

Estudo

Texto recebido em: 2 out. 2023. Texto aprovado em: 20 fev. 2024.

SATO, Simone Sayuri; SILVA, Max Tanillo Alves de Holanda e; SANTOS, Lucas de Siqueira; SILVA, Thiago Arruda. Utilização de VANT e análise comparativa do PE3D para atualização cadastral. *Estudos Universitários: revista de cultura*, UFPE/Proexc, Recife, v. 40, n. 2, p. 467-493, jul./dez. 2023.

<https://doi.org/10.51359/2675-7354.2023.259916>

ISSN Edição Digital: 2675-7354



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons
Atribuição 4.0 Internacional.

UTILIZAÇÃO DE VANT E ANÁLISE COMPARATIVA DO PE3D PARA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL

USE OF UAV AND COMPARATIVE ANALYSIS OF PE3D FOR REAL
ESTATE CADASTRE UPDATE

Simone Sayuri Sato

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Doutora em Engenharia de Transportes

E-mail: simone.sato@ufpe.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2516-8876>

 <http://lattes.cnpq.br/2942420315995364>

Max Tanillo Alves de Holanda e Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

E-mail: max.tanillo@ufpe.br

 <https://orcid.org/0009-0004-6722-3222>

 <http://lattes.cnpq.br/9915074328854788>

Lucas de Siqueira Santos

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Bacharel em Geografia

E-mail: lucas.siqueirasantos@ufpe.br

 <https://orcid.org/0009-0003-5688-2401>

 <http://lattes.cnpq.br/1160066706813458>

Thiago Arruda Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Bacharel em Física

E-mail: thiago.arrudas@ufpe.br

 <https://orcid.org/0009-0004-3582-7304>

 <http://lattes.cnpq.br/4568690152071897>

Resumo

A atualização cadastral na gestão urbana, apesar de ser importante para uma gestão municipal eficiente, não tem sido contínua nos municípios brasileiros. Pesquisas desenvolvidas e projetos extensionistas direcionados a soluções dinâmicas das áreas urbanas são desafiadores, especialmente devido à falta de mapeamentos sistemáticos com escalas maiores do que 1:2000. Reconhecendo o custo reduzido nos processos de mapeamento ao se utilizar Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), este artigo viabiliza o desenvolvimento de aplicação e avaliação de uma metodologia para o uso dessa tecnologia na atualização cadastral. O estudo proposto foi desenvolvido no bairro Luiz Gonzaga, em Caruaru, onde foi realizado um voo com o propósito de atualização cadastral em dezembro de 2019. Os dados obtidos nesse voo foram comparados com as informações do Pernambuco Tridimensional (PE3D), um programa criado após as inundações no estado no ano de 2014. Esse programa resultou em um mapeamento do território pernambucano nas escalas de 1:5000 e 1:1000. A metodologia proposta foi testar a automação na aquisição das feições do terreno, especialmente as áreas edificadas, e analisar a qualidade dos resultados por comparação entre os resultados dos dados coletados automaticamente e os dados adquiridos manualmente. Foram pesquisadas e testadas algumas soluções de desenvolvimento de *softwares* e aplicativos hospedados no *GitHub*. Recorreu-se ainda às técnicas de sensoriamento remoto, ao aprendizado de máquina e ao algoritmo de classificação semiautomatizada de imagens *Support Vector Machine* (SVM), presente no *plugin Dzetsaka* otimizado para o *software* QGIS. Os resultados obtidos da classificação SVM, quando comparados com os dados adquiridos por interpretação manual das imagens, divergiram em cerca de 8% do quantitativo das áreas edificadas. Sendo assim, o processo foi admitido com potencial de aplicação para uma simulação computacional prévia para a governança municipal em relação à atualização cadastral ou na necessidade de um novo mapeamento cadastral. Na sequência do estudo, um outro comparativo foi realizado usando a base de mapeamento PE3D do ano de 2014 com o mapeamento realizado com VANT no ano de 2021, que demonstrou um acréscimo de 35% de áreas edificadas em um período de 5 anos. Esse resultado auxiliou na decisão quanto à necessidade da atualização cadastral e de garantia mais assertiva do

investimento direcionado a esse tipo de contrato de serviço.

Palavras-chave: veículo aéreo não tripulado. Pernambuco tridimensional. atualização cadastral.

Abstract

Cadastral updating in urban management, despite its importance for efficient municipal management, has not been continuous in Brazilian municipalities. Research and extension projects aimed at dynamic solutions in urban areas are challenging, especially due to the lack of systematic mapping at scales larger than 1:2000. Recognizing the reduced cost of mapping processes when using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), this article makes it possible to develop an application and evaluate a methodology for the use of UAVs in cadastral updating. The proposed study was carried out in the Luiz Gonzaga neighborhood in the city of Caruaru, where a flight was made to update the cadastre in December 2019. The data obtained from this flight was compared with information from Pernambuco Tridimensional (PE3D), a program created after the floods in the state at 2014. This program resulted in a large-scale map of the territory of Pernambuco at scales of 1:5000 and 1:1000 scales. The proposed methodology was to test automation in the acquisition of terrain features, especially built-up areas, and to analyze the quality of the results by comparing the results of automatically collected data with manually acquired data. Some software and application development solutions hosted on GitHub were researched and tested. Remote sensing techniques, machine learning and the semi-automated image classification algorithm Support Vector Machine (SVM), present in the Dzetsaka plugin optimized for QGIS software were also used. The results obtained from the SVM classification, when compared with the data acquired through manual interpretation of the images, differed by around 8% of the number of built-up areas. As such, the process was considered to have potential for application in a previous computer simulation for municipal governance in relation to cadastral updating or the need for new cadastral mapping. Following on from the study, another comparison was made using the 2014 PE3D mapping base with the 2021 UAV mapping, which showed a 35% increase in built-up areas

over a 5-year period. This result helped in the decision as to the need to update the cadastre and ensure a more assertive investment in this type of service contract.

