

Veículo aéreo não tripulado de baixo custo para monitoramento e gestão de cidades

LUIZ PAULO DOMINGOS MENDES¹, ELOISA DEZEN-KEMPTER² e
OSVALDO SELOS RODRIGUES³

^{1,2,3}Universidade Estadual de Campinas

¹l230315@dac.unicamp.br, <https://orcid.org/0000-0002-1763-9279>

²eloisakempton@unicamp.br, <https://orcid.org/0000-0002-6145-1441>

³o035078@dac.unicamp.br, <https://orcid.org/0000-0002-4926-597X>

Resumo. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com fins civis se popularizou nos últimos anos, sendo atualmente encontrados modelos de drones de baixo custo, até mesmo em prateleiras de brinquedos. Este artigo apresenta um estudo de caso realizado no município de Limeira, estado de São Paulo, explorando o potencial de VANTs para levantamentos urbanos em escala distrital. Foram conduzidos 7 voos utilizando o VANT Mavic Pro da DJI em um trecho de 2,5km da Av. Dr. Lauro Corrêa da Silva. Os resultados destacam o potencial dessa tecnologia de varredura digital para criação de modelos tridimensionais que se integram com base territoriais georreferenciadas e enriquecidas semanticamente, contribuindo para uma gestão urbana eficiente.

Palavras-chave: Fotogrametria, Nuvem De Pontos, VANT, Cadastro Multifinalitário, Gestão Urbana.

1 Introdução

Este artigo representa uma síntese dos resultados obtidos em dissertação de mestrado, intitulada Varredura Digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana, concluída em 2023 no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Faculdade de Tecnologia da Unicamp. Durante o curso da pesquisa de mestrado, investigou-se como dados obtidos através de varredura digital aérea podem subsidiar a construção de bases de dados geoespaciais e como a modelagem da informação pode auxiliar a gestão urbana. Neste artigo, expandimos o campo da varredura digital, explorando as etapas de levantamento. Essa continuidade permite uma análise mais detalhada e uma compreensão mais completa do tema em questão.

Acompanhar o avanço tecnológico é crucial para que a administração pública possua as ferramentas necessárias para intermediar conflitos de interesses, prevenir desastres, aprimorar tomada de decisões em projetos e promover cidades mais justas e sustentáveis. A atualização de cadastros imobiliários e Cadastros Técnicos Multifinalitário (CTM) sempre

foi um desafio. As cidades não param de se modificar e, como organismos vivos, se atualizam diariamente, tornando os levantamentos constantemente obsoletos e desatualizados.

O CTM contribui para o desenvolvimento econômico do país e, considerando que se encontram em constante evolução, seus benefícios tornam-se ilimitados. Destacando-se: desenvolvimento social e econômico, planejamento e gestão territorial, gestão florestal, e planejamento e gestão de infraestruturas, conforme Pimenta (2018), em seu artigo sobre o Cadastro Predial Multifuncional em Portugal.

Segundo LEE et al (2024), a construção precisa e densa de informações espaciais 3D de alta qualidade é essencial para cidades inteligentes baseadas em gêmeos digitais. Assim, a fotogrametria utilizando veículos aéreos não tripulados (VANT) permite a modelagem tridimensional de ambientes urbanos.

Como forma de subsidiar a coleta de dados, tecnologias de varredura digital e levantamento aéreo utilizando equipamentos baixo custo, podem permitir a reconstituição de bairros demandando baixo custo operacional. VANTs vem sendo cada vez mais utilizados em setores de indústria, agricultura, arquitetura, engenharia e construção (AEC), entre outros. Atividades como acompanhamento de obras, identificação de pragas no campo e acompanhamento de safra são cada vez mais comuns.

Neste contexto, COTOMACIO et al (2020), relata que, apesar de os primeiros veículos não tripulados tivessem finalidades militares, atualmente esses equipamentos são fabricados com atividades de entretenimento, sejam recreativas, ou mesmo relacionadas à indústria cinematográfica.

A utilização desta tecnologia pela administração pública permitirá que prefeituras sejam mais efetivas no monitoramento da ocupação territorial, uma vez que o alto custo para aquisição de ortofotos do território inviabilizam sua frequente atualização, tornando os dados espaciais que subsidiam a construção do CTM imprecisos e desatualizados.

