



COLEÇÃO
ESTUDOS
CARIOCAS

La expansión en altura de Río de Janeiro: analizando la urbanización vertical mediante cambios en modelos de elevación

The upward expansion of Rio de Janeiro: analyzing vertical urbanization through elevation model change

A expansão em altura do Rio de Janeiro: analisando a urbanização vertical através de mudanças em modelos de elevação

Luiz Carlos Teixeira Coelho^{1*}, Felipe Cerbella Mandarino², Leandro Gomes Souza³, Adriana Mendes de Pinho Vial⁴, and Vania Regina Amorim da Silva⁵

¹Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, R. Gago Coutinho, 52 - Laranjeiras, Rio de Janeiro - RJ, 22221-070, ORCID 0000-0002-4466-9772, lcteixeiracoelho@prefeitura.rio

²Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, R. Gago Coutinho, 52 - Laranjeiras, Rio de Janeiro - RJ, 22221-070, ORCID 0000-0001-9576-5257, felipe.mandarino@prefeitura.rio

³Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, R. Gago Coutinho, 52 - Laranjeiras, Rio de Janeiro - RJ, 22221-070, ORCID 0009-0005-4384-6887, leandro.souza@prefeitura.rio

⁴Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, R. Gago Coutinho, 52 - Laranjeiras, Rio de Janeiro - RJ, 22221-070, ORCID 0009-0001-2626-0359, adriana.vial@prefeitura.rio

⁵Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, R. Gago Coutinho, 52 - Laranjeiras, Rio de Janeiro - RJ, 22221-070, ORCID 0009-0001-7222-9280, vaniaregina@prefeitura.rio

Resumen

Este estudio analiza el crecimiento urbano vertical en Río de Janeiro utilizando modelos digitales de elevación de 2013, 2019 y 2024. Mediante procesamiento geoespacial y filtrado, se creó un conjunto de datos raster unificado para identificar áreas de demolición, construcción y estabilidad. La metodología sirve para aplicaciones como monitoreo de asentamientos informales, evaluación de riesgos ambientales, visualización 3D, planificación urbana y mapeo interactivo, proporcionando una herramienta para un análisis integral del cambio urbano.

Palabras clave: crecimiento urbano, modelo digital de elevación, LiDAR, fotogrametría, Río de Janeiro

Abstract

This study analyzes vertical urban growth in Rio de Janeiro using digital elevation models from 2013, 2019, and 2024. Through geospatial processing and filtering, a unified raster dataset was created to identify demolition, construction, and stable areas. The methodology supports applications such as monitoring informal settlements, assessing environmental risks, 3D visualization, urban planning, and interactive mapping, providing a tool for comprehensive urban change analysis.

Keywords: urban growth, digital elevation model, LiDAR, photogrammetry, Rio de Janeiro

Resumo

Este estudo analisa o crescimento urbano vertical no Rio de Janeiro utilizando modelos digitais de elevação de 2013, 2019 e 2024. Por meio de processamento geoespacial e filtragem, foi criado um conjunto de dados raster unificado para identificar áreas de demolição, construção e estabilidade. A metodologia apoia aplicações como o monitoramento de assentamentos informais, avaliação de riscos ambientais, visualização 3D, planejamento urbano e mapeamento interativo, fornecendo uma ferramenta para uma análise abrangente da mudança urbana.

Palavras-chave: crescimento urbano, modelo digital de elevações, LiDAR, fotogrametría, Rio de Janeiro

Volumen

13

Número

4

*Autor(a) correspondiente

lcteixeiracoelho@prefeitura.rio

Envío 14 nov 2025

Aceptación 06 dic 2025

Publicación 30 dic 2025

¿Cómo citar?

TEIXEIRA COELHO, L. C. et al. La expansión en altura de Río de Janeiro: analizando la urbanización vertical mediante cambios en modelos de elevación.

Coleção Estudos

Cariocas, v. 13, n. 4, 2025.

DOI: 10.71256/19847203.13.4.193.2025.

El artículo fue originalmente enviado en INGLÉS. Las traducciones a otros idiomas fueron revisadas y validadas por los autores y el equipo editorial. Sin embargo, para una representación más precisa del tema tratado, se recomienda que los lectores consulten el artículo en su idioma original.

OPEN ACCESS



1 Introducción

1.1 El impacto del crecimiento urbano vertical descontrolado en Río de Janeiro

La ciudad de Río de Janeiro se caracteriza por una dinámica altamente compleja en su mercado inmobiliario formal e informal. Compuesta por un mosaico de valles y montañas, las áreas planas han sido históricamente privilegiadas como espacios de ocupación de alto valor, mientras que las construcciones irregulares han proliferado en zonas de menor interés inmobiliario, como laderas, áreas pantanosas y territorios más alejados del centro. En los últimos años, esta dinámica se ha vuelto aún más compleja, ya que las limitaciones a la expansión horizontal de favelas, loteos y ocupaciones han dado lugar a una verticalización más pronunciada, ya sea mediante la adición de pisos a edificaciones existentes o a través de la construcción irregular de edificios multifamiliares.

En el pasado, las favelas se expandían de manera precaria, con nuevas viviendas improvisadas añadidas a terrenos deforestados. Sin embargo, a medida que el suelo disponible se volvió escaso y el crimen organizado asumió el control de grandes asentamientos informales, los patrones de construcción irregular comenzaron a asemejarse a los de condominios y edificios residenciales de clase media. Lamentablemente, la estructura de estas edificaciones suele ser inadecuada, lo que da lugar a episodios como el colapso de dos edificios irregulares de cinco plantas en el barrio de Muzema, ilustrado en la Figura 1 y ampliamente difundido por la prensa.



Figura 1: Colapso de dos edificios construidos de forma irregular en el barrio de Muzema.

Fuente: Claudia Martini (bajo licencia Creative Commons), 2019.

Estas tendencias representan riesgos significativos para los residentes, reducen los espacios verdes urbanos y aumentan la temperatura de la superficie del suelo (Yuan et al., 2021). La precariedad de las construcciones —especialmente en barrios populares y favelas— las hace propensas a todo tipo de accidentes y amenazas naturales. Los principales actores involucrados en la gestión urbana deben contar con herramientas que les permitan comprender no sólo cómo la ciudad se expande horizontalmente, sino también cómo se añaden nuevos pisos a

las edificaciones existentes.

Asimismo, Río de Janeiro enfrenta un desafío común en toda América Latina: la expansión informal incluso dentro de áreas formalizadas. Esto ocurre cuando los residentes de clase media suelen autoconstruir y modificar sus viviendas sin solicitar permisos oficiales al municipio. Por lo tanto, la gestión de la expansión urbana informal —un desafío que Río de Janeiro comparte con muchas ciudades latinoamericanas— se ve gravemente obstaculizada por la ausencia de un sistema catastral moderno. Este requiere una base cartográfica continuamente actualizada y vinculada dinámicamente a una geobase de datos que integre información administrativa, fiscal y territorial.

1.2 La evolución de los catastros oficiales de favelas en Río de Janeiro

Desde hace más de cuarenta años, el Instituto Pereira Passos ha estado monitoreando la evolución de los asentamientos de bajos ingresos en la ciudad de Río de Janeiro. En 1982, se estableció el primer catastro de favelas dentro del entonces IPLANRIO. Mediante la introducción gradual de mejoras y nuevos recursos tecnológicos, este registro evolucionó hasta convertirse en el Sistema de Asentamientos de Bajos Ingresos — SABREN, actualmente disponible en la plataforma DATA.RIO para toda la Administración Municipal y la sociedad civil.

Entre 1999 y 2019, solo se midió la expansión horizontal de las áreas de favelas mediante la comparación con años anteriores. El crecimiento vertical no fue considerado, a pesar de haber sido observado durante algún tiempo en diversas partes de la ciudad, especialmente en las Áreas de Planificación 1 y 2, que abarcan aproximadamente el Centro, la Zona Sur y la Gran Tijuca. En el contexto de las favelas, el crecimiento vertical resulta principalmente de la falta de suelo disponible para la expansión horizontal y de la insuficiencia de políticas públicas de vivienda. Tiende a producirse en favelas ya densamente ocupadas, donde los valores del suelo son más elevados.

Este crecimiento vertical desordenado genera diversos problemas ambientales y sociales, ya que no siempre va acompañado de una planificación adecuada que garantice un desarrollo urbano equilibrado y preserve la calidad de vida de la población. Los efectos ambientales y sociales son en su mayoría negativos y se intensifican aún más en las áreas de bajos ingresos, dado que muchas de las construcciones son ilegales y se localizan en zonas ambientalmente frágiles.

Entre los impactos ambientales más frecuentes se encuentran el sombreado de los espacios públicos por los edificios; el desconfort térmico causado por la deficiente circulación del aire, que favorece la formación de islas de calor; y el aumento de la contaminación atmosférica y acústica. Además, existe un mayor riesgo de inundaciones y deslizamientos, especialmente en las zonas más vulnerables, así como un incremento en la demanda de recursos naturales. En términos sociales, este proceso ejerce presión sobre la infraestructura y los servicios públicos, además de generar repercusiones negativas en la movilidad urbana. En otras palabras, este tipo de crecimiento puede agravar los problemas urbanos existentes, dando lugar a la sobrecarga de la infraestructura y a riesgos para la seguridad de los residentes.

1.3 Datos geoespaciales tridimensionales como medio para comprender el crecimiento urbano

En el contexto desafiante de Río de Janeiro, donde la construcción irregular es generalizada y a menudo se desarrolla de forma vertical, resulta fundamental que la gestión urbana comprenda en profundidad la localización y la naturaleza de este crecimiento ascendente, particularmente en los asentamientos informales conocidos como favelas. Los métodos convencionales de clasificación de imágenes tienden a centrarse en la expansión urbana horizontal; sin embargo, evaluar y comprender con precisión el crecimiento vertical es esencial para el desarrollo de

políticas públicas eficaces que respondan a las necesidades de una población en constante cambio.

Hasta hace poco, los análisis del crecimiento informal se basaban exclusivamente en bases cartográficas planimétricas, como mosaicos de ortoimágenes, que solo permitían el seguimiento de la expansión horizontal de la ciudad. Aunque se disponía de datos de elevación del último levantamiento fotogramétrico realizado en 2013 (con alturas de edificios registradas como atributos en una base de datos), esta información carecía de una representación espacial inherente, lo que suponía una limitación significativa para los análisis verticales detallados.

