

DRONES E VISÃO COMPUTACIONAL NA MODELAGEM DE SUPERFÍCIES PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM TELHADOS URBANOS.

Guilherme Gandra Franco¹, André Luiz Fonseca Naime², Sônia Maria Carvalho Ribeiro³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44202, Setor 5, Porto Alegre/RS, gandra.franco@ufrgs.br; ²Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Av. do Contorno, 8121, Belo Horizonte/MG, andre.naime.ibama@gmail.com; ³Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte/MG, soniacarvalhoribeiro@ufmg.br

RESUMO

A modelagem tridimensional de centros urbanos permite, dentre inúmeras aplicações, o dimensionamento do potencial de energia fotovoltaica irradiado de cada edificação contida naquele espaço. O elevado custo de obtenção destes dados, comumente registrados pelos sensores LiDAR, atua como um entrave na replicabilidade destas análises em diversos municípios. O presente estudo pretende checar a qualidade posicional de uma metodologia modeladora de superfícies alternativa considerada de baixo custo e dimensionar o potencial de geração de energia fotovoltaica na vila de pescadores Picinguaba, em Ubatuba-SP. O algoritmo de visão computacional selecionado foi o *Structure from Motion (SfM)*, que atua a partir de uma coleção de imagens sobrepostas capturadas por Drones. A qualidade posicional dos dados foi checada a partir de instrumentação topográfica (estação total e GNSS).

Palavras chave — Telhados solares, fotogrametria, energia fotovoltaica.

ABSTRACT

3D modeling of urban regions allows, among countless applications, the estimation of the photovoltaic energy potential of each building in a given area. The high cost for obtaining these data, commonly by LiDAR sensors, is an obstacle in the replicability of these analyzes in several cities. This work intends to assess the positional quality of an alternative method considered low cost and to measure the potential of photovoltaic energy generation in the fishing village of Picinguaba, Ubatuba-SP. The computer vision algorithm selected was Structure from Motion (SfM), which works from a collection of overlaid images captured by Drones. The positional quality of the data was checked using topographic instrumentation (total station and GNSS).

Key words — Solar roof, photogrammetry, photovoltaic energy.

1. INTRODUÇÃO

A conversão da matriz elétrica mundial para fontes renováveis tem se destacado nas últimas décadas como uma saída segura para que nações passem a depender menos de combustíveis fósseis e usinas termoeletricas. Apesar do Brasil possuir 62% da sua matriz no modal hidroelettrico, recentes variações no balanço hídrico colocaram em xeque a capacidade das concessionárias distribuírem energia, que acarretou num acréscimo de tarifas no consumo, com as Bandeiras Tarifárias [1, 2, 3].

Neste contexto, a luz do sol tem se destacado como uma alternativa limpa e gratuita de energia. Estudos que utilizam metodologias de modelagem tridimensional computacional associadas a cálculos de irradiância solar nos sistemas de informações geográficas (SIG) estão em destaque na última década, principalmente subsidiados por aerofotogrametria a laser - *Light Detection and Ranging (LiDAR)* [4, 5]. Cidades como o Rio de Janeiro, Sydney e Melbourne desenvolveram atlas solares das áreas urbanizadas com o potencial fotovoltaico individualizado de cada edificação [6, 7]. Todavia, obter dados de irradiância a partir de maquetes tridimensionais detalhadas auxilia no dimensionamento das usinas solares microgeradoras. Nestes níveis mais detalhados de escala, é possível destacar nos cálculos a interferência de obstáculos vizinhos, como sombreamento de árvores, edificações e demais objetos contidos no espaço urbano [8].

Apesar dos avanços no emprego das técnicas de modelagem solarimétrica, observa-se entraves, principalmente em função do elevado custo de obtenção das informações tridimensionais subsidiadas pelo LiDAR, que inviabiliza a reprodução destes mapeamentos. Uma alternativa aderente ao propósito é a utilização do algoritmo *Structure from Motion (SfM)*, que combinado ao uso de Drones chega a equivaler a 1,45% do custo das aeronaves tripuladas com sensores LiDAR embarcados [9]. O algoritmo baseado em visão computacional modela objetos e cenários em três dimensões, a partir da detecção do posicionamento de pontos homólogos, em um conjunto de fotos que possuam sobreposição. Com o vertiginoso desenvolvimento da indústria da fotografia, computação e eletrônica observada nos últimos anos, os Drones passaram a figurar um papel de destaque nestas aplicações [10].

