



Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

Luiz Carlos Teixeira Coelho Filho¹; Sonia Maria Lima Silva¹; Elias Nasr Naim Elias¹; Loreine Ribeiro da Silva¹, Nyelsen Fernandes de Oliveira¹

✉ luiz.coelho@eng.uerj.br

1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro -UERJ, Rio de Janeiro, RJ.

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 19 de janeiro de 2024

Aceito em: 21 de março de 2025

Publicado em: 30 de abril de 2025

Resumo: Este trabalho visa avaliar vantagens e desvantagens do uso de mosaicos de imagens de satélite de alta resolução WorldView como fonte de atualização de base cartográfica cadastral e elaboração de produtos temáticos para classificação de feições e usos de interesse do Município do Rio de Janeiro. Para tal, foram executadas análises de qualidade comparativas entre o mosaico WorldView, de aquisição anual pela Prefeitura, com mosaicos de ortomagens obtidos por aerofotogrametria, com periodicidade de revisita mais longa. Tais análises consideraram aspectos de resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral, mas também acurácias posicional e temática, advindas de comparações estatísticas entre coordenadas de pontos medidos e matrizes de confusão obtidas após classificações supervisionadas e não-supervisionadas.

Palavras-chave: Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Classificação, Cadastro, Avaliação de Qualidade, Comparação Estatística.

Comparative Analysis Between Worldview Imagery and Aerial Orthomosaics for Urban Planning and Cadastral Cartography

Abstract: This work aims to evaluate the advantages and disadvantages of using WorldView high resolution satellite image mosaics in order to update the cadastral base and the development of thematic products such as image classification and land use maps, for the Municipality of Rio de Janeiro. To this end, comparative quality analyses were carried out between the WorldView mosaic, acquired annually by the City Hall, with mosaics of orthomages obtained by aerial photogrammetry, which has a longer revisit period. These analyses considered aspects of spatial, temporal, radiometric, and spectral resolutions, but also positional and thematic accuracies, derived from statistical comparisons between measured point coordinates and confusion matrices obtained after supervised and unsupervised classifications.

Keywords: Photogrammetry, Remote Sensing, Classification, Cadastre, Quality Evaluation, Statistical Comparison.

Análisis Comparativo entre Imágenes Worldview y Ortoimágenes Aereas para Planeamiento Urbano y Cartografía Catastral

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo evaluar las ventajas y desventajas del uso de mosaicos de imágenes satelitales de alta resolución WorldView como fuente de actualizar la base cartográfica catastral y la elaboración de productos temáticos con miras a clasificar características y usos del suelo de interés del Municipio de Río de Janeiro. Para ello se realizaron análisis comparativos de calidad entre el mosaico WorldView, adquirido anualmente por el Ayuntamiento, con mosaicos de ortomágenes obtenidas por fotogrametría aérea, con un periodo de revisita mayor. Estos análisis consideraron aspectos de resoluciones espaciales, temporales, radiométricas y espectrales, pero también precisiones posicionales y temáticas, derivadas de comparaciones estadísticas entre coordenadas de puntos medidos y matrices de confusión obtenidas después de clasificaciones supervisadas y no supervisadas.

Palabras clave: Fotogrametría, Detección Remota, Clasificación, Catastro, Evaluación de Calidad, Comparación Estadística.

INTRODUÇÃO

Por cerca de vinte anos, a Prefeitura do Rio de Janeiro (através do Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos – IPP) tem obtido recobrimento anual de seu território por meio de mosaicos ortorretificados de imagens provenientes de sistemas de sensores remotos de alta resolução. Esse tipo de recobrimento tem permitido ao IPP e outros órgãos de planejamento urbano gerar mapas anuais de uso do solo (INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2019), acompanhar, também de forma anual, o crescimento horizontal de favelas (INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2022) e integrar os diversos cadastros temáticos no Sistema de Informações Territoriais denominado SIURB – Sistema de Informações Urbanas (INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2023).

Após o pioneiro mosaico de ortomagens em 1999, o IPP contratou, executou e fiscalizou recobrimientos de forma quase anual em 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2015. Em todos, exceto 2008, a produção de ortomosaicos adveio de processamento de imagens obtidas por sensores aéreos, com plano de voo adaptado às melhores condições atmosféricas e época do ano para um recobrimento de maior qualidade geométrica e radiométrica, além de ser executado numa só tomada. Além desse mapeamento, a Prefeitura também obteve restituição aerofotogramétrica para atualização de sua base cadastral em 2013, em escala de aquisição de 1:2000 e Padrão de Exatidão Cartográfica para produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) classe A (BRASIL, 2016). É importante ressaltar que o PEC-PCD corresponde ao método de validação utilizado pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) para classificar dados geográficos digitais, com base na acurácia posicional obtida, a partir da comparação de amostras de feições pontuais e obtenção da escala final. Maiores detalhes são apresentados nas seções de metodologia e resultados.

No que diz respeito a aplicação do PEC-PCD, diferentes trabalhos se basearam nesta componente de qualidade para classificar imagens com base na sua acurácia posicional em diferentes regiões, seja na planimetria ou altimetria. De França et al. (2017), por exemplo, avaliaram a qualidade dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) ASTER e SRTM para o Estado da Bahia e concluíram que o SRTM está em conformidade para as escalas de 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000 e o ASTER para as escalas 1:100.000 e 1:250.000. Ainda se tratando do ASTER e SRTM, Marini, et al. (2017) avaliaram o potencial dos seus Modelos Digitais de Superfície (MDS) para representação do relevo na região do Pantanal da Nhecolândia e para acurácia posicional, identificou-se que o SRTM foi o único modelo que apresentou PEC-PCD com a escala de 1:50.000 na classe A.

Nero, Pereira e Ramos (2022), apresentaram uma metodologia para a ortorretificação de imagem de satélite do sensor QuickBird e na classificação da sua acurácia posicional. Nos resultados obtidos o produto foi avaliado na classe B, na escala de 1:5.000. Cremon et al. (2022), avaliaram a acurácia posicional altimétrica do MDE do programa Copernicus (COP-30) para os Estados de Goiás e Distrito Federal. Quanto ao PEC-PCD, verificou-se que para a classe A, o COP-30 se adequa a escala de 1:50.000 e inferiores, enquanto para a classe B, atende a escala 1:25.000 e inferiores. Os autores ainda estabeleceram uma comparação com outros MDEs disponibilizados gratuitamente, evidenciando uma maior acurácia no COP-30, levando em conta o valor da raiz de erro quadrático médio de 1,98 m. Silva Júnior, França e De Moraes (2022), procederam com a avaliação e comparação da acurácia posicional planimétrica de imagens do Google Earth em uma zona urbana e rural do Estado de Pernambuco. Neste contexto, os autores identificaram que, de acordo com PEC-PCD, os dados atendem às especificações técnicas em escalas inferiores a 1:5000, em áreas densamente urbanizadas, e 1:10000, em áreas não urbanizadas. O erro posicional foi de 1,26 m na região urbana e 4,65 m na região rural.