Keywords: unmanned aerial vehicle. three-dimensional Pernambuco. cadastral update.

INTRODUÇÃO

Até o presente momento, o sistema de registro urbano continua a seguir os modelos estabelecidos nos anos 70 através do projeto Convênio de Incentivo ao Aperfeiçoamento Técnico-Administrativo das Municipalidades (CIATA) (Carneiro *et al.*, 2012; Cunha *et al.*, 2019). A atualização cadastral tem sido um tópico debatido devido à sua importância para uma gestão municipal eficiente, conforme demonstrado no Manual de Apoio (CTM), lançado pelo Ministério das Cidades em 2009, que apresenta diretrizes para a criação, implementação e revisão do cadastro territorial multifuncional. Esse documento divide o processo em duas abordagens: atualização contínua e atualização em larga escala. Ambas abordagens são significativas e úteis, oferecendo soluções para a natureza dinâmica das áreas urbanas. Em 2022, o Decreto Federal nº 11.208 foi publicado, revogando o Decreto Federal nº 8.764 de 2016, que instituiu o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), no qual, segundo Valentim (2023), trata-se de um sistema de administração pública que unifica informações geoespaciais, cadastrais, fiscais e jurídicas, relativo a bens imóveis, tornando-se uma ferramenta significativa para apoiar os municípios, especialmente os de menor população, na melhoria de sua gestão tributária.

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) encontra aplicações abrangentes nas áreas das geociências, engenha-

rias e das ciências humanas. Essas plataformas aéreas, equipadas com sistemas de sensores de baixo custo, têm sido empregadas com sucesso na aquisição de imagens de alta resolução (Ruzgiene *et al.*, 2015; Ali, 2020; Jiménez-Jiménez *et al.*, 2021; Apollo, 2023). Além disso, sua capacidade de fornecer dados praticamente em tempo real tornou-os amplamente reconhecidos e populares para a obtenção de informações geográficas (Chen, 2020; Spanò *et al.*, 2018; Sgouropoulos *et al.*, 2023).

A captura de dados em alta resolução possibilita um detalhamento amplo da superfície terrestre, abordando aspectos como forma, tamanho, textura e topologia, em contraste com imagens de resolução inferior. A partir dessas imagens de alta qualidade, podem ser obtidos Modelos Digitais do Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortomosaicos¹ de alta resolução (Nordin e Salleh, 2022).

No cenário de crescimento urbano, característico de nações em desenvolvimento, emergem na literatura científica estudos que empregam VANTs como ferramentas de apoio vital no âmbito da atualização cadastral, particularmente em regiões carentes de estruturas sistemáticas para tal finalidade (Mbarga *et al.*, 2020; Cienciała *et al.*, 2021; Suba *et al.*, 2021; Šafář *et al.*, 2021; Park e Choi, 2020; Nap *et al.*, 2021; Fetai *et al.*, 2021). A capacidade dos VANTs de extrair do terreno objetos como as edificações os colocam como ferramenta de valor significativo para o planejamento urbano.

Conforme delineado por Santos (2019), a tarefa de extrair os contornos das edificações implica a obtenção dos segmentos de

1 “Mosaicos de fotografias aéreas ou de imagens de satélites ortorretificadas e realçadas para homogeneizar sua aparência” (IBGE, 2024).

reta ou curvas que compõem o perfil de interesse. Normalmente, esse processo é segmentado em duas fases distintas: inicialmente, ocorre a extração do contorno aproximado, seguido por um procedimento de regularização ou modelagem subsequente. A obtenção dos perfis dos telhados é fundamentada em um método de segmentação que reúne os *pixels* de características similares, valendo-se de critérios de homogeneidade, como a semelhança nos tons de cinza. A culminação desse processo reside na extração de modelos tridimensionais das edificações, em que três etapas convergem harmoniosamente: detecção das estruturas, extração dos contornos e obtenção dos perfis dos telhados. A extração de edificações de forma automática, ou mesmo semiautomática, vem sendo objeto de pesquisa na literatura científica internacional (Shukla; Jain, 2020; Subrahmanya *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021).

Apesar dos vários trabalhos desenvolvidos, nenhum método é capaz de englobar todas as complexidades das edificações. Além disso, a maioria das metodologias considera que os contornos são compostos apenas por segmentos retos. Assim, este trabalho apresenta um método automatizado de extração de feições utilizando dados de VANTs e do programa Pernambuco Tridimensional - PE3D (Cirilo *et al.*, 2014), testando a sua usabilidade para a atualização cadastral.

No contexto de relato acadêmico, considera-se importante ressaltar que as universidades públicas brasileiras têm como funções o ensino, a pesquisa inovadora e a extensão. Sendo assim, a pesquisa é a atividade que dá sustentação ao ensino universitário. É preciso lembrar, ainda, que associar o ensino à pesquisa e vice-versa é papel essencial da universidade, e que esse conhecimento precisa ser estendido à comunidade, completando então, o tripé

ensino–pesquisa–extensão, definido como indissociável na Constituição Brasileira de 1988 (Bravin; Laia, 2023).