O presente estudo propõe a aplicação do modelo (*SfM*) na concepção de um atlas solar, e elegeu como campo de testes a vila de pescadores Picinguaba, no município de Ubatuba-SP. Com uma população estimada em 800 habitantes, a vila está inserida na unidade de conservação estadual Serra do Mar, bioma Mata Atlântica, com rígidas restrições de uso e ocupação do solo. Estas características inviabilizam a instalação de parques eólicos ou fazendas solares, restando aos telhados das edificações uma fonte alternativa de geração de energia.

Com isso, serão checadas a qualidade posicional do modelo tridimensional gerado por fotogrametria (*Mesh*), a influência dos obstáculos e o potencial individual de cada edificação, no intuito de verificar se a tecnologia de baixo custo pode substituir a subsidiada por LiDAR.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu em três etapas. Na primeira, foi definida a área de recobrimento do voo em Picinguaba, que totalizou 40 hectares. Nela, foram sinalizados 18 pontos de controle em solo, distribuídos homogeneamente ao longo da geometria da poligonal. Dentre eles, cinco pontos de apoio suplementar foram designados para a checagem da qualidade posicional do bloco aerofotogramétrico.

Para coleta das coordenadas precisas, foi utilizado um receptor GNSS Topcon Hiper SR dupla frequência (L1 e L2) com acurácia horizontal de 3mm + 0.5 pmm e vertical de 5mm + 0.5 pmm. O método utilizado foi o Pós Processado, no software Topcon Tools 8.2.3. A referência utilizada para processamento dos pontos foi obtida na estação UBA1, código 99550, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). O resultado dos pontos foi um desvio padrão médio de todas as observações em 0,004 m para as coordenadas X e Y e 0,006 m para Z.

Em seguida, foi instalada em um ponto elevado da vila uma estação total modelo Topcon GM-105, com acurácia de 2.0mm+2ppm, capaz de realizar leitura de pontos sem a necessidade de prismas, a partir de pulsos de laser. Foi utilizada a técnica de irradiação em uma única instalação, que permitiu identificar 39 quinas de telhados. Devido ao longo alcance do sensor laser da estação, foi possível identificar alvos com distâncias superiores a 300 metros.



Figura 1. Estação instalada para leitura das quinas de telhados

Após a coleta dos pontos, foi realizado um voo para a obtenção das fotos aéreas com o equipamento DJI Phantom 4 PRO, que possui câmera RGB com resolução de 5472 x 3638 pixels (20 Mpx) e distância focal de 8 mm, que garantiu um *Ground Sample Distance* (GSD) de 2,5 cm à uma altura de 110 metros em relação ao ponto de decolagem. Foi utilizado o aplicativo Drone Deploy, para execução do voo de forma autônoma. As sobreposições de imagens laterais foram de 70% e longitudinais de 70%, na posição nadiral, ou seja, a câmera opera no ângulo de 90° em relação ao solo. Um total de 970 arquivos foram capturados. Estas imagens foram processadas no software Agisoft Metashape Professional 1.7, que gerou ortofotos e malhas tridimensionais do terreno georeferenciadas a partir dos pontos coletados em campo.

A segunda etapa consistiu no tratamento dos dados em SIG. Na ortofoto gerada, realizou-se a vetorização de todas as 262 edificações da vila para o formato shapefile, no ArcGIS PRO 2.9. A partir deste dado foi possível comparar a acurácia posicional das quinas das geometrias restituídas na imagem com as registradas pela estação total, no software GeoPEC 3.0. No Modelo Digital de Superfície gerado a partir da *Mesh* (*SfM*), foram obtidas no ArcGIS PRO as operações *Slope*, que selecionou os telhados com melhor angulação (< 40°), *Aspect*, para exclusão dos telhados orientados para a porção sul e *Area Solar Radiation*, que calcula a irradiação por metro quadrado médio sobre um intervalo de tempo definido para o ano de 2021.

Por fim, a última etapa consistiu em publicar o resultado obtido em uma plataforma de mapas na *Web*, fornecida pela empresa ESRI, com acesso gratuito, contendo os valores médios de kW/h por metro quadrado para cada edificação ao longo dos meses do ano avaliado.

