



COLEÇÃO
ESTUDOS
CARIOCAS

Estimación de la heterogeneidad de la precisión posicional de los ejes viales de la plataforma OpenStreetMap: un estudio preliminar en el municipio de Río de Janeiro - RJ

Estimation of positional accuracy heterogeneity of OpenStreetMap road networks: a preliminary study in the municipality of Rio de Janeiro - RJ

Estimativa da heterogeneidade de eixos viários da plataforma OpenStreetMap por meio da determinação da sua Acurácia Posicional: um estudo preliminar no município do Rio de Janeiro – RJ

Nathan Damas Antonio¹, Elias Nasr Naim Elias², Irving da Silva Badolato³, Silvana Philippi Camboim⁴ y Marcio Augusto Reolon Schmidt⁵

¹Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Campus Centro Politécnico, Bloco VI, Curitiba - PR, 81530-000, ORCID: 0000-0002-1469-2867, nathandamas@ufpr.br

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Francisco Negrão de Lima, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã - Pavilhão João Lira Filho, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, 20550-013, ORCID: 0000-0003-2289-5055, elias.naim@eng.uerj.br

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Francisco Negrão de Lima, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã - Pavilhão João Lira Filho, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ, 20550-013, ORCID: 0000-0002-4058-4392, irvingbadolato@eng.uerj.br

⁴Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Campus Centro Politécnico, Bloco VI, Curitiba - PR, 81530-000, ORCID: 0000-0003-3557-5341, silvanacamboim@ufpr.br

⁵Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 Campus Santa Mônica, Bloco 1Y, secretaria FECIV, Santa Mônica, 38408100 - Uberlândia, MG, ORCID: 0000-0003-2716-2360, marcio.schmidt@ufu.br

Resumen

Volumen
13

Número
4

*Autor(a) correspondiente
nathandamas@ufpr.br

Envío 21 nov 2025

Aceptación 8 dic 2025

Publicación 23 dic 2025

¿Cómo Citar?

ANTONIO, N. D. et al. *Estimación de la heterogeneidad de la precisión posicional de los ejes viales de la plataforma OpenStreetMap: un estudio preliminar en el municipio de Río de Janeiro - RJ. Colección Estudios Cariocas*, v. 13, n. 4, 2025.

DOI: 10.71256/19847203.13.4.197.2025

El artículo fue originalmente enviado en PORTUGUÉS. 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.



Este artículo estima la heterogeneidad de la exactitud posicional de la red vial de OpenStreetMap (OSM) en el municipio de Río de Janeiro, destacando implicaciones para análisis de transporte y gestión ambiental urbana. La aplicación del Estándar Brasileño de Exactitud Cartográfica a seis muestras independientes demostró, de manera estadísticamente significativa, que la calidad del OSM no es homogénea, variando entre las clases B y C en la escala 1:10.000. Los mayores errores posicionales, de hasta 9,07m, se observaron en áreas formales consolidadas, lo que indica que la heterogeneidad es multifactorial y está asociada a la desalineación temporal entre bases cartográficas, con impactos directos en aplicaciones ambientales y de movilidad.

Palabras clave: OpenStreetMap, precisión posicional, heterogeneidad de datos

Abstract

This article estimates the heterogeneity of positional accuracy of the OpenStreetMap (OSM) road network in the municipality of Rio de Janeiro, highlighting implications for transport analyses and urban environmental management. The application of the Brazilian Cartographic Accuracy Standard to six independent samples demonstrated, in a statistically significant manner, that OSM quality is not homogeneous, ranging between Classes B and C at the 1:10,000 scale. The largest positional errors, reaching up to 9.07m, occurred in consolidated formal areas, indicating that heterogeneity is multifactorial and associated with temporal misalignment between cartographic datasets, with direct impacts on environmental and mobility-related applications.

Keywords: OpenStreetMap, positional accuracy, data heterogeneity

Resumo

Este artigo estima a heterogeneidade da acurácia posicional da rede viária do OpenStreetMap (OSM) no município do Rio de Janeiro, destacando implicações para análises de transportes e gestão ambiental urbana. A aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica em seis amostras independentes demonstrou, de forma estatisticamente significativa, que a qualidade do OSM não é homogênea, variando entre as classes B e C na escala 1:10.000. Os maiores erros posicionais, de até 9,07m, ocorreram em áreas formais consolidadas, indicando que a heterogeneidade é multifatorial e associada à defasagem temporal entre bases cartográficas, com impactos diretos em aplicações ambientais e de mobilidade.

Palavras-chave: OpenStreetMap, acurácia posicional, heterogeneidade de dados



1 Introducción

La última década ha sido testigo de un cambio de paradigma en la generación y difusión de la información geoespacial. Impulsado por el establecimiento de la Web 2.0 (O'Reilly, 2007), el usuario de productos cartográficos ha trascendido su papel de consumidor pasivo para convertirse en un elemento fundamental en la generación de datos (Cormode; Krishnamurthy, 2008). Este fenómeno, conceptualizado por Goodchild (2007) como Información Geográfica Voluntaria (VGI), ha democratizado la producción de mapas, permitiendo que individuos sin formación técnica especializada contribuyan al mapeo del espacio geográfico (Ganapati, 2011).

En este ecosistema, OpenStreetMap (OSM) se ha consolidado como el proyecto de Información Geográfica Voluntaria (VGI) de mayor magnitud y relevancia global. Con más de 10 millones de usuarios registrados y una base de datos que supera los 11 mil millones de entidades (*nodes*, *ways* y *relations*)¹, OSM ofrece una alternativa dinámica a los productos de cartografía de referencia, tradicionalmente desarrollados por Agencias Nacionales de Cartografía (Kent, 2009). La principal ventaja de OSM reside en su rápida actualización, una característica de enorme importancia en contextos como el brasileño. En un país donde la inversión en cartografía oficial ha sido históricamente baja, lo que resulta en una cobertura de apenas el 5% del territorio a escala 1:25.000 (Sluter *et al.*, 2019), los datos VGI emergen como una fuente prometedora y, en ocasiones, única para la planificación y gestión territorial.

No obstante, la rápida adopción y aplicabilidad de estos datos en proyectos que exigen confiabilidad métrica se enfrentan a un desafío central: la evaluación de su calidad. La naturaleza “no documentada” y descentralizada de las contribuciones de OSM implica que la calidad no puede darse por sentada, lo que ha impulsado una amplia línea de investigación internacional centrada en su medición (Elwood; Goodchild; Sui, 2012; Haklay, 2010; Girres; Touya, 2010). Este aspecto converge con la denominación de “colcha de retazos” propuesta por Goodchild (2007), en la cual la calidad de los datos VGI se basa en la motivación de los colaboradores, la cantidad de entidades y el período de contribución.

La medición de la calidad de los datos geoespaciales constituye una de las etapas del proceso de producción y validación de la cartografía de referencia. Para que esta evaluación sea rigurosa y comparable, se basa en un conjunto de métricas y normas establecidas. Los indicadores para la evaluación de la calidad de los datos geoespaciales están definidos por la norma ISO (International Organization for Standardization) 19157 (ISO, 2013) y comprenden la Precisión Posicional, la Precisión Temática, la Consistencia Lógica, la Completitud y la Usabilidad. En Brasil, la Especificación Técnica para el Control de Calidad de Datos Geoespaciales (ET-CQDG) (Brasil, 2015) fue desarrollada en 2015 por la Dirección del Servicio Geográfico (DSG) y aprobada por el Ejército. En ella se definen los criterios para la evaluación de la calidad de los datos geoespaciales derivados de la ISO 19157 (ISO, 2013), complementados por el Manual Técnico para la Evaluación de la Calidad de los Datos Geoespaciales del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE, 2019).

Dado que en la cartografía de referencia los datos son producidos por profesionales de forma homogénea, lo que no se corresponde con las premisas del VGI, se han desarrollado numerosas investigaciones en todo el mundo con el objetivo de analizar los parámetros de calidad de este tipo de datos, buscando determinar su potencial de integración en bases cartográficas de referencia. Uno de los primeros análisis asociados a datos colaborativos fue desarrollado por Haklay (2010), quien evaluó la precisión posicional y la completitud de los datos de OSM en relación con la cartografía de referencia del Reino Unido (Ordnance Survey) e identificó el potencial de uso de esta información. Para la evaluación de la precisión posicional,

¹ https://planet.openstreetmap.org/statistics/data_stats.html

Haklay (2010) utilizó el método de comparación por buffers, y la completitud se evaluó mediante una comparación basada en cuadrículas a partir de la longitud de las vías. En este contexto, los criterios propuestos por Haklay (2010) han orientado investigaciones internacionales dirigidas a la evaluación de la precisión posicional y la completitud de los datos geográficos. Estos principios fueron aplicados por Jasim y Hamandani (2020) en Irak, por Ferster et al. (2019) en Canadá, por Ibrahim, Ramadan y Hefny (2019) en Egipto, por Zhang y Malczewski (2018) también en Canadá, y por Brovelli y Zamboni (2018) en Italia.

Cabe destacar que en estos trabajos se identificó que los principales desafíos de los datos VGI están asociados a la heterogeneidad de la información, ya que esta varía según el área de estudio y los elementos representados. En este contexto, las metodologías abordadas por Ibrahim, Darwish y Hefny (2019) y por Brovelli y Zamboni (2018) consideraron explícitamente las características de dicha heterogeneidad.

Aunque la heterogeneidad es una cuestión ampliamente discutida en investigaciones recientes sobre datos VGI, estudios iniciales ya señalaban este desafío al evaluar la calidad de OSM, especialmente en lo que respecta a la precisión posicional y la completitud. Girres y Touya (2010), al analizar un área de Francia, identificaron una variabilidad espacial significativa al aplicar el método de la distancia de Hausdorff, encontrando una media de 13,57 m y una desviación estándar de 8,32 m para los segmentos lineales evaluados, lo que evidenció la dispersión e inconsistencia de las entidades. De manera similar, Forghani y Delavar (2014) verificaron en una región de Irán que la calidad de las vías de OSM presentaba variaciones sustanciales cuando se analizaba mediante diferentes verificaciones geométricas, incluyendo la longitud de las vías, la geometría mínima de los límites, el meridiano central y la distribución direccional, realizadas a partir de una malla de celdas. Los autores destacan que estas variaciones refuerzan la heterogeneidad como uno de los principales problemas asociados a los datos de OSM.

Más allá de las evaluaciones estrictamente cartográficas, la calidad de los datos de OSM ha sido ampliamente discutida en el ámbito de la gestión ambiental, a medida que las bases OSM han sido empleadas como insumo en análisis de uso y cobertura del suelo, modelización ambiental, estudios de riesgo y planificación urbana sostenible. Diversos trabajos señalan que la confiabilidad de los resultados ambientales basados en OSM está directamente asociada a la precisión posicional y a la completitud de las entidades mapeadas, especialmente en contextos urbanos complejos y desiguales (Goodchild; Li, 2012; Fonte et al., 2017; Li et al., 2020). En el campo del transporte, la representación precisa de la red vial es un elemento estructurante para análisis de accesibilidad, simulaciones de movilidad, evaluación de la exposición a contaminantes atmosféricos y modelización de escenarios de riesgo, lo que convierte a la heterogeneidad de la calidad de OSM en un factor crítico para aplicaciones ambientales basadas en redes (Graser; Straub; Dragaschnig, 2014; Poiani et al., 2016; Lane et al., 2013).