Dessa forma, a pesquisa descrita neste estudo foi desenvolvida durante a fase de graduação e atual pós-graduação dos autores. O trabalho pode ser considerado inovador em muitos aspectos, a começar pelas bases de dados de alta resolução, visto que somente o território pernambucano foi mapeado integralmente por tecnologia *laser scanner* entre os estados brasileiros e pelo uso de mapeamento realizado com VANT. A contribuição relatada segue um movimento de levar a estruturação de instrumentos para a gestão integrada dos serviços públicos que necessitam de suporte na pesquisa e no desenvolvimento quanto a técnicas e aspectos metodológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no bairro Luiz Gonzaga, em Caruaru (Figura 1). A escolha da área teve como critério o aumento da sua taxa de ocupação e de desenvolvimento urbano. O recorte da área tem como proximidade referencial o Hospital Regional Mestre Vitalino da cidade de Caruaru, pois apresentou um atrativo para novas habitações, que, conforme informações da Secretaria de Urbanização, estão sendo demandadas pela população.

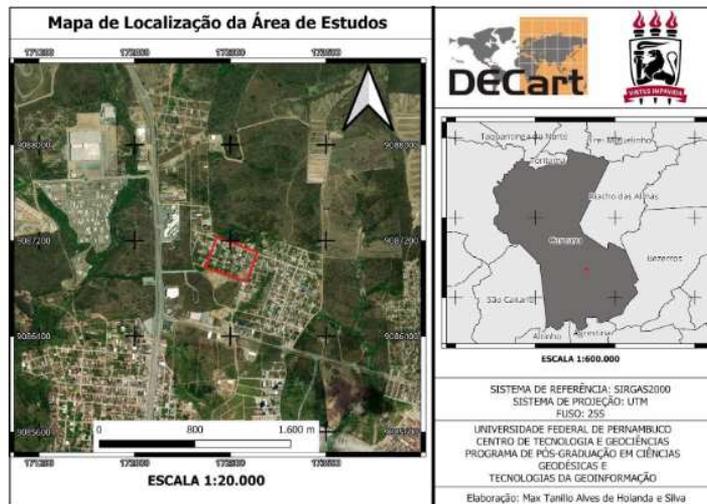


Figura 1 . Mapa de localização da área de estudo

Fonte: Os autores (2023).

MATERIAIS UTILIZADOS

Para o mapeamento aerofotogramétrico, foi utilizado o quadricóptero *Phantom 4 Advanced* que possui uma câmera com resolução máxima de 20 *megapixel*, distância focal de 8,8 mm, peso máximo de decolagem 1,4 kg e autonomia de voo de aproximadamente 30 minutos. Para a execução de todas as etapas, foram utilizados os seguintes *softwares*: *Pix4Dmapper* (versão *trial*) para o processamento de imagens; QGIS 3.10.12 (Sistema de Informação Geográfica de Código Aberto) para a geração do mosaico com as ortofotos do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), vetorização das feições imobiliárias, classificação e vetorização automatizada das feições das edificações; e *Google Earth* para o planejamento dos pontos de apoio.

PROCESSOS METODOLÓGICOS

O fluxo de trabalho segue etapas de mapeamento fotogramétrico com uso de VANT (Rusnák *et al.*, 2018; Stöcker *et al.*, 2020; Sato *et al.*, 2020) para a aquisição e processamento das imagens e dos dados adquiridos em campo, conforme o fluxograma apresentado na Figura 2, dividido em três etapas: plano de voo, aquisição das imagens e processamento das imagens.

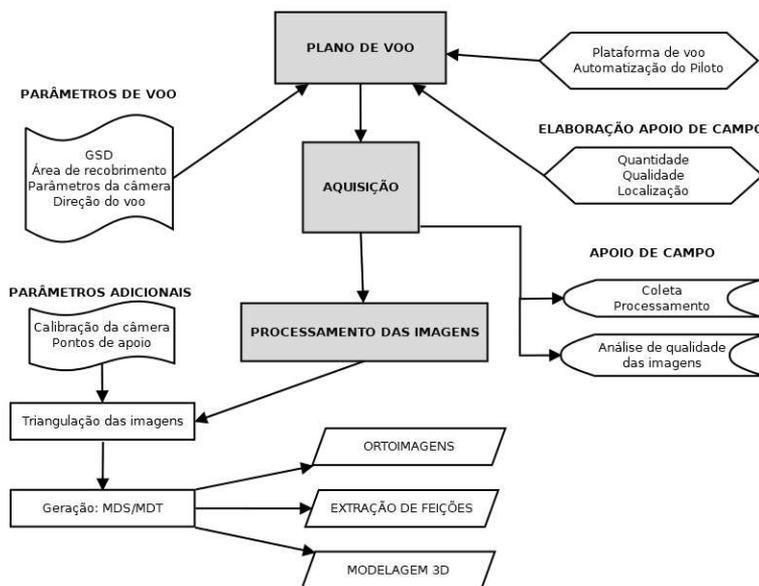


Figura 2. Fluxograma do processamento das imagens
Fonte: Sato *et al.* (2020).