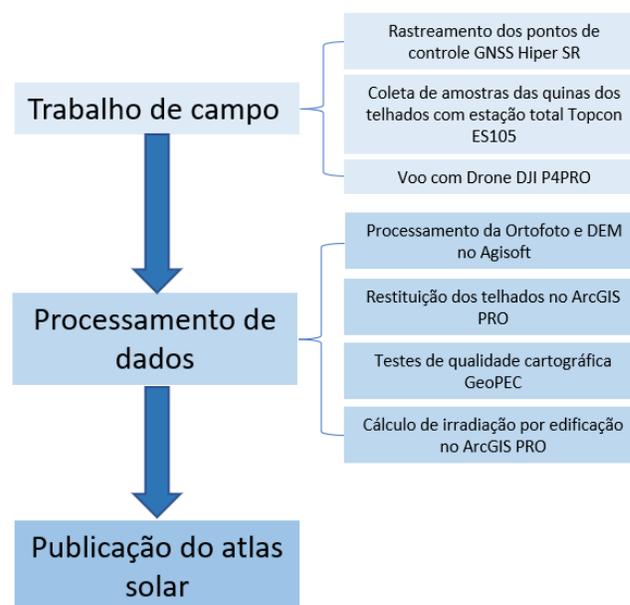


Figura 2. Fluxograma do trabalho

3. RESULTADOS

No que tange a verificação posicional da *Mesh* gerada no Agisoft, os 39 pontos coletados na estação total e os 5 coletados por GNSS foram submetidos à norma vigente no Brasil - decreto 89.817 e Especificações Técnicas de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais de 2016 (ET-CQDG) - da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

O resultado (Tabela 1) demonstrou que o bloco aerofotogramétrico apresentou parâmetros suficientes para PEC PCD Classe A (1:1.000), com Raiz do Erro Quadrático Médio (RMS) de 0,15m, ou seja, 0,02m abaixo do limite máximo exigido na norma, com isso, o estudo pôde prosseguir para a etapa de modelagem e publicação.

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
Nº de pontos	44	44	44
Média	-0,0156 m	0,013 m	0,1204 m
Desvio	0,1101 m	0,1091 m	0,0981 m
Variância	0,012 m	0,012 m	0,010 m
RMS	0,1099 m	0,1087 m	0,1546 m
Máximo	0,2372 m	0,344 m	0,3806 m
Mínimo	-0,2907 m	-0,294 m	0 m
Curtose	3,826 m	5,084 m	2,519 m
Assimetria	0,168 m	0,279 m	0,855 m
Soma	0,521 m	0,512 m	0,414 m
Nº outliers	-	-	0

Tabela 1. Resumo do resultado posicional dos pontos de checagem no GeoPEC.

Link do serviço web do atlas solar de Picinguaba:

<https://wkt.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?wkbmap=8e6e4f63e0dc477bba83ca1f0804d6a7>

4. DISCUSSÃO

O desempenho individual em kWh/m² de cada edificação representada na matriz de irradiação identificou uma grande heterogeneidade (Figura 3). Isso se deve a: 1) razões de engenharia, pela concepção do projeto do telhado, com poucas faces orientadas para a porção sul; 2) pelo tamanho da área disponível, que tem estrita relação com a energia gerada (Figura 4); 3) pela existência de obstáculos, como a copa das árvores e edificações vizinhas, que ocasionam sombreamento nas superfícies.

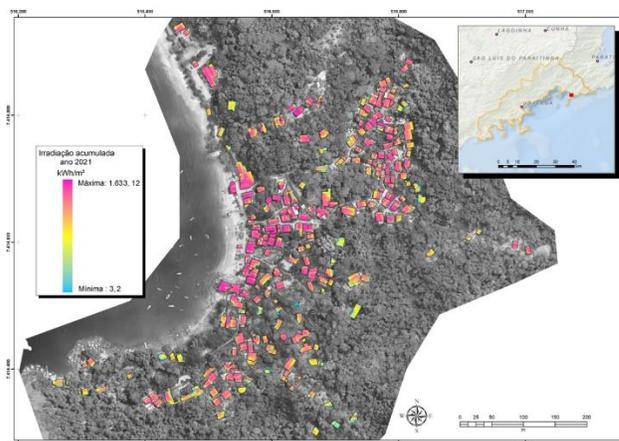


Figura 3. Mapa de irradiação acumulada no ano de 2021 na área de estudo.

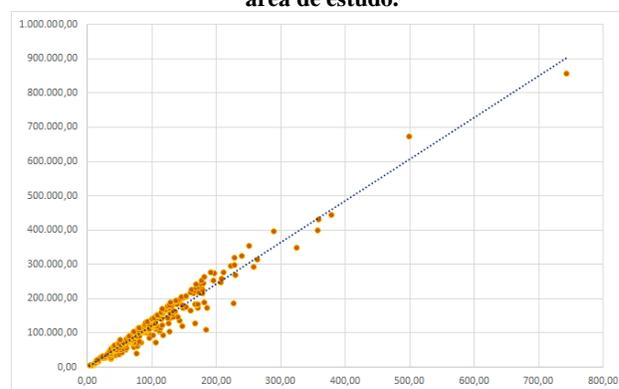


Figura 4. Correlação entre tamanho da área do telhado em m² (X) e kWh produzidos no ano de 2021 (Y).

