

## AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO VERTICAL POR MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE EM ÁREA DE FORTE DINÂMICA POPULACIONAL

### *Assessment of vertical growth using Digital Surface Models in areas of strong population dynamics*

**Jonatas Goulart Marinho Falcão**

**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Cartográfica  
falcao.jonatas@graduacao.uerj.br

**Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho**

**Universidade do Estado do Rio de Janeiro | Instituto Municipal de Urbanismo  
Pereira Passos**

Faculdade de Engenharia - Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto | Coordenadoria de  
Informações da Cidade  
luiz.coelho@eng.uerj.br

#### **Resumo:**

O presente trabalho apresenta metodologia de avaliação de crescimento vertical em área de forte dinâmica populacional informal no município do Rio de Janeiro (comunidade de Rio das Pedras), através de ferramentas de geoprocessamento envolvendo álgebra de modelos digitais de superfícies entre dois recortes temporais (2013 e 2019). Como produtos, propõe atualização de base geoespacial cadastral identificando especificamente imóveis onde houve variação positiva (acréscimo de pavimentos), negativa (demolição), bem como edificações novas em área originalmente não-edificada. Com isso, pretende-se fornecer à municipalidade estratégia de avaliação de dinâmicas construtivas e também permitir sua utilização em simulações de microclima para avaliação de conforto térmico.

**Palavras-chave:** modelo digital de superfície, variação vertical, favela, comunidade, cadastro territorial multifinalitário

#### **Abstract:**

This study seeks to present a methodology to evaluate vertical growth in an area of a strong, informal populational dynamics in the municipality of Rio de Janeiro (Rio das Pedras slum), through geoprocessing tools dealing with surface model algebra). For the analysis, geospatial data in 2013 and 2019 were used. As final products, the article proposes an updating of the cadastral geospatial database identifying specific parcels and buildings where there was a positive vertical variation (floors were added), a negative vertical variation (demolition) and new buildings that were added to previously non-built areas. With this work, we intend to offer the municipality a strategy of how to properly evaluate building dynamics and also to use such 3D models to simulate microweather and thermal comfort.

**Keywords:** digital surface models, vertical change, favela, slum, multipurpose land cadaster

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existiam 763 “aglomerados subnormais” — termo usado pelo instituto durante 50 anos para denominar as favelas — no município do Rio de Janeiro, ocupando 47,6 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 4% da área territorial do município. Em contraste, a população residente em tais locais é de 1.393.314 pessoas, equivalente a 22% dos mais de 6 milhões e 300 mil cariocas, evidenciando a concentração da população nas áreas mais carentes da cidade por conta da elevada densidade populacional.

Segundo o Sistema de Assentamentos de Baixa Renda (IPP, 2023), coordenado e mantido pelo Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP), as favelas da cidade do Rio de Janeiro são, em sua maioria, de pequeno e médio porte, conforme mostra a Tabela 1. Já com relação ao grau de urbanização, o SABREN indica que mais de dois terços das favelas estão classificadas como assentamentos não urbanizados, com apenas 14,80% classificadas como assentamentos urbanizados (Tabela 2).

Tabela 1- Classificação das favelas da cidade do Rio de Janeiro quanto ao porte.

PORTE DAS FAVELAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	
Quantidade de domicílios	Percentual do total de favelas
Menos de 100	37,90
101 a 500	37,43
Mais de 500	18,72
Sem informação	5,96

Fonte: SABREN, IPP (2023).

Tabela 2- Classificação das favelas da cidade do Rio de Janeiro quanto ao grau de urbanização.

GRAU DE URBANIZAÇÃO DAS FAVELAS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	
Classificação	Percentual do total de favelas
Não urbanizado	68,44
Urbanizado	14,80
Parcialmente urbanizado	10,61
Parcialmente reassentado	0,74
Em processo de urbanização	0,09

Fonte: SABREN, IPP (2023).