Atualmente existem uma série de métodos para classificação de imagens oriundas de sistemas de sensores remotos. Conforme destacam Fagundes e Alixandrini Jr. (2023), a interpretação de imagens ocorre de forma automática e os métodos são baseados de acordo com o tipo de algoritmo utilizado. Os autores realizaram uma análise bibliométrica para analisar, caracterizar e quantificar os classificadores automáticos que vêm sendo utilizados pela comunidade acadêmica. A partir das análises realizadas, os mesmos concluíram o crescimento de algoritmos que consideram conceitos de aprendizado de máquina (Machine Learning) e que os melhores resultados de acurácia estão associados aos classificadores Árvores de Decisão e Redes Neurais.

No contexto descrito, Gameiro et al. (2023) abordam o destaque para o uso da plataforma Google Earth Engine e algoritmos de aprendizado de máquina no processo de mapeamento do uso e cobertura do solo. Os autores utilizaram a referida plataforma e o algoritmo Random Forest para avaliar três modelos de classificação, a partir de diferentes bandas espectrais de imagens Planet, junto com seus índices de vegetação em uma grande área da região Centro-Sul do estado de Goiás. Por fim, o modelo que possuía maior quantidade de parâmetros obteve melhor acurácia. Cho et al. (2021) avaliaram o potencial do

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

algoritmo Random Forest para classificação do uso e cobertura do solo associadas ao Cerrado Brasileiro em diferentes municípios do estado do Tocantins. Os produtos utilizados nas análises foram os Modelos Digitais de Elevação (MDE) do SRTM, as imagens de luzes noturnas do Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) e as imagens multiespectrais do satélite LANDSAT 8. As análises foram realizadas a partir da plataforma Google Earth Engine e os resultados demonstraram uma superestimação expressiva da classe agricultura anual e área urbana. Além disso, a metodologia proposta evidenciou um melhor custo-benefício para uso e cobertura do solo do Cerrado.

Além dos trabalhos citados, Gamba e Luchiarri (2005), por exemplo, utilizaram a lógica Fuzzy para avaliar a exatidão no mapeamento e cobertura do uso do solo na região de Cananéia – São Paulo a partir de imagens obtidas pelo sensor ETM+ do LANDSAT 7 (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7). Os autores basearam-se em pesquisas que justificassem a sua aplicação relacionados com a capacidade de modelar ambientes contínuos e na sua utilidade em classificar pixels misturados. Observou-se, assim, um grande potencial de utilização de procedimentos automáticos baseados na lógica Fuzzy para a diferenciação das classes de uso e cobertura do solo.

Devido a crescentes dificuldades orçamentárias, o interregno entre recobrimentos de ortimagens obtidas por aerofotogrametria tornou-se maior a partir de 2015. De 2019 até o presente momento, apenas um voo foi executado nessa modalidade. De forma a suprir as necessidades de atualização das bases cartográficas nos anos sem recobrimento aerofotogramétrico, faz-se uso de imagens de satélite de alta resolução, como Worldview, a fim de preencher essas lacunas a um custo mais acessível. Os mosaicos de imagens de satélite de alta resolução são adquiridos mediante contrato de acervo e passam por uma retificação básica (MAXAR, 2021), que garante aos mesmos certa acurácia geométrica, ainda que não ao nível das ortimagens. Os mosaicos anuais, sejam eles obtidos por ortimagens de fotogrametria aérea ou por retificação de imagens satelitais de alta resolução, são usados não somente como mapas básicos, mas também como fontes de atualização, por vetorização, de bases cadastrais. Anualmente, certas feições de interesse da cartografia de base têm sido atualizadas pelo Instituto, com especial relevância para os mapas de acompanhamento de expansão de favelas e de uso do solo (INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2023).

O objetivo desse trabalho é analisar, dentro das necessidades de atualização cadastral e produção de mapas temáticos em escalas compatíveis com o planejamento urbano, em que nível os produtos gerados a partir de imagens WorldView podem ser utilizados em substituição às ortimagens obtidas por aerofotogrametria. No estudo de caso em questão, foram comparadas ortimagens com correção de paralaxe (“true ortho”), obtidas em 2019, com mosaico de imagens orbitais Worldview, adquiridas no ano de 2016, no tocante às acurácias posicional e temática. Esse mosaico foi utilizado pelo IPP, nos anos de 2017 e 2018, como referência para mapas básicos e atualizações de bases cadastrais e temáticas existentes.



MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Para o presente estudo foram utilizados dois conjuntos de imagens recobrindo uma mesma área no bairro de Jacarepaguá, Rio de Janeiro, sinalizada no mapa a seguir (Figura 1).



Figura 1. Área de estudo, em relação ao Município do Rio de Janeiro
Fonte: os autores

Dados utilizados

Os produtos foram compostos dos seguintes insumos:

- 1) Ortoimagens, obtidas por método "trueortho", e levantamento aerofotogramétrico, do ano de 2019, recortadas segundo as articulações na escala de 1:5000: 286C1, 286C2, 286C3 e 286C4 do mapeamento cadastral do município do Rio de Janeiro (INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS, 2017). As imagens foram adquiridas pelo sensor de quadro UltracamEagle Prime (TOPOCART, 2019) e tanto o voo quanto o processamento foram executados pela empresa Topocart, mediante contrato para o Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. O método de ortorretificação usado foi o verdadeiro, ou "trueortho", no qual é utilizado, como referência planialtimétrica do espaço-objeto, um modelo digital de elevações (o que inclui edificações, vegetação, obras de arte e outros elementos espaciais), ao invés de um mero modelo digital de terreno (nivelado ao solo nu). Conforme (WOLF e DEWITT, 2010), a ortorretificação

verdadeira permite uma efetiva correção de paralaxes, retificando a imensa maioria de feições representadas para a perspectiva ortogonal (COELHO e BRITO, 2007). Tal modelo foi executado pela mesma empresa contratada, mediante levantamento paralelo usando sensor LiDAR, Trimble Harrier 68i, com a resolução de 8 pontos por m^2 (TOPOCART, 2019). O produto final foi entregue ao IPP com a resolução espacial nominal de 15 cm/pixel (TOPOCART, 2019) e em 4 (quatro) bandas nativas do sensor: azul; verde; vermelha; e infravermelho próximo. As bandas foram adquiridas, originalmente, com resolução radiométrica de 12 bits/pixel e amostradas para 8 bits/pixel no processo final de exportação.

2) Além dessas, foi selecionado recorte de mosaico de imagens adquiridas pelos satélites WorldView 2 e 3 cobrindo área similar. Tal mosaico foi contratado pelo IPP junto à empresa Maxar (MAXAR, 2021), com retificação básica usando um modelo digital de elevações global de média resolução. As imagens foram selecionadas com base em melhor cobertura de nuvens, e variam entre os anos de 2016 e 2018. Para a área em estudo, havia apenas imagens correspondentes às bandas azul, verde e vermelha, que foram fusionadas com a banda pancromática e fornecidas com a resolução espacial nominal do sensor de 48 cm/pixel e resolução radiométrica de 8 bits/pixel.

Além desses conjuntos de imagens, foi utilizada, como fonte de informação cartográfica de precisão, a base cartográfica oficial da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Esse produto foi adquirido por meio do método de restituição aerofotogramétrica na escala de 1:2000 e classificado segundo o PEC-PCD Classe A (BRASIL, 2016) e serviu como insumo adicional a fim de prover um referencial cartográfico às análises de precisão das retificações dos mosaicos utilizados.

Etapas desenvolvidas

A metodologia das análises, de modo a comparar sua utilização em atividades relacionadas a Cadastro Territorial Multifinalitário e Planejamento Urbano, consistiu das seguintes etapas:

- 1) Análise de resoluções espaciais, comparando os valores medidos para cada pixel das imagens amostradas, a chamada resolução espacial nominal ou campo de visada instantâneo (*instantaneous field of view/IFOV*), com as suas resoluções espaciais efetivas, mediante a identificação de alvos específicos em ambas. Sabe-se que a imagem pode ter diversos problemas que afetam sua formação, sobretudo a confusão entre a projeção do campo de visada de cada detector e seus vizinhos (BOGGIONE *et al.*, 2009). Isso leva a um campo de visada efetivo (*EIFOV/effective instantaneous field of view*) distinto e a uma resolução equivalente, frequentemente pior que a nominal. A partir da identificação de alvos inequivocamente,

estabelece-se um critério prático de entendimento do tipo de alvo passível de identificação naquela imagem e, conseqüentemente, de seu potencial para atualização de bases cadastrais.

- 2) Análise de resoluções radiométricas, sobretudo mediante análise de histogramas, de modo a comparar as distribuições de números digitais em cada banda. A resolução radiométrica se refere à capacidade do sensor de distinguir e registrar diferentes níveis de intensidade luminosa ou radiação eletromagnética em cada pixel da imagem. Assim, um sensor com alta resolução radiométrica pode discriminar uma ampla gama de tons ou cores, enquanto um sensor com baixa resolução radiométrica terá menos capacidade de diferenciação. A comparação de histogramas permite identificar nuances na informação radiométrica presente nas imagens. Por exemplo, uma banda com alta resolução radiométrica apresentará um histograma mais amplo e diversificado, com uma distribuição mais detalhada de valores digitais, ao passo que um histograma artificialmente construído mediante interpolação e ajuste apresentará picos em certos números digitais, e depressões em outros (LILLESAND e KIEFER, 2004).
- 3) Análise de precisão posicional, realizada através da comparação de alvos claramente identificados nas imagens com as coordenadas correspondentes extraídas de uma base cartográfica na escala 1:2000. Além disso, a qualidade dos dados obtidos é submetida a uma análise rigorosa, que inclui a realização de testes de hipótese e testes de Merchant. Esses testes estatísticos são essenciais para determinar se as diferenças entre as coordenadas medidas nas imagens e as coordenadas da base cartográfica são estatisticamente significativas, o que ajuda a avaliar a confiabilidade dos resultados. Eles também ajudam a identificar qualquer possível viés sistemático ou erro sistemático no processo de aquisição de dados, garantindo, assim, a qualidade e a precisão dos dados geospaciais obtidos (ELIAS *et al.*, 2023).
- 4) Classificação supervisionada de alvos, com especial ênfase em classes levantadas anualmente pelo IPP através de seus mapas de uso do solo. A classificação supervisionada de imagens de sensores remotos é um procedimento utilizado para identificar e categorizar diferentes objetos, superfícies ou áreas em uma imagem obtida por um sensor remoto, como um satélite ou uma aeronave. Mediante a orientação de um analista humano e fornecendo amostras de áreas previamente identificadas e categorizadas, um algoritmo de classificação é treinado. (BLASCHKE e KUX, 2005).

A Figura 2 apresenta um fluxograma que exhibe, de forma resumida, as etapas elencadas nesta metodologia.

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

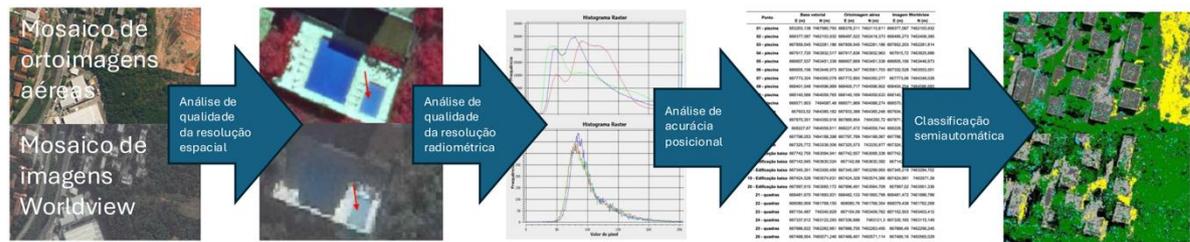


Figura 2. Etapas do trabalho apresentado
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de qualidade da resolução espacial dos produtos

Mediante medição gráfica das dimensões de cada pixel (Figura 3), foram obtidos os seguintes valores de 15 cm e de 36 cm para a ortomagem 2019 e para o mosaico de imagens Worldview 2 e 3, respectivamente. No primeiro caso, o dado é compatível com o relatório de voo e processamento de imagens (TOPOCART, 2019). No segundo caso, contudo, a resolução referente à largura de cada pixel difere da resolução nominal do sensor, que é listada como 46 cm (MAXAR, 2019), o que indica possível fusão com banda pancromática.

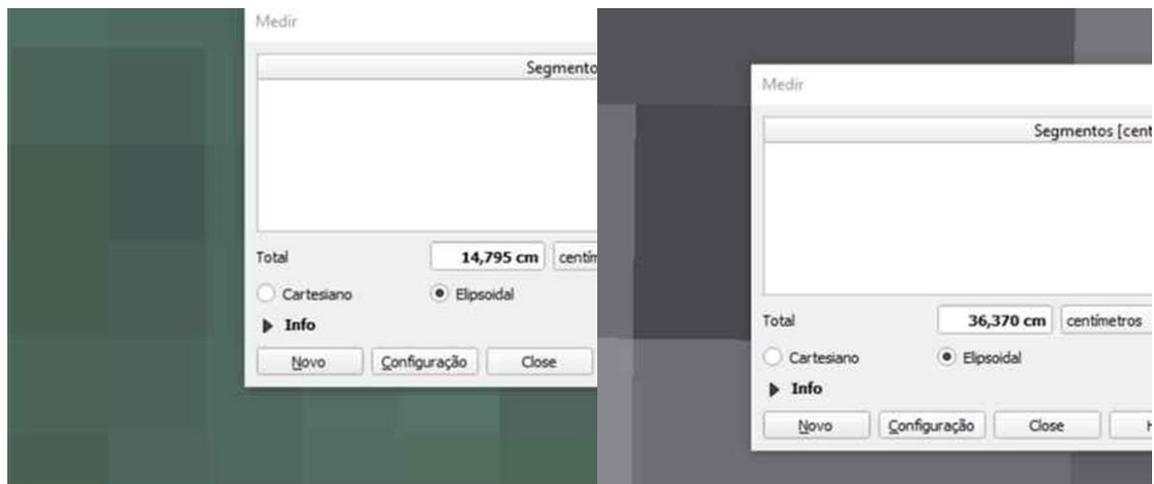


Figura 3. Resolução espacial medida a partir da largura do pixel dos mosaicos de ortomagens aéreas (2019) e de imagens WorldView 2 e 3 (2016-2018)
Fonte: os autores

Foram também comparados quatro alvos, de modo a identificar resoluções espaciais efetivas: 1) luminária padrão Riolutz com diâmetro de 45 cm (RIOLUZ, 2020 e ABNT NBR 5101); 2) faixas de pedestres, com largura de 40 cm e espaçamento de 60 cm (ABNT NBR 7396); 3) automóvel médio de marcas populares com 1,85m x 4,45m (ABNT NBR 9050 – que trata de dimensionamento de vagas de garagem para acessibilidade, estimando tamanhos de veículo padrão); e 4) uma feição tipo piscina, identificada em ambas as imagens e de medidas aproximadas 11,5 m x 9,5 m. A Figura 4 exhibe as referidas feições confrontadas lado a lado.



Figura 4. Diferentes alvos registrados em mosaicos de imagens WorldView 2 e 3 (2016-2018) – à esquerda, e mosaicos de ortoimagens aéreas (2019) – à direita
Fonte: os autores

No mosaico de ortoimagens aéreas, a luminária é visível se interpretada dentro do contexto de poste próximo ao meio-fio, automóveis no entorno e os limites de calçada. Fora de um contexto específico, provavelmente passaria despercebida. Já as faixas de pedestres apresentam nitidez adequada e reconhecimento inequívoco. Automóveis também são facilmente identificados, sendo possível, claramente, diferenciar o envidraçamento dos mesmos (janela dianteira e janela traseira). Por fim, a piscina foi também facilmente identificada segundo seus limites.

No caso das imagens Worldview, a luminária não é discernida e as faixas para pedestres apresentam misturas de valores dos números digitais, gerando descontinuidades de reamostragem e má coerência geométrica. Ambas são identificadas apenas dentro de um contexto específico ou se observadas como parte de um cenário urbano mais amplo e relacionadas a outros objetos da paisagem urbana. Até mesmo os automóveis, de dimensões maiores, só são identificados sob contexto, se vinculados à rua e calçadas. Somente a piscina é identificada de forma inequívoca. Entretanto, suas bordas têm aspecto serrilhado, evidenciando pior reamostragem e menor coerência geométrica, se comparadas às imagens aéreas.

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

Nesse sentido, o mosaico de imagens Worldview 2 e 3 apresenta resolução espacial efetiva bastante aquém das dimensões de reamostragem com pixels, o que dificulta a identificação de alvos, sobretudo aqueles com dimensões abaixo de 1m de diâmetro.

Análise de qualidade da resolução radiométrica dos produtos

Os histogramas das diferentes bandas dos dois conjuntos de imagens na Figura 5 apresentam um retrato mais claro do processo de conversão de energia eletromagnética em números digitais (discretização) no ato de aquisição das imagens por ambos os sensores digitais.

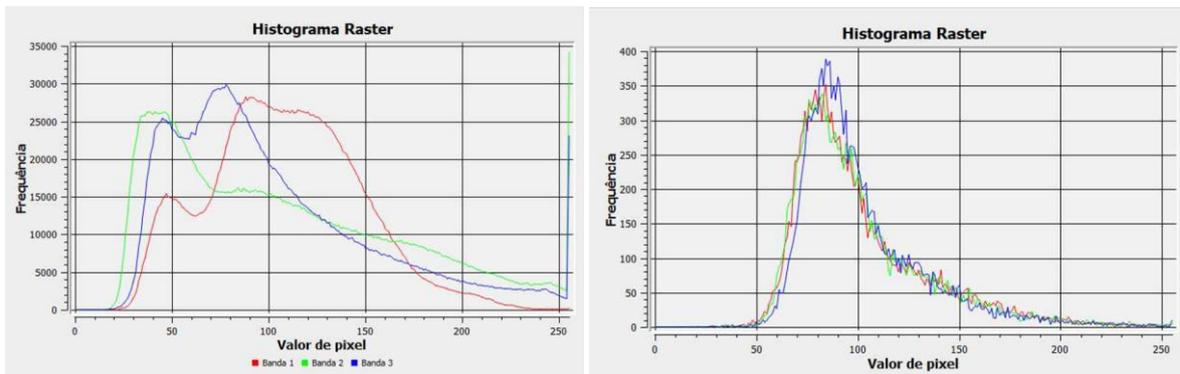


Figura 5. Distribuição radiométrica (histograma) para as bandas azul, verde e vermelha para ortimagens aéreas (esquerda) e na imagem worldview (direita)

Fonte: os autores

O histograma das quatro bandas RGB e NIR do recorte de ortimagens aéreas apresenta boa distribuição, com amplitude adequada para cada banda e cerca de 230 valores de números digitais representados em quantidade significativa de pixels.

O histograma do recorte de mosaico Worldview 2 e 3 (Figura 5) é de menor dispersão e com uma distribuição menos harmoniosa e presença de diversos picos ao longo do gráfico. Apesar de se ter uma resolução radiométrica de 8 bits (256 tons por banda), cerca de 97% dos pixels encontram-se em faixa de números digitais entre 50 e 200. Levando em consideração a faixa de números digitais entre 60 a 140, são 91% de todos os pixels. Ou seja, em termos radiométricos, há menor variabilidade de números digitais que o espaço alocado em disco (pixels).

Sabe-se que sensores orbitais sofrem reduções significativas de energia incidente, devido a espalhamentos e absorções atmosféricas, uma vez que a radiação eletromagnética acaba por percorrer um maior caminho desde o alvo até o sensor (LILLESAND e KIEFER, 2004). Além disso, o mosaico orbital fornecido demonstra um pior ajuste de histograma e, possivelmente, uma pior correção atmosférica aplicada sobre a imagem bruta, se comparado ao mosaico de ortimagens aéreas, corroborado por análise visual e aspecto de “pior contraste”.

Testes de Acurácia Posicional

Nesse procedimento foram selecionados 30 pontos bem definidos nas imagens, de modo a comparar suas coordenadas planimétricas com um referencial de maior precisão, tido como verdade do terreno. Tal referencial adveio da base cartográfica 1:2000 da prefeitura, a qual foi obtida conforme PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Digitais) Classe A (BRASIL, 2016).

Para selecionar os pontos de análise, foram levados em consideração alguns critérios de escolha. Os pontos deveriam estar ao nível do solo, univocamente identificáveis tanto na imagem quanto na feição cartográfica diferente e formarem vértices de objetos do tipo polígono. Nesse sentido, foram escolhidas quinas de piscina, quinas de quadras desportivas (Figura 6), quinas de lotes identificados por algum tipo de muro ou cerca e presentes nas imagens e vetores e quinas de edificações- sempre considerando o nível do solo. Com isso, procurou minimizar-se o fato de que as imagens Worldview não foram ortorretificadas por um modelo digital de superfície que compreendesse as edificações (método trueortho). Ambas as imagens foram avaliadas em termos de acurácia posicional, dentro do esperado por seu método de ortorretificação.



Figura 6. Identificação de um mesmo ponto em ambas as imagens.