De toda forma, foi possível quantificar que todos os telhados da vila - 25.364 m² - seriam capazes de gerar um montante de 4.749kWp, caso utilizassem um módulo monocristalino padrão disponível no mercado. Segundo dados de consumo energético do Governo do Estado de São Paulo [11], este desempenho seria três vezes superior ao consumo da vila.

O custo de instalação das usinas estaria diretamente relacionado à quantidade de horas de sol pleno (HSP) que cada edificação obtivesse ao longo do ano. Quanto menor a quantidade de horas irradiadas de sol na superfície, maior a necessidade de módulos fotovoltaicos. O atlas é útil para informar ao cidadão a quantidade estimada do seu sistema, baseada no desempenho do telhado. Também foi possível observar a variação do montante de kWh irradiado conforme a estação do ano (Figura 5). Uma vez que o inverno nas regiões tropicais possui dias com menos tempo de insolação, faz-se necessário ter o conhecimento das limitações geográficas e astronômicas do sistema.

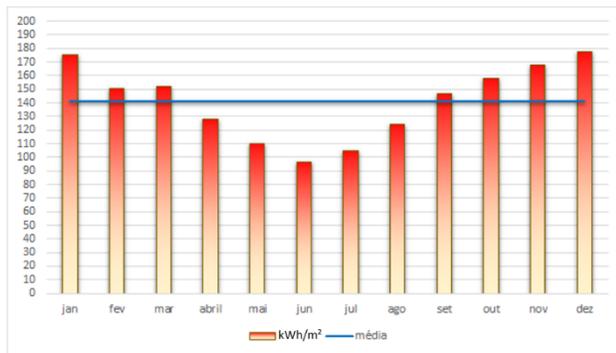


Figura 5. Irradiação mensal de 2020 em Picinguaba (kWh/m²).

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que, quando associado a técnicas de cartografia de precisão, os blocos aerofotogramétricos oriundos do *SfM* podem cumprir um papel análogo às maquetes digitais fornecidas por *LiDAR* na modelagem solarimétrica dos telhados. Com isso, os resultados aqui apresentados poderão balizar a aplicação da técnica em novas áreas e, com ela, promover alternativas de conversão energética. Um grande limitador, no entanto, é a capacidade de recobrimento aéreo dos *drones*, que ainda depende de evoluções tecnológicas consideráveis no que tange sua autonomia de voo. De toda forma, pequenas comunidades ou bairros poderão se beneficiar da metodologia aqui proposta e atuar

em consonância com o sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. O estudo reforça também a importância de aplicações de simulações e modelagens em ambientes SIG, que auxiliam na tomada de decisões de demandas multidisciplinares da sociedade.

6. REFÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA, 2020.
- [2] C. A. S. Coelho, D. H. F. Cardoso, M. A. E. A. Firpo. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, p. (769-784), 2016.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa ANEEL Nº 547 DE 16/04/2013 - Estabelecer os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias, Brasília, 2013.
- [4] T. N. C. Vries, J. Bronkhost, M. Vermeer, K. C. B. Donker, S.A. Briels, H.Ziar, M. Zeman, O. Isabella. A quick-scan method to assess photovoltaic rooftop potential based on aerial imagery and LiDAR. *Solar Energy*, 2020.

[5] I. Prieto, J.L. Izgara, E. Usobiaga. The Application of LiDAR Data for the Solar Potential Analysis Based on Urban 3D Model, *Remote Sensing*, 2019.

[6] Australian Renewable Energy Agency. SunSpot. Austrália, 2020. Disponível em: <https://pv-map.apvi.org.au/sunspot/map#/>

[7] Empresa de Pesquisa Energética – Mapa Solar do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=029ccb875ca24c209a8572e70a4b6b19>

[8] G. G. Franco e R. L. Pinheiro. Estudo comparativo das estimativas de energia fotovoltaica gerada sobre superfícies tridimensionais em ambiente SIG e das informadas pela plataforma Sundata. *Brazilian Journal of Development*, v.6, nº12, 2020.

[9] G. G. Franco, A.F.Naime. Structure From Motion (SfM) – Uma Breve Revisão Histórica, Aplicações nas Geociências e Perspectivas Futuras. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, v.44, 2021.

[10] J. Iglhaut, C. Cabo, S. Puluti, L. Piermattei, J. O'Connor J. Rosette. Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. *Current Forestry Reports*, v.5, 2019.

[11] Governo do Estado de São Paulo. Anuário de Energéticos por Municípios do Estado de São Paulo. Ano base 2021, 2021 Disponível em: https://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf