar la posible causa de las variaciones de LST.

Cabe resaltar que debido a la heterogeneidad de la malla urbana y según lo recomendado por Santos (2020), sólo los barrios que presentaron la mayor y menor variación de la LST fueron realizados los estudios de correlación. Estos barrios son conocidos popularmente como *Bom Pastor* y *Jardim Europa*.

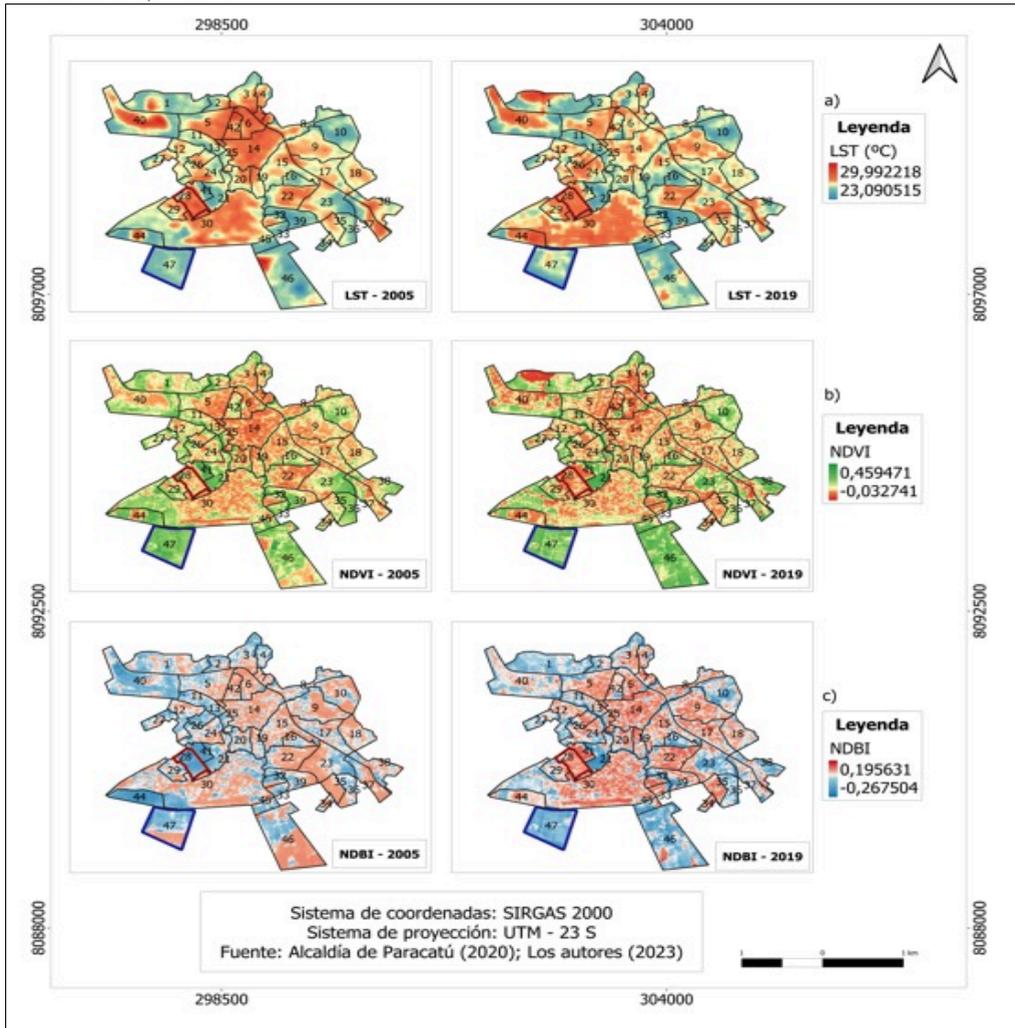
El archivo puesto a disposición por la secretaría municipal contenía, en su tabla de atributos, números para cada barrio, como éstos se utilizan para fines de gestión municipal, no se efectuó ninguna modificación.

Finalmente, se preparó un layout que contenía la LST, el NDVI y el NDBI del área de estudio durante los años analizados, y sus valores separados en clases, de modo que fuera posible visualizar, temporalmente, las variaciones de los parámetros estudiados.