PLANO DE VOO

No plano de voo, foram utilizadas as ortofotos coletadas no projeto PE3D para seleção de feições de delimitação da área e distribuição de pontos de apoio. A Figura 3 apresenta uma imagem capturada do plano de voo executado no aplicativo *PIX4Dcapture*. Nela, são apresentados alguns parâmetros de voo como: a área de cober-

tura, que corresponde às dimensões 275m x 530m; o GSD (elemento de resolução no terreno), que corresponde na média a 2,73 cm; a altura de voo, definida em 100 m do solo; e a direção de voo. O voo foi planejado de modo que atendesse o menor número de linhas de voo, no total seis, e, conseqüentemente, menor tempo de voo e menor quantitativo de imagens. As sobreposições longitudinais e laterais entre as imagens foram configuradas em 70% em ambas.

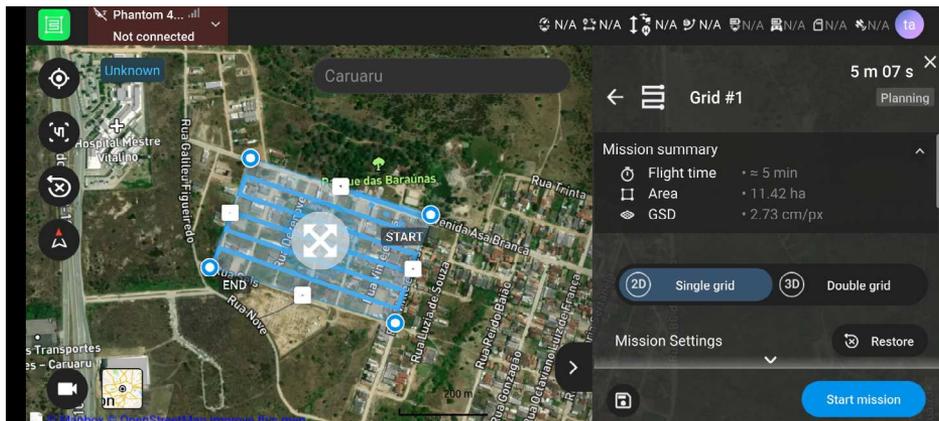


Figura 3. Plano de Voo gerado no software Pix4D capture
Fonte: Os autores (2024).

PLANEJAMENTO DO APOIO DE CAMPO

O planejamento do apoio de campo buscou manter uma distribuição homogênea em toda a área de estudo, estando todos os pontos de apoio posicionados em locais de fácil acesso, como podem ser visualizados na ortofoto (Figura 4). No total, foram planejados e estabelecidos 18 pontos:



Figura 4. Planejamento do apoio de campo
 Fonte: Os autores (2019).

AQUISIÇÃO DAS IMAGENS E DADOS EM CAMPO

O voo foi realizado no dia 12 de dezembro de 2019. A aquisição das imagens foi realizada com recobrimento lateral e longitudinal de 70%. Na etapa pós-voo, foi realizada uma análise da qualidade dos dados coletados: as imagens e os dados EXIF. Foi verificado o contraste e a nitidez das imagens, se todas as linhas de voo e exposições das imagens durante o voo foram registradas sem interrupções e se não houve falhas de recobrimento lateral e longitudinal entre as fotografias. Com o intuito de realizar uma análise temporal comparativa, foram utilizados os dados de ortofotos adquiridos do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D).

PROCESSAMENTO DE DADOS

O processamento das imagens foi realizado através da solução baseada no algoritmo SfM, *software Pix4DMapper*, que consiste em uma ordem de três etapas principais: (1) processamento inicial; (2) densificação da nuvem de pontos; (3) geração de MDS e

ortomosaicos. Na primeira etapa, é realizada a identificação dos pontos-chaves (*keypoints*) em cada imagem e entre as imagens e a calibração automática da câmera, onde são calculados os parâmetros internos e externos. Ainda nessa etapa, são medidos os pontos de controle, realizando um refinamento do georreferenciamento e gerando automaticamente, em seguida, os pontos de enlace no conjunto de imagens. Na segunda etapa, novos pontos são gerados, obtendo, assim, uma nuvem de pontos densificada para que no próximo passo seja produzida a malha texturizada (*mesh*). A terceira e última etapa é a geração dos MDS e do ortomosaico, baseado nos processos de ortorretificação das imagens.

AQUISIÇÃO DAS FEIÇÕES AUTOMATIZADAS UTILIZANDO QGIS

O ortomosaico foi processado pelo *software* QGIS com a finalidade de coletar as feições das edificações utilizando técnicas de aprendizado de máquina, o algoritmo *Random Forest*, a biblioteca *sci-kit learn* e o *plugin Dzetsaka Classification Tool Dzetsaka* (Karasiak, 2017; Sejati *et al.*, 2020). Esta ferramenta (no *software* QGIS) oferece quatro opções de classificação: *Gaussian Mixture Model* (usado inicialmente como padrão), *Random Forest* (RF), *Support Vector Machine* e *K-Nearest Neighbors*.

Através desse *plugin*², foi possível realizar a classificação supervisionada utilizando métodos estabelecidos, sem a necessidade de desenvolver do zero os modelos de classificação mencionados.

² “Plugins são adições ou alterações de *software* que permitem a personalização de programas de computador, aplicativos e navegadores da *web*, bem como a personalização do conteúdo oferecido pelos sites” (Kovacs, 2022).

Para realizar a classificação, realizou-se um passo a passo descrito na Figura 5, seguindo o fluxograma de trabalho solicitado no *plugin*.



Figura 5. Fluxograma da classificação das imagens no plugin Dzetsaka

Fonte: Os autores (2021).