A reconstituição espacial da cidade em uma base georreferenciada, semanticamente enriquecida, é uma possibilidade que emerge quando temos a possibilidade de reconstituição precisa de seus elementos morfológicos e alimentados de informação pelos diversos setores do município, atuando de maneira interdisciplinar na inserção e extração de dados.

1.1 Utilização de VANT para levantamentos urbanos

A cidade não se configura como um sistema automatizado passível de uma compreensão e previsão simplificadas; ao contrário, trata-se de um organismo vivo em constante evolução, cujas mudanças e desenvolvimentos ocorrem diariamente em diversos aspectos, incluindo suas estruturas físicas, atividades econômicas, políticas, configurações sociais e culturais, bem como seus sistemas ecológicos (SHAHAT et al., 2021).

Essa característica intrínseca da cidade como um sistema dinâmico levanta a discussão sobre a necessidade de empregar ferramentas avançadas para sua compreensão e gestão eficazes. Entre essas ferramentas, destacam-se a varredura digital, os VANTs, a Inteligência Artificial Geoespacial, os aplicativos de Realidade Aumentada Geoespacial e a Detecção de Luz e Variação, especialmente no contexto das cidades inteligentes (SHIROWZHAN et al., 2020).

VANTs de baixo custo têm sido cada vez mais empregados para atividades recreativas para entretenimento e lazer, alcançando um público mais amplo. A possibilidade de utilizar uma câmera de alta resolução embarcada em um veículo aéreo traz possibilidades de uso profissional para esses equipamentos.

A facilidade de transporte é característica comum entre VANTs de baixo custo. Dado seu design compacto e peso reduzido, estes podem ser facilmente transportados e possibilitam a realização de levantamentos de áreas remotas ou de difícil acesso.

A utilização de VANTs para coleta de dados e processamento através do processo de fotogrametria, mostra-se promissor para levantamentos de áreas urbanas em escala distrital, possibilitando um contínuo processo de atualização das bases de dados da administração pública bem como, um monitoramento mais assíduo da ocupação territorial. Em paralelo ao monitoramento acima descrito, os dados processados da varredura digital possibilitam a reconstituição espacial do distrito em ambiente digital. Esta reconstituição torna-se necessária para utilização de softwares que atuem com modelagem de informação, possibilitando análises aprofundadas acerca da infraestrutura urbana.

INGUAGGIATO et al (2021), em seu trabalho, observa que tanto a ortofoto quanto as curvas de nível obtidas através do processo de fotogrametria possuem uma resolução espacial que se mostra adequada para conduzir estudos e análises abrangentes sobre unidades habitacionais, infraestrutura urbana existente, aspectos ambientais, padrões de uso do solo e análise topográfica local.

Essa pesquisa se justifica na busca de utilização de modelos tridimensionais semanticamente enriquecidos com a finalidade de gestão urbana, tecnologia que tem sido consolidado no mercado nacional para edifícios novos. Neste sentido, temos por objetivo aplicar métodos de varredura digital utilizando VANT, de maneira a obter-se dados para restituição fotogramétrica da cidade, geração de nuvens de pontos, modelos digitais de superfície (MDS) e ortofotos para subsidiar a modelagem de áreas com enfoque em análises urbanísticas.

2 Metodologia

Para a pesquisa exploratória, adotou-se um fluxo de trabalho a partir de pesquisas anteriores desenvolvidas no Laboratório Lab.ARQ3D e da disponibilidade de equipamentos e licenças na Faculdade de Tecnologia da Unicamp. O protocolo envolve desde análise para viabilidade da varredura até o pós-processamento dos dados, incluindo as seguintes etapas:

- estudo preliminar da área;
- planejamento de voo;
- definição de pontos de controle para georreferenciamento;
- voo na área para aquisição dos dados;
- processamento e registro dos dados obtidos;
- pós processamento e mapeamento da área;
- modelagem BIM dos edifícios mais relevantes para inserção no SIG;

- enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária e;
- extração de mapas temáticos.

A Figura 1 ilustra as etapas adotadas, desde o estudo preliminar da área até a extração dos mapas.



Figura 1. Imagem gerada com IA Microsoft Designer e editada pelo autor, 2024.

Os equipamentos e softwares utilizados foram definidos de acordo com a disponibilidade do laboratório de pesquisa. As principais ferramentas são ilustradas na Figura 2.