3. Resultados y discusiones

Se puede observar que el municipio de Paracatu ha sufrido un proceso de expansión urbana entre 2005 y 2019, lo que resultó en la variación de la LST durante este período y, consecuentemente, de los índices NDVI y NDBI, siendo notable que los cambios en la cobertura vegetal modifican los patrones de distribución de energía, impactando fuertemente en variables importantes, como la LST (Guilherme et al., 2020; Abdullah et al., 2022).

Figura 2. Variación espacio-temporal de LST, NVDI y NDBI en la red urbana de Paracatu, Minas Gerais, Brasil.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 presenta los resultados espacio-temporales obtenidos de los parámetros analizados. La presencia de áreas construidas y/o suelo desnudo son los principales responsables por la variación espacio-temporal de la LST (Guha et al., 2018), sin embargo, la existencia de vegetación tiene la capacidad de reducir esta transformación. El municipio de Paracatu tiene aproximadamente 90% de su población residiendo en la ciudad (IBGE, 2022), lo que resulta directamente en la supresión de la vegetación nativa para la implantación de áreas urbanas y, consecuentemente, en la variación de la LST.

Además, los recientes asentamientos urbanos en Paracatu tienen ausencia de vegetación en las aceras, lo que no debería ocurrir porque, desde 2009, el municipio asignó la obligación de plantar árboles en las aceras públicas, respetando el tránsito peatonal, en las nuevas construcciones. Además, la plantación y conservación son responsabilidad del propietario del terreno (Rezende, 2016).

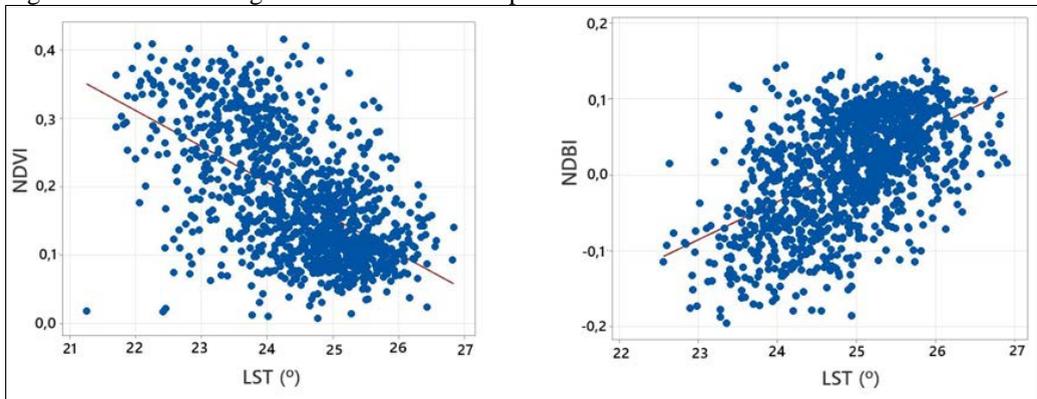
Se observa, por lo tanto, que, aunque la gestión pública cumpla su papel al exigir la plantación de árboles en las aceras, esto no es estrictamente seguido por los residentes, que los plantan sólo para obtener el permiso para iniciar con la construcción de la propiedad. La Tabla 2 muestra las correlaciones de los respectivos índices con el LST y su gráfico de regresión en la Figura 3.

Tabla 2. Correlación de Pearson y Coeficiente de Determinación entre la temperatura de la superficie y los índices espectrales para los barrios que más y menos variaron su LST.

	LST x NDVI	LST x NDBI
r^2	0,32	0,30
Coeficiente de correlación (r)	-0,58	0,55

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Gráfico de regresión de los índices espectrales analizados.



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los gráficos de dispersión por separado es posible inferir pocas conclusiones sobre la razón por la que los distritos *Jardim Europa* y *Bom Pastor* presentaron, menor y mayor variación de su LST respectivamente.

Existe una clara tendencia de que la LST disminuya con el aumento del NDVI, a medida que aumenta la LST con el NDBI. Sin embargo, estos valores presentaron un valor r^2 bajo, pero la hipótesis no puede descartarse por completo si se considera el nivel de significación de 0,05. Además, las correlaciones entre los índices mostraron una correlación negativa considerable entre la LST y el NDVI, mientras que se observó una correlación positiva entre la LST y el NDBI.

Estos resultados corroboran los presentados por Mathew et al. (2022), donde los autores concluyeron que incluso en el periodo nocturno, la LST y el índice NDVI tenían una relación opuesta, mientras que la LST y el NDBI tenían una relación directa. Guha et al. (2018) descubrieron que la LST mostraba una fuerte correlación negativa (-0,71 y -0,57) con el NDVI y una fuerte correlación positiva (0,71 y 0,61) con el NDBI para las ciudades de Florencia y Nápoles (Italia).