Esta limitación se superó de manera decisiva en 2019 con la ejecución de un levantamiento planialtimétrico integral mediante tecnología LiDAR de alta resolución. Este avance en la recopilación de datos generó un retrato detallado que capturó no solo el terreno natural, sino también todas las estructuras y edificaciones del municipio. El levantamiento posterior de 2024, que nuevamente cubrió todo el territorio, proporcionó un segundo modelo tridimensional de la superficie, igualmente detallado, lo que permitió finalmente una comparación temporal directa y precisa del crecimiento vertical.

Este artículo presenta una metodología para comparar los datos de polígonos de edificaciones de 2013 con los Modelos Digitales de Elevación derivados de LiDAR de 2019 y 2024, con el fin de evaluar el crecimiento vertical multitemporal en Río de Janeiro. Se abordan los desafíos de la integración de estas bases de datos dispares y se discute la viabilidad de utilizar este enfoque como una fuente confiable de información. El artículo comienza con una descripción detallada de cada base de datos, incluyendo su precisión y limitaciones. A continuación, se describen los procedimientos y el flujo de trabajo adoptados, seguidos de un análisis de los resultados obtenidos mediante operaciones algebraicas geoespaciales. Finalmente, se evalúan las posibles aplicaciones de estos datos como un recurso valioso para la comprensión del crecimiento urbano en Río de Janeiro.

2 Materiales y Métodos

Los materiales y métodos utilizados en este estudio se describen a continuación. Con fines ilustrativos, las figuras incluidas en esta sección representan la misma área de Rocinha; sin embargo, el análisis se realizó utilizando los conjuntos de datos completos que cubren todo el municipio de Río de Janeiro.

2.1 Bases de datos geoespaciales utilizadas en este estudio

Este estudio utilizó una serie de bases de datos geoespaciales, que incluyen polígonos de edificaciones, nubes de puntos LiDAR, curvas de nivel, modelos digitales de elevación y ortoimágenes.

2.1.1 Polígonos de edificaciones obtenidos mediante restitución fotogramétrica (referenciados a 2013 y 2019)

Entre 2015 y 2020, se compiló una base de datos vectorial integral de los polígonos de edificaciones de todo el municipio de Río de Janeiro mediante técnicas de restitución fotogramétrica (Coelho; Brito, 2007; Kraus, 1992), basadas en imágenes aéreas adquiridas en 2013 (Topocart Aerolevantamentos, 2013). Este conjunto de datos proporciona una representación planimétrica y altimétrica detallada de todas las edificaciones existentes en la ciudad en ese año. Como se ilustra en la Figura 2, la base de datos está compuesta por polígonos vectoriales con atributos de altura almacenados como coordenadas tridimensionales, ofreciendo una representación continua de las elevaciones de los edificios. Los datos cumplen con el estándar de precisión PEC-PCD Clase A a escala 1:2000 para bases de datos geoespaciales, con un error estándar vertical de 0,17 m (Comisión Nacional de Cartografía, 2016).

Todos los polígonos están georreferenciados en el sistema de coordenadas UTM, zona 23S, utilizando el datum horizontal SIRGAS 2000 y el mareógrafo de Imbituba como referencia vertical. Además, esta base de datos de edificaciones fue actualizada en 2023. Para ello, se utilizó el levantamiento aéreo de 2019 (ortoimágenes y modelos digitales de elevación), generando así un conjunto adicional de polígonos de edificaciones (Figura 3).



Figura 2: Polígonos de edificaciones de la restitución fotogramétrica de 2013



Figura 3: Polígonos de edificaciones actualizados a partir de la ortoimagen de 2019

2.1.2 Modelo digital del terreno basado en curvas de nivel fotogramétricas (referenciado a 2013)

En 2013 se generó un modelo digital del terreno (MDT) mediante correlación estereoscópica de imágenes aéreas ópticas (Kreiling, 2009). Este proceso también produjo cartografía a escala 1:2000 y curvas de nivel (Figura 4), que posteriormente fueron interpoladas para generar un modelo continuo de elevación. El MDT resultante cumple con el estándar de precisión PEC-PCD Clase A a escala 1:2000, con un error estándar vertical de 0,33 m (Comisión Nacional de Cartografía, 2016). Las curvas de nivel y el MDT están referenciados al sistema UTM, zona 23S (datum horizontal SIRGAS 2000 y datum vertical de Imbituba).

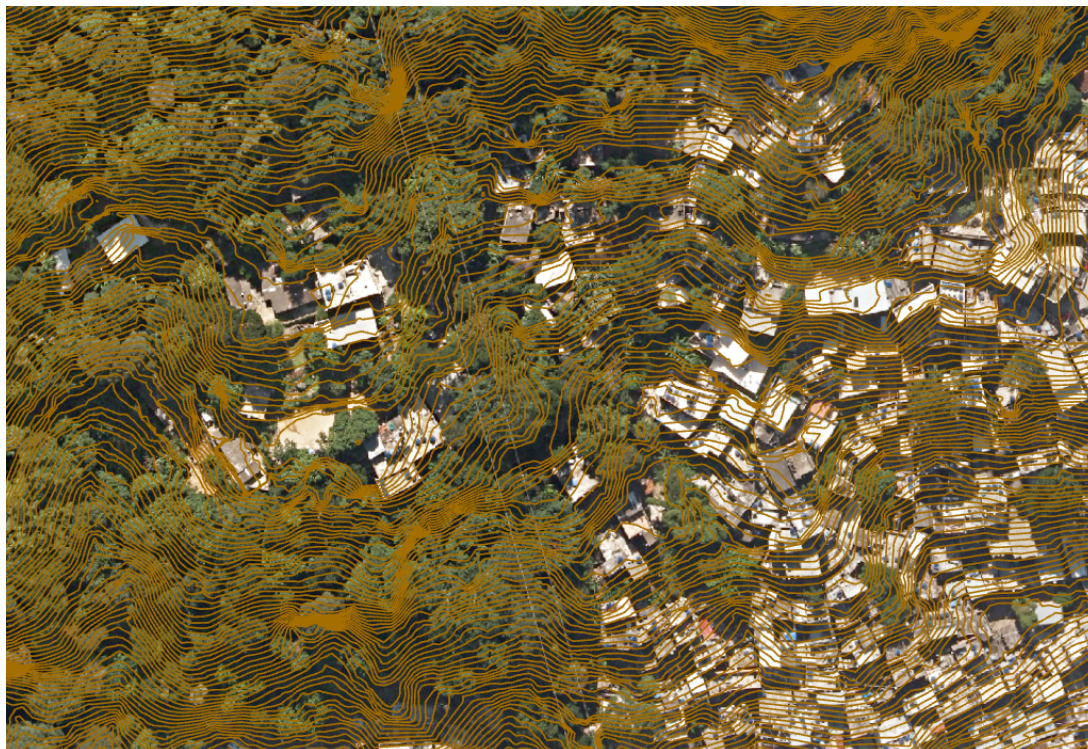


Figura 4: Curvas de nivel derivadas de la restitución fotogramétrica de 2013

2.1.3 Modelo digital de elevación obtenido mediante LiDAR (referenciado a 2019)

En 2019 se llevó a cabo un levantamiento LiDAR (Light Detection and Ranging) en todo el municipio, con una resolución de 8 puntos por m². Este levantamiento generó tanto modelos digitales del terreno (MDT) como modelos digitales de superficie (MDS), capturando las superficies del suelo y elementos elevados como edificaciones, vegetación e infraestructuras (Wolf; Dewitt; Wilkinson, 2014). El levantamiento, realizado por Topocart Aerolevantamientos utilizando el sistema Trimble Harrier (Topocart Aerolevantamientos, 2019), entregó productos en formatos .LAS (nube de puntos) y raster. Como se muestra en la Figura 5, los productos cumplen con los estándares PEC-PCD Clase A a escala 1:5000, con un error estándar vertical de 0,34 m para los datos altimétricos (Comisión Nacional de Cartografía, 2016).

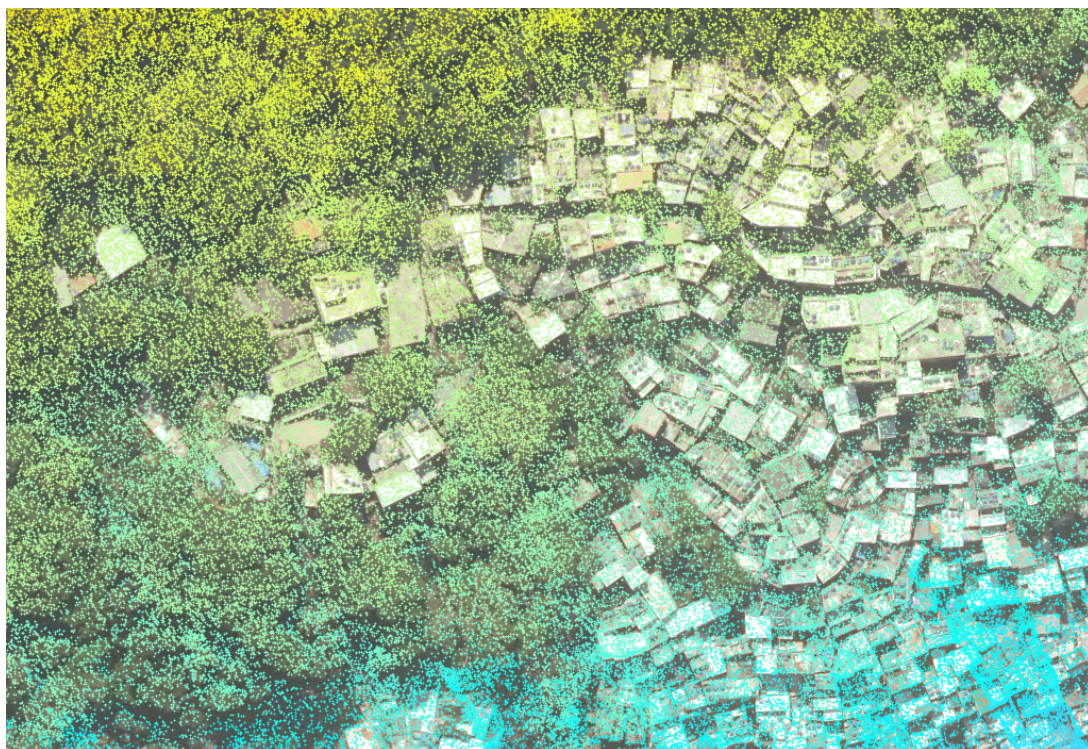


Figura 5: Nube de puntos LiDAR (8 puntos/m²) superpuesta a la ortoimagen, ambas adquiridas en el levantamiento de 2019

2.1.4 Modelo digital de elevación obtenido mediante LiDAR (referenciado a 2024)

Un segundo levantamiento LiDAR a escala municipal se llevó a cabo en 2024, manteniendo la misma resolución de 8 puntos por m². Este levantamiento también produjo MDT y MDS, garantizando la consistencia metodológica con la campaña de 2019. El levantamiento aéreo fue realizado por Topocart Aerolevantamientos utilizando el sistema Optech Galaxy Prime+ (Topocart Aerolevantamientos, 2024). Los productos entregados —disponibles en formatos .LAS y raster (Figura 6)— cumplen con los mismos estándares de precisión PEC-PCD Clase A a escala 1:5000 (error estándar vertical: 0,34 m), lo que garantiza la plena compatibilidad entre ambos conjuntos de datos temporales (Comisión Nacional de Cartografía, 2016).

