

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MOSAICOS FOTOGRAMÉTRICOS COM IMAGENS TERMAIS PARA INSPEÇÃO DE PAINÉIS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

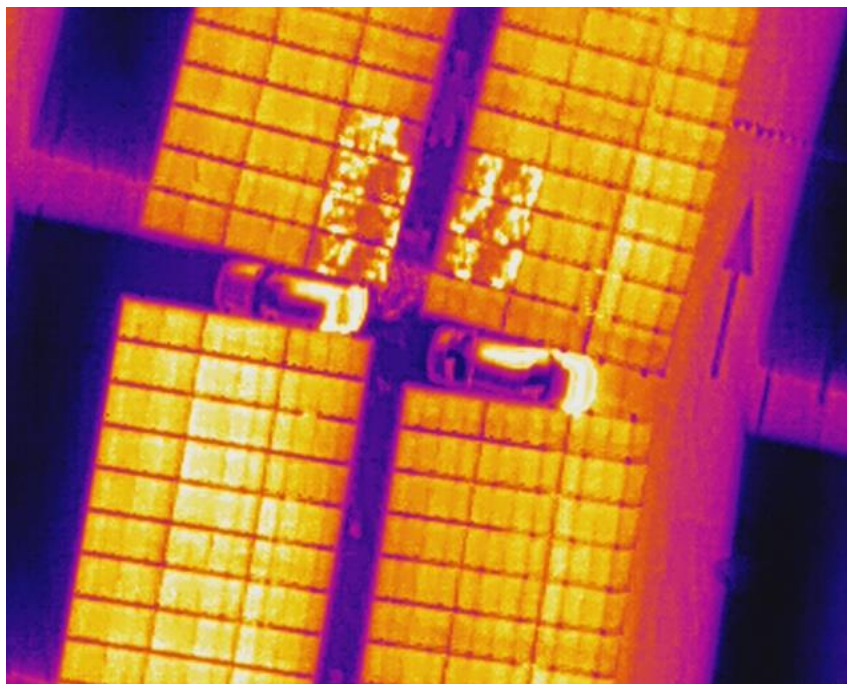
CHRISTOPHER PINHEIRO DOBB¹
LUCIENE STAMATO DELAZARI¹
LEONARDO ERCOLIN FILHO¹

¹Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação (CEPAG) – Universidade Federal do Paraná – {christopher.dobb; luciene; leonardo.ercolin}@ufpr.br