Otros estudios similares como el de Guilherme et al. (2020) verificaron que entre 2015 y 2017, la variación de LST y los índices NDVI y NDBI presentaron valores similares de r y r^2 con los respectivos índices de este estudio. Para 2015, los autores verificaron el valor r de -0,55 para LST x NDBI, con el valor r^2 de 0,3. En 2017, obtuvieron el valor r , para las mismas variables, de -0,59 y un r^2 de 0,35. Con respecto a LST x NDBI, para el año 2017, el valor r de 0,76 y r^2 0,57, mientras que para 2017, r de 0,75 y r^2 de 0,57, corroborando así las hipótesis presentadas por este estudio.

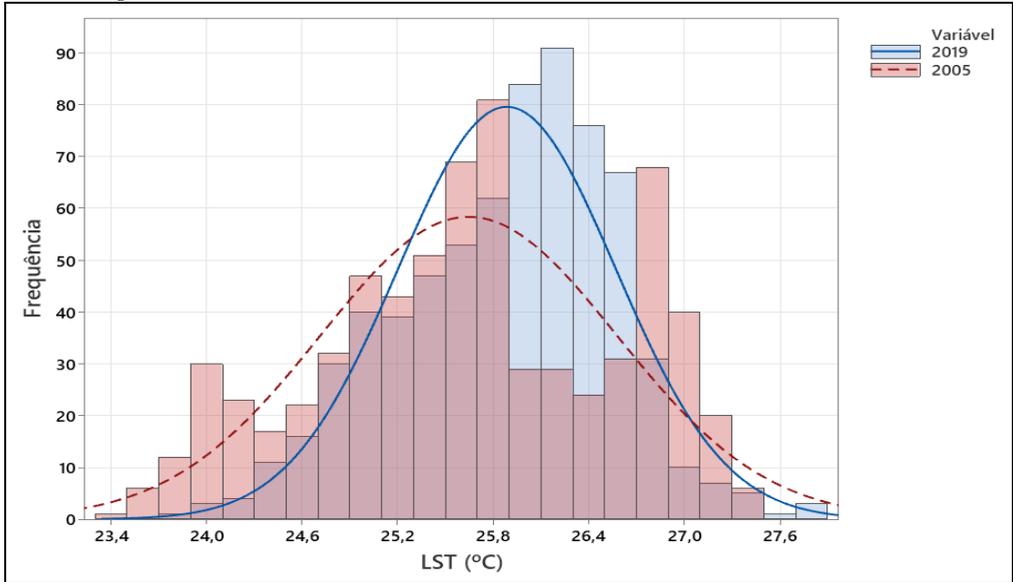
Por otro lado, Chen et al. (2013) encontraron que en el otoño la LST y el NDBI eran más significativos que en las otras estaciones del año en de la malla urbana de Wuhan, China, con un valor de 0,80. Según el autor, la variación de LST con NDVI cambió con las estaciones, pero sin una regularidad considerable, presentando el valor de -0,246. Mientras que, Moisa et al. (2022) encontraron que en la subcuenca del río Guder, cuenca de Abay, Etiopía, en todas las estaciones, el NDBI tuvo una fuerte relación positiva con la LST, caso contrario sucedió con el NDVI, el cual mostró una fuerte relación negativa con la LST para el mismo período.

Es importante mencionar que los resultados presentados en este estudio corroboran el hecho de que el NDVI se convierte, cada vez más, en una herramienta notoria para el monitoreo del clima urbano derivado de los cambios en el uso y ocupación del suelo según diferentes estudios (Guilherme et al., 2016; Singh et al., 2022; Li, 2022).

Los índices analizados pueden ser utilizados como importantes indicadores para evaluar los efectos de la variación espacio-temporal de la LST, así como sus repercusiones sobre el clima urbano, proporcionando una base fiable para la gestión y planificación urbana.