O uso desse método de classificação possui diversas vantagens, incluindo a natureza dos algoritmos não paramétricos com alta precisão de classificação, além da capacidade de determinar variáveis importantes e prever valores ausentes. Da mesma forma, a classificação *Dzetsaka* oferece diversas vantagens para as técnicas tradicionais de classificação de cobertura do solo. Embora o agrupamento RF possa produzir árvores de decisão complexas com uma grande quantidade de dados de entrada, ele pode reduzir custos computacionais e operacionais inserindo apenas conjuntos de entrada de dados importantes (amostras de treinamento), sem sacrificar a acurácia dos resultados (Sejati *et al.*, 2020).

Na aquisição das feições, é criado um *shapefile* do tipo polígono, que serve para adquirir as amostras das áreas a serem classificadas, a exemplo da Figura 6 que destaca alguns polígonos na cor laranja. Neste caso, foram coletadas amostras de diferentes tipos

de telhados, mas também podem ser coletadas amostras de outros componentes da imagem como: árvores, rua asphaltada, terreno natural, água e vegetação rasteira.



Figura 6 . Janela com as amostras selecionadas para classificação das imagens
Fonte: Os autores (2021).

Após a aquisição das amostras, é indicado no *plugin* qual o tipo de feição na estrutura de dados raster³ está sendo classificado e o arquivo *shapefile* das amostras. Como resultado deste processamento, uma nova camada raster contendo a classificação é criada, o que significa que a coleta de feições foi realizada automaticamente. No QGIS, utiliza-se a ferramenta “raster para vetor” para obter os dados em formatos de polígonos. Os polígonos

³ “A Estrutura de Dados Raster é uma forma de representação de dados espaciais que utiliza uma grade regular de células para armazenar informações. Nesse tipo de estrutura, cada célula contém um valor que representa uma característica específica do espaço geográfico, como a temperatura, a altitude ou a cobertura vegetal” (Aero, 2023).

não classificados de acordo com a classe “telhado” são excluídos, restando assim somente as feições reconhecidas pelo algoritmo como feições edificadas.

AQUISIÇÃO DAS FEIÇÕES PARA ANÁLISE COMPARATIVA

Utilizando o QGIS, foi criado um *shapefile* do tipo polígono para extrair os contornos das edificações das ortofotos. Manualmente, foram coletados todos os contornos dos telhados contidos nas ortofotos da área de estudo. Nesta etapa, foram utilizadas duas bases de dados: o ortomosaico do PE3D do ano de 2014, e o ortomosaico gerado por meio do voo com o VANT (2019). O resultado das duas extrações manuais das edificações (processo de vetorização manual) é apresentado na Figura 7.

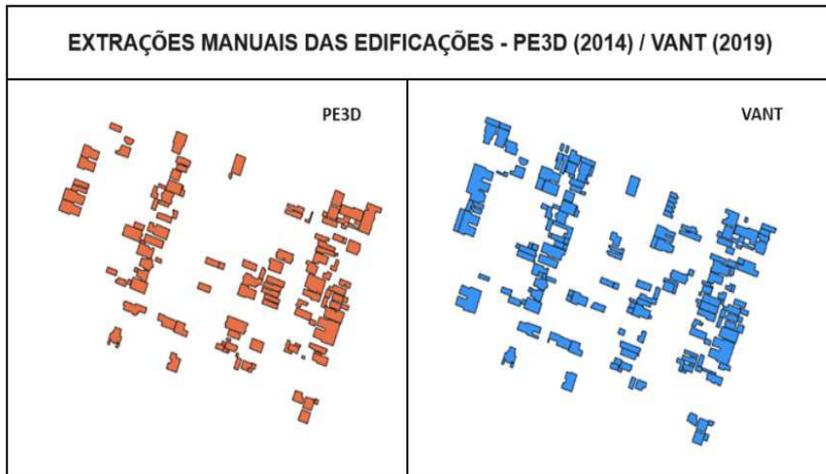


Figura 7. Classificação manual dos contornos das edificações
Fonte: Os autores (2021).

DISCUSSÕES

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS DO P3ED

A primeira classificação foi gerada por meio do uso do *plugin Dzetsaka*, aplicando o classificador padrão *Gaussian Mixture Model*. Como resultado visual, têm-se definidas as duas classes de feições: telhados e vegetação, conforme apresentado na Figura 8. O resultado, embora apenas visual, foi considerado satisfatório, indicando a possibilidade de prosseguir com os testes de classificação de ortofotos de alta resolução do projeto PE3D. Analisando o resultado do processamento continuado, porém, foi possível identificar algumas confusões na classificação nos contornos das edificações, mesmo todas as feições tendo sido categorizadas.



Figura 8. Primeira classificação dos dados PE3D utilizando *plugin Dzetsaka*, *Gaussian Mixture Model*

Fonte: Os autores (2021).

Após ampliar as amostras das classes de classificadores, foram gerados novos processamentos com novos resultados através dos demais classificadores da ferramenta: SVM, *k-Nearest Neighbors* e RF. Dentro desse contexto, o classificador *Support Vector Machine* (SVM) não obteve êxito na classificação, retornando um *raster* unitário, enquanto o classificador *Gaussian Mixture Model*, padrão do *plugin*, obteve melhor desempenho, como pode ser visto na Figura 9.