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia limpa e renovável que utiliza a radiação solar para gerar eletricidade. Esse processo se baseia no chamado efeito fotoelétrico, pois o material utilizado nos painéis solares é capaz de absorver fótons e liberar elétrons, resultando na geração de corrente elétrica. Segundo o Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/>), o Brasil está entre os 10 países que mais utilizam a energia solar, representando 16,3% de toda a matriz elétrica nacional, sendo a segunda maior fonte do país, ficando atrás apenas da energia hídrica. O uso da energia solar residencial é responsável por 78,9% do montante, seguido de 10,7% por empresas de comércio e serviços e 8,5% pelo setor rural. Nos últimos anos, o número de sistemas fotovoltaicos instalados no território brasileiro tem crescido consideravelmente, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. Para se obter eficiência na geração de energia solar fotovoltaica, a inspeção e manutenção periódica dos painéis através da visita de técnicos em campo é um procedimento indispensável. Entretanto, além da inspeção visual *in loco*, algumas empresas utilizam imagens adquiridas por drones equipados com sensores duais que capturam imagens no espectro visível e infravermelho termal (RGBIT). Durante as etapas de inspeção, as imagens adquiridas no espectro visível (RGB) permitem analisar o estado de conservação dos painéis sem a necessidade de visita no local, entretanto, a identificação de falhas no funcionamento é feita com o auxílio de imagens termais, como apresentadas na Figura 1. De acordo com a [1] NBR 16274:2014, a finalidade de uma inspeção com câmera infravermelha (IR) é detectar variações de temperatura anormais em módulos nas operações de vistoria em campo. Tais variações de temperatura podem indicar problemas dentro dos módulos e/ou de arranjos fotovoltaicos, como células reversamente polarizadas, falha do diodo de *by-pass*, falha de conexões com solda, conexões ruins e outras condições que levam a altas temperaturas localizadas durante a operação. Além de fazer parte de um processo de verificação inicial ou periódico, um ensaio com câmera IR também pode ser usado para solucionar supostos problemas em módulos, séries fotovoltaicas ou arranjos fotovoltaicos. Neste contexto, a utilização de mosaicos fotogramétricos durante a fase de inspeção permite visualizar todos os painéis, além de estabelecer informações georreferenciadas de cada objeto. O processamento fotogramétrico para a geração de mosaicos com imagens RGB é um procedimento comum que utiliza conceitos de fotogrametria e visão computacional. No entanto, devido à significativa baixa resolução espacial das imagens termais, os algoritmos de processamento fotogramétrico como o SfM (*Structure from Motion*) tem seu desempenho comprometido ao extrair feições e realizar as etapas decorrentes até a geração de mosaicos [2]. Para contornar essa limitação, neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia utilizando o conceito VCLPY (*C++ Visual Component Library and Python*) que permite gerar de forma automática mosaicos fotogramétricos com imagens termais adquiridas com sensores RGBIT. Especificamente para este projeto, foi utilizado o sensor Zenmuse XT2 instalado em um drone DJI Matrice 210 RTK v2 (Figura 2) o qual sobrevoou a usina de painéis fotovoltaicos localizada no estacionamento do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná. A metodologia utiliza conceitos clássicos da Fotogrametria Digital para projetar pixels do espaço tridimensional (X,Y,Z) para o espaço bidimensional (x,y) em imagens sintéticas RGB e, em seguida, correlacionar com as imagens infravermelho termais (IT). Neste trabalho, o termo “imagens sintéticas” é usado para descrever imagens corrigidas do modelo clássico de Conrady-Brown [3] de distorção do sistema de lentes, ou seja: ponto principal (cx,cy), distorção radial simétrica (k1,k2,k3) e distorção descentrada (p1,p2). A primeira etapa da metodologia consistiu na determinação dos parâmetros de transformação geométrica entre as imagens sintéticas RGB e as imagens IT por meio da coleta de pontos de detalhe comuns entre os

pares de imagens RGBIT com um programa desenvolvido em Python. A determinação e verificação da acurácia dessa transformação foi feita gerando a sobreposição das imagens IT transformadas nas suas respectivas imagens homólogas RGB, como demonstrado na Figura 3, bem como a representação gráfica de deslocamento dos pixels da imagem IT em relação à imagem RGB como representado na Figura 4. O Erro Médio Quadrático (EMQ) em pixels obtido na transformação entre as imagens IT e RGB foi de 0,79 e 0,89 respectivamente para coluna e linha. Na etapa seguinte, a projeção de coordenadas tridimensionais do espaço objeto para pixels no espaço bidimensional das imagens RGB foi feita utilizando um modelo digital de elevação (DEM) e as equações de colinearidade, tendo como parâmetros de posição e orientação ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) os valores determinados na fototriangulação do conjunto dessas imagens [4]. O resultado desse processamento corresponde a um ortomosaico de imagens RGB como apresentado na Figura 5. Na terceira e última etapa, a partir dos pixels obtidos na imagem sintética RGB, aplicou-se a transformação geométrica obtida na primeira etapa para determinar os valores de cada pixel correspondentes nas imagens IT. Ao final do processo, foi possível gerar um mosaico com informações infravermelho termais e características fotogramétricas idênticas ao mosaico original obtido com imagens RGB, tornando possível a exposição de placas solares danificadas dentre todo o conjunto (Figura 6). Além do arcabouço matemático desenvolvido, o grande diferencial da metodologia está na combinação de algoritmos que manipulam grandes volumes de dados com recursos de multiprocessamento (*Python NumPy & Thread-based parallelism*), o que permite reduzir significativamente o tempo de processamento.

Figura 1 – Exemplo de imagem termal que expõe falhas no funcionamento decorrente de placas fotovoltaicas danificadas.



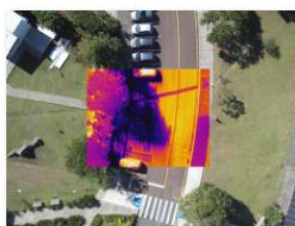
Fonte: Autores (2024).

Figura 2 – Drone modelo Matrice 210 RTK v2 equipado com sensor RGBIT modelo Zenmuse XT2.