Dentre as favelas da capital carioca encontra-se Rio das Pedras, localizada em Jacarepaguá, bairro da Zona Oeste. A área é caracterizada por uma intensa dinâmica populacional, tendo passado de 18.692 domicílios em 2010 para 27.573 domicílios em 2022, um aumento de 47% no período (IBGE, 2024), sendo assim a terceira maior

favela do Brasil nesse quesito. Caso o aumento populacional siga o mesmo padrão, em 2022 teríamos mais de 80 mil moradores no local. Contudo, tais valores podem estar subestimados, pois dados da Associação de Moradores registraram que a população local estaria em torno de 140.000 habitantes, com cerca de 40.000 moradias (SMU, PCRJ, 2013).

A dinâmica populacional intensa, marcada por um crescimento rápido e desordenado, resulta na ocupação irregular do território. Com o aumento constante de moradores, a expansão horizontal da favela torna-se cada vez mais limitada, gerando assim a verticalização das construções e a diminuição dos espaços abertos. Este estudo se propõe a analisar o crescimento vertical da favela Rio das Pedras comparando os períodos de 2013 e 2019, com vistas a melhor entender a dinâmica construtiva em ambiente de forte crescimento populacional, embora contido em área geográfica com pouca expansão horizontal.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Rio das Pedras (Figura 1) tem seu primeiro registro de ocupação datado de 1951 (SABREN, 2022), tendo sua expansão se intensificado nos anos 60 e 70 com a migração nordestina diretamente relacionada ao processo de ocupação acelerado da Barra da Tijuca, também na Zona Oeste, devido à necessidade de mão de obra (Pereira, 2017). De acordo com SABREN:

A área que abrange a comunidade era pantanosa devido à proximidade do Rio das Pedras. Os próprios moradores fizeram os aterros necessários para a construção das suas casas. Em maio de 1964, foram ameaçados de remoção. Pessoas que se diziam donas do terreno tentaram remover os moradores. O governador Negrão de Lima desapropriou o local transformando-a em área de interesse social. Noventa e seis famílias foram beneficiadas. A partir de 1966 houve uma considerável expansão da favela. Por volta de 1981 um novo surto de expansão.

Esta favela é classificada como um assentamento parcialmente urbanizado de grande porte, sendo dividida nas seguintes sub-comunidades: Areal 1, Areal 2, Areinha, Centro, Rio das Flores, Rio Novo, São Bartolomeu, Vila Caranguejo e Vila Pinheiro; com a ocupação de ambas ocorrendo em épocas distintas.

Apesar do surto expansivo nas décadas iniciais, nota-se que o mesmo não vem ocorrendo nos últimos anos. A variação da área horizontal ocupada entre 1999 e 2019 manteve-se com aumento de cerca de 1% ao ano. Em contrapartida, estudos da PCRJ mostram um forte crescimento vertical devido à necessidade de alocar o constante aumento populacional aliado à escassez de área para expansão no outro eixo.

Figura 1- Limitação da Favela Rio das Pedras.



Fonte: os autores

O acelerado crescimento urbano, aliado às alterações climáticas em escala global, tem provocado diversos problemas socioambientais, impactando negativamente a qualidade de vida nas cidades. Essas mudanças afetam a qualidade do ar e o microclima urbano. Em áreas com menor ventilação e alterações na cobertura do solo, observa-se um acúmulo de calor que contribui para a formação das ilhas de calor urbanas, fenômeno que eleva as temperaturas em determinadas localidades, criando um ambiente menos confortável para os moradores (Machado et al, 2022). As favelas têm características que propiciam tais problemas, por conta do forte adensamento e crescimento desordenado, intensificados em áreas com grande verticalização, como é o caso da área de estudo.

## 3 MATERIAIS E METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando como material os dados dos voos aerofotogramétricos realizados sobre a cidade do Rio de Janeiro nos anos de 2013 e 2019, contratados pela PCRJ (Topocart, 2019), sendo eles:

#### 3.1.1 Restituição fotogramétrica digital

Restituição na escala 1:5000, do ano de 2013. A restituição objetiva a interpretação das diversas feições naturais ou artificiais manifestas no terreno, extraindo-as geograficamente referenciadas para compor a base cartográfica de uma região geográfica em uma dada escala (Coelho e Brito, 2007).