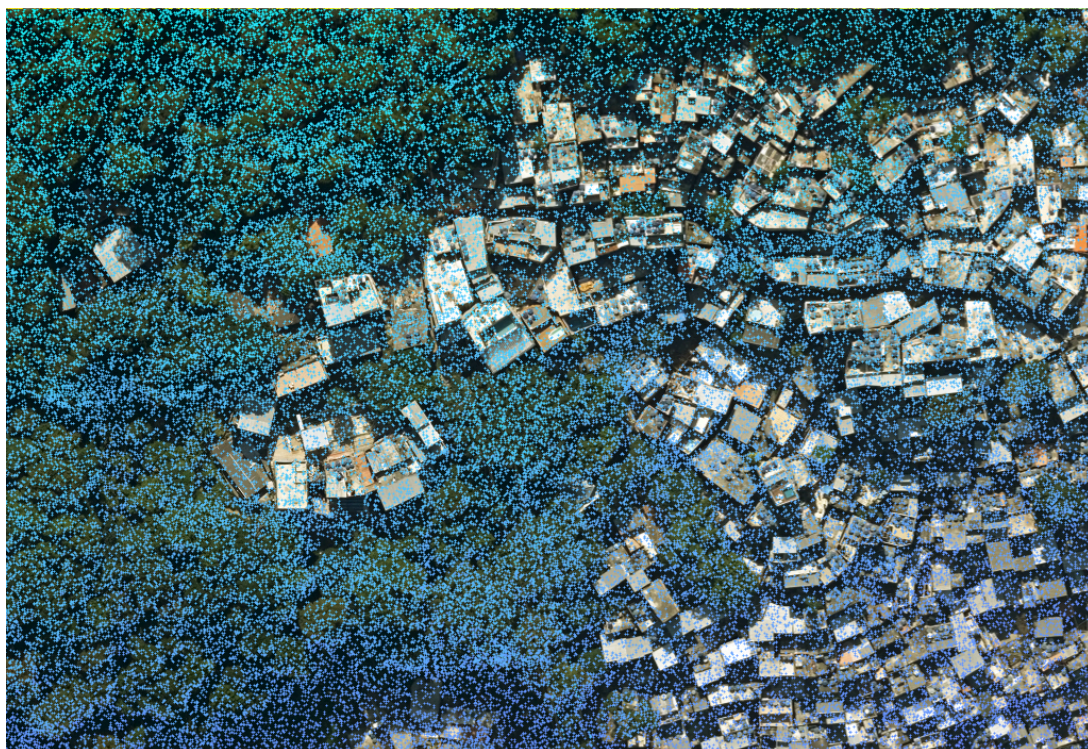


Figura 6: Nube de puntos LiDAR (8 puntos/m²) superpuesta a la ortoimagen, ambas adquiridas en el levantamiento de 2024

2.1.5 Ortoimágenes verdaderas (referenciadas a 2013, 2019 y 2024)

El levantamiento aéreo que dio origen a la restitución fotogramétrica de 2013 también produjo ortoimágenes obtenidas mediante la rectificación diferencial de imágenes aéreas utilizando un modelo digital del terreno y, por lo tanto, no pueden considerarse “ortofotos verdaderas”. No obstante, estas imágenes se utilizaron principalmente para analizar la distribución general del entorno construido en ese año.

La Figura 7 muestra una muestra de este producto para la misma área de Rocinha utilizada en todos los productos geospaciales ejemplificados en esta sección. De manera simultánea a los levantamientos LiDAR, sensores digitales pancromáticos capturaron imágenes aéreas de Río de Janeiro en 2019 y 2024. Estas imágenes fueron ortorrectificadas (Lerma García, 2002; Mikhail; Bethel; McGlone, 2001) utilizando los modelos de elevación derivados del LiDAR correspondiente, produciendo “ortofotos verdaderas” que eliminan eficazmente las distorsiones de paralaje al considerar las alturas del terreno y de los objetos (Brito, 1997). Las ortoimágenes incluyen las bandas espectrales azul, verde, roja e infrarrojo cercano y cumplen con el estándar de precisión PEC-PCD Clase A a escala 1:5000, con un error estándar planimétrico de 0,85 m (Comisión Nacional de Cartografía, 2016). Todas las imágenes están georreferenciadas al sistema UTM, zona 23S (SIRGAS 2000) y utilizan el datum vertical de Imituba como referencia. Las Figuras 8 y 9 muestran ejemplos de estas ortofotos.



Figura 7: Ortoimagen obtenida junto con la restitución fotogramétrica de 2013



Figura 8: Ortoimagen verdadera obtenida junto con el levantamiento fotogramétrico de 2019



Figura 9: Ortoimagen verdadera obtenida junto con el levantamiento fotogramétrico de 2024

2.2 Metodología

Esta investigación tuvo como objetivo analizar los patrones espacio-temporales del crecimiento urbano vertical en Río de Janeiro a lo largo de tres años distintos: 2013, 2019 y 2024. La metodología propuesta consistió en un análisis comparativo de modelos digitales de elevación (MDE) mediante álgebra de mapas raster. Al sustraer secuencialmente los modelos de elevación anteriores de los posteriores, el proceso generó una superficie diferencial. Este resultado clasifica el cambio urbano: los valores positivos indican nuevas construcciones y expansión vertical, los valores negativos señalan la demolición de estructuras, y los valores (cercanos a) nulos representan áreas de estabilidad sin cambio vertical.

Trabajos previos han sido realizados comparando conjuntos similares de imágenes pancromáticas y modelos digitales del terreno (Tian; Cui; Reinartz, 2014). Sin embargo, en el caso de Río de Janeiro existen algunas salvedades respecto al uso de metodologías concebidas para la comparación de conjuntos de datos similares. En este caso específico, los productos de 2013 son de naturaleza bastante diferente, por lo que fue necesario adoptar una estrategia particular. Todas las etapas metodológicas se llevaron a cabo en ArcGIS Pro 3.0 (y versiones superiores) y se explican a continuación.

2.2.1 Generación de un modelo de elevación de edificaciones para 2013

Se generó un modelo de elevación híbrido para todo el municipio correspondiente a 2013 mediante la integración de vectores de la extrusión de edificaciones con un modelo digital del terreno (MDT) de terreno desnudo. Este modelo sintético representa un modelo de elevación de edificaciones (*building elevation model* – BEM), ya que captura las alturas de los edificios excluyendo la vegetación y otras estructuras no edificadas.

El flujo de procesamiento comenzó con los vectores de edificaciones de 2013 restituidos fotogramétricamente. Estos polígonos 2D se convirtieron inicialmente en

entidades multipatch 3D, extruyendo cada edificación según su atributo de altura registrado, con el fin de crear una representación tridimensional continua que incluyera elementos arquitectónicos complejos como porches, marquesinas y terrazas.

Este multipatch 3D se convirtió posteriormente a formato raster con una resolución espacial de 0,5 m por píxel, dando como resultado un modelo de elevación de edificaciones (Figura 10). Esta resolución fue seleccionada para equilibrar la eficiencia del procesamiento a escala municipal con la necesidad de representar con precisión edificaciones individuales.



Figura 10: Huellas de la extrusión de edificaciones según la altitud del techo

El modelo sintético final de la ciudad se creó mediante la fusión de este raster de elevación de edificaciones con un MDT de resolución de 0,5 m derivado de curvas de nivel fotogramétricas de 2013. En esta fusión, los valores del raster de edificaciones sustituyeron a los valores del MDT en sus ubicaciones correspondientes, colocando efectivamente las edificaciones 3D sobre la superficie del terreno (Figura 11). El modelo compuesto fue recortado al límite municipal oficial y remuestreado a una resolución consistente de 0,5 m/píxel para su análisis.

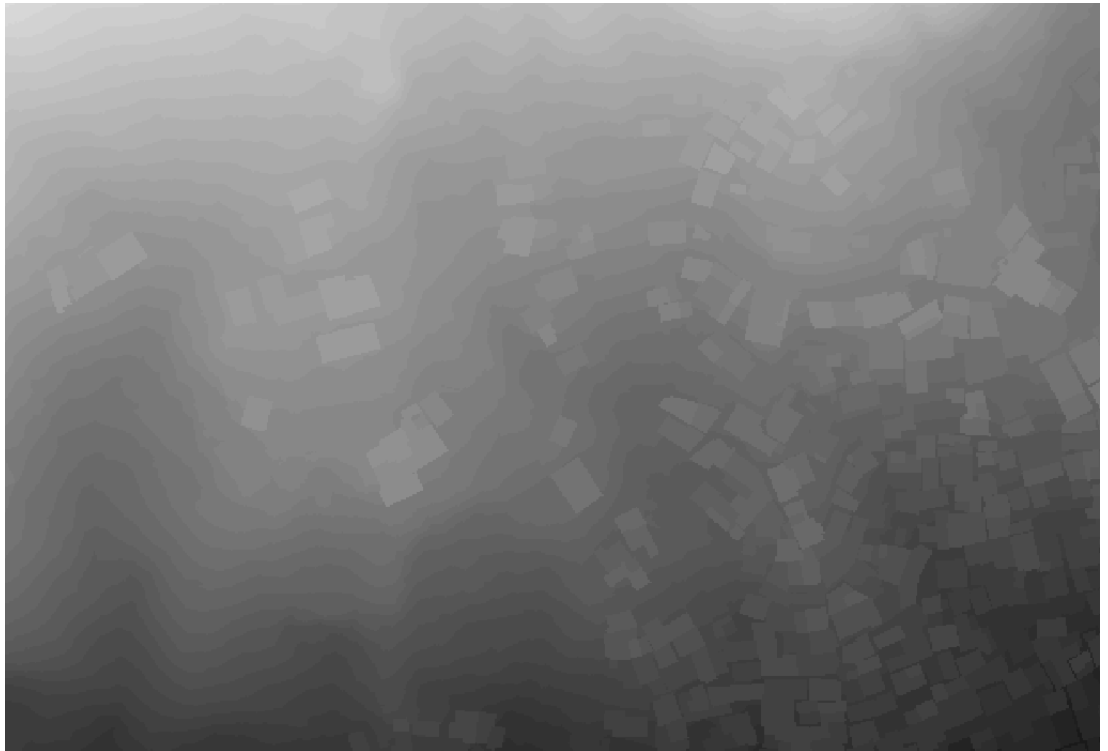


Figura 11: Modelo de elevación de edificaciones para 2013

2.2.2 Creación de los modelos de elevación de edificaciones para 2019 y 2024

A diferencia del modelo sintético de 2013, los conjuntos de datos de 2019 y 2024 se derivaron de nubes de puntos LiDAR, que representan modelos de superficie reales y capturan edificaciones, terreno, vegetación y otros elementos urbanos. Para garantizar la comparabilidad con el modelo de elevación de edificaciones de 2013 (BEM), los archivos .LAS fueron filtrados para excluir los puntos clasificados como vegetación media y alta (ASPRS, 2018). Este proceso conservó los puntos clasificados como edificaciones, suelo y vegetación baja, esta última con un perfil de elevación similar al del terreno.

Las nubes de puntos filtradas se convirtieron posteriormente en modelos raster continuos de superficie digital (DSM) con una resolución espacial de 0,5 m. Finalmente, estos DSM se recortaron al límite municipal oficial, dando como resultado dos modelos raster (Figuras 12 y 13) funcionalmente compatibles con el BEM de 2013 para el análisis posterior de detección de cambios.

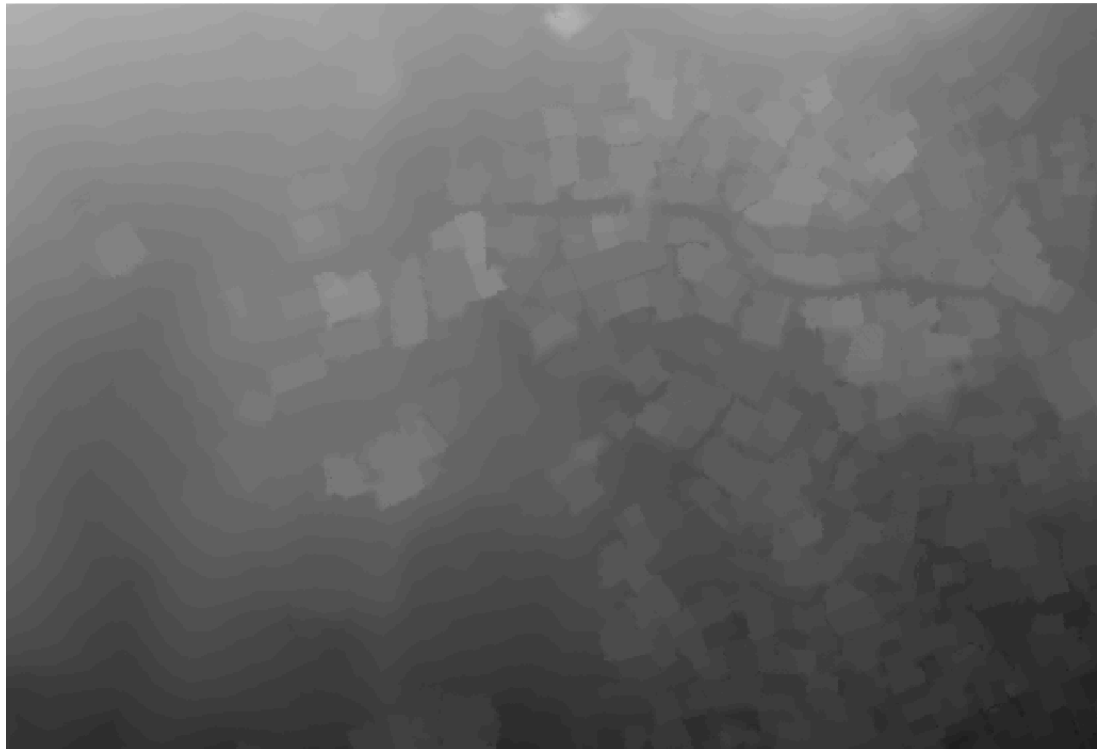


Figura 12: Modelo de elevación de edificaciones para 2019

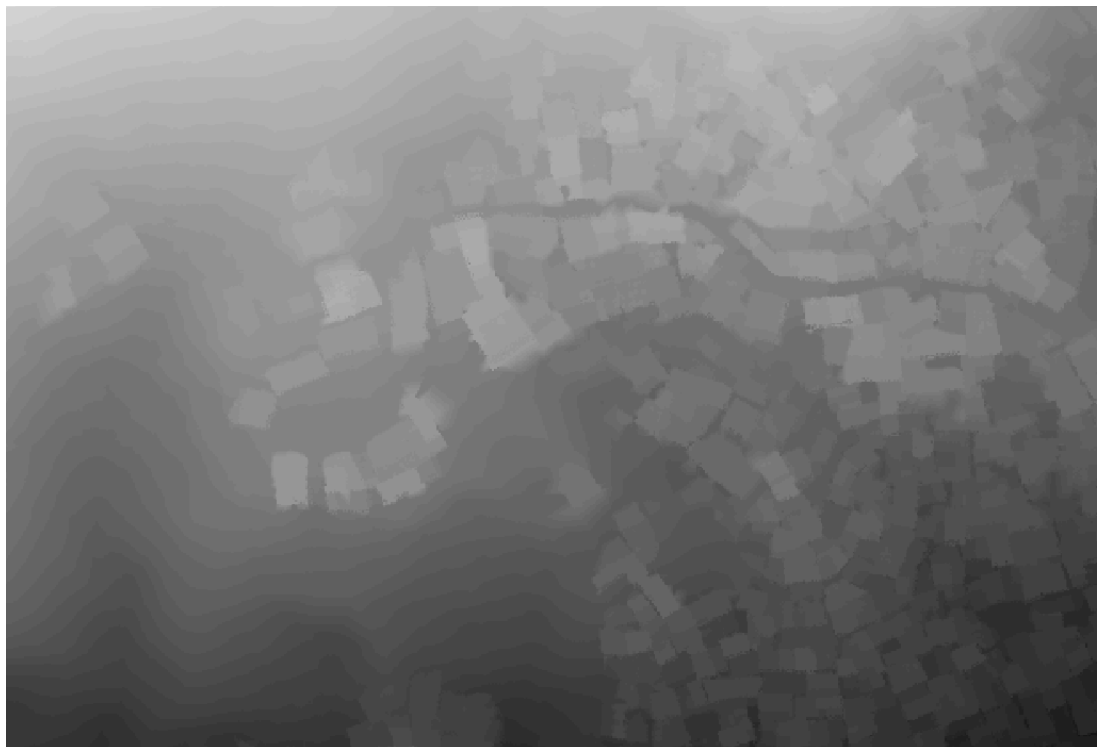


Figura 13: Modelo de elevación de edificaciones para 2024

2.2.3 Sustracción de Modelos Digitales de Elevación (álgebra de mapas)

Ambos conjuntos de datos raster se sometieron a una operación de sustracción mediante álgebra de mapas, que calculó la diferencia de altura de los píxeles superpuestos en las dos imágenes. El resultado indica las áreas donde hubo una diferencia positiva significativa (indicando crecimiento vertical), una diferencia negativa (indicando demolición) o ninguna diferencia (indicando ausencia de cambio vertical). La Figura 14 presenta un diagrama de los posibles resultados

derivados de la sustracción de los modelos.

No obstante, es importante señalar que el análisis puede verse afectado por errores causados por la cobertura vegetal y por estructuras no clasificadas como edificaciones, lo que puede conducir a resultados inexactos. Asimismo, pueden derivarse errores menores del desalineamiento raster, aunque el tamaño reducido de los píxeles es suficiente para garantizar que esto no resulte en la identificación de nueva actividad constructiva.



Figura 14: Diagrama esquemático de los posibles resultados derivados de la sustracción de los modelos

2.2.4 Procedimientos de filtrado

El índice NDVI (*normalized difference vegetation index* – índice de vegetación de diferencia normalizada) se utiliza para identificar vegetación saludable. Se calcula restando el valor de la luz reflejada en la banda del infrarrojo cercano (*NIR - Near infrared*) del valor de la luz reflejada en la banda roja (*Red*), y dividiendo el resultado por la suma de ambos valores, como se muestra en la Ecuación 1 (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2015). El índice se calcula píxel a píxel para toda la imagen, generando valores que oscilan entre -1 y 1. Un valor superior a 0,4 indica la presencia de vegetación saludable.

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

Utilizando los valores de NDVI para todo el territorio municipal, se generó una máscara binaria, asignando un valor de 0 a los píxeles cuyo índice es inferior a 0,4 y un valor de 1 a los píxeles cuyo índice es mayor o igual a 0,4. Esta máscara se aplicó al resultado de la sustracción de mapas para eliminar la mayoría de los artefactos causados por la presencia de árboles en los modelos de 2019 y 2024,

limitando así el análisis a las áreas no vegetadas.

También se llevaron a cabo procedimientos adicionales para eliminar ruido en áreas rocosas, asfaltadas y cuerpos de agua. Los afloramientos rocosos y los cuerpos hídricos se enmascararon utilizando los polígonos de uso del suelo de 2019, y se aplicó un filtrado morfológico (*ibid.*) mediante una erosión de 1 píxel seguida de una dilatación de 1 píxel.

La Figura 15 muestra cómo estos procedimientos, junto con el filtrado por NDVI, ayudaron a eliminar una cantidad considerable de ruido del Modelo Digital de Elevación original.



Figura 15: Máscara NDVI para 2019

2.2.5 Clasificación de la imagen y estadísticas zonales por edificación

La clasificación de la imagen se basó en los valores de diferencia de elevación, en las siguientes clases:

- -3 – Diferencias de elevación inferiores a -3 m (demolición)
- 0 – Diferencias absolutas de elevación inferiores a 3 m (inconcluso: no se puede determinar adición o demolición)
- 3 – Diferencias de elevación superiores a 3 m e inferiores a 6 m (adición de 1 planta)
- 6 – Diferencias de elevación superiores a 6 m e inferiores a 9 m (adición de 2 plantas)
- 9 – Diferencias de elevación superiores a 9 m e inferiores a 12 m (adición de 3 plantas)
- 12 – Diferencias de elevación superiores a 12 m e inferiores a 15 m (adición de 4 plantas)
- 15 – Diferencias de elevación superiores a 15 m (adición de 5 o más plantas)

Estos intervalos de clase se definieron a partir de un umbral de 3 metros, que supera de forma segura la altura típica añadida (o demolida) por planta. Este margen también contempla de manera fiable posibles errores sistemáticos en la misma dirección (incluso si todos los errores estándar se combinaran, no

superarían 1 m) y, en la mayoría de los casos, elimina las diferencias de elevación resultantes únicamente de la pendiente de los techos.