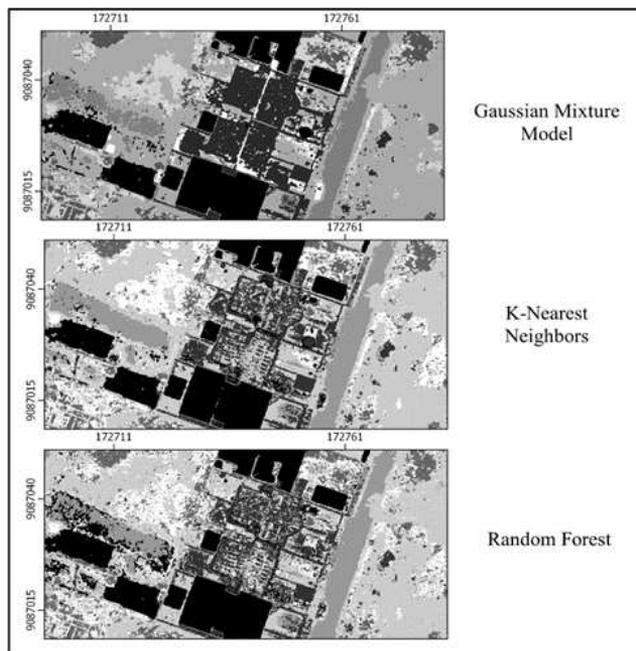


Figura 9 — Comparativo visual entre os classificadores do *plugin* Dzetsaka
Fonte: Os autores (2021).

Aplicando o *raster* gerado pelo classificador *Gaussian Mixture Model* na ferramenta “*raster para vetor*”, criou-se um arquivo *shapefile* do tipo polígono. No processo de limpeza desse arquivo, foram excluídos todos os polígonos não classificados como telhados, gerando, sequencialmente, a classificação dos contornos dos

telhados (Figura 10). Um dos requisitos importantes para a gestão pública é a quantidade de áreas expandidas dentro do município. Para isso ser medido, uma das soluções apresentadas neste estudo é o uso da ferramenta de calculadora do QGIS para extrair o total de área de cada polígono gerado automaticamente pelo classificador. Quando aplicado na área, obteve-se um total de 14.294 m² de área edificada.

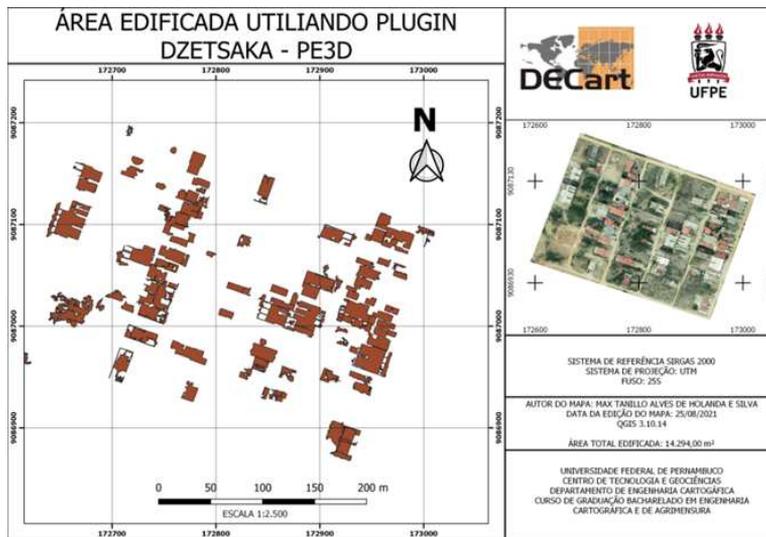


Figura 10 - Resultado da classificação utilizando ortofoto PE3D
Fonte: Os autores (2021).

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS VANT

Aplicando os mesmos procedimentos de classificação descritos anteriormente, os dados do VANT, a princípio, encontraram dificuldades, gerando um raster unitário mesmo ao extrapolarmos na quantidade de amostras. Após algumas tentativas, descobriu-se que o *software* comprimia os dados do VANT quando importado, distintamente do dado do PE3D. Sendo assim, ao adicionar os dados sem compressão no *software*, o *plugin* funcionou corre-

tamente, gerando uma classificação visualmente aceitável. No entanto, as sombras registradas nas imagens devido ao horário de tomadas das fotos e, conseqüentemente, presentes no ortomosaico, prejudicaram a classificação, como pode ser visto na Figura 11.

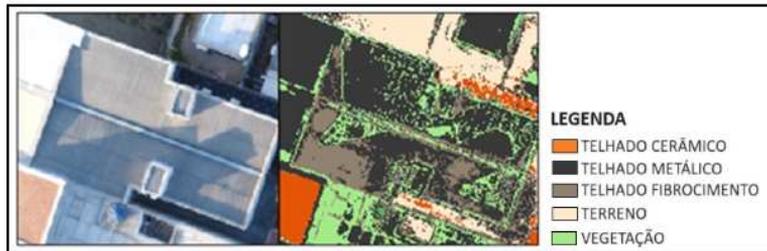


Figura 11 - Comparação da classificação automatizada utilizando ortofoto VANT
Fonte: Os autores (2021).

Depois de realizado o processo de vetorização e excluído os polígonos não classificados como telhado, gerou-se o arquivo *shapefile* do tipo polígono contendo as áreas edificadas. Aplicando a ferramenta de cálculo de área do QGIS, obteve-se uma soma total das áreas edificadas de cerca de 21.662 m².