Ante las cuestiones presentadas, resulta evidente la importancia de comprender cómo se comportan las contribuciones en OSM para determinar su potencial de integración. Esta cuestión es aún más relevante en países del Sur Global, como Brasil. Con un desafío de escala continental, que abarca 8,52 millones de kilómetros cuadrados y una población compleja y mayoritariamente urbana (88%) de 212 millones de personas (IBGE, 2023a), el país enfrenta una baja cobertura de cartografía a gran escala y una marcada desactualización cartográfica. A ello se suma el hecho de que son escasos los estudios que se centran específicamente en proporcionar una estimación de su heterogeneidad. Machado y Camboim (2019), por ejemplo, presentaron un estudio que aborda los desafíos y potencialidades en la integración de datos de OSM con datos de referencia para el municipio de Curitiba-PR, mostrando como resultado un aumento en las categorías de información al integrar ambas fuentes. Asimismo, Teixeira y Schmidt (2023)

evaluaron la precisión posicional de los ejes viales en un barrio del municipio de Uberlândia-MG, lo que también permitió evidenciar el potencial de uso de estos datos en la región.

El municipio de Río de Janeiro ofrece un laboratorio singular para profundizar en las cuestiones relacionadas con la calidad y la heterogeneidad de OSM. La ciudad no es solo un “dato” a ser mapeado; es, en sí misma, el problema central de la heterogeneidad. La “ciudad dual” o “dividida” no es únicamente una figura retórica, sino una realidad morfológica que contrapone el tejido urbano formal, con alta cobertura de datos oficiales, a extensas áreas de asentamientos informales (favelas), a menudo invisibles en los mapas tradicionales (Perlman, 2010; Novaes, 2014; Kalkman, 2019). Esta dualidad estructural tiene implicaciones prácticas urgentes para la calidad de los datos VGI (Haklay, 2010; Hecht; Kunze; Hahmann, 2013; Camboim; Bravo; Sluter, 2015). La heterogeneidad en la precisión posicional de los ejes viales de OSM afecta directamente la eficacia de los sistemas de movilidad urbana (aplicaciones de ruteo) (Graser; Straub; Dragaschnig, 2014; Hosseini *et al.*, 2025) y, de manera crítica, la logística de respuesta a desastres (como deslizamientos e inundaciones), donde la precisión de callejones y accesos en áreas informales es vital (Alcântara *et al.*, 2023; Lima; Freiman; Camboim, 2022; Poiani *et al.*, 2016). En este contexto, OSM puede tanto reproducir estas desigualdades espaciales, si los voluntarios mapean preferentemente la “ciudad formal”, como remediarlas, al proporcionar el único mapeo detallado existente de la “ciudad informal”, especialmente cuando existen iniciativas comunitarias y técnicas orientadas a las favelas (Bortolini; Camboim, 2019; Herfort *et al.*, 2021; Figueiredo; Veríssimo; Franco, 2022; Hallopeau *et al.*, 2025).

Además de la producción espontánea de datos, OSM también incorpora acciones organizadas de mapeo comunitario con implicaciones directas para estudios ambientales y de transporte. Las iniciativas lideradas por el Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT) han desempeñado un papel central en la ampliación, el detalle y la corrección del mapeo vial en áreas periféricas y asentamientos informales, tradicionalmente subrepresentados en las bases cartográficas oficiales. Estos mapeos colaborativos, frecuentemente realizados mediante campañas dirigidas (mapatones) y procesos de validación técnica, han demostrado ser fundamentales para mejorar la conectividad de la red vial, la representación de las jerarquías de las vías y la identificación de accesos locales, elementos críticos para análisis de accesibilidad, planificación de rutas, modelización de la movilidad urbana y respuesta a emergencias ambientales y humanitarias (Haklay, 2010; Hagen, 2016; Poiani *et al.*, 2016; Herfort *et al.*, 2021). En el contexto del transporte, los estudios indican que los datos producidos en iniciativas de HOT incrementan significativamente la completitud y la confiabilidad funcional de la red vial de OSM, especialmente en regiones del Sur Global, contribuyendo a evaluaciones más robustas de movilidad urbana, logística de emergencia, exposición a riesgos ambientales y análisis de justicia espacial (Goodchild; Li, 2012; Mobasher *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2020; Mahabir *et al.*, 2020).

Los sistemas de transporte constituyen uno de los vectores ambientales más relevantes en las ciudades, siendo responsables de aproximadamente el 15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y de cerca del 23% del CO₂ energético, lo que corresponde a aproximadamente 8,9 GtCO₂e en 2019, con una tendencia de crecimiento en ausencia de políticas adicionales (IPCC, 2022; IEA, 2024). Estos impactos dependen en gran medida de la forma urbana y de la conectividad de la red vial, que influyen en los patrones de desplazamiento, la elección modal y los volúmenes de tráfico (Vehicle Miles Traveled – VMT) (Ewing; Cervero, 2010). En el contexto de Río de Janeiro, el tráfico vehicular y el transporte público figuran entre los principales contribuyentes a la degradación de la calidad del aire urbano, especialmente en relación con las concentraciones de material particulado fino (PM_{2.5}), lo que evidencia la estrecha relación entre movilidad, ambiente y salud urbana (C40 Cities, 2022). En este escenario, los errores de geocodificación y los desplazamientos planimétricos en la representación de la red

vial pueden introducir sesgos significativos en los análisis de exposición ambiental basados en buffers de proximidad, reforzando que la precisión posicional y la completitud de la red OSM son condiciones fundamentales para modelizaciones ambientales robustas (Lane *et al.*, 2013; Fonte *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2020).

A la luz de lo expuesto, este trabajo tiene como objetivo central estimar la heterogeneidad de los ejes viales de OSM en Río de Janeiro mediante la evaluación de su precisión posicional. De este modo, el artículo busca no solo cuantificar la calidad de los datos, sino también explorar su aplicabilidad y potencial en cuestiones relacionadas con la planificación urbana y la gestión ambiental, especialmente en lo que respecta al uso de redes viales en análisis de movilidad urbana, evaluación de accesibilidad, estudios de exposición a riesgos ambientales y apoyo a la toma de decisiones en contextos urbanos socialmente desiguales. La cuestión central de este artículo, por lo tanto, es identificar si existen, y cuáles son, las diferentes relaciones entre las regiones con mayor o menor discrepancia posicional y de qué manera se distribuyen los errores en el complejo tejido urbano carioca.

Se parte de la hipótesis de que la calidad de los datos VGI es un reflejo directo de la estructura urbana desigual: la precisión posicional será significativamente mayor y más homogénea en las áreas consolidadas de la “ciudad formal”, mientras que se presentará degradada, inestable y altamente heterogénea en las áreas de asentamientos informales, reflejando patrones distintos de contribución y, posiblemente, de calidad de las imágenes satelitales utilizadas como base para la digitalización. Se asume, adicionalmente, que esta heterogeneidad tiene implicaciones directas para la confiabilidad de los análisis basados en redes de transporte, particularmente aquellos aplicados a la gestión ambiental urbana, la evaluación de accesibilidad y el análisis de riesgos en áreas socialmente vulnerables de Río de Janeiro.

Para alcanzar los objetivos y poner a prueba la hipótesis, el artículo se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 aborda la metodología aplicada. La Sección 3 presenta y discute los resultados. Finalmente, la Sección 4 concluye sobre las implicaciones de los hallazgos relacionados con la heterogeneidad de OSM en Río de Janeiro y señala direcciones para investigaciones futuras.

2 Metodología

El área de estudio utilizada para la realización de los análisis fue el municipio de Río de Janeiro–RJ. Según datos del Censo Demográfico del Ibge, la población residente del municipio era de 6.211.223 habitantes (IBGE, 2022a), con una superficie de 1.200,330 kilómetros cuadrados (IBGE, 2022b). Las entidades utilizadas como referencia correspondieron a la cartografía oficial producida por el Instituto Pereira Passos (IPP), responsable de la gestión y disponibilización del mapeo de referencia del municipio. Su acervo cuenta con mapas a las escalas 1:2.000, 1:5.000 y 1:10.000 (IPP, 2025). De este modo, se extrajeron los archivos vectoriales que componen los ejes viales, producidos en el año 2013, actualizados mediante ortoimágenes en 2019 y publicados en 2021, a escala 1:2.000 (IPP, 2021). La Figura 1 muestra el mapa de localización del municipio de Río de Janeiro–RJ.

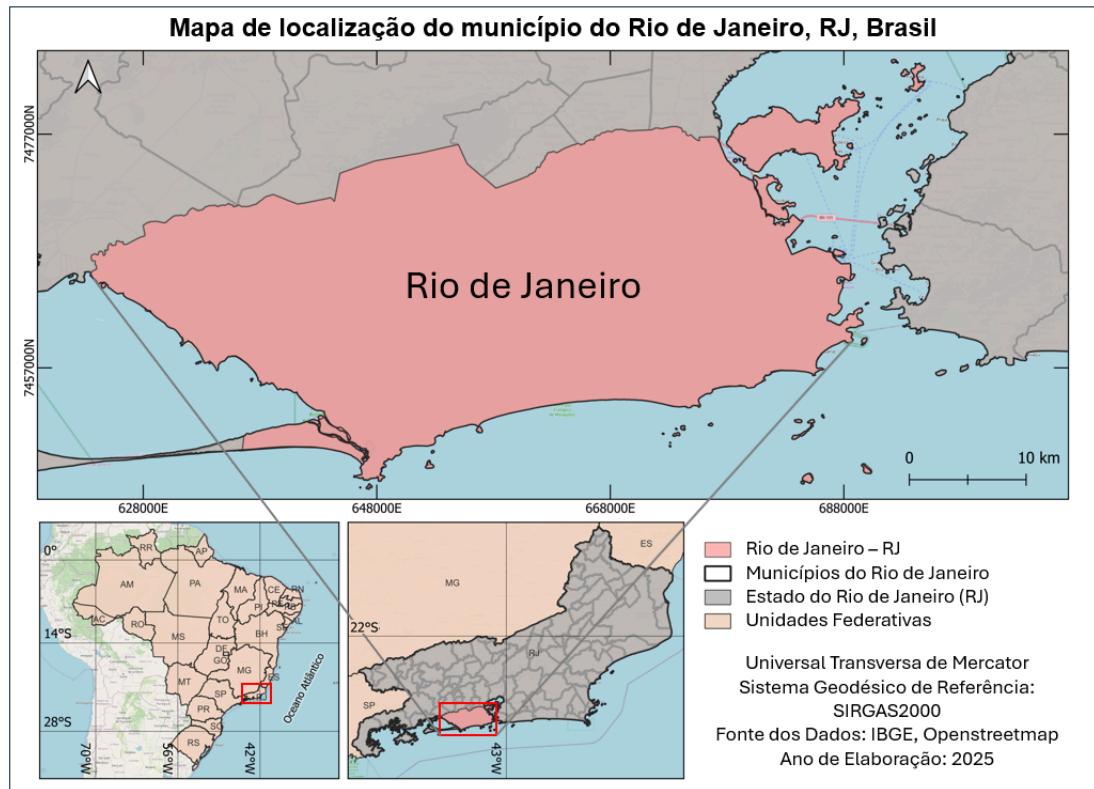


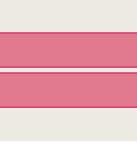
Figura 1: Mapa de ubicación de Río de Janeiro
Fuente: Los Autores (2025)

Para proceder con la adquisición de las entidades de OSM, fue inicialmente importante comprender cómo se producen las contribuciones y la forma en que estas se almacenan. En este contexto, una determinada categoría de entidades se caracteriza por una *tag*, que se asigna mediante una *key* y un *value*. Además, OSM cuenta con una plataforma de documentación denominada *WikiOSM*, caracterizada como un repositorio colaborativo que describe y estandariza el uso de las *tags* a partir de sus primitivas geométricas de puntos, líneas y polígonos, además de describir herramientas, complementos e instrucciones que deben emplearse en el proceso de edición (OpenStreetMap Wiki, 2025). Las contribuciones en OSM se realizan a través de sus editores oficiales. El *iD Editor* es la herramienta *online* disponible directamente en el sitio web de OSM², mediante una interfaz sencilla en la que el usuario se registra e inicia las ediciones. También puede utilizarse JOSM, que es un editor más avanzado, en el cual las ediciones se realizan a partir de un software que permite llevar a cabo mapeos específicos y complejos, procesos de validación e importación de datos (OpenStreetMap Wiki, 2025; JOSM, 2025).