Fonte: os autores

A Tabela I apresenta o conjunto de coordenadas obtido junto aos vetores de cartografia digital (oriundos de restituição fotogramétrica), nas ortoimagens aéreas e nas imagens orbitais (Worldview). As coordenadas foram obtidas em UTM (Universal Transverse Mercator) para o fuso 23 e tiveram como sistema geodésico de referência o SIRGAS 2000. Para a execução dos testes de exatidão cartográfica foi-se utilizado o plugin do software QGIS, QPEC (ELIAS *et al.*, 2023), o qual realiza uma avaliação da Acurácia Posicional de Dados Geoespaciais de acordo com o Padrão da CQDG (Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais), conforme BRASIL, 2016.

Tabela 1. Coordenadas obtidas para os pontos de estudo.

| Ponto | Base vetorial | | Ortoimagem aérea | | Imagem Worldview | |
|-----------------------|---------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | E (m) | N (m) | E (m) | N (m) | E (m) | N (m) |
| 01 - piscina | 653203,138 | 7467980,793 | 668378,211 | 7462110,811 | 668377,087 | 7462103,932 |
| 02 - piscina | 668377,087 | 7462103,932 | 668497,522 | 7462418,373 | 668495,273 | 7462408,385 |
| 03 - piscina | 667859,545 | 7462281,186 | 667859,545 | 7462281,186 | 667852,203 | 7462281,814 |
| 04 - piscina | 667917,720 | 7463932,517 | 667917,836 | 7463932,963 | 667915,72 | 7463925,886 |
| 05 - piscina | 666607,537 | 7463451,339 | 666607,669 | 7463451,339 | 666605,156 | 7463446,973 |
| 06 - piscina | 666605,156 | 7463446,973 | 667334,347 | 7463561,703 | 667332,528 | 7463553,551 |
| 07 - piscina | 667773,324 | 7464350,079 | 667772,993 | 7464350,277 | 667773,06 | 7464348,028 |
| 08 - piscina | 668401,048 | 7464596,869 | 668400,717 | 7464596,902 | 668400,254 | 7464586,683 |
| 09 - piscina | 668140,566 | 7464059,765 | 668140,169 | 7464059,633 | 668140,169 | 7464054,341 |
| 10 - piscina | 668571,903 | 7464087,48 | 668571,969 | 7464088,274 | 668570,514 | 7464080,469 |
| 11 - Lote | 667933,52 | 7464385,182 | 667933,388 | 7464385,248 | 667934,181 | 7464381,213 |
| 12 - Lote | 667870,351 | 7464350,918 | 667869,954 | 7464350,72 | 667871,541 | 7464350,191 |
| 13 - Lote | 668227,67 | 7464059,811 | 668227,472 | 7464059,744 | 668228,398 | 7464053,527 |
| 14 - Lote | 667798,053 | 7464188,398 | 667797,789 | 7464188,067 | 667798,715 | 7464183,437 |
| 15 - Lote | 667325,772 | 7463336,506 | 667325,573 | 743335,977 | 667324,251 | 7463331,413 |
| 16 - Edificação baixa | 667742,755 | 7463094,941 | 667742,557 | 7463095,338 | 667742,689 | 7463090,113 |
| 17 - Edificação baixa | 667142,945 | 7463630,524 | 667142,68 | 7463630,392 | 667142,35 | 7463625,166 |
| 18 - Edificação baixa | 667345,351 | 7463300,456 | 667345,087 | 7463299,993 | 667345,219 | 7463294,702 |
| 19 - Edificação baixa | 667424,528 | 7463574,631 | 667424,329 | 7463574,366 | 667424,991 | 7463571,39 |
| 20 - Edificação baixa | 667997,615 | 7463565,172 | 667996,491 | 7463564,709 | 667997,02 | 7463561,336 |
| 21 - quadras | 668481,670 | 7461893,931 | 668482,133 | 7461893,799 | 668481,472 | 7461886,788 |
| 22 - quadras | 668080,959 | 7461768,155 | 668080,76 | 7461768,354 | 668079,438 | 7461762,268 |
| 23 - quadras | 667154,487 | 746340,829 | 667154,09 | 7463409,762 | 667152,503 | 7463403,412 |
| 24 - quadras | 667337,612 | 7463122,293 | 667336,686 | 7463121,3 | 667335,165 | 7463115,149 |
| 25 - quadras | 667886,622 | 7462262,661 | 667886,755 | 7462263,455 | 667886,49 | 7462256,245 |
| 26 - quadras | 667488,954 | 7460571,246 | 667488,491 | 7460571,114 | 667488,16 | 7460565,029 |
| 27 - quadras | 668322,391 | 7463939,127 | 668322,325 | 7463938,532 | 668319,348 | 7463929,602 |
| 28 - quadras | 668025,132 | 7464219,057 | 668024,338 | 7464219,321 | 668023,941 | 7464214,691 |
| 29 - quadras | 667948,535 | 7463304,591 | 667948,27 | 7463304,392 | 667944,632 | 7463292,221 |
| 30 - quadras | 667500,86 | 7463477,363 | 667501,191 | 7463478,025 | 667499,934 | 7463470,087 |

Fonte: Os autores

O teste, então, foi conduzido da seguinte forma:

1) Foi calculado o erro de cada componente planimétrica (E e N) do ponto em relação à coordenada tida como verdadeira (da base vetorial municipal).

2) Com base nesses erros, é calculada a componente horizontal do erro:

$$e_H = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (1)$$

Onde:

e_H é a componente horizontal do erro;

e_x é o erro no eixo x (ou, no caso de coordenadas UTM, E);

e_y é o erro no eixo y (ou, no caso de coordenadas UTM, N).

3) Em seguida, calcula-se o erro médio quadrático da amostra.

$$EMQ_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Hi}^2)}{n}} \quad (2)$$

Onde:

EMQ_H é o erro médio quadrático da amostra;

e_{Hi} é a componente horizontal do erro para um ponto da amostra;

n é o número de pontos da amostra.

4) O valor de e_H para cada ponto é comparado com o erro máximo admissível para determinada escala de aquisição. Caso 90% da amostra tenha erro máximo admissível abaixo do tabelado, o produto está compatível com ela.

5) De igual modo, o erro médio quadrático da amostra também é comparado com valores tabelados de erro padrão, de acordo com a compatibilidade de escala. É preciso passar nos testes 4 e 5 para assegurar que um produto está enquadrado no Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Digitais (PEC-PCD), com erros máximos admissíveis (EM) e erros-padrão (EP) (Tabela 2).