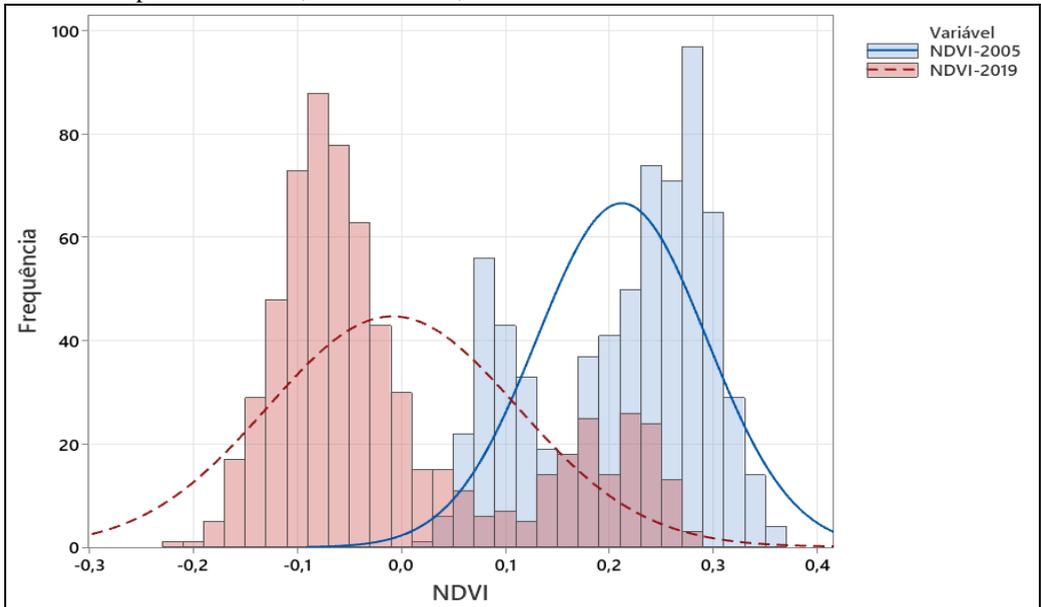
Sin embargo, cuando se analiza por separado y comparativamente, el NDVI se presentó con mayor eficiencia, para el área de estudio, que el NDBI. Así, la Figura 4 y la Figura 5 presentan un histograma con la variación de LST y NDVI, respectivamente, en los referidos distritos, durante el período analizado.

Figura 4. Comportamiento espectral de la LST, en 2005 e en 2019, en los barrios estudiados del municipio de Paracatu, Minas Gerais, Brasil.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Comportamiento espectral del NDVI, en 2005 e en 2019, en los barrios analizados en el municipio de Paracatu, Minas Gerais, Brasil.



Fuente: Elaboración propia.

Se verificó que la mayor y menor variación de la LST en los barrios analizados, al transcurrir 14 años, está relacionada con los cambios de uso y ocupación del suelo, así como con la supresión de la vegetación y la intensificación/inicio del proceso de urbanización, como se observa en Figura 6, la cual presenta el crecimiento de la zona urbana con el pasar de los años, en el barrio *Bom Pastor*. Adicionalmente, cabe destacar que el barrio *Jardim Europa* es relativamente nuevo y está siendo ocupado por una subdivisión (Figura 7), con licencia cerrada en 2015.

Figura 6. Evolución del proceso de uso y ocupación del barrio *Bom Pastor*, entre los años 2003 y 2019, en la ciudad de Paracatu, Minas Gerais, Brasil.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Evolución del proceso de uso y ocupación del barrio *Jardim Europa* entre los años 2010, 2015 y 2017 respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, algunas residencias están siendo construidas en el lugar, lo que se justifica debido a la interferencia en la variación de la LST y también en el comportamiento espectral de los índices analizados. Sin embargo, este factor también puede estar relacionado con la mayor eficacia de la correlación de la variación de la LST, en este estudio, con el NDVI. Así, la actuación del poder público desde el inicio hasta el final de la ocupación del lote se torna necesaria para mantener en equilibrio la variación de la LST y garantizar confort térmico a la población.

4. Conclusiones

En vista de los resultados presentados, se puede concluir que la causa por la cual los barrios investigados presentaron la mayor y menor variación de la LST a lo largo de los años está estrechamente relacionada con las transformaciones provocadas por el uso y la ocupación del suelo, principalmente por la supresión de la vegetación para la construcción de áreas impermeables.

Los resultados presentados en esta investigación, así como el método propuesto, se presentan como un instrumento con potencial para la gestión pública de los espacios urbanos, especialmente al considerar los aspectos futuros de uso y ocupación, así como también, los análisis de sus efectos en el ámbito climatológico.