En el caso de los ejes viales (foco de este estudio), la *tag* utilizada correspondió a la *key highway*, y los *values* se caracterizaron según la clasificación correspondiente a las vías terrestres. La Tabla 1 ejemplifica una *tag* con la *key highway* y el *value motorway*.

² www.openstreetmap.org

Tabla 1: Caracterización de la *tag* con *key* *highway* y *value* *motorway*.

Llave	Valor	Descripción	Diseño
highway	motorway	Una autopista (en Brasil, <i>vía expressa</i>) cuando cumple con las normas del Dnit) es una vía de acceso restringido para vehículos motorizados y de alta velocidad, normalmente sujeta a peaje, con dos o más carriles de circulación y un carril de arcén/berma, con un separador central (<i>guardrails</i> , barreras de hormigón o una simple franja de tierra), sin intersecciones a nivel (cruces con otras vías motorizadas, pasos ferroviarios, cruces peatonales, etc.) ni obstrucciones (<i>traffic lights</i> , reductores de velocidad, resaltos y otros dispositivos de calmado del tráfico, etc.). Los cruces con otras vías son a distinto nivel mediante túneles o puentes; por lo tanto, no se utilizan <i>traffic lights</i> .	

Fuente: Adaptado de OpenStreetMap Wiki (2025)

Para la obtención de las *highways* se utilizó el complemento QuickOSM, versión 2.2, disponible en el software QGIS 3.34.8. Este complemento permite filtrar *tags* específicas y realizar el recorte de las entidades en áreas definidas por el usuario. De este modo, los archivos vectoriales que componen los ejes viales del IPP y de OSM se dispusieron en QGIS 3.34.8 para la realización de los análisis. Las entidades fueron extraídas el 7 de octubre de 2025 y corresponden a todas las *highways* disponibles en la base de datos de OpenStreetMap (OSM) desde su creación hasta la fecha de recolección. La obtención de estos datos se realizó mediante el complemento QuickOSM, versión 2.2, integrado en QGIS 3.34.8, el cual permite consultar y descargar información de OSM directamente dentro del entorno SIG. Este complemento facilita la selección de entidades por tipo, *tag* o área de interés, automatizando el proceso de solicitud e importación de los datos al proyecto.

Las subsecciones 2.1 y 2.2 presentan los métodos empleados para la evaluación de la precisión posicional, la verificación de la heterogeneidad de los datos y la aplicación geoespacial desarrollada.

2.1 Evaluación de la Precisión Posicional Planimétrica

Para la evaluación de la precisión posicional, se consideraron entidades puntuales representativas de las intersecciones entre tramos viales y de los vértices que componen los ejes viales. La identificación de las entidades homólogas se realizó manualmente en QGIS 3.34.8 mediante un análisis visual sistemático que comparó la base de referencia con los datos provenientes de OSM. Este procedimiento implicó la superposición de ambas bases y la inspección individual de cada intersección y vértice, garantizando que los puntos seleccionados correspondieran a las mismas estructuras viales. Las entidades identificadas fueron posteriormente registradas de forma manual mediante la creación de archivos vectoriales de puntos, que sirvieron como base para los análisis de precisión posicional. La clasificación final se basó en el *Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais* (PEC-PCD), establecido por la *Especificação Técnica para a*

Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-ADGV (Brasil, 2018). El PEC-PCD consiste en una actualización del Decreto nº 89.817 – *Normas Técnicas da Cartografia Nacional* (Brasil, 1984), que anteriormente se denominaba PEC. La Tabla 2 presenta los valores establecidos en el PEC y en el PEC-PCD planimétrico, así como el Error Estándar asociado a ellos.

Tabla 2: Patrón de exactitud cartográfica para productos cartográficos digitales y su respectivo error estándar

PEC (1984)	PEC-PCD (2018)	PEC Planimétrico	Error estándar Planimétrico	PEC (1984)
	A	0,28 mm x Denominador de Escala	0,17 mm x Denominador de Escala	0,28 mm x Denominador de Escala
A	B	0,5 mm x Denominador de Escala	0,3 mm x Denominador de Escala	0,5 mm x Denominador de Escala
B	C	0,8 mm x Denominador de Escala	0,5 mm x Denominador de Escala	0,8 mm x Denominador de Escala
C	D	1,0 mm x Denominador de Escala	0,6 mm x Denominador de Escala	1,0 mm x Denominador de Escala

Fuente: Adaptado de Brasil (2018)

En el PEC-PCD, los productos cartográficos se clasifican de acuerdo con las clases A, B, C y D. La clase A corresponde al mayor nivel de rigor en la evaluación, mientras que la clase D representa el menor. Estas clases están vinculadas a la escala del producto y permiten clasificarlo a partir del error máximo obtenido en las discrepancias de una muestra de puntos. Para cada clase existe un valor definido de PEC-PCD, asociado a un Error Estándar (EE), que corresponde al 60,8% de dicho valor. El EE se deriva de un indicador estadístico basado en la distribución normal, considerando un 90% de confianza (Brasil, 1984; 2018).

En 2015, la DSG instituyó la ET-CQDG (Brasil, 2015), que reúne metodologías para la evaluación de la calidad del mapeo de referencia. En lo que respecta a la exactitud posicional, la norma prevé el cálculo de las Distancias Euclidianas (DE) obtenidas entre puntos homólogos del producto de referencia y del producto analizado. A partir de estas DE, para determinar la clasificación del producto en una escala específica, se verifican dos condiciones: si el 90% de los valores de DE son menores o iguales al PEC-PCD correspondiente, y si el Error Medio Cuadrático (EMC) es menor o igual al EE definido para la clase y la escala presentadas en la Tabla 1. Estas condiciones se utilizaron para realizar los análisis.

Para la selección del tamaño de la muestra se utilizaron los criterios de Galo y Camargo (1994) y Merchant (1982), en los que se define que 20 entidades puntuales son suficientes para obtener la exactitud posicional de un área. En este contexto, una investigación realizada por Fernandes, Alixandrini Junior y Elias (2015), basada en criterios de muestreo presentados por Nogueira Jr. (2003), evidenció que el tamaño de la muestra de entidades puntuales tiende a ser constante entre 20 y 24 entidades a medida que aumenta la dimensión del área de estudio. En este contexto, con el objetivo de estimar la exactitud posicional y analizar la heterogeneidad, se obtuvieron seis conjuntos de muestras, cada uno compuesto por 20 entidades. La selección de estas muestras fue realizada por tres usuarios distintos, cada uno de los cuales seleccionó aleatoriamente dos muestras, totalizando los seis conjuntos analizados. Se destaca que el proceso de selección

se llevó a cabo de manera no sesgada, sin direccionamiento previo hacia áreas específicas o características del territorio. Las muestras resultantes se distribuyeron por todo el municipio de Río de Janeiro, abarcando diferentes tipos de tejidos urbanos, formales e informales.

2.2 Desarrollo de una aplicación geoespacial

Tras la selección de las entidades homólogas y la agrupación de las diferentes muestras, el cálculo del PEC-PCD para cada una de ellas se basó en el desarrollo de un complemento en QGIS 3.34.8. Dicho complemento se caracteriza como una actualización y mejora del conjunto de herramientas QPEC (Elias *et al.*, 2023). En lo que respecta a la evaluación de la exactitud posicional de entidades puntuales, QPEC se basaba en consultas utilizando un lenguaje de programación tipo SQL-LIKE y en procesos agrupados en el modelador gráfico de QGIS 3.34.8, para que el script pudiera exportarse posteriormente. En este contexto, la entrada de datos consistía en la inserción de entidades de referencia y entidades a evaluar, y el resultado se presentaba en la tabla de atributos con la clase mínima del PEC-PCD aceptada para cada una de las escalas del Mapeo Sistemático Brasileño (MSB) (1:1.000, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 y 1:250.000) (Brasil, 2015, 2018). En caso de que, en la escala evaluada, la entidad no fuera aceptada en ninguna clase, se mostraba el mensaje “Rechazado”.

Con base en estos aspectos y con el objetivo de mejorar la herramienta, se incorporaron nuevas condiciones para la ejecución de los análisis. Entre las mejoras, se añadió la posibilidad de que el usuario indique directamente los campos de las tablas de atributos de las capas de entrada que deben utilizarse para la identificación de los puntos homólogos. También se incorporaron opciones de configuración para la visualización de los resultados. Así, si el usuario desea consultar los datos en una escala específica, basta con introducir el valor en el campo “Introducir el denominador de escala deseado”. Alternativamente, si prefiere visualizar los resultados para todas las escalas previstas en el MSB, esto puede hacerse marcando la opción “Mostrar resultados para todas las escalas del MSB”.

Finalmente, la herramienta se convirtió en un complemento de QGIS, lo que permite al usuario integrarla directamente en la Caja de Herramientas de Procesamiento. Con esta adaptación, el recurso dejó de ser un script aislado y pasó a operar como un módulo instalado. La Figura 2 presenta el complemento insertado en la caja de herramientas (rojo) y las adecuaciones en los campos de entrada de datos (azul). De esta forma, las Figuras 3 y 4 presentan los pseudocódigos de la búsqueda realizada por el complemento y de los criterios para evaluar la clase aceptada según el PEC-PCD. El complemento realiza entonces el emparejamiento de las entidades homólogas mediante una unión en los atributos identificadores proporcionados por el usuario, calcula el conjunto de discrepancias euclidianas (DE) para cada entidad homóloga (f_i) y el EMC del conjunto, y almacena los valores calculados. Para calcular las discrepancias euclidianas, se evalúan las diferencias planimétricas (ΔX y ΔY) para cada f_i .

La opción para mostrar resultados en todas las escalas previstas en el MSB se diferencia principalmente por el desvío hacia un bucle de ejecución que determina la clase aceptada para cada escala del MSB (Figura 3). Si una clase es aprobada para una escala evaluada, se almacena la clase aprobada y las demás clases de la misma escala dejan de evaluarse. Si ninguna clase es aprobada para la escala evaluada, se almacena el resultado “rechazado”. Alternativamente, cuando el usuario desea el detalle de la evaluación de las clases de una escala especificada, se almacenan directamente los resultados de retorno (Figura 4) para cada clase evaluada. Las constantes métricas presentadas en la Tabla 2 y el denominador de escala se pasan a la rutina de evaluación como argumentos, de modo que cualquier escala pueda ser calculada.

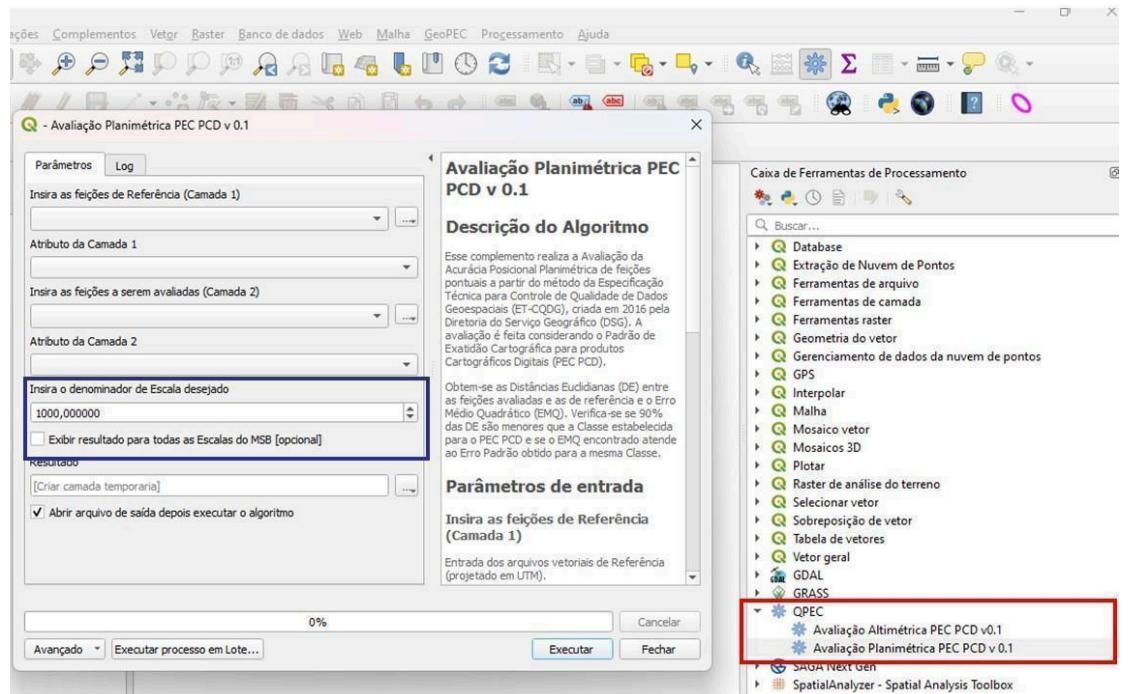


Figura 2: Mejoras del complemento QPEC.