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

Tabela 2. Valores de erro médio (EM) e erro padrão (EP), em metros na planimetria e altimetria, para conjuntos de dados vetoriais em grandes escalas.

| Tipo | PEC | 1:1000 | | 1:2000 | | 1:5000 | | 1:10000 | |
|-------------|-----|--------|------|--------|------|--------|------|---------|------|
| | | EM | EP | EM | EP | EM | EP | EM | EP |
| Planimetria | A | 0,28 | 0,17 | 0,56 | 0,34 | 1,40 | 0,85 | 2,80 | 1,70 |
| | B | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,60 | 2,50 | 1,50 | 5,00 | 3,00 |
| | C | 0,80 | 0,50 | 1,60 | 1,00 | 4,00 | 2,50 | 8,00 | 5,00 |
| | D | 1,00 | 0,60 | 2,00 | 1,20 | 5,00 | 3,00 | 10,00 | 6,00 |
| Altimetria | A | 0,27 | 0,17 | 0,27 | 0,17 | 0,54 | 0,34 | 1,35 | 0,84 |
| | B | 0,50 | 0,33 | 0,50 | 0,33 | 1,00 | 0,67 | 2,50 | 1,67 |
| | C | 0,60 | 0,40 | 0,60 | 0,40 | 1,20 | 0,80 | 3,00 | 2,00 |
| | D | 0,75 | 0,50 | 0,75 | 0,50 | 1,50 | 1,00 | 3,75 | 2,50 |

Fonte: BRASIL, 2016.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados obtidos pelo plugin QPEC para controle de qualidade dos pontos obtidos a partir da imagem orbital Worldview e para as ortofotografias aéreas.

Tabela 3. Resultados do plugin QPEC para a imagem orbital Worldview.

| DE | RMS | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 | 1:50000 | 1:100000 | 1:25000 | Quartil |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | | | | | | | | | 0 | 2 |
| 6,829377 | 6,717 | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 10,87892 | | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| 9 | 6,717 | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 8,278806 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 4 |
| 6,844136 | 6,717 | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,120645 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| 8,206566 | 6,717 | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 2,06752 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| 7,203825 | 6,717 | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,434032 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| | | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 7,212626 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 4,034896 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 1,395348 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 6,39155 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,062209 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,31559 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 4,828646 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,398489 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 5,622396 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 3,339546 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 3,893063 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 7,211109 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 6,242289 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 6,678109 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 7,573048 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 4 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 6,485328 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 3 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 6,268168 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 2 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 9,999185 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 4 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 4,479397 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 1 |
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 12,970319 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 4 |

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

| | | | | | | | | | | |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| | | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | Rejeitad | | | | | |
| 7,474479 | 6,717 | o | o | o | o | Classe B | Classe A | Classe A | Classe A | 4 |

Fonte: os autores.

Tabela 4. Resultados do plugin QPEC para as ortomagens aéreas.

| DE | RMS | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 | 1:50000 | 1:100000 | 1:250000 | | Quartil |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | | | | | | | | | 0 | 2 | |
| 0,209171 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,503752 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,533285 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,49747 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,651461 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,238492 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,385693 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 0,264583 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,272726 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,796501 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,093544 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,503752 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,187089 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,516615 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,591626 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,44372 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 0,295813 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,481549 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 0,385693 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 1,277488 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,56515 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,295813 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 0,337279 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 1,40628 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,804699 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,418343 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 2 |
| 0,598976 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 3 |
| 0,836686 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |
| 0,209171 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 1 |
| 0,651461 | 0,586 | Classe D | Classe B | Classe A | 4 |

Fonte: os autores.



Verifica-se que os pontos coletados nas imagens Worldview alcançam, na melhor das hipóteses, a classe B para a escala de aquisição 1:25000 (muito aquém do esperado para um produto cadastral), ao passo que os pontos coletados nas ortomagens aéreas chegam à classe D na escala 1:1000, classe B na escala 1:2000 e classe A na escala 1:5000.

Teste de classificação semi-automática das Imagens

A classificação das imagens foi realizada com método supervisionado usando o plugin SCP do software livre QGIS. O método é dito supervisionado quando existe um conhecimento prévio da área que se deseja trabalhar, sendo possível criar um conjunto de amostras de treinamento para cada classe que se deseja diferenciar na imagem (INPE,2005).

Primeiramente, as imagens WorldView e as Ortoimagens foram recortadas usando um arquivo vetorial dos limites da área considerada, conforme mostrado na Figura 7. Antes de iniciar a coleta de amostras de treinamento das respectivas classes, foi definido um conjunto de bandas usando a opção *Bandset* do plugin SCP.

A coleta de amostras de treinamento foi executada usando a opção SCP>Basic Tools>Multiple ROI creation. Esta função divide o *bandset*, criado anteriormente, em células, cujo tamanho é definido como parâmetro, em metros. A coleta de pontos, de forma aleatória, foi feita a partir da escolha de regiões que melhor caracterizassem as classes de interesse, obedecendo uma distância mínima entre os vizinhos mais próximos. O parâmetro, distância mínima entre os pontos, deve ser definido e poderá influenciar na quantidade de pontos gerados.

Os pontos foram armazenados em uma tabela contendo diversas colunas incluindo: coordenadas X e Y; número identificador; e nomes das classes, entre outras informações. Essa tabela pode ser editada pelo usuário, caso seja necessário.



Figura 7. Recortes da imagem WorldView e Ortoimagem
Fonte: Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos.

Em seguida, os dados da coleta foram salvos em um arquivo denominado arquivo de treinamento (*Training input file*) para posterior uso pelo método de classificação escolhido. O arquivo dos polígonos

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

referentes às amostras das classes e suas respectivas assinaturas espectrais, bem como a distribuição espacial dos polígonos encontram-se apresentados na Figura 8.



Figura 8. Distribuição espacial dos polígonos
Fonte: os autores.

O último passo executado consistiu na classificação das imagens. O método Random forest é um algoritmo de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) baseado em árvore de decisão (Lary *et al.*, 2016). De acordo com Jensen (2015), o algoritmo *Random Forest*, em sensoriamento remoto, aplicado em conjunto com a análise de imagens baseada em objeto (OBIA) e por *pixel*, como nesse estudo, produz resultados mais precisos e são mais robustos, quando comparados a classificadores paramétricos. Nessa etapa de classificação, foi usado o arquivo com todas as amostras de treinamento obtidas na fase anterior.

As figuras 9 e 10 mostram os resultados da classificação para as imagens WorldView e ortoimagem, respectivamente.

Como as imagens são de períodos diferentes, foi praticamente impossível fazer uma análise comparativa dos resultados da classificação por classe identificada. Mesmo assim, analisando os resultados, individualmente, podemos verificar algumas similaridades e diferenças nos resultados. Para as duas imagens (WorldView e ortoimagem), o classificador não foi capaz de diferenciar as classes “solo exposto” e “edificações”, para o caso de construções com telhado de cerâmica, cuja coloração avermelhada era similar ao solo exposto. Esse mesmo problema foi verificado na diferenciação das classes “vias” e “edificações”, para as construções com telhado de concreto (edifícios) ou outro material de cor acinzentada, semelhante a cor do asfalto. Para tais casos, a melhora nos resultados poderia ser obtida aumentando o número de amostras de treinamento.