A análise preliminar do local foi realizada através do software Google Earth, Google Street View, dados topográficos de levantamentos anteriores e vistorias in loco.

Para varredura aérea, foi utilizado o Mavic Pro da fabricante DJI, conforme suas configurações originais de fábrica. O equipamento possui 5 sensores visuais e alcance máximo de 7km. Sua câmera possui resolução de 12.7 megapixels, sendo a captura de vídeos realizada com resolução de até 4k, sendo sustentada por um gimbal de 2 eixos. As missões de coleta foram programadas para serem realizadas de maneira autônoma através do software Pix4D Capture.

Para processamento dos dados foram adotados os softwares Context Capture, da Bentley, sendo posteriormente utilizados para modelagem e alimentação de informação o ArcGIS da ESRI (SIG), ArchiCAD da Graphisoft (BIM). Os dados SIG e BIM foram integrados no InfraWorks, da Autodesk, resultando em um modelo CIM.



Figura 2. Principais ferramentas utilizadas para realização da pesquisa. Do autor, 2024.

3 Local do levantamento e protocolo de aquisição de dados

Para área de estudo, foi estrategicamente definido trecho viário da Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva, em Limeira. Trata-se de via hierarquicamente definida no Plano de Mobilidade do município como Arterial Radial, promovendo ligação de diversos bairros com a área central do município e, também, com o anel viário. Além de seu fluxo intenso diário, a ocupação no entorno da via é diversificada: edificações residenciais, comerciais, industriais, bem como trechos com vazios urbanos. Os gabaritos também variam, havendo construções térreas e conjuntos habitacionais verticais.

A Figura 3 delimita o perímetro urbano de Limeira à esquerda e, à direita, destaque-se o objeto de estudo.

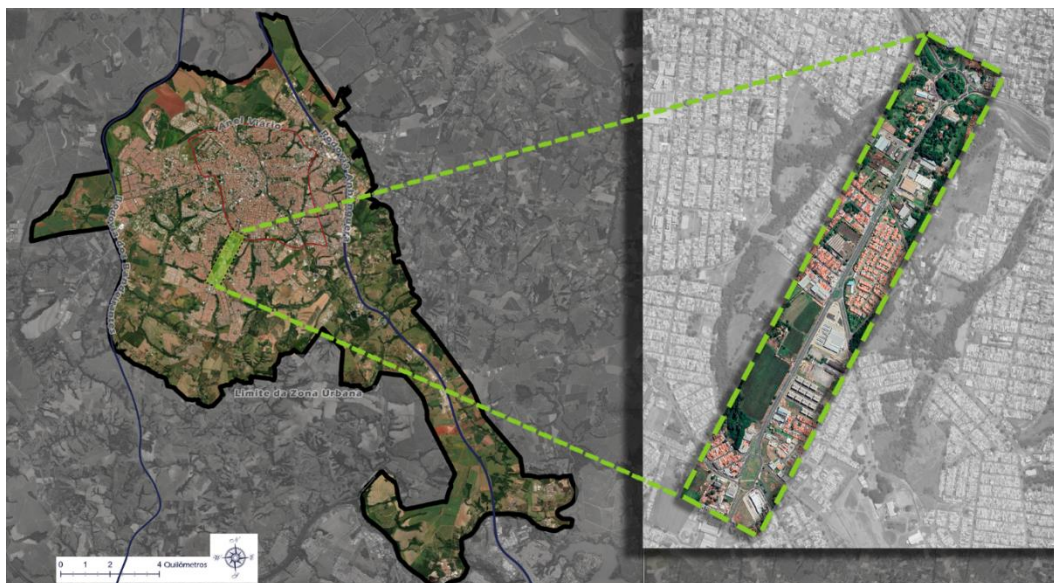


Figura 3. Mancha urbana de Limeira e delimitação da área de estudo. Do autor, 2023.

Seguindo o protocolo, detalha-se a seguir as etapas realizadas para o levantamento:

Estudo preliminar da área: delimitado perímetro de 2.5 km à partir da intersecção da via objeto de estudo com o anel viário do município (local onde, à época, havia obras de implantação de um viaduto), foi definido que a cobertura deveria ser de, pelo menos, 200m para cada lado da via, à partir de seu eixo. Assim, totaliza-se uma área de 1.000.000,00 m² que foi levantada. Em visita técnica ao local, verificou-se a existência de edifícios habitacionais verticalizados e torre de transmissão. Estes, foram relevantes para se determinar a relação de altura de voo e pontos de decolagem. Também foram considerados: topografia do local, maciços arbóreos, distância de aeroportos ou zonas de risco de segurança.