5. Referencias bibliográficas

- Abdullah, S., Barua, D., Abdullah, S. M. A., y Rabby, Y. W. Investigating the impact of land use/land cover change on present and future land surface temperature (LST) of Chittagong, Bangladesh. *Earth Systems and Environment*, v. 6, p. 221-235, 2022. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-021-00291-w>.
- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, E. O., Akinnusi, S. A., Adediran, E., Olanrewaju, H. O., Alabi, A. O., Salami, T. J., y Odumosu, J. The interrelationship between LST, NDVI, NDBI, and land cover change in a section of Lagos metropolis, Nigeria. *Applied Geomatics*, v. 14, n. 2, p. 299-314, 2022. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-022-00434-2>.
- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, O. E., Agboola, R. O., y Salami, T. J. Assessing the relationship of LST, NDVI and EVI with land cover changes in the Lagos Lagoon environment. *Quaestiones Geographicae*. v. 39, p. 87-109, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0025>.
- Amorim, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: Exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. *Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, v. 105, p. 111-133, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18055/Finis6888>.
- Bezerra, P. E., Moraes, E. T., y Soares, I. R. Analysis of surface temperature and vegetation index in the municipality of Belém in identification of the heat islands. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, p. 803-818, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv70n3-45701>.
- Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária e Departamento Nacional de Meteorologia. Normas climatológicas (1961 - 1990). Brasília: MARA, 1992. 84 p.
- Cardoso, R. dos S., y Amorim, M. C. de C. T. Variações espaciais das temperaturas noturnas em Presidente Prudente - SP em episódios de verão. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 42, p. 257-268, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v42i0.47773>.
- Carrasco, R. A., Pinheiro, M. M. F., Marcato Jr, J., Cicerelli, R. E., Silva, P. A., Osco, L. P., y Ramos, A. P. M. Land use/land cover change dynamics and their effects on land surface temperature in the western region of the state of São Paulo, Brazil. *Regional Environmental Change*, v.20, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01664-z>.

- Chen, H., Deng, Q., Zhou, Z., Ren, Z., y Shan, X. Influence of land cover change on spatio-temporal distribution of urban heat island: a case in Wuhan main urban area. *Sustainable Cities and Society*, v. 79, p. 103715, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103715>.
- Choudhury, D., Das, K., y Das, A. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *Egypt J Remote Sens Space Sci*, v. 22, p. 203–218, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.004>.
- Das, S., y Angadi, D.P. Land use-land cover (LULC) transformation and its relation with land surface temperature changes: a case study of Barrackpore Subdivision, West Bengal, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 19. 100322, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100322>.
- Govind, N., y Ramesh, H. The impact of spatiotemporal patterns of land use land cover and land surface temperature on an urban cool island: a case study of Bengaluru. *Environmental monitoring and assessment*, v. 191, p. 1-20, 2019. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7440-1>.
- Guha, S., & Govil, H. Seasonal variability of LST-NDVI correlation on different land use/land cover using Landsat satellite sensor: a case study of Raipur City, India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 24, p. 8823-8839, 2022. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01811-4>.
- Guilherme, A. P., Mota, A. B. Dos S., Mota, D. Dos S., Machado, N. G., & Biudes, M. S. Uso de índice de vegetação para caracterizar a mudança no uso do solo em Coari - AM. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 28, p. 301-310, 2016. DOI: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/31538>.
- Guilherme, A. P., Biudes, M. S., Mota, D. Dos S., y De Musis, C. R. Relação entre tipo de cobertura do solo e temperatura de superfície. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 32, p. 539–550, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-47462>.
- Hua, A.K. y Ping, O.W. The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *Eur J Remote Sens*, v. 51, p. 1049–1069, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1542976>.
- Hussain, S., Mubeen, M., Ahmad, A., Akram, W., Hammad, H. M., Ali, M., Masood, N., Amin, A., Farid, H. U., Sultana, S. R., Fahad, S., Wang, D., y Nasim, W. Using GIS tools to detect the land use/land cover changes during forty years in Lodhran district of Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 39676-39692, 2020. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06072-3>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios. 2020. Paracatu – MG. Disponible en: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas>>. Acceso en: 01 Agosto, 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População. 2022. Disponible en: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/paracatu>. Acceso en: 01 Agosto, 2022.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Base de dados históricos. 2020. Disponible en: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acceso en: 01 Agosto, 2022.
- Jardim, A. M. Da R. F., Araújo Jr, G. Do N., Da Silva M. V., Dos Santos, A., Da Silva, J. L. B., Pandorfi, H., De Oliveira-Jr., Teixeira, A. H. de C., [...] y da Silva, T. G. F. Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover

- Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, v. 14, p. 1911, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14081911>.
- Kaur, R., y Pandey, P. A review on spectral indices for built-up area extraction using remote sensing technology. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 15, p. 1-22, 2022. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-022-09688-x>.
- Köppen, W. P. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Germany, 1931.
- Lee, K., Kim, Y., Sung, H. C., Kim, S. H., y Jeon, S. W. Surface urban heat island in South Korea's new towns with different urban planning. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, p. 1-18, 2022. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-09967-w>.
- Li, J. Responses of Vegetation NDVI to Climate Change and Land Use in Ordos City, North China. *Applied Sciences*, v. 12, p. 7288, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12147288>.
- Mathew, A., Sarwesh, P., y Khandelwal, S. Investigating the contrast diurnal relationship of land surface temperatures with various surface parameters represent vegetation, soil, water, and urbanization over Ahmedabad city in India. *Energy Nexus*, v. 5, p. 100044, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100044>.
- Mendonça, F. A. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese (Doutorado em Geografia) – São Paulo: USP. 1995.
- Moisa, M. B., Dejene, I. N., y Gemedda, D. O. Geospatial technology-based analysis of land use land cover dynamics and its effects on land surface temperature in Guder River sub-basin, Abay Basin, Ethiopia. *Applied Geomatics*, p. 1-13, 2022. DOI: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12518-022-00445-z.pdf>.
- Monteiro C. A. de F. *Teoria e Clima Urbano*. IGEOG/USP (Série Teses e Monografias, 25). São Paulo, SP, 1976.
- Nascimento, A. C. L. Do., Galvani, E., Gobo, J. P. A., y Wollmann, C. A. Comparison between Air Temperature and Land Surface Temperature for the City of São Paulo, Brazil. *Atmosphere*, v. 13, n. 3, p. 491, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13030491>.
- Pavão, V. M., Nassarden, D. C. S., Pavão, L. L., Machado, N. G., y Biudes, M. S. Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, p. 343-351, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863230002>.
- Pimentel, H. U. A história de Paracatu. Paracatu – MG. 2020. Disponível em: <http://paracatu.mg.gov.br/cidade>>. Acesso em: 01 Agosto, 2022.
- QGIS. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2019. Disponível em: <http://www.qgis.org/it/site/>. Acesso em: 03 Agosto, 2022.
- QGIS. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2021. Disponível em: <http://www.qgis.org>.. Acesso em: 03 Agosto, 2022.
- Rezende, P. S. Metodologia para avaliação da vulnerabilidade socioambiental: estudo da cidade de Paracatu (MG). 2016. 194 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.49>.

- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., y Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Proceedings of the Third ERTS Symposium. NASA SP-351, Washington, DC, USA, 10–14, 1997.
- Santos, A. P. dos. Crescimento urbano e expansão minerária: a dinâmica do comportamento das partículas inaláveis e da temperatura da superfície no perímetro urbano de Paracatu – MG. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.103>
- Singh, P., Chaudhuri, A. S., Verma, P., Singh, V. K., y Meenas. R. Earth observation data sets in monitoring of urbanization and urban heat island of Delhi, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 13, p. 1762-1779, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2097452>.
- Sohoulande Djebou, D. C., Singh, V. P., y Frauenfeld, O. W. Vegetation response to precipitation across the aridity gradient of the southwestern United states. *Journal of Arid Environments*, v. 115, p. 35–43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.005>.
- Teixeira, D. C. F., y Amorim, M. C. de C. T. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 30, p. 186–209, 2018. DOI: 10.14393/SN-v30n2-2018-9.
- UN - United Nations. The World's cities in 2018. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Urbanization Prospects. 2018. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acceso en: 01 Agosto, 2022.
- UNFPA. United Nations Population Fund. Delivering in a pandemic annual report. 2020. Disponible en: <https://reliefweb.int/organization/unfpa>. Acceso en: 01 Agosto, 2022.
- USGS. Earth Explorer. 2016. Disponible em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acceso em: 03 Agosto, 2022.
- Wang, Z. Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urban-rural dichotomy. *Sustainable Cities and Society*, v. 77, p. 103581, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103581>.
- Wang, Y. C., Hu, B. K. H., Myint, S. W., Feng, C. C., Chow, W. T. L., y Passy, P. F. Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. *Sci Total Environ*, v. 643, p. 738–750, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.209>.
- Zha, Y., Gao, Y., y Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, p. 583–594, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.