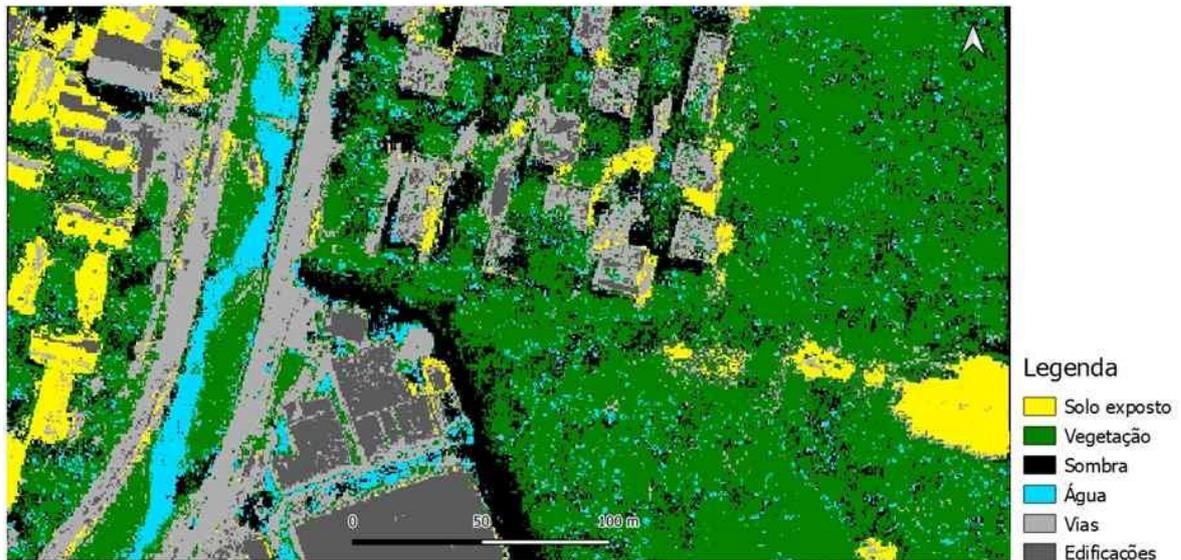


Figura 9. Imagem WorldView classificada usando Random forest
Fonte: os autores

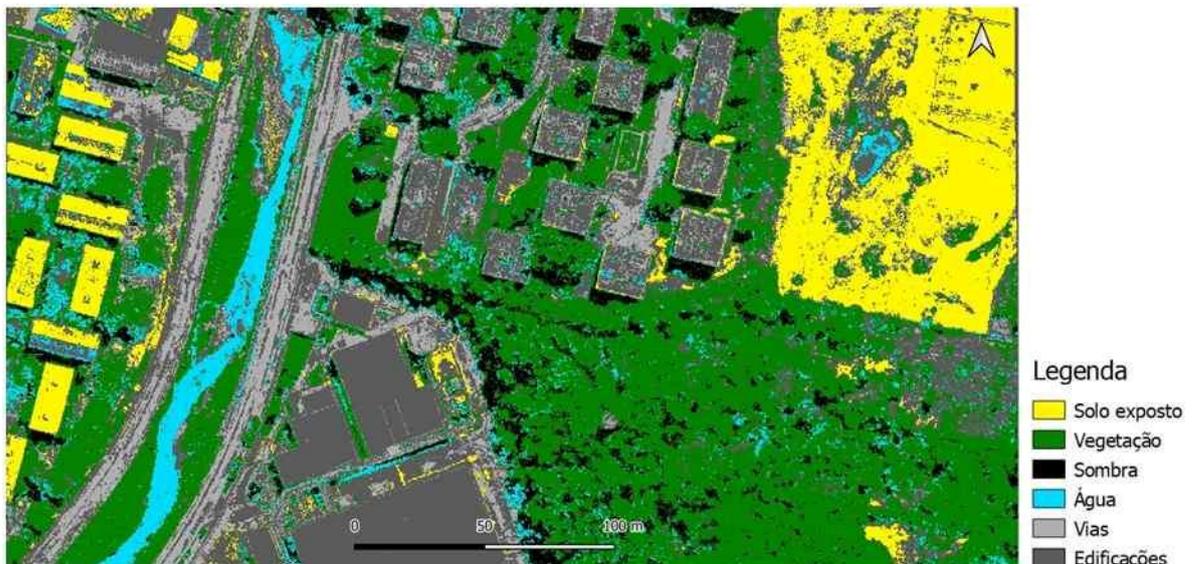


Figura 10. Ortoimagem classificada usando Random forest
Fonte: os autores.

Com relação à qualidade da radiometria, no caso da imagem WorldView, uma melhor qualidade poderia ser obtida caso o processo de correção geométrica da imagem nadir (ortorretificação) fosse executado usando dados altimétricos do modelo digital de superfície gerado a partir das imagens referentes às visadas off-nadir. Um recurso que poderia ser utilizado para melhorar o resultado da classificação seria usar um filtro passa-alta para realçar as bordas, lembrando, porém, que qualquer operação de realce, com exceção do contraste, geraria uma nova imagem com valores reamostrados, diferentes dos dados originais.

CONCLUSÃO

Em todas as análises, ficou evidente a superioridade do produto obtido por aerolevanteamento, tanto em aspectos geométricos (identificação de alvos, precisão e acurácia) quanto radiométricos (distribuição de histogramas e classificação multiespectral).

Tendo em vista a utilização dos referidos mosaicos como fontes de dados para atualização de bases cadastrais, torna-se ineficaz a utilização do produto gerado a partir de imagens orbitais Worldview 2 e 3 para quaisquer tipos de atualização cartográfica em escalas de aquisição cadastrais (até 1:10.000). A utilização dos mosaicos de imagens orbitais, conforme disponibilizados para o Instituto Pereira Passos, acaba por degradar a qualidade das bases vetoriais originais, adquiridas na escala 1:2000 e PEC-PCD Classe A (BRASIL, 2016). Além disso, a incorreta identificação de alvos, devido a problemas tanto geométricos quanto radiométricos, pode levar a erros de classificação e distorções no mapeamento urbano. Apesar destas questões, pode-se considerar importante para estudos futuros a avaliação do indicador de qualidade de usabilidade das imagens utilizadas. Visto que a escala obtida, conforme o PEC-PCD foi de 1:25.000 na classe B, torna-se viável realizar estudos quanto a adequação ao uso, nas quais valor o erro foi de 12,5 m (considerando a referida escala), com RMS de 6,7 m. Um aspecto importante a ser comentado, também, é que tais resultados convergem com as pesquisas citadas na introdução. A importância destas imagens de satélite para fins de mapeamento traz à tona a escassez da existência de bases cartográficas em escala grande, conforme apontando por Silva e Camboim (2021), o mapeamento de referência em escalas de 1:25.000 no Brasil não supera 5% da extensão total do país.

Apesar das duas imagens possuírem a mesma resolução radiométrica, de 8 bits, as imagens obtidas por aerolevanteamento permitiram conduzir o trabalho de atualização de bases cadastrais de forma mais eficaz, por apresentarem um histograma melhor distribuído (maior contraste), facilitando o trabalho de interpretação visual.

Apesar das ortimagens possuírem melhor resolução espectral, com o acréscimo da banda do infravermelho próximo (NIR), comparada com as imagens WorldView, disponibilizadas para este estudo com apenas as bandas do intervalo do visível, os resultados da classificação usando o método Random Forest apresentaram problemas similares de identificação entre as classes: “solo exposto” e “edificações”; e “vias” e “edificações”. Esse fato, já esperado devido à semelhança em relação às características espectrais entre as referidas classes, pode ser explicado pela baixa diferenciação espectral no intervalo do infravermelho próximo (NIR) e a necessidade de acréscimo no número de amostras coletadas.