Fuente: Los autores (2025)

Dado que los resultados almacenados en Ac contemplan los valores de DE y EMC (rms, en las Figuras 3 y 4) utilizados para la definición del PEC-PCD, se incorporó una simbología automática basada en la clasificación de las Distancias Euclidianas en cuatro cuartiles (Q1, Q2, Q3 y Q4). Cuando se muestran los resultados almacenados, cada cuartil recibe un color distinto, aplicado automáticamente a las entidades evaluadas. La escala cromática sigue una gradación progresiva, en la que los tonos más oscuros representan mayores discrepancias, permitiendo una interpretación visual directa de la distribución de los errores en el conjunto analizado. Los mapas con los resultados se presentan en la Sección 3. El complemento de QGIS está disponible en GitHub (Elias, 2025). El repositorio proporciona un archivo .zip, que puede descargarse e instalarse en QGIS mediante la opción “Instalar desde un archivo ZIP” en el gestor de complementos.

```

1 Rutina Buscar_PEC_PCD(ref, idref, aval, idaval, va, op)
    Entrada: ref es el archivo con las características de referencia
    Entrada: idref es el atributo de ref para emparejar
    Entrada: aval es el archivo con las características para evaluación
    Entrada: idaval es el atributo de aval para emparejar
    Entrada: va es el valor del denominador de la escala especificada
    Entrada: op es la opción del modo de procesamiento
    Salida : Ac es el archivo resultante sobre la precisión del conjunto
                de características
        //Sea f el conjunto de N características emparejadas
        //y {i ∈ N* | i ≤ N}
2 Para cada i hacer
3     | DEfi ←  $\sqrt{\Delta X_{f_i}^2 + \Delta Y_{f_i}^2}$ 
4     | rms ←  $\sqrt{\frac{\sum DE_{f_i}}{N}}$ 
5     | Si op es "procesar todas las escalas" entonces
6         | Para cada escala en {1000, 2000, ..., 250000} hacer
7             | | Acescala ← "Rechazado"
8             | | Para cada c en {A, B, C, D} hacer
9                 | | | PECc ← Evaluar_clase(PECc, EPc, va, DE, rms)
10                | | | Si PECc é "Aceptado" entonces
11                    | | | | Acescala ← "Clase {c}"
12                    | | | Interrumpir la búsqueda por clases
13 Si no
14     | Para cada clase en {A, B, C, D} hacer
15         | | Acclase ← Evaluar_clase(PECclase, EPclase, va, DE, rms)
16     Clasificar las características fi por cuartiles
17     Mostrar Ac y aplicar simbología

```

Figura 3: Pseudocódigo para la ejecución del complemento a partir de la selección de todas las escalas del MSB.

Fuente: Los autores (2025)

```

1 Rutina Evaluar_clase(pec, ep, va, DE, rms)
    Entrada: pec es la constante PEC de la clase
    Entrada: ep es el error estándar máximo de la clase
    Entrada: va es el valor del denominador de la escala evaluada
    Entrada: DE es el conjunto de discrepancias euclidianas entre
                características
    Entrada: rms es la raíz cuadrada del error medio del conjunto de
                características
    Salida : Evaluación, aceptada o rechazada, para la clase evaluada
2     limDE ← pec * va
3     limRMS ← ep * va
4     | Si 90% de DE ≤ limDE y rms ≤ limRMS entonces
5         | | Devolver "Aceptado"
6     | Si no
7         | | Devolver "Rechazado"

```

Figura 4: Pseudocódigo para la ejecución del complemento a partir de la inserción de una escala determinada.

Fuente: Los autores (2025)

3 Resultados y Discusión

Con base en los análisis realizados, los mapas de las Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10 muestran la distribución de los conjuntos de muestras del área de estudio, así como los resultados de los cuartiles obtenidos a partir de la aplicación del QPEC. Las subsecciones 3.1, 3.2 y 3.3 presentan la discusión de los resultados obtenidos.

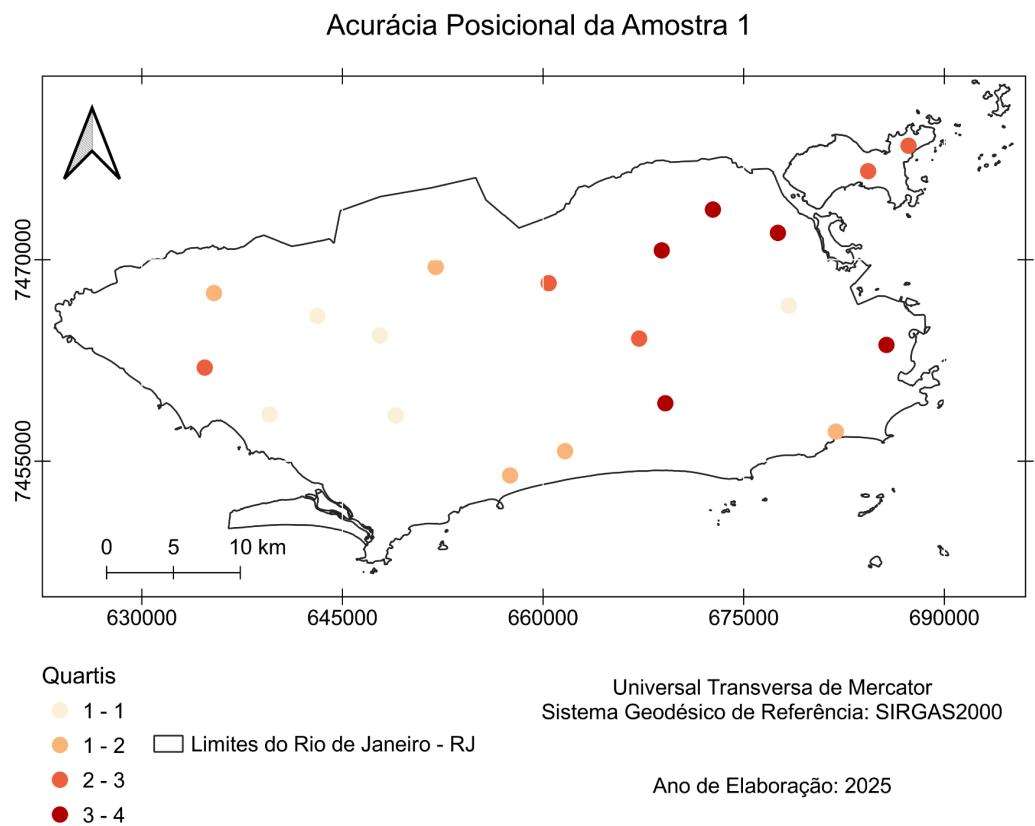


Figura 5: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 1.
Fuente: Los autores (2025)

Acurácia Posicional da Amostra 2

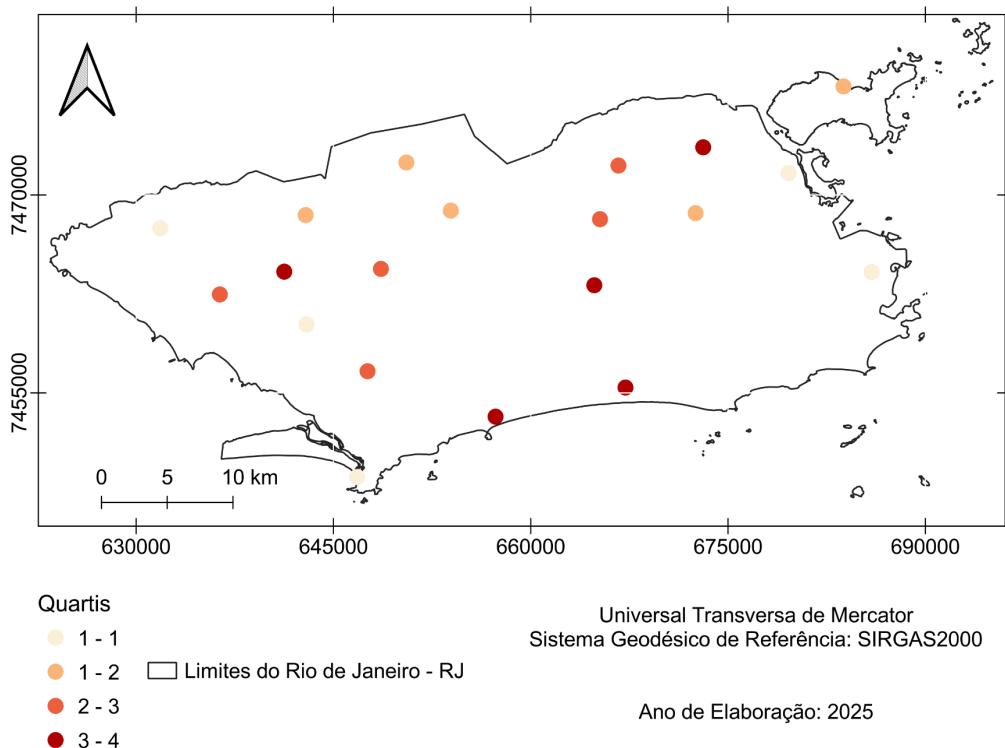


Figura 6: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 2.