Hasta este punto, el análisis ha sido completamente raster. Para mejorarlo, se calcularon estadísticas zonales —incluyendo medidas de tendencia central (media, mediana y moda)— para cada huella de edificación en formato vectorial, con el fin de estimar el crecimiento vertical medio. Sin embargo, debido a la indisponibilidad de conjuntos de datos de huellas de edificaciones para 2024, este análisis se limitó a las edificaciones de 2013 y 2019.

Aun así, la conversión de los resultados raster a formato vectorial permite su integración completa en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y facilita visualizaciones 3D avanzadas, mejorando significativamente la interpretabilidad y respaldando análisis espaciales más sofisticados.

3 Resultados

3.1 Conjuntos de datos raster

Las Figuras 16 y 17 ilustran los mapas resultantes de cambio vertical para los períodos 2019–2013 y 2024–2019, respectivamente. Para mayor claridad, ambos mapas representan la misma área de muestra ubicada en Rocinha.

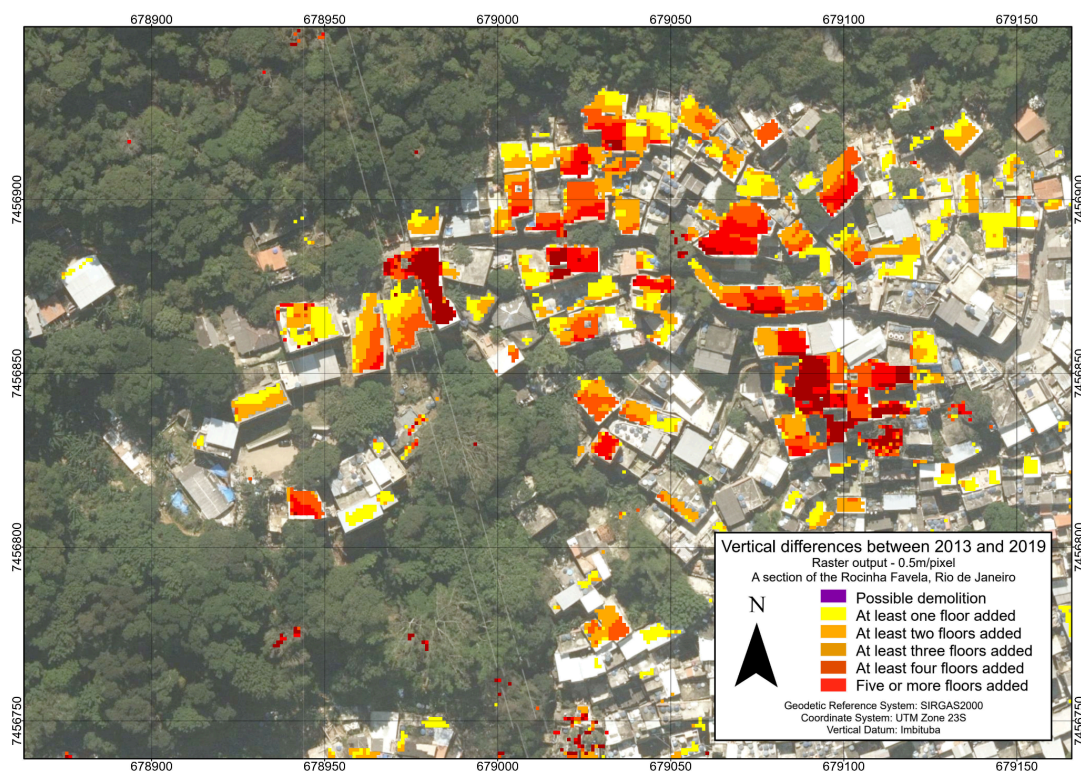


Figura 16: Conjunto de datos raster que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2019 menos 2013)

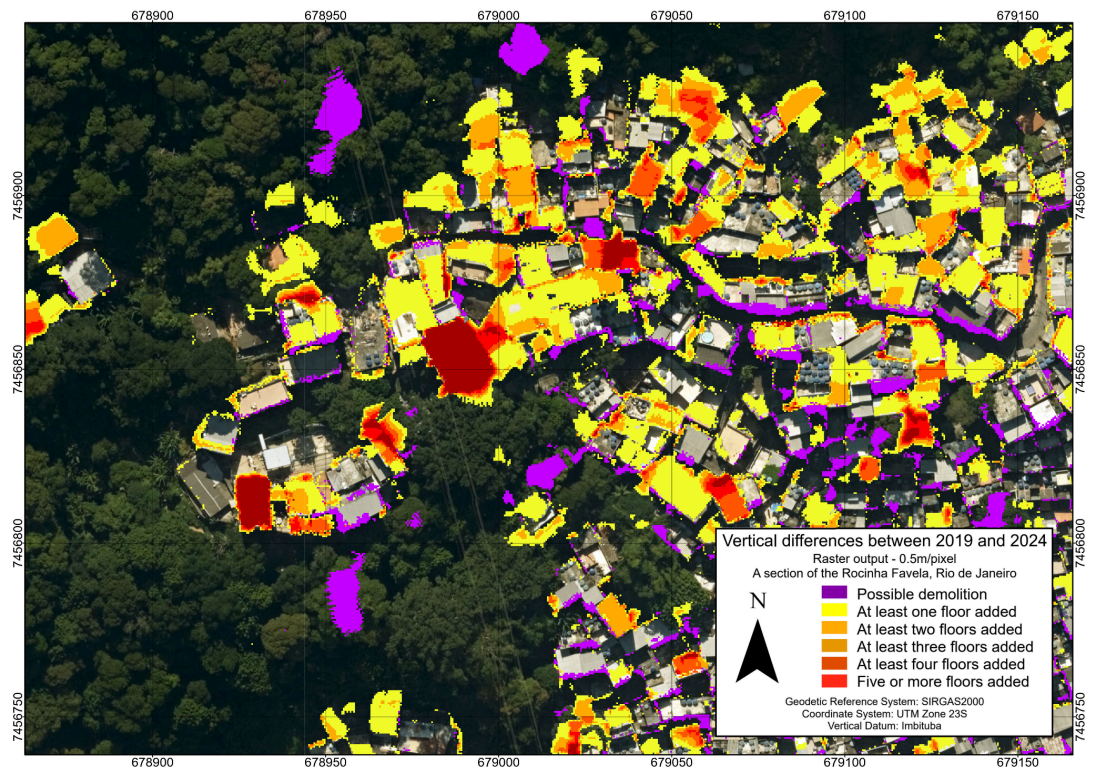


Figura 17: Conjunto de datos raster que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2024 menos 2019)

El conjunto de datos raster diferencial inicial resultó difícil de analizar y difundir debido a su gran tamaño de archivo, derivado del almacenamiento de valores brutos de elevación y de ruido residual. Para resolver este problema, los datos se reclasificaron en intervalos de 3 metros (véase la subsección 2.2.5). Se observa que, aunque los conjuntos de datos raster se ajustan lo más posible a la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones, aún presentan un ruido considerable a lo largo de los bordes. Este efecto es todavía más evidente en la Figura 17, a pesar de todos los esfuerzos realizados para eliminar el ruido.

3.2 Conjuntos de datos vectoriales

En comparación, las Figuras 18 y 19 muestran el crecimiento vertical medio sintetizado dentro de las huellas de edificaciones de 2013 y 2019, respectivamente. Una comparación visual con las figuras raster (16 y 17) pone de manifiesto una limitación clave del enfoque de estadísticas zonales: no puede detectar nuevas construcciones levantadas sobre suelo previamente vacante, ya que estas áreas carecen de un polígono correspondiente en el año base.

En consecuencia, mientras que el producto vectorial ofrece una visualización más clara de los cambios morfológicos en edificaciones existentes, el producto raster proporciona una imagen más completa y precisa al capturar todo el cambio vertical, incluidas las nuevas construcciones, a pesar de ser más ruidoso y más complejo de visualizar.

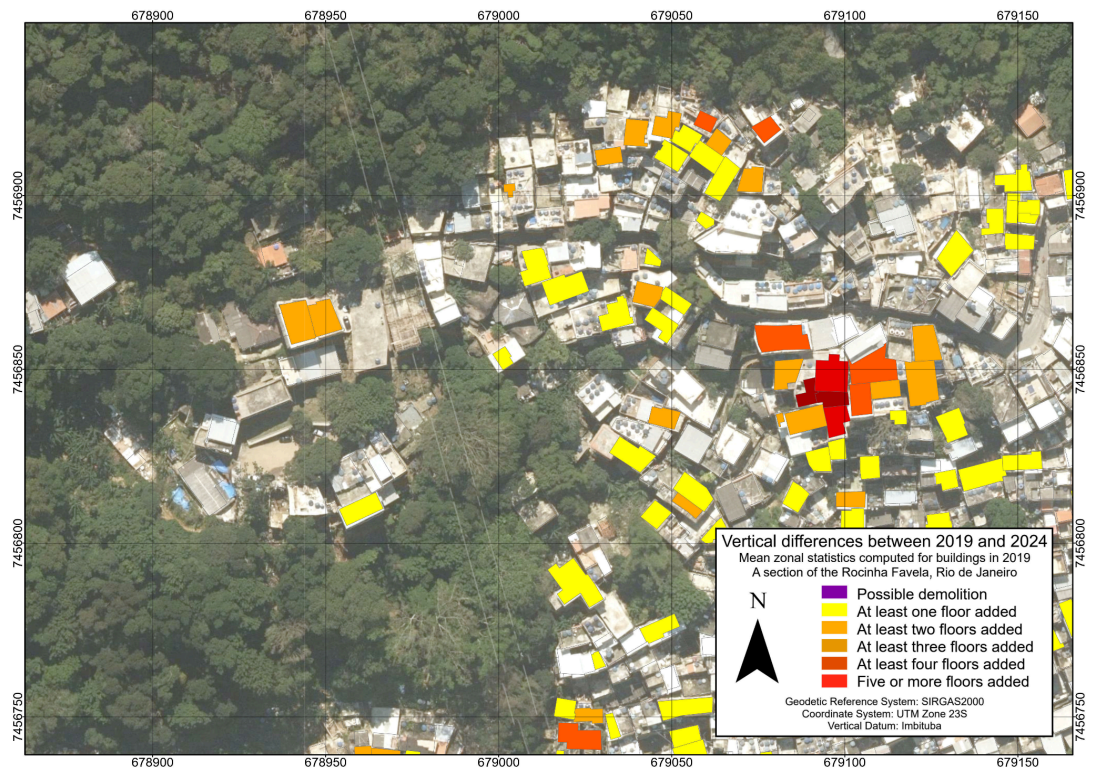


Figura 18: Conjunto de datos vectorial que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2019 menos 2013), tras la aplicación de estadísticas zonales a las edificaciones de 2019