Ainda que a precisão posicional dos alvos a serem atualizados tenha sido degradada, passando da classificação inicial de PEC-PCD Classe A para PEC-PCD Classe B na escala 1:2000, o produto é satisfatório para uso em interregno de restituições fotogramétricas, permitindo acompanhamento das variações do território urbano, com boa temporalidade.

Apesar dos resultados, entende-se que as imagens Worldview podem chegar a melhores resultados que os obtidos com o produto fornecido à Prefeitura do Rio de Janeiro (BRITO *et al.*, 2020) por se tratar de produto de entrada ofertado pelo satélite. Dessa forma, caso o aerolevante para obtenção de ortoimagens se torne inviável em sua execução anual, sugere-se lançar mão de imagens de satélite de alta resolução sob as seguintes condições: 1) com melhor resolução radiométrica; 2) com pequena cobertura de nuvens; e 3) com correção geométrica por ortorretificação a partir de modelo digital de elevações de maior precisão. Tendo em vista a existência de modelo digital de terreno do município do Rio de Janeiro, obtido a partir de sensor LiDAR, tal possibilidade torna-se viável, de modo a melhorar sobremaneira a qualidade do produto orbital e alcançar resultados similares ao obtido por aerolevante.

Diante das questões, além do treinamento de amostras para efetuar correções de distorções geométricas e radiométricas e a avaliação da acurácia posicional nas imagens utilizadas, demais indicadores de qualidade, desempenham papel fundamental no processo de avaliação das imagens, principalmente quando se trata de disponibilização de dados abertos, atualização cartográfica e integração de bases de dados oriundos de diferentes fontes. A atual era do *big data*, onde milhares de dados são disponibilizados diariamente em plataformas online, permite que estudos futuros concentrem esforços na Acurácia Temporal, onde a combinação de outros modelos permita a melhoria da qualidade final do produto avaliado e a realização de testes periódicos, com as quais viabiliza o manuseio e exploração de algoritmos para diferentes finalidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos pela cessão dos dados utilizados na execução dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101 – Iluminação Pública – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7396 – Sinalização horizontal viária**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2012.

BOGGIONE, Giovanni de Araujo et al. **Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1739-1746.

BLASCHKE, T. & KUX, H. – **Sensoriamento Remoto e SIG: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

Análise Comparativa entre Imagens Worldview e Ortoimagens Aéreas para Planejamento Urbano e Cartografia Cadastral

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_la_edicao_2016.pdf. Acesso em: 09 jul. 2023.

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.

CHO, D.F., SCHWAIDA, S.F., CICERELLI, R.E., ALMEIDA, T., RAMOS, A.P.M. e SANO, E.E. Desempenho do Algoritmo de Classificação de Imagens Random Forest para Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Cerrado Brasileiro, **Anuário do Instituto de Geociências**, vol. 44: 37979, 2021. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37979.

CREMON, É. H., BETTIOL, G. M., JÚNIOR, J. P. M., MACEDO, F. C., E RABELO, M. D. O. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 536-546, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n3-60846. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/60846>. Acesso em: 6 mar. 2025.

DE FRANÇA, Leandro Luiz Silva; DE ALMEIDA, Antônio Diego Oliveira; DA PENHA, Alex de Lima Teodoro. Avaliação da qualidade dos modelos digitais de elevação Aster e SRTM para o Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 9, 2018. DOI: 10.14393/rbcv69n9-44087. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44087>. Acesso em: 6 mar. 2025.

EMBRAPA. **Satélites de monitoramento**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/worldview>. Acesso em: 18 abr. 2023.

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.2023.

FAGUNDES, W. S., e JÚNIOR, M. J. A. Evolution of remote sensing image classification techniques used in Brazilian scientific production. **Geosciences= Geociências**, 41(3), 593-604, 2022.

GAMBÁ, CT de C.; LUCHIARI, A. **Avaliação da exatidão de mapeamento do uso e da cobertura da terra obtidos a partir de classificadores baseados na concepção Fuzzy**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), v. 12, p. 4073-4080, 2005.

GAMEIRO F., ROCHA J., SANTOS i. et al. **Classificação de imagens com distintos parâmetros utilizando o google earth engine e algoritmo de aprendizado de máquina**. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Capítulo 18 – Técnicas de Classificação de Imagens para análise de cobertura vegetal**, 2005. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.1117/doc/INPE-6977.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS. **Mapa de uso do solo**: Rio de Janeiro: IPP, 2019. Disponível em: <https://www.data.rio/apps/uso-do-solo-l/explore>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS. **Sistema de assentamentos de baixa renda**: Rio de Janeiro: IPP, 2022. Disponível em: <https://sabren-pcrj.hub.arcgis.com>. Acesso em: 22 abr. 2023.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS. **Sistema de Informações Urbanas**: Rio de Janeiro: IPP, 2023. Disponível em: <https://www.siurb.rio>. Acesso em: 22 abr. 2023.



JENSEN, J. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. Tradução: J. C. N. Ephiphânio (coordenador). São José dos Campos, SP: Editora Parentese, 598p, 2009.

LARY, D. J.; ALAVI, A. H. GANDOMI, A. H.; WALKER, A. L. **Machine learning in geoscience and remote sensing**. Geoscience Frontiers v.7 p. 3-10, 2016.

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. Remote Sensing and Image Interpretation – 4TH EDITION. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2004.

Marini, L. B., Junior, J. M., Ramos, A. P. M., Filhos, A. C. P., Barros, W. M., & Higa, L. T. Análise da acurácia altimétrica dos modelos digitais de superfície SRTM, ASTER e Topodata e aplicação na representação 3D do Pantanal da Nhecolândia. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, v. 40, n. 3, p. 48-54, 2017.

MAXAR TECHNOLOGIES. **Worldview Data Sheet**. Estados Unidos, 2021. RIOLUZ. **EM-RIOLUZ-110**. Rio de Janeiro: RIOLUZ, 2020.

NERO, M. A.; PEREIRA, T. Áullus J.; RAMOS, M. de P. Controle de qualidade posicional de ortoimagens a partir de imagens de satélite de boa resolução espacial de acordo com PEC-PCD. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 2, n. 6, p. 1235-1251, 2022. DOI: 10.56083/RCV2N6-01L. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/328>. Acesso em: 6 mar. 2025.

SILVA, Leonardo Scharth Loureiro; CAMBOIM, Silvana Philippi. Authoritative cartography in Brazil and collaborative mapping platforms: challenges and proposals for data integration. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 27, n. spe, p. e2021003, 2021.

SILVA JUNIOR, Juarez Antônio da; FRANCA, Thaisa Manoela Silva; MORAES, Vanessa Silva de. Avaliação da acurácia planimétrica de imagens Google Earth numa zona urbana e rural o estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Cartográfica**, n. 105, p. 117-133, 2022. Disponível em <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S266339812022000200117&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 6 mar. 2025.

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 (“TrueOrtho”); 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.