Análise dos resultados das classificações

Para verificar a qualidade dos resultados da extração automatizada por meio dos classificadores, os dados foram comparados com os obtidos pelo processo manual, ou seja, por processo de extração manual dos contornos das edificações, conforme descrito anteriormente na Figura 7. Os resultados desses comparativos quantificaram valores de áreas de 13.228,94 m² para o PE3D e 17.575,04 m² para o VANT, respectivamente, conforme a Tabela 1. Analisando estes dados junto aos obtidos nas classificações (Tabela 1), pôde-se constatar que na classificação automatizada do PE3D a área edifi-

cada foi maior 8,05% em relação a área vetorizada manualmente. Já para o VANT, houve um excedente discrepante de 23,26%. O aumento dessa divergência demonstrou que houve uma redução da qualidade da classificação automatizada dos dados. Contudo, esse fato deve-se à presença das sombras nas imagens, causando confusão nas classificações das classes do *plugin*. Esse resultado consolida a necessidade de verificar e selecionar um horário em que o sol esteja numa posição que produza menos sombras durante a aquisição das imagens.

Dados Base	Área Vetorização Manual (m)	Área Vetorização Automatizada (m)	Área excedente (%)
PE3D	13.228,94	14.294,00	8,05
VANT	17.575,04	21.662,16	23,26

Tabela 1 - Área vetorizada manual, automatizada e área excedente

Fonte: Os autores (2021).

CONCLUSÕES

Este trabalho buscou apresentar procedimentos metodológicos desenvolvidos para obtenção de informações assertivas do aumento de áreas edificadas, auxiliando no processo decisório de investimentos da administração pública de mapeamento cadastral e/ou na atualização do cadastro territorial de um município ou de uma área selecionada. A metodologia apresentou um fluxo de trabalho para a realização da extração automatizada de áreas edificadas com o intuito de aplicá-la no processo decisório de atualização cadastral. Essa ferramenta contribui com a gestão territorial, pois fornece dados essenciais à extensão dos direitos, restrições e responsabilidades do proprietário da terra no subsolo e na super-

fície, além de trazer a possibilidade de um planejamento urbano com informações de distribuição e ocupação do solo, o que permite à gestão territorial definir políticas públicas mais assertivas.

Com base nos dados fornecidos pelos processos metodológicos apresentados, é possível identificar diferentes áreas: ociosas, de preservação ambiental, de risco etc., entre outras informações relevantes para o desenvolvimento urbano, Planos Diretores, zoneamentos e outras medidas de ordenamento territorial. Além disso, esses dados geram benefício às finanças do município com o aumento da arrecadação de impostos, como o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). O valor do imposto arrecadado, se bem empregado, pode retornar aos munícipes na forma de serviços públicos essenciais para a população, como saúde, educação, segurança e infraestrutura. Outros benefícios são: regularização fundiária, transparência e controle social, valorização imobiliária, organização e o desenvolvimento sustentável das cidades.

Quanto ao uso da ferramenta *Dzetsaka*, obteve-se resultados satisfatórios, tendo menos de 10% de divergência quanto à classificação de áreas edificadas nos ortomosaicos em condições de tomadas de imagens normais do mapeamento fotogramétrico. Em relação aos resultados do voo realizado com VANT, destaca-se a necessidade de realizar o mapeamento em horários de maior incidência de iluminação solar.

Constata-se, nesse sentido, que a metodologia desenvolvida pode ser estendida à governança municipal, considerando os valores de área construída identificada automaticamente com uma discrepância média de 10% do total da área. Portanto, pode-se simular a receita gerada com IPTU nas áreas que forem aplicadas a metodologia deste trabalho.

Quanto à área de estudo, quando realizado o confronto com dados cadastrais existentes da área mapeada e testada com aproximadamente 9 hectares, os resultados mostraram que a desatualização cadastral foi de 32% no período de 5 anos (entre 2014 e 2019). O que consolida a necessidade de um mapeamento para a atualização cadastral e a viabilidade da utilização de VANTs para áreas selecionadas pelo município.

REFERÊNCIAS

AERO ENGENHARIA. O que é: Estrutura de Dados Raster. *Aero Engenharia*, 2023. Disponível em: <https://aeroengenharia.com/glossario/o-que-e-estrutura-de-dados-raster/#:~:text=A%20Estrutura%20de%20Dados%20Raster,altitude%20ou%20a%20cobertura%20vegetal>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ALI, F. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in urban land regularization process. Opportunities and challenges. *African Journal On Land Policy And Geospatial Sciences*, Rabat, v. 3, n. 1, p. 1-10, 31 jan. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.48346/IMIST.PRSM/AJLP-GS.V3I1.18211>. Acesso em: 16 jan. 2024.

APOLLO, M. *et al.* Geodata in Science – A Review of Selected Scientific Fields. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus*, Cracóvia, v. 22, n. 2, p. 17-40, 7 jul. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15576/asp.fc/2023.22.2.02>. Acesso em: 16 jan. 2024.

BRAVIN, A.; LAIA, E. J. M. Uso ativista de smartphones em territórios afetados por operações de mineração. *Estudos Universitários: revista de cultura*, Recife, v. 40, n. 1, p. 142-169, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2675-7354.2023.256005>. Acesso em: 16 jan. 2024.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. *Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos E Perspectivas De Implantação No Brasil*. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 64, n. 2, p. 257-271, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv64n2-43791>. Acesso em: 16 jan. 2024.

CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. (org.). *Manual de Apoio - CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros*. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

CHEN, K. *et al.* Geo-registering UAV-captured close-range images to GIS-based spatial model for building façade inspections. *Automation in Construction*, [S.l.], v. 122, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103503>. Acesso em: 25 abr. 2022.