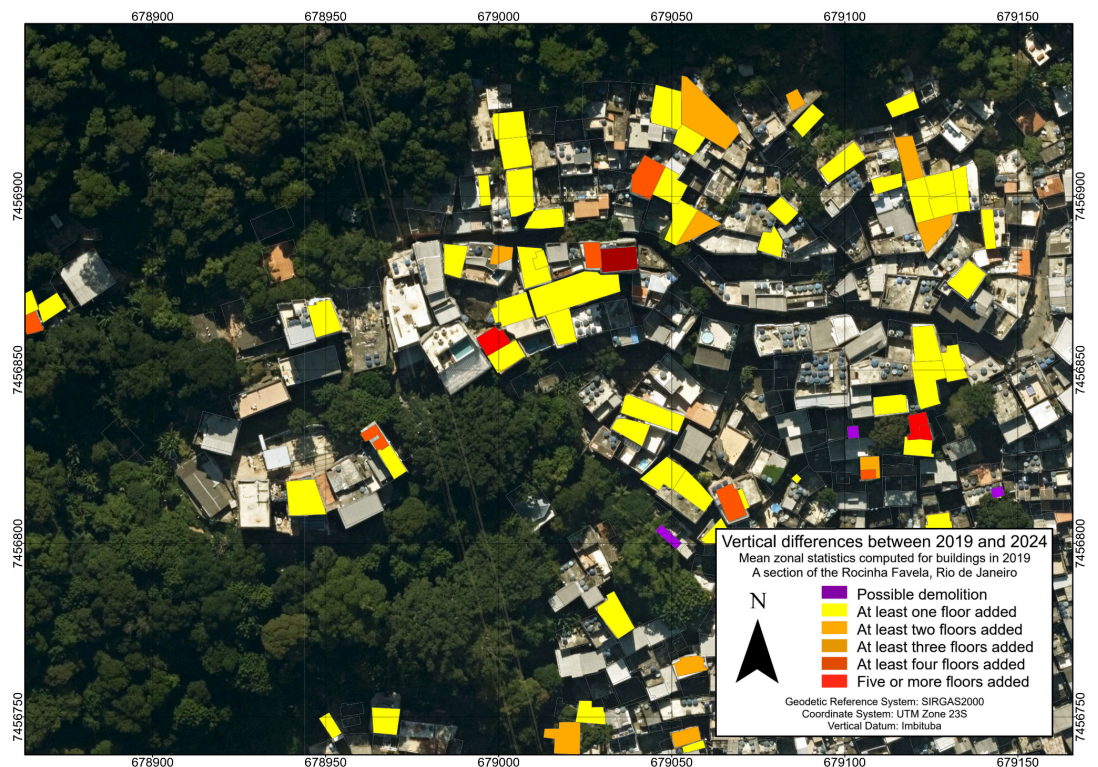


Figura 19: Conjunto de datos vectorial que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2024 menos 2019), tras la aplicación de estadísticas zonales a las edificaciones de 2019

3.3 Estimaciones del crecimiento urbano y validación de los resultados

Los conjuntos de datos vectoriales proporcionan algunas funcionalidades tabulares que permitieron estimar el volumen y el área total añadidos. Mediante la aplicación

de estadísticas zonales y asumiendo la adición de una nueva planta por cada 3 metros de cambio vertical, la Tabla 1 resume los principales resultados.

Tabla 1: Estadísticas resumidas para los conjuntos de datos vectoriales de diferencias verticales

Período	Volumen añadido (m ³)	Área añadida (m ²)	Variación de volumen (m ³) considerando demoliciones	Variación de área (m ²) considerando demoliciones
2013 a 2019	96 530 059	7 321 866	36 943 262	5 159 677
2019 a 2024	117 076 619	8 142 611	97 846 086	7 634 706

Es importante señalar que estos datos conllevan una serie de incertidumbres. En primer lugar, los cambios en volumen y área se basan en estimaciones del número de plantas añadidas, suponiendo una altura estándar de 3 metros por planta. En segundo lugar, no todas las expansiones representan nuevas unidades residenciales en sí mismas; también incluyen un número considerable de grandes equipamientos, como estadios, centros comerciales, estaciones ferroviarias, escuelas y hospitales, incluidos aquellos construidos específicamente para los Juegos Olímpicos de 2016.

Además, dado que los conjuntos de datos vectoriales se refieren a 2013 y 2019, también se calculó el área total edificada. Esto dio como resultado 183 186 564 m² de huellas de edificaciones en 2013 y 199 152 409 m² en 2019 (una estadística que no tiene en cuenta el número de plantas por edificación), lo que indica un crecimiento modesto del 7,8% en la superficie edificada horizontal durante el período.

A pesar de estas dificultades, la validación también fue posible mediante comparaciones visuales que muestran cómo la metodología fue capaz de capturar correctamente áreas de construcción bien conocidas. La Figura 20, por ejemplo, muestra los cambios en el área del Parque Olímpico.

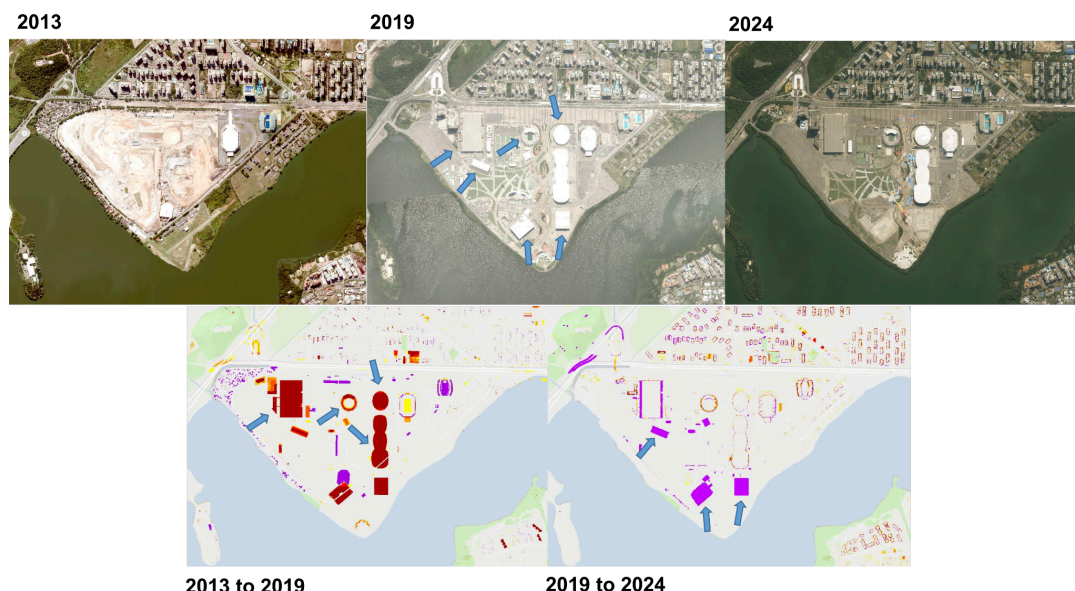


Figura 20: Cambios en el área del Parque Olímpico. La inspección visual muestra que la metodología fue capaz de captar las estructuras construidas para los Juegos de 2016 y, nuevamente, la demolición de algunas estructuras temporales entre 2019 y 2024. Otros elementos incluyen el desalojo forzoso de Vila Autódromo (esquina noroeste) y la construcción de nuevos condominios en la mitad norte del área.

4 Discusión

4.1 Limitaciones metodológicas

Una distinción metodológica clave radica en la representación de las edificaciones. El modelo de 2013 comprende polígonos de edificios a los que se les asigna una única elevación de cubierta, lo que da lugar a estructuras con techo plano y sin variación de pendiente. En contraste, la mayor densidad de puntos de los modelos derivados de LiDAR de 2019 y 2024 captura la topografía detallada de las cubiertas (Priestnall; Jaafar; Duncan, 2000). En consecuencia, la sustracción del modelo de 2013 respecto de un modelo posterior puede generar pequeñas diferencias de altura atribuibles a estas variaciones de pendiente del techo, y no a cambios estructurales reales.

La adquisición de datos LiDAR se basa en el georreferenciamiento directo, que utiliza cinemática en tiempo real (*Real-Time Kinematics* – RTK) y Unidades de Medición Inercial (*Inertial Measurement Units* – IMU) para determinar los parámetros de orientación exterior del sensor. Este proceso proporciona un posicionamiento altamente preciso para cada retorno de señal. Sin embargo, pueden producirse pequeñas discrepancias en el registro planimétrico a lo largo de los bordes de los edificios entre distintas campañas de levantamiento. Estos ligeros desplazamientos se hacen particularmente evidentes al realizar álgebra de mapas raster, como al sustraer el modelo de 2019 del de 2024. En estos mapas de diferencia, los bordes desalineados de las edificaciones suelen interpretarse erróneamente como áreas de demolición o de nueva construcción (Figura 20). En consecuencia, aunque precisas, estas visualizaciones raster pueden resultar difíciles de interpretar para usuarios no familiarizados con los artefactos inherentes a la comparación multitemporal de datos LiDAR.

Finalmente, como se señaló previamente, una salvedad crítica del análisis basado en datos vectoriales es su dependencia de huellas preexistentes. Dado que las estadísticas zonales solo pueden calcularse para estos polígonos, el método no logra registrar ninguna construcción realizada desde cero. Esto limita su utilidad exclusivamente a la comprensión de los cambios en el parque edificatorio ya registrado en el año base, tal como se muestra también en la Figura 21.



Figura 21: Comparación de los resultados de detección de cambios utilizando modelos de datos raster (arriba) y vectoriales (abajo) para el período 2014–2019. El resultado raster muestra ruido en los bordes debido a pequeños desplazamientos planimétricos entre levantamientos, mientras que el resultado vectorial, derivado de estadísticas zonales, omite una nueva edificación construida después de 2019 (véase la flecha).

4.2 Usos potenciales

Los datos raster proporcionan una metodología consistente para monitorear el crecimiento vertical en todo el tejido urbano. Como se muestra en las Figuras 16 y 17, son eficaces para detectar construcciones informales e incrementales en favelas. Por otra parte, también pueden utilizarse para captar desarrollos de gran escala en distritos formales de la ciudad. Esta capacidad permite a las autoridades municipales superar informes fragmentados y mantener una comprensión holística y actualizada de las dinámicas de desarrollo urbano, lo cual es fundamental para una planificación eficaz de la infraestructura y la provisión de servicios.