Planejamento de voo: foram definidos dois protocolos de voo para aquisição dos dados diferentes, de maneira a possibilitar a comparação dos produtos gerados após processamento. A definição da missão no aplicativo PIX4D Capture foi realizada considerando a altura de voo, perímetro de cobertura, ângulo de captura da câmera e sobreposição necessária entre cada imagem. Assim, para realização do primeiro protocolo, a captura foi definida em ângulo nadir (90°), com sobreposição de 70% entre cada imagem capturada, altura de voo de 120m e grid único de captura. Já o segundo protocolo foi definido com captura em ângulo oblíquo de 70°, sobreposição de 80% entre as imagens, altura de voo de 70m e grid duplo para coleta.

Com maior altitude, cada imagem capturada cobre um maior trecho do território, no entanto, reduz-se a precisão do pixel. Para gerar produtos que necessitem menor nível de detalhamento, a adoção de maiores altitudes torna o levantamento mais rápido, reduz a quantidade de imagens necessárias, sobrecarregando menos a base de dados. Já para levantamentos que necessitem um maior nível de detalhamento, além de menor altitude para captura, diversos ângulos do mesmo objeto reduzem seus pontos de oclusão, auxiliando a reconstituição fotogramétrica.

Definição de pontos de controle para georreferenciamento: para georreferenciamento dos produtos, foi utilizado levantamento planialtimétrico realizado na via pela Prefeitura local; assim, não foi necessário realizar nova coleta. Por se tratar de levantamentos realizados em datas distintas, foi adotado como ponto comum entre as imagens e o arquivo dwg., os poços de visitação.

Voo na área para aquisição dos dados: a partir do protocolo de aquisição adotado no planejamento de voo, foram realizadas 7 missões de captura de imagens. Duas seguindo o primeiro protocolo, que resultou em 339 imagens. O segundo protocolo foi subdividido em 5 missões de coleta e resultou em 1811 imagens. As imagens possuem dimensão de 4000 x 3000 pixel, tendo, média, 5 MB cada arquivo. Considerando a autonomia das baterias do equipamento, os ciclos de voos tiveram, no máximo, 15 minutos, conforme planejado. Em campo, foi necessário apenas um operador, para realizar todas as coletas. Ao considerar apenas o tempo das operações, que foram, conforme protocolo anteriormente descrito de, no máximo, 15 minutos, as 7 coletas foram realizadas em 1h45m, sem considerar tempo de deslocamento e montagem do equipamento.

A Figura 4 apresenta a quadricula formada pelos pontos de cada uma das fotos capturadas no primeiro protocolo. Para reconstituição fotogramétrica, poderia ter sido adotado uma coleta sem a automatização das capturas no Pix4D Capture, no entanto, ao observar a

imagem é possível avaliar como foram precisos os pontos de captura, respeitando sempre a sobreposição definida como ideal para a reconstituição fotogramétrica.



Figura 4. Pontos de captura de imagens realizadas no primeiro protocolo de varredura aérea. Do autor, 2020.

Processamento e registro dos dados obtidos: Em posse das imagens coletadas, iniciou-se o processamento através do software Context Capture, da empresa Bentley. A primeira etapa do processo é a aerotriangulação das fotos (ver Figura 5). Foram geradas Nuvem de Pontos Densa e Esparsa, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Elevação e Ortofoto. Estes, foram georreferenciados utilizando pontos de levantamento cadastral anteriormente realizado pela Prefeitura local na via.