Fuente: Los autores (2025)

Acurácia Posicional da Amostra 3

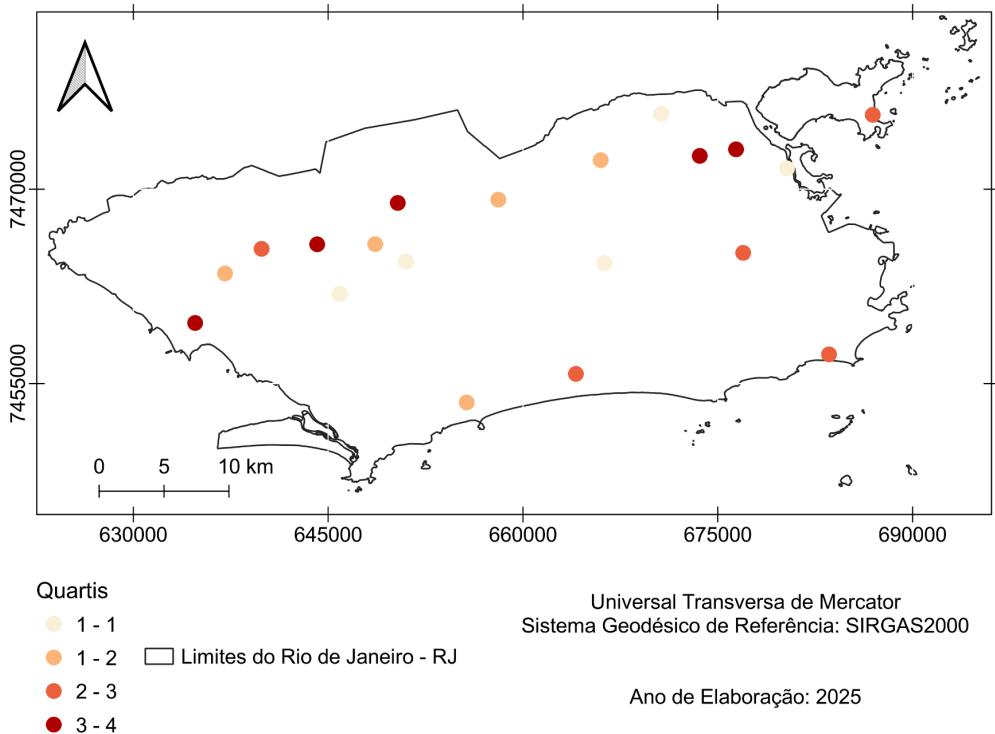
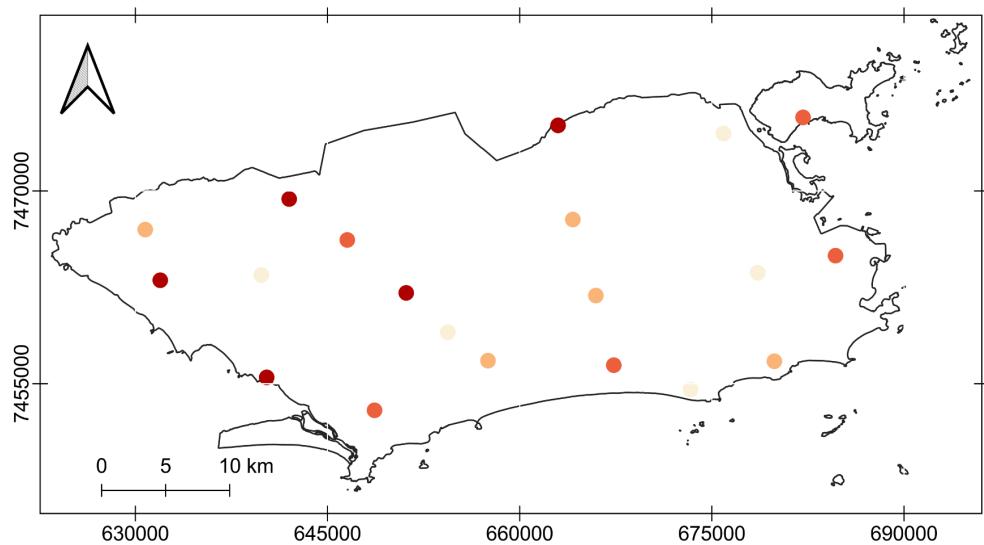


Figura 7: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 3.

Fuente: Los autores (2025)

Acurácia Posicional da Amostra 4



Quartis

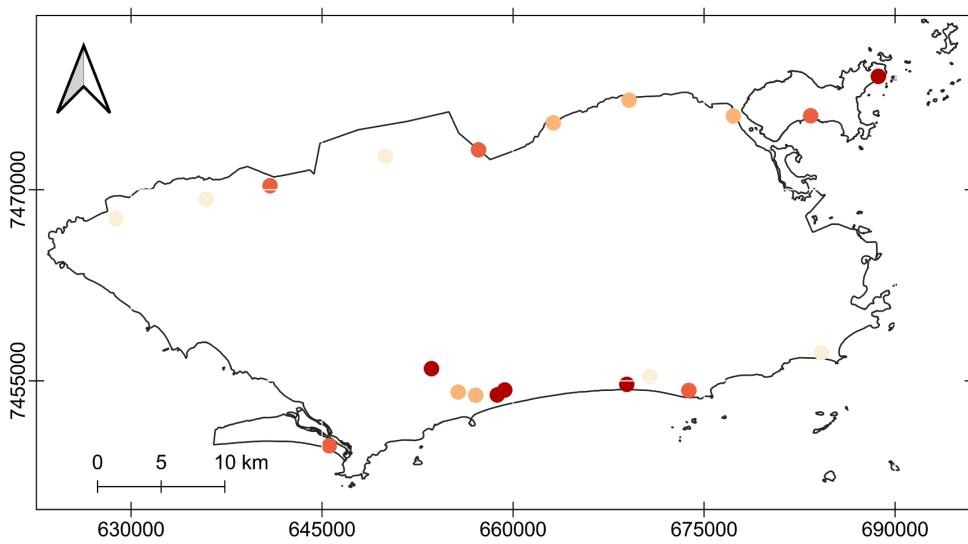
- 1 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4

Universal Transversa de Mercator
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000
Limites do Rio de Janeiro - RJ

Ano de Elaboração: 2025

Figura 8: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 4.
Fuente: Los autores (2025)

Acurácia Posicional da Amostra 5



Quartis

- 1 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4

Universal Transversa de Mercator
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000
Limites do Rio de Janeiro - RJ

Ano de Elaboração: 2025

Figura 9: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 5.
Fuente: Los autores (2025)

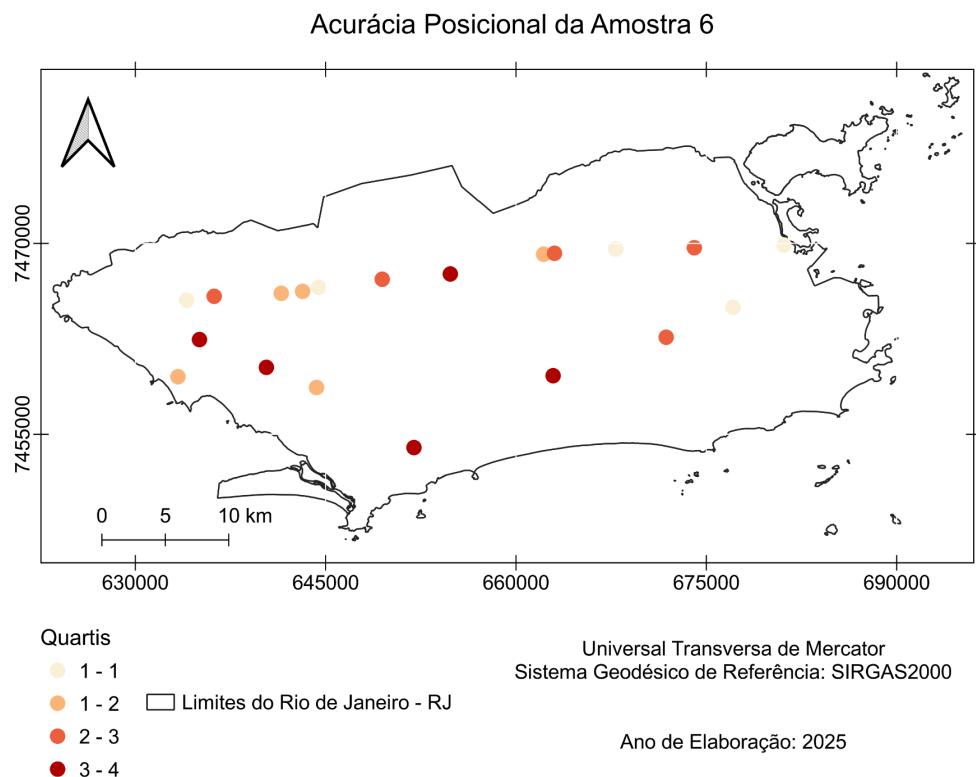


Figura 10: Distribución de las entidades puntuales de la muestra 6.
Fuente: Los autores (2025)

3.1. Análisis Estadístico Agregado y Clasificación PEC-PCD

Las Tablas 3 y 4 presentan, respectivamente, la estadística descriptiva de las Distancias Euclidianas (DE) calculadas y la clasificación de los resultados de acuerdo con el PEC-PCD para cada muestra. Además, la Tabla 5 presenta los intervalos de la subdivisión por cuartiles, obtenidos al aplicar el complemento QPEC. Se observa que, con la notable excepción de la Muestra 6, el Error Cuadrático Medio (ECM) se mantuvo dentro de un rango de valores relativamente consistente, situándose entre 2,53 m (Muestra 2) y 2,92 m (Muestra 3). La Muestra 6 se destaca por presentar el mayor EMC (3,79 m) y la mayor discrepancia máxima registrada (9,07 m).

Los resultados demuestran que, para cinco de las seis muestras (1, 2, 3, 4 y 5), los datos de OSM en Río de Janeiro se encuadran en la Clase A para la escala 1:25.000 y en la Clase D para la escala 1:5.000. Este es un hallazgo relevante, ya que ancla el producto de OSM a un estándar oficial de calidad del Mapeo Sistemático Brasileño, indicando su potencial para usos a escalas de menor detalle.

Complementariamente, los gráficos de dispersión de errores de la Figura 9 permiten analizar la tendencia (bias) de las muestras. Visualmente, no se identifica un bias sistemático, como un desplazamiento de toda la base hacia un cuadrante específico (p. ej., noreste). Los errores, aunque de magnitudes variadas, se distribuyen alrededor del origen (0,0), lo que sugiere que las discrepancias son, en su mayoría, de naturaleza aleatoria (imprecisión), y no un error sistemático de registro entre las bases de OSM e IPP.

Los resultados agregados establecen una línea base: OSM en Río de Janeiro presenta, en general, una calidad posicional compatible con la Clase A a escala 1:25.000. No obstante, estos valores enmascaran variaciones estadísticas y

espaciales significativas entre y dentro de las muestras, que comprueban la heterogeneidad de los datos y serán el foco de la subsección 3.2.

Tabla 3: Estadística descriptiva de las Discrepancias Euclidianas (DE) y del Error Cuadrático Medio (ECM) por muestra

Dato	mínimo (DE) (m)	máximo (DE) (m)	media (DE) (m)	mediana (DE) (m)	ECM (m)
Muestra 1	0,25	5,88	2,36	2,57	2,66
Muestra 2	0,62	5,41	2,25	2,47	2,53
Muestra 3	0,16	7,11	2,34	1,68	2,92
Muestra 4	1,09	7,41	2,40	2,15	2,80
Muestra 5	0,58	5,13	2,63	2,69	2,88
Muestra 6	0,84	9,07	3,11	2,24	3,79

Fuente: Los autores (2025)

Tabla 4: Clasificación de las muestras según el Estándar de Exactitud Cartográfica (PEC-PCD) por clase y escala

Dato	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Muestra 1	1:25.000	1:10.000	-	1:5.000
Muestra 2	1:25.000	1:10.000	-	1:5.000
Muestra 3	1:25.000	1:10.000	-	1:5.000
Muestra 4	1:25.000	1:10.000	-	1:5.000
Muestra 5	1:25.000	1:10.000	-	-
Muestra 6	1:25.000	-	1:10.000	1:5.000

Fuente: Los autores (2025)

Tabla 5: Distribución de las Discrepancias Euclidianas (DE) en cuartiles por muestra

Dato	Cuartil 1 (m)	Cuartil 2 (m)	Cuartil 3 (m)	Cuartil 4 (m)
Muestra 1	0,25 - 1,37	1,39 - 2,54	2,61 - 2,88	2,96 - 5,88
Muestra 2	0,62 - 1,29	1,30 - 2,43	2,52 - 2,74	2,99 - 5,41
Muestra 3	0,16 - 1,11	1,20 - 1,62	1,75 - 3,58	3,80 - 7,11
Muestra 4	1,09 - 1,23	1,39 - 2,12	2,18 - 2,53	3,11 - 7,41
Muestra 5	0,58 - 1,87	1,96 - 2,67	2,24 - 3,61	3,33 - 5,13
Muestra 6	0,84 - 1,56	1,82 - 2,23	2,71 - 3,05	4,44 - 9,07

Fuente: Los autores (2025)