Una aplicación crítica de este enfoque es la capacidad de auditar el desarrollo urbano conciliando los permisos de construcción aprobados con la construcción

efectivamente realizada, reforzando así la transparencia regulatoria. Esto se ejemplifica en el área de Jardim Botânico (Figuras 22 y 23), donde el modelo capta una dinámica intensa del mercado. Tres cambios específicos resultan notables: un importante sitio de construcción en el sector noroeste avanzó por fases entre 2013 y 2024; un edificio en el sector suroeste fue demolido y reemplazado por instalaciones recreativas (una piscina y una cancha deportiva); y una propiedad en el sector centro-sur experimentó una demolición seguida de la construcción de un edificio residencial en altura.

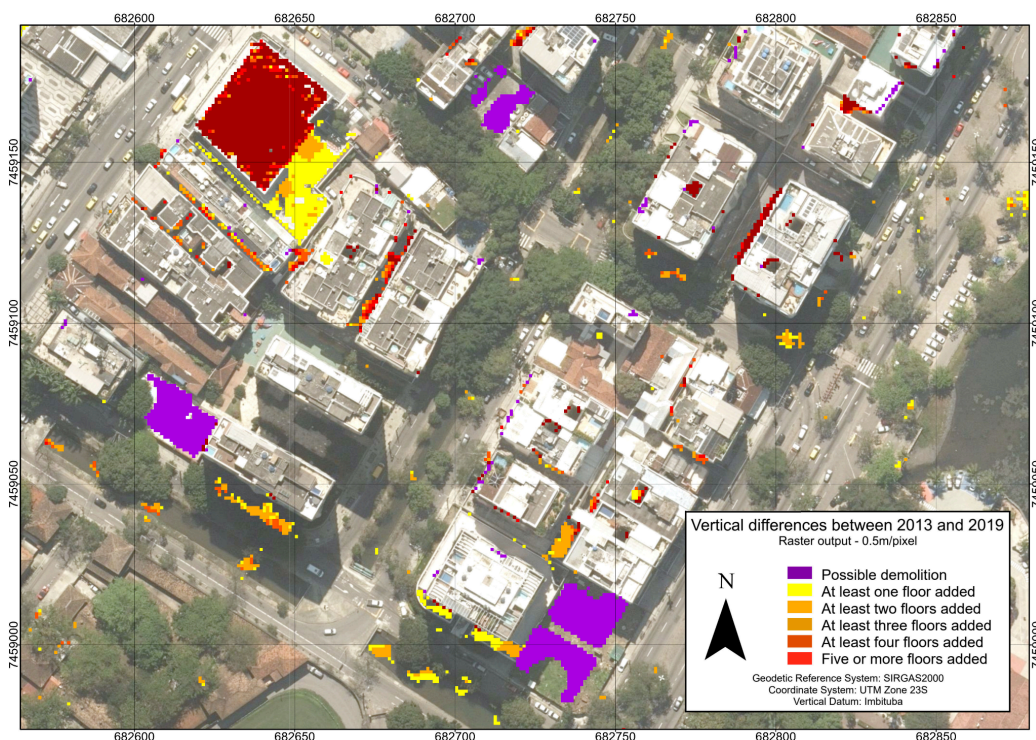


Figura 22: Conjunto de datos raster que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2019 menos 2013) en el barrio de Jardim Botânico

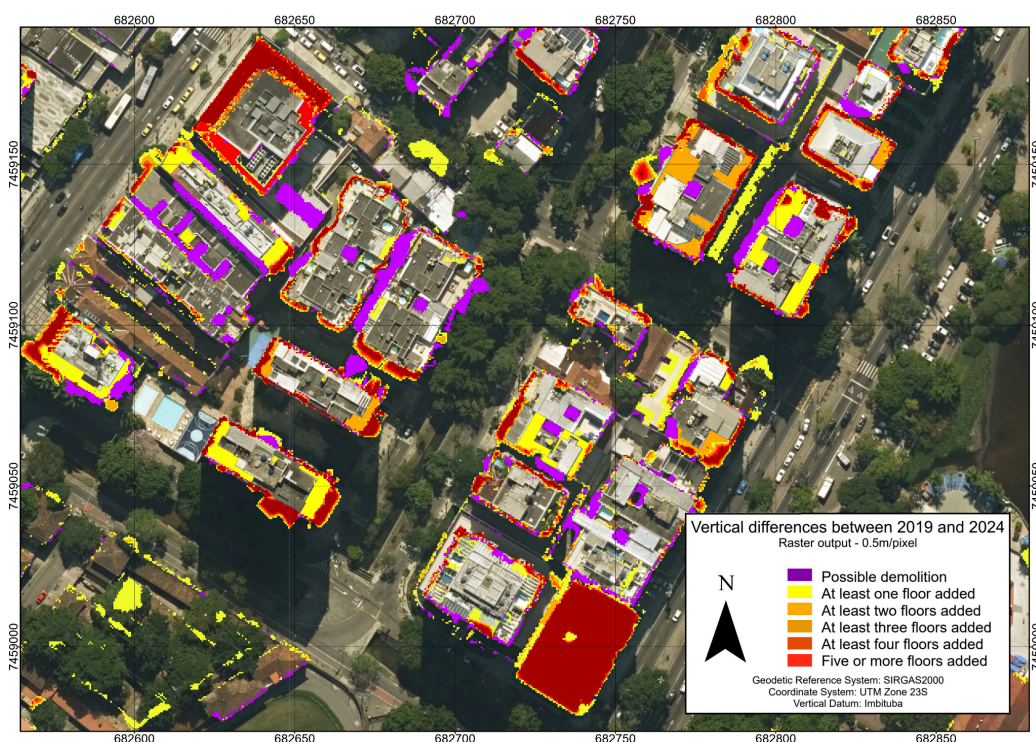


Figura 23: Conjunto de datos raster que representa la sustracción de los modelos de elevación de edificaciones (2024 menos 2019) en el barrio de Jardim Botânico

Por lo tanto, al capturar con precisión la altitud y la huella de estos proyectos, el modelo proporciona una herramienta objetiva para verificar el cumplimiento de las normativas de zonificación y de los proyectos aprobados, garantizando que el desarrollo privado se alinee con los objetivos de la planificación pública.

Más allá de los edificios individuales, los datos vectoriales pueden integrarse en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para análisis estadísticos espaciales. Mediante la realización de análisis de conglomerados, como se ilustra en la Figura 24, los planificadores pueden identificar *hotspots* de intensa actividad edificatoria. Esto revela patrones de transformación urbana impulsados por la dinámica del mercado inmobiliario, lo que permite intervenciones de política pública focalizadas, como la actualización de mapas de valor del suelo o la orientación de inversiones en infraestructura hacia áreas con mayor presión de crecimiento.



Figura 24: El análisis permite identificar hotspots en la dinámica inmobiliaria de las favelas, como se muestra en este ejemplo del Complejo do Alemão (arriba, 2019 menos 2013) y Vidigal (abajo, 2024 menos 2019)

Cuando se procesa mediante estadísticas zonales, el conjunto de datos se transforma en un modelo virtual 3D simplificado, utilizando las herramientas 3D de ArcGIS Pro. Como se ilustra en las Figuras 25 y 26, esta visualización simplifica de manera notable la identificación de cambios significativos de altura. Esto amplía la utilidad del modelo no solo para el análisis técnico, sino también para la comunicación, proporcionando una herramienta intuitiva para involucrar a responsables políticos, partes interesadas y al público en debates sobre el crecimiento urbano y sus impactos. De este modo, se tiende un puente entre datos geoespaciales complejos e información accionable.



Figura 25: Visualización 3D del crecimiento vertical aplicada a asentamientos informales en Muzema



Figura 26: Visualización 3D del crecimiento vertical aplicada al barrio de Recreio dos Bandeirantes

4.3 Otros hallazgos

Los resultados muestran una fuerte tendencia de crecimiento vertical en la ciudad de Río de Janeiro, dado que los incrementos en área y volumen superan considerablemente la expansión en términos de huellas edificatorias. Como ya se discutió en la sección 4.1, no es aconsejable utilizar datos resumidos para inferir tendencias específicas de actividad constructiva (como estimaciones del número de nuevas unidades residenciales añadidas), debido a las múltiples incertidumbres involucradas en el proceso. No obstante, el hecho de que la validación visual haya demostrado coherencia con los cambios observados en ortoimágenes indica que pueden realizarse estimaciones generales a escala de toda la ciudad con los datos obtenidos en este estudio. Finalmente, estos mismos datos pueden utilizarse para el monitoreo tanto de construcciones legales como ilegales, proporcionando así una herramienta de cribado que puede emplearse en conjunto con otras medidas (como la consulta de permisos y levantamientos aéreos localizados).

5 Conclusión

La ciudad de Río de Janeiro enfrenta un desafío crítico derivado del crecimiento vertical descontrolado, enraizado en sus complejas dinámicas inmobiliarias formales e informales. Históricamente, la geografía montañosa de Río concentró el desarrollo formal en las planicies, mientras que los asentamientos informales se expandieron hacia laderas y periferias. A medida que el suelo disponible se volvió escaso, emergió una marcada tendencia de crecimiento vertical dentro de las favelas, lograda mediante la adición de plantas a estructuras existentes o a través de construcciones irregulares. Este cambio implica que la construcción informal se asemeje cada vez más al desarrollo formal, pero sin supervisión regulatoria, lo que conlleva riesgos severos. Más allá de la seguridad, este crecimiento desordenado agrava problemas ambientales, creando islas de calor, aumentando la contaminación y reduciendo los espacios verdes, además de sobrecargar la infraestructura y profundizar las desigualdades urbanas.

Gestionar eficazmente este fenómeno requiere herramientas de medición precisas. Durante décadas, el monitoreo mediante sistemas como SABREN se ha centrado en la expansión horizontal, dejando el crecimiento vertical en gran medida sin medir y obstaculizando políticas eficaces. Un avance decisivo se produjo con la disponibilidad de datos geoespaciales avanzados: los levantamientos LiDAR municipales de 2019 y 2024 generaron modelos 3D detallados de toda la ciudad. Al comparar los levantamientos LiDAR municipales de 2019 y 2024, la investigación pasa de meramente describir el fenómeno de la verticalización a cuantificar directamente su magnitud y su ritmo a lo largo del tiempo. Esta capacidad marca un cambio crucial, de un monitoreo reactivo a una gobernanza urbana proactiva y basada en evidencias.