#### 3.1.2 Nuvem de pontos

Obtida através de levantamento LiDAR (*Light Detection and Ranging*), uma tecnologia que utiliza sensores ativos para emitir pulsos laser, calculando a distância entre o sensor e a superfície de estudo, gerando assim modelos digitais de superfície com alta resolução espacial (Wolf e Dewitt, 2010).

Vale ressaltar que os dados foram validados, no que se refere à sua qualidade (Brasil, 1984), de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (Brasil, 2016), tendo acurácia compatível com a classe B na escala 1:2000.

### 3.2 Metodologia

A metodologia seguiu uma abordagem sistemática na análise temporal do crescimento vertical da área de estudo, envolvendo as seguintes etapas:

#### 3.2.1 Recorte da área de estudo

Primeiramente foi realizado o recorte dos dados disponibilizados pela PCRJ, limitando os mesmos à área de estudo.

#### 3.2.2 Subtração de modelos

Após a delimitação dos dados à área de estudo foi realizada a geração de modelo tridimensional da cartografia 2013 mediante conversão para raster dos polígonos de edificações conforme o atributo “topo”, na resolução de 1 m/pixel. Já para 2019, era possível contar com um modelo de superfície LiDAR como nuvem de pontos, o qual foi reamostrado enquanto raster também na resolução de 1 m/pixel. Todos esses dados foram fornecidos pelo Instituto Pereira Passos através da plataforma data.rio ou mediante acordo de cooperação com a UERJ.

Em sequência, foi realizada operação intitulada “álgebra de raster” conforme subtração pixel a pixel entre os modelos tridimensionais gerados a partir da restituição fotogramétrica de 2013 e dos dados LiDAR de 2019. Esta subtração de modelos tem como propósito identificar e quantificar as mudanças ocorridas verticalmente nas construções entre as épocas definidas.

De modo a simplificar a saída de dados, os valores dessa operação foram discretizados (i.e., convertidos para números inteiros).

### **3.2.3 Geração de modelo de diferenças de superfícies e atualização da base cartográfica**

Através de ferramenta de estatística de zona (no software ArcGis: analysis> zonal statistics) foi feita a sumarização por moda referente a cada polígono, escolhendo, assim, o valor de pixel (já discretizado) mais comum dentro daquele polígono - e que representa de forma mais clara, a variação vertical predominante (Figura 2). Para imóveis sem variação vertical, a diferença deveria estar em valores próximos a zero (e discretizados para zero). Para variações verticais significativas, pode-se ponderar de 2 a 3 metros por pavimento, positivos (em tons de amarelo a vermelho). Para demolições, ocorre um resultado negativo (em roxo). Além disso, edificações novas (em cinza) também foram acrescentadas à base.

Outras alternativas de estatística de zona foram buscadas, como média e mediana. Seus resultados não se mostraram tão satisfatórios quanto a discretização em números inteiros e a conversão. No tocante ao cálculo de médias, produzia uma diversidade de valores com múltiplas casas decimais, e o armazenamento do raster final mostrou-se mais pesado, inviabilizando esse tipo de cálculo para maiores escalas. Já o cálculo por mediana produzia resultados espúrios em telhados com variações consideráveis de altitude entre si (inacabados, ou parcialmente cobertos).

A abordagem por moda permitiu capturar a variação vertical mais significativa em cada edificação. Exigia uma discretização prévia dos valores, mas, para a análise em pauta, produziu os resultados mais adequados, permitindo então identificar, de forma aproximada e arredondada, a contribuição vertical mais relevante por edificação.

Um ponto importante é a inexistência de informação vetorial sobre novas edificações, uma vez que a restituição refere-se a 2013. Para agregar novas edificações, foi usada a ferramenta AI vectorizer for QGIS diretamente sobre a ortoimagem de 2019. Os resultados foram geometricamente simplificados e agregados à base, para que também fosse possível proceder à análise enquanto edificações novas.