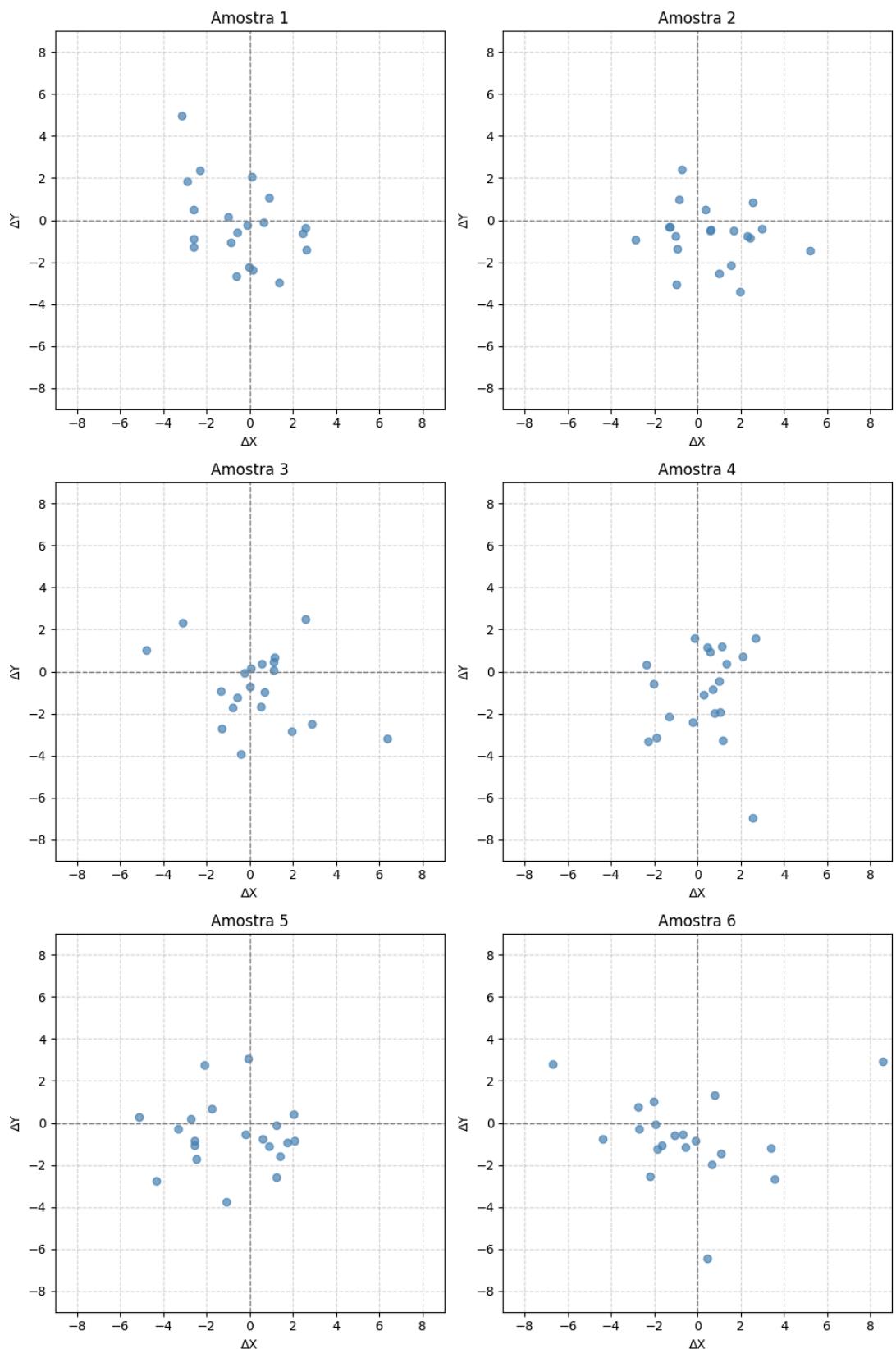


Figura 11: Gráfico de dispersión de errores de las muestras
Fuente: Los autores (2025)

3.2. La variabilidad entre muestras

Tal como se estableció en la subsección 3.1, el análisis agregado apunta a una calidad media consistente (Clase A a escala 1:25.000). No obstante, un análisis detallado de las muestras individuales revela la principal característica de los datos VGI: su heterogeneidad.

El punto de mayor destaque es la Muestra 6. De acuerdo con la Tabla 2, esta muestra presentó un ECM de 3,79 m. Este valor es significativamente discrepante, siendo, por ejemplo, casi un 50 % superior al ECM de la Muestra 2 (2,53 m). Además, la Muestra 6 registró la mayor discrepancia máxima entre todos los conjuntos, con un punto que alcanzó 9,07 m de error.

Esta discrepancia estadística tiene una consecuencia cartográfica directa, como se demuestra en la Tabla 3. Mientras que cinco de las seis muestras alcanzaron la Clase B a escala 1:10.000, la Muestra 6 fue la única que no cumplió este criterio, siendo reclasificada como Clase C a la misma escala.

Estos datos comprueban estadísticamente la tesis del “patchwork” o “colcha de retazos” (Goodchild, 2007). La calidad posicional del OSM en Río de Janeiro no es monolítica. La selección de una muestra de 20 puntos en una localización ligeramente distinta altera de forma drástica la clasificación oficial del producto cartográfico. Se demuestra así la existencia de una clara heterogeneidad inter-muestral, en la que la calidad media general (discutida en 3.1) no es suficiente para describir el comportamiento de los datos en toda su complejidad.

3.3. La dimensión espacial de la heterogeneidad

La heterogeneidad no se manifiesta únicamente entre las medias de las muestras (inter-muestral), como se observó en la subsección 3.2, sino también, de manera crucial, dentro de cada conjunto de datos (intra-muestra) y en su distribución espacial.

La Tabla 4, que detalla los cuartiles de discrepancia, revela esta variación interna. En la Muestra 6, por ejemplo, coexisten puntos con discrepancias mínimas (Cuartil 1, iniciando en 0,84 m) y puntos con errores severos (Cuartil 4, alcanzando 9,07 m). Esta amplia dispersión, en la que el mayor error es más de diez veces superior al menor dentro del mismo conjunto, demuestra que la calidad no es uniforme ni siquiera en vecindarios próximos.

La verdadera contribución de este estudio, sin embargo, reside en el análisis de la distribución espacial de estos errores. Los mapas (Figuras 5–10), que utilizan la simbología por cuartiles generada automáticamente por la herramienta QPEC, permiten una investigación visual de la cuestión central de este trabajo: identificar si existen, y cuáles son, las diferentes relaciones entre las regiones con mayor o menor discrepancia posicional y de qué manera los errores se distribuyen en el complejo tejido urbano carioca.

La hipótesis inicial de este trabajo, fundamentada en la literatura de la “ciudad dual” (Perlman, 2010; Novaes, 2014; Kalkman, 2019), postulaba que las mayores discrepancias (Cuartiles 3 y 4, en tonos más oscuros) se concentrarían en dos áreas principales:

- Asentamientos informales (favelas), donde el mapeo VGI podría presentar menor precisión o donde la base oficial del IPP (2021) tendría mayores dificultades de representación;
- Áreas de rápida expansión urbana, donde podrían existir obras viales más recientes que el mapeo de referencia de 2021, haciendo que el OSM (más actualizado) pareciera “incorrecto” en relación con la base oficial desactualizada (Camboim; Bravo; Sluter, 2015).

La heterogeneidad de la precisión posicional en Río de Janeiro no puede explicarse únicamente por la dicotomía socioespacial formal/informal. Otras variables técnicas y temporales son determinantes, como, por ejemplo, el desfase temporal. La base de referencia del IPP es de 2021, mientras que el OSM se actualiza de forma continua. Es altamente probable que discrepancias elevadas (Q4) en áreas formales no sean “errores” del OSM, sino “actualizaciones” (nuevos retornos viales, ciclovías, cambios de trazado) que el OSM ha capturado, pero que la base de referencia de 2021, actualmente desactualizada, no refleja.

El análisis espacial (Figuras 3–8) enriquece la tesis de la heterogeneidad: no se trata únicamente de un fenómeno estadístico (subsección 3.2), sino profundamente espacial y multifactorial. Los resultados sugieren que la “ciudad dual” (Perlman, 2010) no es la única explicación; el desfase temporal entre las bases y la propia calidad de las fuentes de datos son factores determinantes que deben investigarse en estudios futuros.

Los resultados obtenidos evidencian que la heterogeneidad de la precisión posicional de la red vial de OSM en el municipio de Río de Janeiro, con valores de PEC-PCD predominantemente encuadrados entre las Clases B y C a escala 1:10.000 y errores máximos del orden de 9,07 m, tiene implicaciones directas para la gestión ambiental urbana y para los análisis basados en sistemas de transporte. En estudios que utilizan redes viales como estructura analítica, tales como evaluaciones de accesibilidad a servicios, modelización de flujos de tráfico, estimaciones de emisiones vehiculares o análisis de exposición a contaminantes atmosféricos, desplazamientos planimétricos de pocos metros pueden dar lugar a clasificaciones erróneas de proximidad a corredores viales, especialmente en áreas sensibles de influencia entre 50 y 100 m. Estas distorsiones afectan la delimitación de áreas de riesgo, la identificación de poblaciones expuestas y la evaluación de desigualdades socioambientales, introduciendo sesgos relevantes en inferencias de justicia ambiental (Lane *et al.*, 2013). En este sentido, las discrepancias observadas en los cuartiles superiores (Q3 y Q4) no constituyen únicamente un problema cartográfico, sino un factor crítico de incertidumbre para aplicaciones ambientales basadas en redes. Además, en áreas sujetas a eventos ambientales extremos, la completitud y conectividad de la red vial, especialmente en asentamientos informales, condicionan la accesibilidad para la respuesta de emergencia y la definición de rutas seguras, reforzando la necesidad de integración entre datos de OSM, productos de teledetección y estrategias de detección de vacíos cartográficos para respaldar acciones de gestión ambiental y resiliencia urbana (Li *et al.*, 2020a; Neivas, 2023).

En el contexto del municipio de Río de Janeiro, caracterizado por una alta densidad urbana, contrastes socioespaciales marcados y la recurrencia de eventos ambientales críticos como inundaciones y deslizamientos, la calidad de la representación de la red vial condiciona directamente la capacidad de planificación de rutas de emergencia, el acceso a áreas vulnerables y la respuesta ante desastres. La presencia de errores posicionales elevados en determinadas regiones puede comprometer los análisis de conectividad de la red, afectando tanto las estrategias de movilidad sostenible como las acciones de adaptación y resiliencia urbana. De este modo, los resultados refuerzan que la evaluación de la precisión posicional de OSM constituye un insumo esencial para el uso responsable de estos datos en políticas públicas integradas de transporte, medio ambiente y gestión de riesgos.

3.4. Implicaciones Metodológicas y la Contribución de QPEC

Es necesario discutir las implicaciones metodológicas que permitieron la propia ejecución de este análisis de heterogeneidad. El enfoque central de este estudio, evaluar no una, sino seis muestras independientes (Figuras 3–8) de un mismo producto cartográfico, habría sido excesivamente laborioso e impracticable si se hubiera realizado mediante métodos manuales de cálculo estadístico y clasificación.

En este contexto, el desarrollo del complemento QPEC (Figura 2), detallado en la Sección 2.2, fue la contribución metodológica que hizo efectivamente viable la investigación de la heterogeneidad. La automatización de los cálculos del Root Mean Square Error (RMSE) y de los criterios del PEC-PCD, siguiendo las normas de la ET-CQDG (Brasil, 2015), permitió que el análisis se replicara de forma eficiente, rápida y estandarizada para los seis conjuntos de datos.

Más importante que la automatización del cálculo fue la capacidad de visualización de la herramienta. La funcionalidad de QPEC que genera automáticamente la simbología estandarizada por cuartiles (Q1–Q4) fue esencial para el análisis espacial. Esta capacidad permitió transformar los datos estadísticos brutos (Tabla 2) en inteligencia espacial (Figuras 5–10), haciendo posible la discusión presentada en la subsección 3.3 y la vinculación de las discrepancias métricas con la compleja realidad urbana de Río de Janeiro.