No obstante, la investigación también presenta sus propias limitaciones. Si bien el método raster proporciona una visión consistente a escala urbana para detectar cambios verticales, es susceptible a ruido interpretativo derivado de pequeños desplazamientos planimétricos entre levantamientos. Por otro lado, el enfoque basado en datos vectoriales, que utiliza estadísticas zonales sobre huellas existentes, ofrece mediciones precisas para edificaciones conocidas, pero no logra capturar construcciones completamente nuevas. Desde el punto de vista empírico, los datos demostraron ser altamente eficaces para aplicaciones específicas, como la auditoría del desarrollo formal e informal y la identificación de *hotspots* de crecimiento. Además, la conversión de los datos en visualizaciones 3D simplificadas cierra una brecha crucial, transformando métricas complejas en herramientas intuitivas para la comunicación y la formulación de políticas públicas.

El principal hallazgo empírico es la confirmación de una tendencia dominante de crecimiento vertical en toda la ciudad, en la que los incrementos de volumen edificatorio y de área de cubierta superan la expansión de las huellas. Esto sugiere la verticalización como una dinámica urbana clave. En ese sentido, la metodología

puede utilizarse como una herramienta de cribado capaz de monitorear construcciones legales e ilegales para una amplia gama de actividades de planificación. Sin embargo, su efectividad está condicionada por sus limitaciones: se trata de un componente de un ecosistema de monitoreo más amplio, y no de una solución independiente. El camino a seguir, por lo tanto, radica en la integración de este conjunto de datos con otros, como bases de permisos y levantamientos de campo.

Referencias

- ASPRS. **LAS Specifications**. [S.I.], 2018. Version 1.4 OGC Community Standard.
- BRITO, J. L. N. S. Precision of Digital Orthoimages: Assessment and Application to the Occlusion Detection Problem. 1997. PhD thesis – The Ohio State University.
- COELHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. S. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2007. P. 196.
- COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. Brasília, 2016.
- ERBA, D. A.; PIUMETTO, M. A. **Para compreender o solo urbano: cadastros multifinalitários para o planejamento e o desenvolvimento das cidades na América Latina**. [S.I.]: Lincoln Institute of Land Policy, 2021.
- KRAUS, K. **Photogrammetry: Fundamentals and Standard Processes**. Bonn: Ferd Dümmler Verlag, 1992.
- KREILING, A. **Photogrammetric Guide**. Karlsruhe: Wichmann, 2009.
- LERMA GARCÍA, J. L. **Fotogrametría Moderna: Analítica Y Digital**. Primera. València: Editorial Universitat Politècnica de València, 2002.
- LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7th. New York: Wiley, 2015.
- MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. [S.I.]: John Wiley & Sons, 2001.
- PALME, M.; RAMÍREZ, J. G. A **Critical Assessment and Projection of Urban Vertical Growth in Antofagasta, Chile**. Sustainability, v. 5, n. 7, p. 2840–2855, 2013.
- PRIESTNALL, G.; JAAFAR, J.; DUNCAN, A. **Extracting urban features from LiDAR digital surface models**. Computers, Environment and Urban Systems, v. 24, n. 2, p. 65–78, 2000.
- SASS, G. G.; AMORIM, A. **Multipurpose land cadastre and data temporality**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 66, n. 5, p. 1029–1038, 2014.
- TIAN, J.; CUI, S.; REINARTZ, P. **Building Change Detection Based on Satellite Stereo Imagery and Digital Surface Models**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 52, n. 1, p. 406–417, 2014.
- TOPOCART AEROLEVANTAMENTOS. **Relatório de execução de bases cartográficas na escala 1:2000 (área urbana/comunidade de baixa renda) por restituição aerofotogramétrica digital e geração de ortofotos na escala 1/10.000, visando a atualização da base cartográfica**. Brasília, Brasil, 2013.
- TOPOCART AEROLEVANTAMENTOS. **Relatório de mapeamento aerofotogramétrico do município do Rio de Janeiro por mosaico de ortoimagens multiespectrais, ortorretificadas com correção de paralaxe ("true ortho") e geração de modelos digitais de elevações e de terreno por perfilamento a laser (LiDAR)**. Brasília, Brasil, 2024.
- TOPOCART AEROLEVANTAMENTOS. **Relatório de mapeamento aerofotogramétrico na escala 1:5000 do município do Rio de Janeiro por mosaicos de ortoimagens digitais coloridas obtidas por plataforma aérea e**

ortorretificadas de acordo com elevações ("true ortho"); modelo digital de elevações e modelo digital do terreno por perfilamento a laser. Brasília, Brasil, 2019.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; WILKINSON, B. E. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS.** 4th. Boston: McGraw-Hill, 2014.

YUAN, B. et al. **Separate and combined effects of 3D building features and urban green space on land surface temperature.** Journal of Environmental Management, v. 295, p. 113116, 2021. Accessed: 2023-04-29. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113116.

Sobre los Autores

Luiz Carlos Teixeira Coelho es Ingeniero Cartógrafo (IME), posee una Maestría en Informática (UFAM) y un Doctorado en Planeamiento Urbano y Regional (UFRJ), con licenciaturas en Matemáticas y Geografía. Es servidor público en las esferas municipal y estatal, como investigador del Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP) y profesor adjunto de la Universidad del Estado de Río de Janeiro. Además, es investigador asociado del Senseable City Lab, Massachusetts Institute of Technology y docente colaborador del Programa de Posgrado en Ingeniería Urbana de la Universidad Federal de Río de Janeiro. En este ámbito, sus principales intereses se centran en Procesamiento Digital de Imágenes de Sensores Remotos (para aplicaciones en Fotogrametría y Análisis de Imágenes), Modelado Digital de Superficies y Catastro Multifinalitario.

Felipe Cerbella Mandarino es el actual Coordinador de Información de la Ciudad del Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. Es licenciado en Geografía por la Universidade Federal do Rio de Janeiro (2007) y posee una Certificación Profesional como "Urban GHG Inventory Specialist". Tiene experiencia en el área de las Geociencias, con énfasis en Cambio Climático, Desarrollo Urbano Sostenible y Sistemas de Información Geográfica, trabajando principalmente en los siguientes temas: sistemas de monitoreo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, indicadores, análisis espacial e impactos ambientales.

Leandro Gomes Souza es licenciado en Geografía (2008) y posee el título de profesor en Geografía (2010) por la Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Obtuvo el grado de máster en Planificación Urbana y Regional en el Instituto de Investigación y Planificación Urbana y Regional de la Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) en 2014. También es especialista en Políticas Públicas y Gestión Gubernamental por el IUPERJ/UCAM (2016). Actualmente trabaja en el Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP), donde se desempeña como Gerente de Cartografía desde 2016.

Adriana Mendes de Pinho Vial es licenciada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidade Federal Fluminense – UFF (1994). Obtuvo el grado de máster en Arquitectura por la Universidade Federal do Rio de Janeiro – PROARQ UFRJ (2001) y un MBE en Economía y Gestión de la Sostenibilidad, con énfasis en Vivienda de Interés Social, por la Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (2016). Actualmente se desempeña como Gerente de Estudios Habitacionales y Urbanos del Instituto Pereira Passos – IPP del Gobierno Municipal de la Ciudad de Río de Janeiro, donde coordina el SABREN – Sistema de Asentamientos de Bajos Ingresos, que contiene el registro de las favelas del municipio de Río de Janeiro. Su experiencia en Vivienda de Interés Social y Geoprocesamiento en el IPP se extiende desde 1997 hasta la actualidad.

Vânia Regina Amorim da Silva es licenciada en Geografía por la Universidade Federal do Rio de Janeiro (2006), cuenta con una especialización en Relaciones Internacionales por la UCAM (2007) y un máster profesional en Ingeniería Urbana por la UFRJ (2014), con énfasis en los componentes sociales de los programas de urbanización de favelas. Posee experiencia en Planificación Urbana y Regional y

geoprocesamiento: 1) apoyo técnico en el Instituto de Investigación y Planificación Urbana y Regional (2005–2007); 2) actuación como geógrafa en la Gerencia de Estudios Habitacionales y Urbanos del Instituto Pereira Passos del Gobierno de la Ciudad de Río de Janeiro (2008–2025).

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, [L.C.T.C., F.C.M.]; metodología, [L.C.T.C., F.C.M.]; software [L.C.T.C., F.C.M.]; validación, [L.C.T.C., F.C.M., L.G.S.]; análisis formal, [L.C.T.C., F.C.M., L.G.S.]; investigación, [L.G.S., A.M.P.V., V.R.A.S.]; recursos, [L.G.S., A.M.P.V., V.R.A.S.]; curaduría de datos, [L.G.S.]; redacción—preparación del borrador original, [L.C.T.C.]; redacción—revisión y edición [F.C.M., L.G.S., A.M.P.V., V.R.A.S.]; visualización, [L.C.T.C.]; supervisión, [F.C.M.]; administración del proyecto, [L.C.T.C.]; adquisición de financiamiento, [F.C.M.]. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión publicada del manuscrito.

Financiación

Los datos de esta investigación fueron obtenidos mediante un financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo para el PROAP III (Urbanización de Favelas y Asentamientos Informales).

Disponibilidad de Datos

Los datos de esta investigación pueden estar disponibles previa solicitud.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Sobre la *Coleção Estudos Cariocas*

La *Coleção Estudos Cariocas* (ISSN 1984-7203) es una publicación dedicada a estudios e investigaciones sobre el Municipio de Río de Janeiro, vinculada al Instituto Pereira Passos (IPP) de la Secretaría Municipal de la Casa Civil de la Alcaldía de Río de Janeiro.

Su objetivo es divulgar la producción técnico-científica sobre temas relacionados con la ciudad de Río de Janeiro, incluyendo sus conexiones metropolitanas y su inserción en contextos regionales, nacionales e internacionales. La publicación está abierta a todos los investigadores (sean empleados municipales o no), abarcando áreas diversas — siempre que aborden, parcial o totalmente, el enfoque espacial de la ciudad de Río de Janeiro.

Los artículos también deben alinearse con los objetivos del Instituto, a saber:

1. promover y coordinar la intervención pública en el espacio urbano del Municipio;
2. proveer e integrar las actividades del sistema de información geográfica, cartográfica, monográfica y de datos estadísticos de la Ciudad;
3. apoyar el establecimiento de las directrices básicas para el desarrollo socioeconómico del Municipio.

Se dará especial énfasis a la articulación de los artículos con la propuesta de desarrollo económico de la ciudad. De este modo, se espera que los artículos multidisciplinarios enviados a la revista respondan a las necesidades de desarrollo urbano de Río de Janeiro.