CIENCIAŁA, A.; SOBOLEWSKA-MIKULSKA, K.; SOBURA, S. Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. *Land Use Policy*, [S.l.], v. 102, p. 105204, mar. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105204>. Acesso em: 16 jan. 2024.

CIRILO, J. A. *et al.* Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.

FETAI, B.; RAČIČ, M.; LISEC, A. Deep learning for detection of visible land boundaries from UAV imagery. *Remote Sensing*, Basiléia, v. 13, n. 11, 1 jun. 2021.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I. *et al.* Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: methodology and accuracy. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, Basiléia, v. 10, n. 5, p. 285-312, 29 abr. 2021. Disponível: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi10050285>. Acesso em: 16 jan. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Ortomosaicos*. Brasília: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/imagens-do-territorio/imagens-corrigidas/10852-ortomosaicos.html>. Acesso em: 15 jan. 2024.

KARASIAK, N. *Dzetsaka*: classification tool. Git-hub: 2017.

KOVACS, L. O que é um plugin? *Tecnoblog*, 2022. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-um-plugin/>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MBARGA, T. C. M.; ASOGWA, N. V.; OKEKE, Pr. F. Advantages of a Digital Cadastre Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Tool to Support Better Governance and Land Administration in Cameroon: An Exploratory

Study. In: FIG WORKING WEEK: SMART SURVEYORS FOR LAND AND WATER MANAGEMENT, 2020, Amesterdã. *Anais [...]*. Amsterdam: International Federation of Surveyors (FIG), 2020.

NAP, M. E. *et al.* Registration in the Land Book of a River Section. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca*, Cluj-Napoca, v. 78, n. 1, 2021.

NORDIN, Z.; SALLEH, A. M. Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Terrain Mapping: Systematic Literature Review. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 216-223, 2022.

PARK, J. I.; CHOI, S. Y. A Study on the UAV Precision Positioning Accuracy Analysis for Cadastral Survey Application. *Journal of the Korean Cadastre Information Association*, [S.l.], v. 22, n. 2, 2020.

RUSNÁK, M. *et al.* Template for high-resolution river landscape mapping using UAV technology. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, [S.l.], v. 115, p. 139-151, 2018.

RUZGIENE, B. *et al.* The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, [S.l.], v. 73, p. 619-627, 2015.

ŠAFÁŘ, V. *et al.* The Use of UAV in Cadastral Mapping of the Czech Republic. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Basileia, v. 10, n. 6, 2021.

SANTOS, R. C. *Extração e regularização de contornos de telhados de edificações a partir de dados Lidar usando o algoritmo Alpha-Shape e CD-Spline*. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

SATO, S. S. *et al.* Usabilidade de aeronaves remotamente pilotadas na atualização cadastral. In: CONGRESSO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL, 14., 2020, Florianópolis. *Anais [...]* Florianópolis: UFSC, 2020.

SEJATI, A. W. *et al.* Quantifying the impact of industrialization on blue

carbon storage in the coastal area of Metropolitan Semarang, Indonesia. *Applied Geography*, [S.l.], v. 124, p. 102319, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102319>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SGOUROPOULOS, K.; UREM-KOTSOU, D.; CHRYSAFAKOGLU, P. Application of mobile digital recording and GIS analysis of archaeological surface survey finds in the MapFarm project. *Journal of Archaeological Science: Reports*, [S.l.], v. 53, p. 104331, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104331>. Acesso: 16 jan. 2024.

SHUKLA, A.; JAIN, K. Automatic extraction of urban land information from unmanned aerial vehicle (UAV) data. *Earth Science Informatics*, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 1225-1236, 17 ago. 2020. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-020-00498-x>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SPANÒ, A. *et al.* GIS-based detection of terraced landscape heritage: comparative tests using regional DEMs and UAV data. *Applied Geomatics*, Roma, v. 10, n. 2, 2018.

STÖCKER, C. *et al.* *Remote sensing High-Quality UAV-Based Orthophotos for Cadastral Mapping: Guidance for Optimal Flight Configurations.* *Remote Sensing*, Basileia, v. 12, n. 21, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/21/3625>. Acesso em: 16 jan. 2024.

ŞUBA, E. E. *et al.* The Use of UAV Photogrammetric Technology in Order to Make the Cadastral Documentation of Detachment in Two Lots of a Property Located in Valea Ierii, Cluj County. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca*, Cluj-Napoca, v. 78, n. 1, 2021.

SUBRAHMANYA, P. P.; AITHAL, B. H.; MITRA, S. Automatic Extraction of Buildings from UAV-Based Imagery Using Artificial Neural Networks. *Journal Of The Indian Society Of Remote Sensing*, [S.l.], v. 49, n. 3, p. 681-687, 6 nov. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12524-020-01235-z>. Acesso em: 16 jan. 2024.

VALENTIN, J. A ineficiência arrecadatória do IPTU nos municípios paulistas. *Revista Debates em Economia Aplicada*, v. 3, n. 5, 2023. Disponível em: <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/redea/article/view/7647/3207>. Acesso em: 15 fev. 2024.

ZHANG, L.; WANG, G.; SUN, W. Automatic extraction of building geometries based on centroid clustering and contour analysis on oblique images taken by unmanned aerial vehicles. *International Journal Of Geographical Information Science*, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 453-475, 14 jun. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2021.1937632>. Acesso em: 16 jan. 2024.