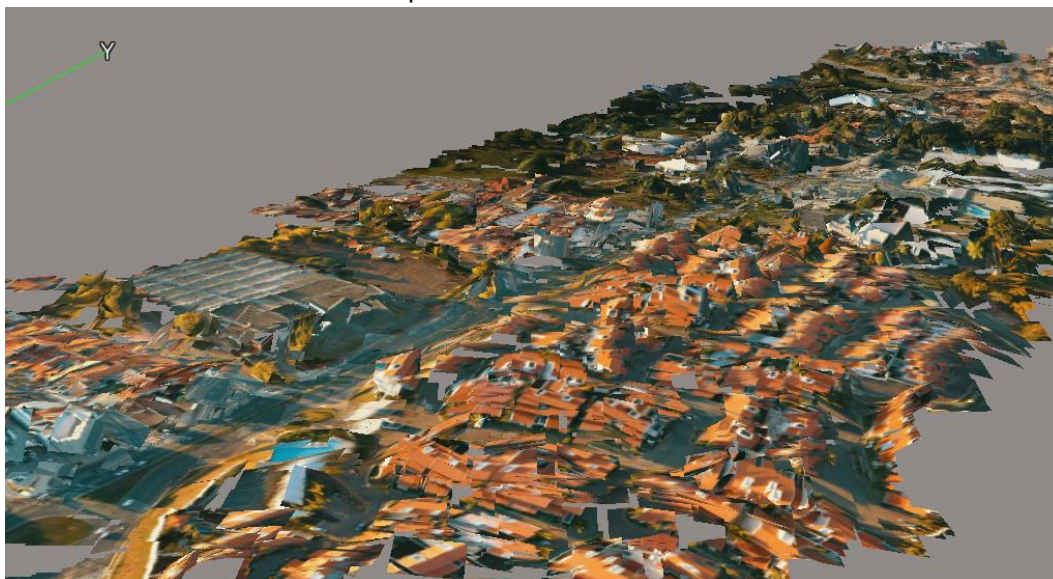


Figura 5. Interface do Context Capture apresentando aerotriangulação realizada com as imagens coletadas. Do autor, 2020.

Pós processamento e mapeamento da área: Através da ortofoto e pontos de controle georreferenciados, foi realizada vetorização dos elementos urbanos no software ArcGIS, da ESRI, tais como: arruamento, quadras, lotes e perímetro das edificações.

Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes para inserção no GIS: A nuvem de pontos foi utilizada para identificar com precisão a altura e perímetro de edificações. Neste levantamento, não identificamos edificações de interesse histórico ou cultural, sendo, portanto, adotado LOD 1 para modelagem no ArchiCAD. Este modelo tridimensional foi exportado em formato IFC para integração com o ArcGIS e InfraWorks (ver Figura 6).

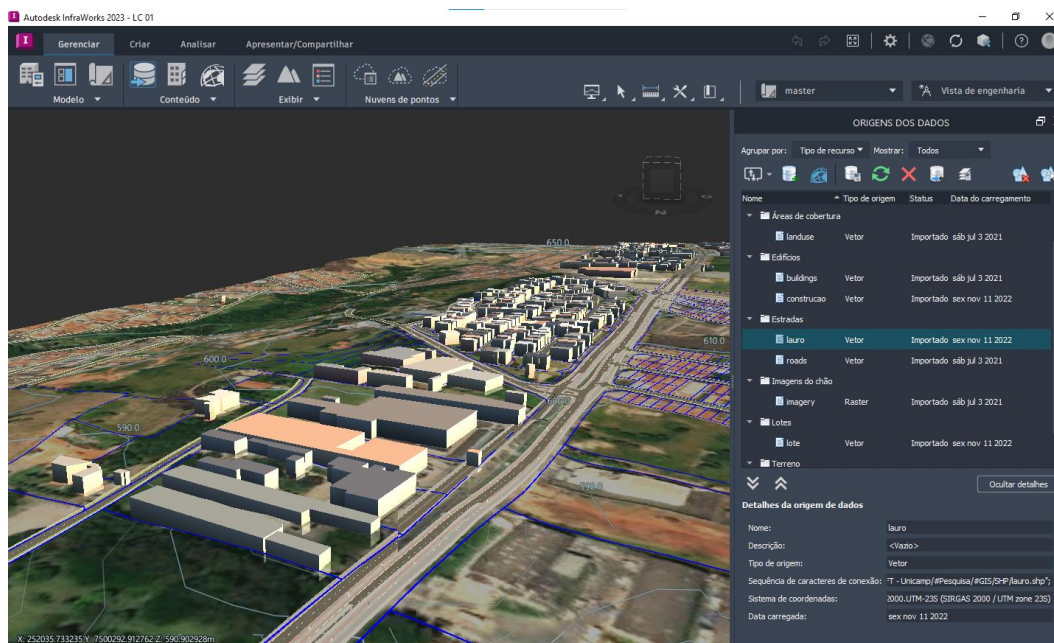


Figura 6. Interface do InfraWorks integrando as bases SIG e BIM vetorizadas. Do autor, 2022.

Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária: A base georreferenciada foi ainda complementada com shapefiles georreferenciados fornecidos pela Prefeitura local. Foram inseridos nos shapes atributos como inscrição cadastral, uso, gabarito, área de lote, área de construção e outros.



Figura 7. Interface do ArcGIS Pro com camadas vetorizadas, em destaque a camada de construção, com simbologia definindo a representação gráfica do mapa. Do autor, 2022.

Extração de mapas temáticos: através dos modelos de informação devidamente criados, torna-se possível extração de mapas com diversas finalidades, tais como mapas de uso e ocupação do solo, áreas livres, gabaritos e outros.

4 Conclusão

A diferença adotada entre os protocolos de varredura foi estratégia fundamental para melhor compreensão dos produtos gerados. Quando o produto esperado consiste em representações bidimensionais, como ortofotografias, é viável optar por varreduras com menores sobreposições de fotos e ângulo de captura a nadir. Por outro lado, para a aquisição de dados tridimensionais, é imperativo aumentar o número de capturas durante o processo de varredura. Este aumento é justificado pela necessidade de capturar múltiplas imagens em ângulos oblíquos de um mesmo objeto, como edificações, para aprimorar a precisão na reconstrução morfológica digital.

Essa demanda por maior quantidade de capturas e sobreposição de imagens resulta na geração de conjuntos de dados volumosos, exigindo uma infraestrutura robusta e eficiente para armazenamento e processamento. Em ambos os contextos, os achados desta pesquisa corroboram que a adoção de VANTs por entidades públicas oferece uma série de vantagens, especialmente no contexto de gestão e monitoramento territorial, permitindo uma atualização contínua do cadastro técnico multifinalitário.

A capacidade de realizar atualizações fotogramétricas frequentes e produzir ortofotografias a baixo custo e em tempo reduzido pode representar uma disrupção significativa para a administração pública, promovendo uma eficiência sem precedentes na manutenção e atualização de informações geoespaciais.

Entretanto, os desafios atuais residem na necessidade de adquirir não apenas os equipamentos de varredura, mas também de investir em infraestrutura computacional robusta, capaz de lidar com grandes volumes de dados e executar processamentos complexos de forma eficiente. Além disso, a capacitação de técnicos para operar essas novas tecnologias e compreender os princípios da fotogrametria automatizada e processamento de dados geoespaciais é essencial para garantir o pleno aproveitamento dos recursos disponíveis.

5 Referências

Dissertação de mestrado do autor

Cotomácio, A. C., DE, L., & BL, O. (2020). Uso do Drone de Baixo Custo em Aerofotogrametria e sua Aplicação na Perícia Ambiental Criminal. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*, 9(4), 459-476.

Inguaggiato, F. F., Olivatto, T. F., & Stanganini, F. N. (2022). USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE E GESTÃO TERRITORIAL: UM ESTUDO PARA REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA URBANA. *Engenharia Urbana em Debate*, 3(1/2), 08-24.

Lee, E., Park, S., Jang, H., Choi, W., & Sohn, H. G. (2024). Enhancement of low-cost UAV-based photogrammetric point cloud using MMS point cloud and oblique images for 3D urban reconstruction. *Measurement*, 226, 114158.

Mendes, L. P. D. (2023). Varredura Digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana (Mestrado em Tecnologia). Faculdade de Tecnologia da Unicamp, Limeira, Brasil.

Pimenta, R., de Almeida, J. P., & Tenedório, J. A. (2018). O cadastro predial multifuncional em Portugal: Proposta de reformulação do seu atual modelo de execução. In *Península Ibérica no Mundo: problemas e desafios para uma intervenção ativa da Geografia: Livro de Atas. XVI Colóquio Ibérico de Geografia* (pp. 1035-1044). Centro de Estudos Geográficos.

Shahat, E., Hyun, C. T., & Yeom, C. (2021). City digital twin potentials: A review and research agenda. *Sustainability*, 13(6), 3386.

Shirowzhan, S., Tan, W., & Sepasgozar, S. M. (2020). Digital twin and CyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 240.