Figura 2- Processamento da diferença entre as edificações em 2019 e 2013



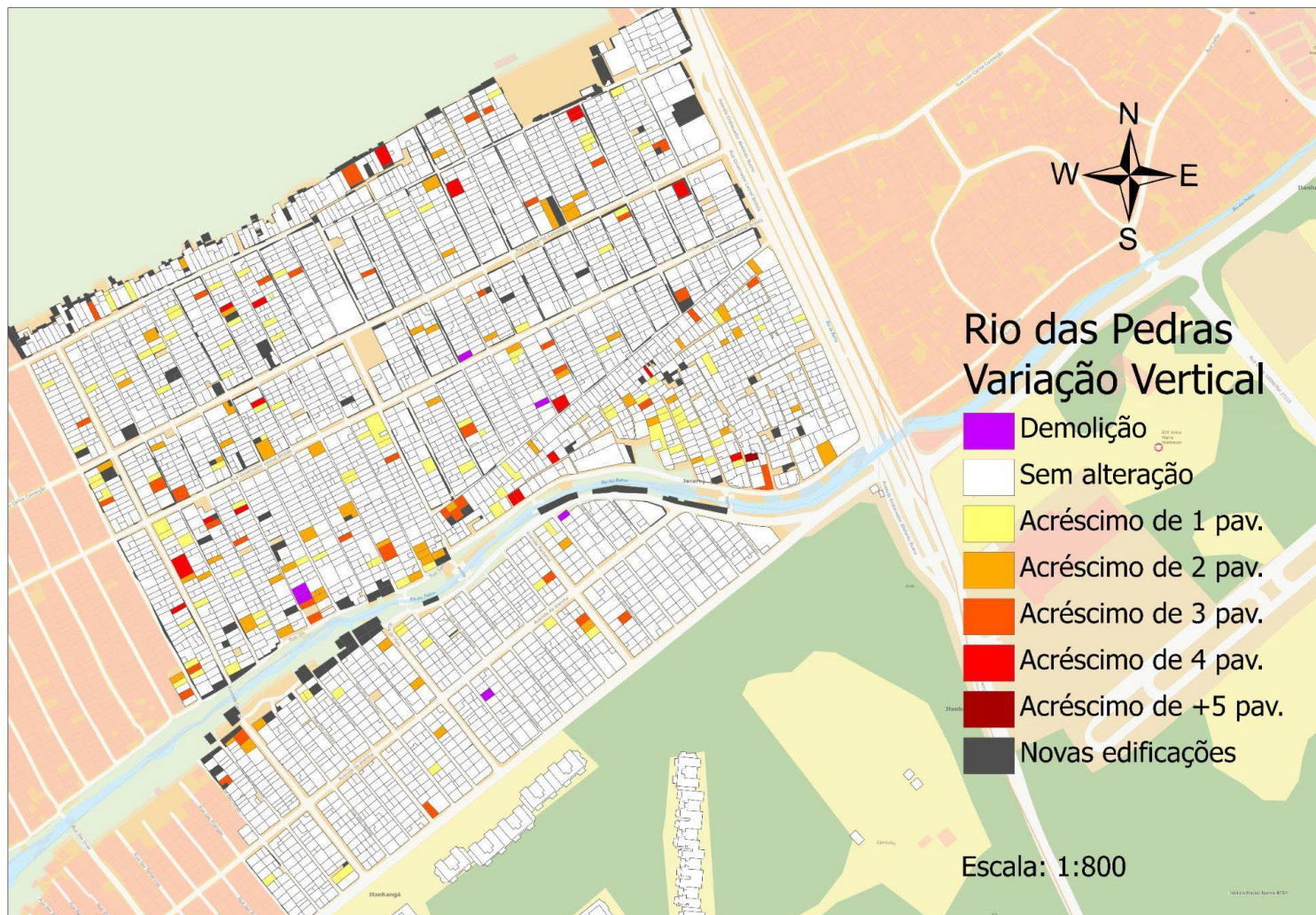
Fonte: os autores

## 4 RESULTADOS

Os resultados do estudo encontram-se descritos na Figura 3. Verifica-se notável alteração em termos de novas edificações, sobretudo nas áreas junto ao Rio das Pedras e nos limites do recorte. Já no tocante a acréscimo vertical, em praticamente todos os distritos da comunidade, há dinâmica de acréscimos de pavimentos, bem como algumas demolições pontuais. Verifica-se notável acréscimo de 3 pavimentos ou mais, o que sugere a transformação de unidades unifamiliares em multifamiliares - o que, por si só, enseja uma forte dinâmica de locação e cessão de unidades imobiliárias.