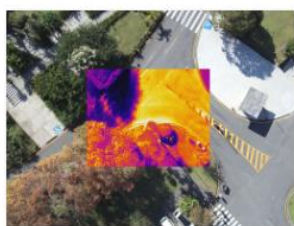


Fonte: <https://www.heliguy.com>.

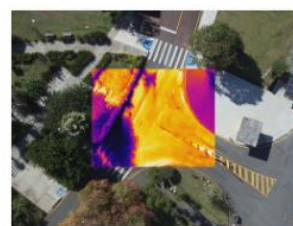
Figura 3 – Resultado do registro automático de imagens RGB e IT.



DJI_0053_R+DJI_0054.tif



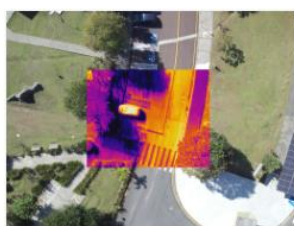
DJI_0045_R+DJI_0046.tif



DJI_0047_R+DJI_0048.tif



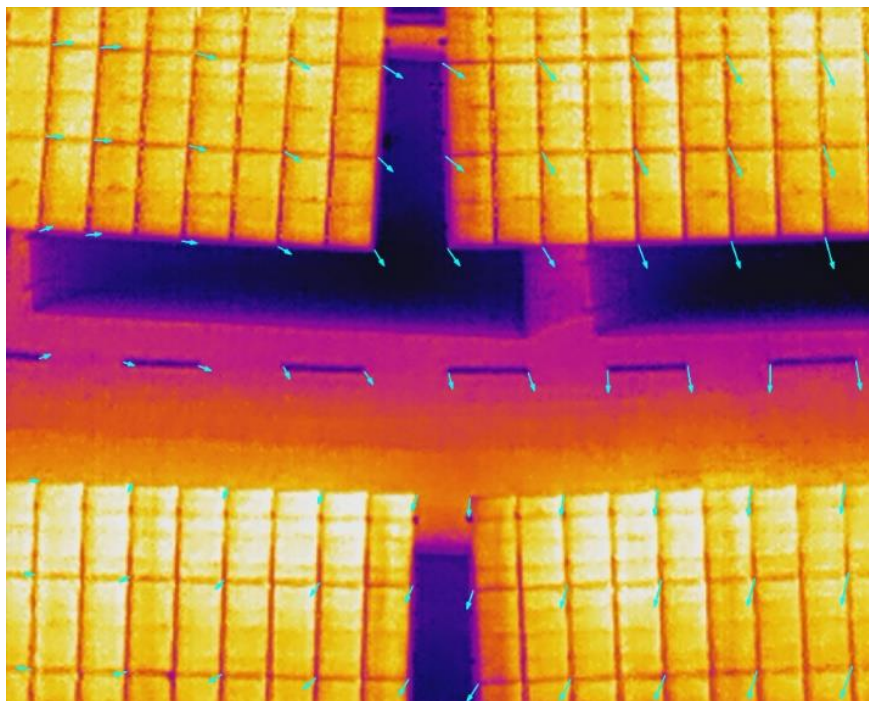
DJI_0049_R+DJI_0050.tif



DJI_0051_R+DJI_0052.tif

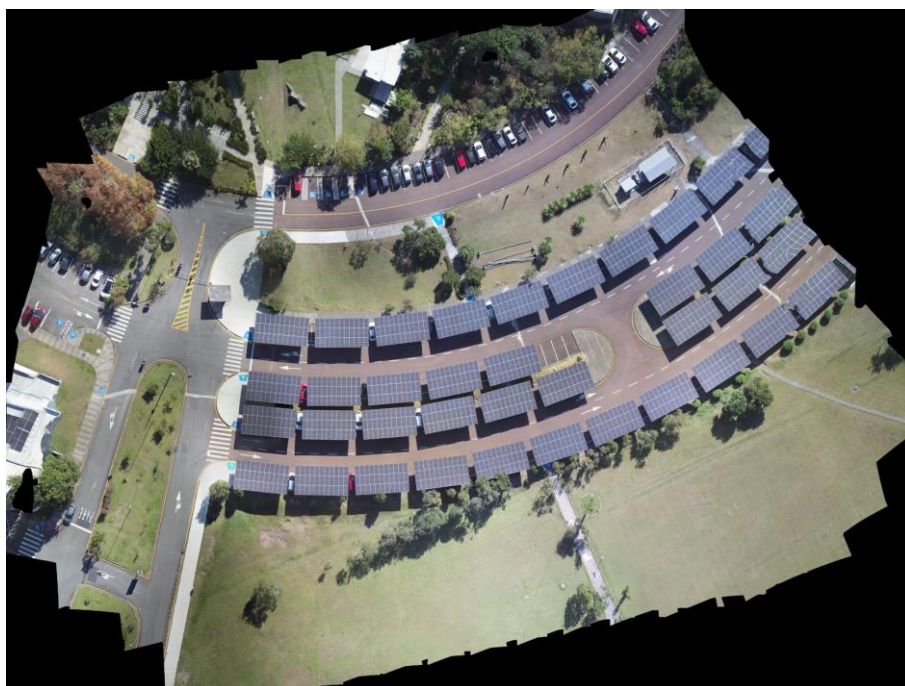
Fonte: Autores (2024).

Figura 4 – Representação do deslocamento de pixels da transformação das imagens termais por meio de vetores (ciano)



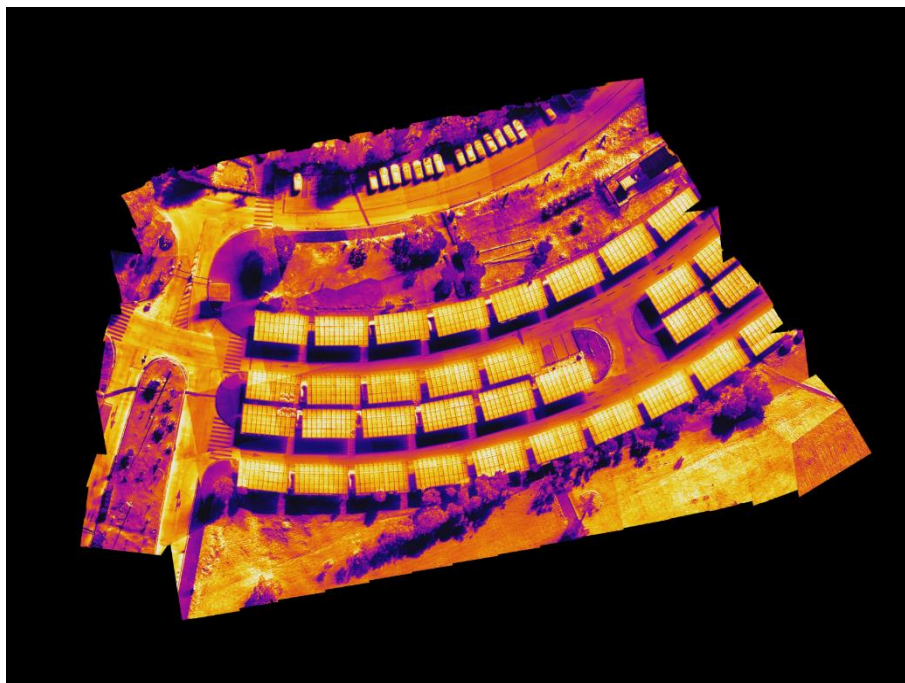
Fonte: Autores (2024).

Figura 5 – Resultado da geração do mosaico fotogramétrico na banda visível (RGB).



Fonte: Autores (2024).

Figura 6 – Resultado da geração do mosaico fotogramétrico na banda infravermelho termal.



Fonte: Autores (2024).

Palavras-chaves: Fotogrametria; Imagens Termais; Inspeção; Painéis Solares

Referências:

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] YANG, Yichen; LEE, Xuhui. Four-band thermal mosaicking: A new method to process infrared thermal imagery of urban landscapes from UAV flights. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, p. 1365, 2019.
- [3] BROWN, Duane C. Advanced methods for the calibration of metric cameras. In: **ISPRS Symposium on Computational Photogrammetry**, Syracuse University. 1969.
- [4] MIKHAIL, Edward M.; BETHEL, James S.; MCGLONE, J. Chris. **Introduction to modern photogrammetry**. John Wiley & Sons, 2001.