Adicionalmente, la explicitación espacial de la heterogeneidad proporcionada por QPEC amplía el potencial de uso de los datos de OSM en aplicaciones orientadas a la gestión ambiental y a los sistemas de transporte. Al permitir la identificación objetiva de áreas con mayor incertidumbre posicional en la red vial, la herramienta ofrece insumos metodológicos para la incorporación de la calidad de los datos como una variable explícita en análisis de accesibilidad, modelización de la movilidad urbana, estimaciones de emisiones vehiculares y estudios de exposición ambiental. En este sentido, la integración de los resultados de QPEC en modelos ambientales y de transporte permite no solo mejorar la robustez analítica, sino también realizar una lectura crítica de las limitaciones espaciales de OSM, particularmente en áreas periféricas y asentamientos informales, donde la confiabilidad de la red vial es determinante para la planificación urbana, la respuesta a eventos extremos y la formulación de políticas públicas ambientales y de movilidad más equitativas.

4 Conclusiones

Este trabajo tuvo como objetivo central estimar la heterogeneidad de los ejes viales de la plataforma OSM en el municipio de Río de Janeiro, partiendo de la hipótesis de que la calidad posicional de los datos VGI sería un reflejo directo de la estructura socioespacial de la “ciudad dual”. Para ello, se implementó una metodología robusta de evaluación de la precisión posicional (PEC-PCD) a través de seis muestras independientes, automatizada mediante la herramienta QPEC. Los resultados no solo confirmaron la existencia de la heterogeneidad, sino que también revelaron una complejidad que desafía la hipótesis inicial. Los principales hallazgos de este estudio pueden sintetizarse en tres puntos:

- El OSM en Río de Janeiro presenta una calidad posicional “media” robusta. El análisis agregado demostró que, la mayor parte del tiempo, los datos cumplen con rigurosos estándares cartográficos oficiales, encuadrándose en la Clase A a escala 1:25.000 y en la Clase D a escala 1:5.000. Esto, por sí solo, valida el potencial de integración de estos datos para la planificación a escalas de menor detalle;
- La heterogeneidad estadística es un hecho comprobado. La “calidad media” enmascara variaciones significativas. La Muestra 5 presentó un ECM casi un 50 % superior al de las demás, fallando en las clasificaciones que las otras cinco muestras alcanzaron. Esto comprueba estadísticamente la tesis del “patchwork” o “colcha de retazos” (Goodchild, 2007) y demuestra que un análisis de precisión basado en una única muestra, una práctica común, sería metodológicamente defectuoso y conduciría a conclusiones erróneas sobre la calidad del producto;
- La heterogeneidad espacial es multifactorial y refuta la hipótesis inicial. El hallazgo más significativo de este estudio fue la constatación de que la “ciudad dual” (Perlman, 2010; Novaes, 2014) no es la única, ni quizá la principal, explicación de la variación de la calidad posicional.

Este último punto tiene implicaciones profundas. Desde la perspectiva de la gestión ambiental y del transporte, los hallazgos de este estudio indican que la heterogeneidad de la precisión posicional del OSM debe considerarse explícitamente en aplicaciones que utilizan redes viales como base analítica. En el municipio de Río de Janeiro, donde la movilidad urbana, la calidad del aire, la exposición a riesgos ambientales y la accesibilidad a servicios están fuertemente interrelacionadas, la confiabilidad geométrica de la red vial condiciona la solidez de los modelos ambientales y de apoyo a la toma de decisiones. Así, la evaluación sistemática de la calidad del OSM no solo cualifica su potencial de integración con bases oficiales, sino que también contribuye a un uso más crítico y transparente de los datos VGI en políticas de movilidad sostenible y planificación urbana con orientación ambiental.

En este sentido, este trabajo refuerza que las iniciativas de mapeo colaborativo, cuando se evalúan bajo criterios objetivos de calidad, pueden desempeñar un papel estratégico en la gobernanza ambiental urbana. Al evidenciar dónde y cómo la red vial colaborativa presenta mayor o menor confiabilidad, se crea una base técnica para orientar tanto el uso analítico del OSM como acciones dirigidas al perfeccionamiento del mapeo, alineando geoprocесamiento, participación social y gestión ambiental en contextos urbanos complejos.

La heterogeneidad de la precisión en Río de Janeiro es multifactorial. La discusión sugiere que el desfase temporal es una variable tan o más determinante que la dicotomía formal/informal. En áreas de rápida modificación vial (comunes en la “ciudad formal”), el OSM, por actualizarse de forma continua, puede ser más correcto que la base oficial de 2021, haciendo que una alta discrepancia (error) sea, en realidad, un indicador de mayor actualidad del VGI.

Para la planificación urbana en Río de Janeiro, esto significa que la integración de datos (Camboim; Bravo; Sluter, 2015) no puede seguir una regla simple (por ejemplo, “usar IPP en favelas y OSM en el asfalto”). El escenario es el opuesto: el OSM puede ser la fuente más actualizada para la movilidad en la ciudad formal, mientras que la base oficial del IPP puede ser la única fuente geométricamente precisa en los asentamientos informales.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo destaca la contribución del complemento QPEC, cuya aplicación fue decisiva para viabilizar el análisis de múltiples muestras y para traducir métricas estadísticas (Tabla 2) en representaciones espaciales interpretables (Figuras 5–10).

4.1. Limitaciones y futuras investigaciones

Como estudio centrado en la metodología de la heterogeneidad, este trabajo presenta limitaciones que abren caminos para investigaciones futuras. El análisis de seis muestras demostró la existencia de la heterogeneidad, pero no la cartografió de manera exhaustiva. La correlación entre los errores (Q4) y la “ciudad dual” se realizó de forma visual y cualitativa, basada en las muestras.

Investigaciones futuras pueden explorar diversas líneas, tales como: ampliar el análisis de la precisión posicional a toda la extensión del municipio, utilizando métodos de malla (Forghani; Delavar, 2014) o análisis por sectores censales, para crear un mapa definitivo de la heterogeneidad de la precisión y correlacionar cuantitativamente las discrepancias con las áreas de asentamientos informales y, de forma crucial, con la fecha de la última edición en el OSM frente a la fecha de las obras viales, a fin de aislar la variable “desfase temporal”.

Además, estudios futuros pueden profundizar la relación entre la heterogeneidad de la calidad del OSM, los sistemas de transporte urbano y las aplicaciones en gestión ambiental. En particular, la incorporación explícita de métricas de precisión posicional y completitud de la red vial en modelos de accesibilidad, estimaciones de emisiones vehiculares y análisis de exposición a contaminantes atmosféricos permitiría evaluar de manera cuantitativa el impacto de los errores geométricos

sobre los resultados ambientales. En el contexto de Río de Janeiro, este enfoque es especialmente relevante para áreas de asentamientos informales, donde la baja calidad o ausencia de cartografía vial puede comprometer diagnósticos de movilidad sostenible, la planificación de rutas de transporte público, la logística de respuesta a eventos extremos y las evaluaciones de justicia ambiental. La integración entre datos del OSM, inventarios de emisiones, información de uso y cobertura del suelo y datos socioambientales podría, por lo tanto, ampliar el papel del mapeo colaborativo como soporte para la formulación de políticas públicas ambientales y de transporte más equitativas y basadas en evidencias.

Este artículo demostró que la heterogeneidad del OSM en Río de Janeiro es una realidad compleja, que no refleja únicamente la desigualdad social, sino también la dinámica temporal y la calidad de las propias fuentes de datos oficiales.

Referencias

- ALCÂNTARA, E. et al. Flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 23, p. 1157–1178, 2023. Disponible en: <https://nhess.copernicus.org/articles/23/1157/2023/>. Acceso en: 8 nov. 2025.
- BORTOLINI, E.; CAMBOIM, S. P. Contextualizing OpenStreetMap in Mapping Favelas in Brazil. **State of the Map**, Heidelberg, v. 1. [S.n.]. 2019. DOI: 10.5281/zenodo.3387727. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3387727>. Acesso em: 8 nov. 2025.
- BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1984. Disponible en: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm. Acceso en: 8 nov. 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Diretoria de Serviço Geográfico**. Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG). Brasília, DF: MF, 2015. Disponible en: https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/cqdg/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acceso en: 08 nov. 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Diretoria de Serviço Geográfico**. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). 3. ed. Brasília, DF: DSG, 2018. Disponible en: geoportal.eb.mil.br/portal/images/Documentos/2024/ET-ADGV_3.0_211218.pdf. Acceso en: 8 nov. 2025.
- BROVELLI, M. A.; ZAMBONI, G. A new method for the assessment of spatial accuracy and completeness of OpenStreetMap building footprints. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 8, p. 289, 2018. DOI: 10.3390/ijgi7080289.
- C40 CITIES. **Benefits of urban climate action**: Rio de Janeiro – electrification of the bus fleet. 2022. Disponible en: <https://www.c40.org/wp-content/uploads/2022/02/Rio-de-Janeiro-%E2%80%93-Electrification-of-the-Bus-Fleet-Portuguese.pdf>. Acceso en: 8 dic. 2025
- CAMBOIM, S. P.; BRAVO, J. V. M.; SLUTER, C. R. An investigation into the completeness of, and the updates to, OpenStreetMap data in a heterogeneous area in Brazil. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, n. 3, p. 1366–1388, 2015. DOI: 10.3390/ijgi4031366. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2220-9964/4/3/1366>. Acceso en: 8 nov. 2025.
- CORMODE, G.; KRISHNAMURTHY, B. Key differences between Web 1.0 and Web 2.0. **First Monday**, v. 13, n. 6, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5210/fm.v13i6.2125>.

ELIAS. QPECv0.2. 2025. Disponible en: <https://github.com/eliasnaim/QPECv0.2>. Acceso en: 12 dic. 2025.

ELIAS, E. N. N. et al. QPEC: QGIS Toolkit for Evaluating Geospatial Data Positional Accuracy according to the Brazilian Cartographic Accuracy Standard. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 46, 2023. DOI: 10.11137/1982-3908_2023_46_54245. Disponible en: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_54245. Acceso en: 21 nov. 2025.

ELWOOD, S.; GOODCHILD, M.; SUI, D. Researching volunteered geographic information: spatial data, geographic research, and new social practice. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012. DOI: 10.1080/00045608.2011.595657.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 3, p. 265-294, 2010. DOI: 10.1080/01944361003766766.

FERNANDES, V. O.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.; ELIAS, E. N. N. Determinação de número de amostras para controle de qualidade posicional em mapas urbanos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 25, n. 4, p. 821-820, 2015.

FERSTER, C. et al. Using OpenStreetMap to inventory bicycle infrastructure: A comparison with open data from cities. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, n. 1, p. 64-73, 2019. DOI: 10.1080/15568318.2018.1519746.

FIGUEIREDO, A.; VERÍSSIMO, E.; FRANCO, S. Mapping the Care of People with URBELatam (Morro do Preventório, Niterói/RJ). **Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT)**, 2022. Disponible en: <https://www.hotosm.org/updates/mapping-the-care-of-people-with-urbelatam/>. Acceso en: 8 nov. 2025.

FONTE, C. C. et al. Generating Up-to-Date and Detailed Land Use and Land Cover Maps Using OpenStreetMap and GlobeLand30. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 4, 125, 2017. DOI: 10.3390/ijgi6040125.

FORGHANI, M.; DELAVAR, M. R. A quality study of the OpenStreetMap dataset for Tehran. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 3, n. 2, p. 750-763, 2014. DOI: 10.3390/ijgi3020750.

GALO, M.; CAMARGO, P. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: **1º Congresso Brasileiro De Cadastro Técnico Multifinalitário**, 1994, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: UFSC, 1994. p. 41-48. Disponible en: researchgate.net/profile/Mauricio-Galo-2/publication/265208956_Utilizacao_do_GPS_no_controle_de_qualidade_de_cartas/links/5dadf743a6fdccc99d928da4/Utilizacao-do-GPS-no-controle-de-qualidade-de-cartas.pdf. Acceso en: 8 nov. 2025.