Esses resultados deverão instruir pesquisa sobre conforto térmico, examinando – através de software de modelagem computacional – os impactos na formação de ilhas de calor, devidos à verticalização e densificação de assentamentos como Rio das Pedras.

Figura 3- Sumarização por polígono, evidenciando o crescimento vertical



Fonte: os autores

## 5 CONCLUSÃO

Pôde-se verificar que, apesar da pouca expansão horizontal, a comunidade de Rio das Pedras foi amplamente modificada por expansão tridimensional vertical. Tal análise, que foge à prática corriqueira do Cadastro Territorial Multifinalitário urbano (ainda vinculado sobretudo a coordenadas planimétricas), é de grande importância para o melhor entendimento das dinâmicas construtivas irregulares no Rio de Janeiro, podendo a presente metodologia ser expandida para outras metrópoles do país.

Embora os dados do Censo 2022 ainda não estejam plenamente depurados, é possível também vislumbrar a utilização do presente trabalho para comparar dinâmicas populacionais com o mercado imobiliário.

Além disso, para pesquisas futuras, este trabalho buscará desenvolver simulações sobre os possíveis impactos ambientais que essa verticalização pode

acarretar, relacionados à circulação do ar e ao conforto térmico. Para isso, será necessário incluir mais parametrizações, como a inclusão de vegetação e, dada a entrega de mais um aerolevante do Rio de Janeiro com LiDAR, mais uma análise temporal, desta vez entre os anos de 2019 e 2024.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos pela disponibilização de insumos para a presente pesquisa, que se insere em contexto de cooperação acadêmica entre universidade e serviço público.

### Referências

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, 2016.

Disponível em: [https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/cqdg/ET\\_CQDG\\_1a\\_edicao\\_2016.pdf](https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/cqdg/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf). Acesso em: 09 jul. 2024.

BRASIL. 'Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984', Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jul. 1984, pp. 8884.

BRITO, J. L. N. e S.; FREIRES, L. H. C.; DUQUE ESTRADA, R. P.; CUNHA, J. P. L.; FREITAS, F. L.; COELHO, L. C. T; GALVAO, W. P.; LIMA, A. L. C. **Elaboração e teste da qualidade posicional de uma carta ortomagem cadastral a partir de imagens WorldView 3**. In: COBRAC - Congresso de Cadastro Multifinalitário e Gestão Territorial COBRAC 2020.

COELHO, L.C.T e Brito, J.L.N.S., **Fotogrametria Digital**. 2ª ed., Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.

ELIAS, Elias Nasr Naim; GIEHL, Samoel; AMORIM, Fabricio Rosa; *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. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/54245>>. Acesso em: 24 jul. 2024.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS (IPP). **Mapa de uso do solo:** Rio de Janeiro: IPP, 2019. Disponível em: <https://www.data.rio/apps/uso-do-solo-1/explore>. Acesso em: 24 jul. 2024.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS (IPP). **Sistema de assentamentos de baixa renda:** Rio de Janeiro: IPP, 2022. Disponível em: <https://sabren-pcrj.hub.arcgis.com>. Acesso em: 24 jul. 2024.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS (IPP). **Sistema de Informações Urbanas:** Rio de Janeiro: IPP, 2023. Disponível em: <https://www.siurb.rio>. Acesso em: 24 jul. 2024.

MACHADO, E. P.; BARBOSA, G. S.; VAZQUEZ, E. G. .; DRACH, P. R. C. **Evaluation of the impacts of urban form on the microclimate of neighbourhoods in Rio de Janeiro, Brazil.** PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 13, p. e022017, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8665410>

PEREIRA, YANKA. **Rio das Pedras: O acesso à energia ontem e hoje.** 2017

TOPOCART AEROLEVANTAMENTOS. **Relatório de execução de mapeamento aerofotogramétrico 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: Topocart, 2019.

WOLF, Paul R.; DEWITT, Bonn A. **Elements of Photogrammetry (With Applications in GIS).** McGraw Hill Higher Education. 2010.