GANPATI, S. Uses of public participation geographic information systems applications in E-Government. **Public Administration Review**, v. 71, n. 3, p. 425-434, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2011.02226.x>.

GIRRES, J-F.; TOUYA, G. Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset. **Transactions in GIS**, v. 14, n. 4, p. 435-459, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9671.2010.01203.x>.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of Volunteered Geography. **GeoJournal**, v. 69, p. 211-221, 2007. DOI: 10.1007/s10708-007-9111-y.

GOODCHILD, Michael F.; LI, Linna. Assuring the quality of volunteered geographic information. **Spatial Statistics**, v. 1, p. 110–120, 2012. DOI: 10.1016/j.spasta.2012.03.002.

GRASER, A.; STRAUB, M.; DRAGASCHNIG, M. Is OSM good enough for vehicle routing? A study comparing street networks in terms of route quality. In: **PROCEEDINGS OF LBS 2014**, 2014. Preprint. Disponible en: https://anitagraser.com/wp-content/uploads/2010/10/preprint_lbs2014_graseretal.pdf

. Acceso en: 8 nov. 2025.

HAKLAY, M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets for London and the rest of England. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 37, n. 4, p. 682–703, 2010. Disponible en: https://www.ucl.ac.uk/~ucfamha/OSM%20data%20analysis%20070808_web.pdf. Acceso en: 8 nov. 2025.

HAGEN, Joshua S. Contributing to the geoweb: volunteered geographic information and humanitarian assistance. **GeoJournal**, v. 81, n. 3, p. 429–444, 2016. DOI: 10.1007/s10708-015-9634-0.

HALLOPEAU, T. et al. Mapping Rio de Janeiro's favelas: general-purpose vs. satellite-specific neural networks. **arXiv**, [S.v], 2025. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2510.03725>. Acceso en: 8 nov. 2025.

HECHT, R.; KUNZE, C.; HAHMANN, S. Measuring completeness of building footprints in OpenStreetMap over space and time. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 2, n. 4, p. 1066–1091, 2013. DOI: 10.3390/ijgi2041066. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2220-9964/2/4/1066>. Acceso en: 8 nov. 2025.

HERFORT, B. et al. The evolution of humanitarian mapping within the OpenStreetMap community. **Scientific Reports**, v. 11, 3037, 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-82404-z. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-82404-z>. Acceso en: 8 nov. 2025.

HOSSEINI, R. et al. A framework for performance analysis of OpenStreetMap road data across different navigation tasks. **Journal of Location Based Services**, 2025. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475683.2025.2468184>. Acceso en: 8 nov. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico para Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais. **Manuais Técnicos em Geociências**, n. 13. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponible en: biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf. Acceso en: 8 nov. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022: população residente do município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022a. Disponible en: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/rio-de-janeiro.html>. Acceso en: 21 nov. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Área territorial oficial do município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022b. Disponible en: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/rio-de-janeiro.html>. Acceso en: 21 nov. 2025.

IBRAHIM, M. H.; DARWISH, N. R.; HEFNY, H. A. An approach to control the positional accuracy of point features in volunteered geographic information systems. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 10, n. 6, 2019. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100624.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. CO₂ emissions in 2023. Paris, 2024. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>. Acceso en: 8 dic. 2025.

IPCC. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report. Chapter 10: Transport. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-10/>. Acceso en: 8 dic. 2025.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP) INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS. Página inicial. 2025. Disponible en: <https://ipp.prefeitura.rio/>. Acceso en: 20 nov. 2025.

- INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). Logradouros. Rio de Janeiro: **Data.Rio**, 2021. Conjunto de dados. Disponible en: <https://www.data.rio/datasets/PCRJ::logradouros/about>. Acceso en: 01 nov. 2025
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19157:2013: Geographic Information - Data Quality. Vernier: ISO, 2013.
- JASIM, M. S.; AL-HAMADANI, O. Positional accuracy assessment for updating authoritative geospatial datasets based on open source data and remotely sensed images. **Journal of Engineering**, v. 26, n. 2, p. 70-84, 2020. DOI: 10.31026/j.eng.2020.02.06.
- JOSM. JOSM - O Editor do OpenStreetMap. 2025. Disponible en: <https://josm.openstreetmap.de/>. Acceso en: 20 nov. 2025.
- KALKMAN, A. S. **Worlding Rio de Janeiro's favelas**: Relations and representations of socio-spatial inequality in visual art. 2019. Tese (Mestrado) — Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, 2019. Disponible en: pure.uva.nl/ws/files/36518171/Thesis_complete_.pdf. Acceso en: 12 nov. 2025.
- KENT, A. Topographic Maps: methodological approaches for analyzing cartographic style. **Journal of Map & Geography Libraries**, v. 5, n. 2, p. 131-156, 2009. DOI: 10.1080/15420350903001187.
- LANE, K. J. et al. Positional error and time-activity patterns in near-highway epidemiologic studies of traffic-related air pollution. **Environmental Health**, v. 12, 2013. Disponible en: <https://PMC3907019/>. Acceso en: 8 dic. 2025.
- LI, Linna et al. Using OpenStreetMap data to support environmental and urban analysis: a review. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 80, p. 101–120, 2020. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101441.
- LI, H.; HERFORT, B.; HUANG, W.; ZIA, M.; ZIPF, A. Exploration of OpenStreetMap missing built-up areas using Twitter hierarchical clustering and deep learning in Mozambique. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 166, p. 41-51, 2020a.
- LIMA, M. da C.; FREIMAN, F. P. CAMBOIM, S. P. Desenvolvimento de uma aplicação web de mapeamento colaborativo para identificação de áreas de risco aplicada ao município de Nova Friburgo/RJ. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 8, n. 1, p. 217–226, 2022. DOI: 10.21680/2447-3359.2022v8n1ID26542. Disponible en: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/download/26542/16388/105089>. Acceso en: 8 nov. 2025.
- MACHADO, A. A.; CAMBOIM, S. P.. MAPEAMENTO COLABORATIVO COMO FONTE DE DADOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO - DESAFIOS E POTENCIALIDADES. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S. I.], v. 11, 2019. Disponible en: <https://periodicos.pucpr.br/Urbe/article/view/24666>. Acceso en: 12 nov. 2025.
- MAHABIR, Ron et al. The role of OpenStreetMap in supporting sustainable development and disaster risk reduction. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 1–23, 2020. DOI: 10.3390/ijgi9060383.
- MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In: **AMERICAN CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING**, 42., 1982, Falls Church. Proceedings [...]. Gaithersburg: ACSM, 1982. v. 1, p. 222-231.
- MOBASHERI, Amin et al. Assessing the completeness of OpenStreetMap road data for emergency routing. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, p. 1–19, 2017. DOI: 10.3390/ijgi6110348.
- NEIVAS, G. S. **Visualização da qualidade de dados do mapeamento colaborativo no contexto de desastres**. Dissertação (Mestrado em Ciências

Geodésicas), UFPR, 2023.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos**: uma proposta metodológica. 2003. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003. Disponible en: repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/2a484db4-cd32-48fe-83d1-9017ae4e64b5/content. Acceso en: 12 nov. 2025.

NOVAES, A. R. Favelas and the Divided City: Mapping silences and calculations in Rio de Janeiro's journalistic cartography. **Social & Cultural Geography**, v. 15, n. 2, p. 201–225, 2014. DOI: 10.1080/14649365.2013.872285. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14649365.2013.872285>. Acceso en: 8 nov. 2025.

OPENSTREETMAP. OpenStreetMap stats. 2025. Disponible en: https://planet.openstreetmap.org/statistics/data_stats.html. Acceso en: 20 nov. 2025.

OPENSTREETMAP WIKI. Página principal. 2025. Disponible en: <https://wiki.openstreetmap.org/>. Acceso en: 20 nov. 2025.

O'REILLY, T. What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software. **Communications & Strategies**, v. 65, n. 1, 2007. Disponible em: <https://ssrn.com/abstract=1008839>. Acesso em: 12 nov. 2025.

PERLMAN, J. **Favela**: Four decades of living on the edge in Rio de Janeiro. New York: Oxford University Press, 2010. Disponible en: <https://archive.org/details/favelafourdecade0000perl>. Acceso en: 8 nov. 2025.

POIANI, T. H. et al. Potential of collaborative mapping for disaster relief: a case study of OpenStreetMap in the Nepal earthquake 2015. In: **HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS)**, 49., 2016. Proceedings [...]. 2016. DOI: 10.1109/HICSS.2016.31. Disponible en: <https://repositorio.usp.br/item/002775517>. Acceso en: 8 nov. 2025.

SLUTER, C. R. et al. Proposal for topographic map symbols for large-scale maps of urban areas in Brazil. **The Cartographic Journal**, v. 55, n. 4, p. 362-377, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/ica-abs-1-342-2019>.

ZHANG, H.; MALCZEWSKI, J. Accuracy evaluation of the Canadian OpenStreetMap road networks. **International Journal of Geospatial and Environmental Research**, v. 5, n. 2, 2017. Disponible en: <https://ijger-ojs-txstate.tdl.org/ijger/article/view/69/45>. Acceso en: 12 nov. 2025.

Sobre los Autores

Nathan Damas Antonio es doctorando en Ciencias Geodésicas por la UFPR, con enfoque en Calidad de Datos Geoespaciales, Información Geográfica Voluntaria, Mapeo Colaborativo, movilidad urbana, análisis de datos espaciales e interoperabilidad semántica, con un fuerte compromiso con el avance de la calidad y accesibilidad de los datos geoespaciales.

Elias Nasr Naim Elias es profesor del Departamento de Ingeniería Cartográfica de la UERJ y doctor en Ciencias Geodésicas por la UFPR. Posee experiencia en Geociencias, con énfasis en Cartografía, Calidad de Datos Geoespaciales y Mapeo Colaborativo.

Irving da Silva Badolato es profesor del Departamento de Ingeniería Cartográfica de la UERJ, con enfoque en computación aplicada. Posee una maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación por COPPE/UFRJ y actualmente cursa el doctorado en Ciencias Computacionales y Modelado Matemático en el IME/UERJ.

Silvana Philippi Camboim es profesora del Departamento de Geomática de la Universidad Federal de Paraná (UFPR) y doctora en Ciencias Geodésicas. Su actuación se centra en Cartografía, GIScience e Infraestructuras de Datos Espaciales. Es becaria de Productividad en Investigación y miembro del Comité

Asesor de Geociencias del CNPq. Participa en comisiones y redes internacionales, siendo miembro de la Asociación Internacional de Cartografía (ICA), de la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS), de la Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) y de la comunidad OpenStreetMap (OSM). Es editora jefa del Boletim de Ciências Geodésicas.

Marcio Augusto Reolon Schmidt es doctor en Ciencias Geodésicas por la Universidad Federal de Paraná y trabaja en la interfaz entre las Geociencias y los Métodos Inteligentes, con enfoque en Cartografía. Es docente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Uberlândia y actualmente es miembro de la Comisión de Educación y Capacitación de la Asociación Internacional de Cartografía (ICA).

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, [N.D.A; E.N.N.E; I.S.B.; S.P.C.; M.A.R.S.]; metodología, [N.D.A.; E.N.N.E.; I.S.B.]; software [E.N.N.E; I.S.B.]; validación, [N.D.A.; E.N.N.E.; I.S.B.]; análisis formal, [N.D.A; E.N.N.E; I.S.B.]; redacción—preparación del borrador original, [N.D.A.; E.N.N.E.; I.S.B.]; redacción—revisión y edición [N.D.A; E.N.N.E; I.S.B.; S.P.C.; M.A.R.S.]; supervisión, [S.P.C.; M.A.R.S.]. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión publicada del manuscrito.

Financiación

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamiento 001.

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.