



INSPEÇÃO INTELIGENTE DE PASSAGENS EM NÍVEL: INTEGRAÇÃO DE RPA E ALGORITMOS DE SIG

MAL Rosario¹; RL Peixoto²; RS Nogueira³

¹MRS Logística — Brasil

²Diefra Engenharia — Brasil

³MRS Logística — Brasil

RESUMO

Este artigo propõe e avalia uma metodologia sistematizada para a inspeção e diagnóstico geométrico de Passagens em Nível (PN) ferroviárias, fundamentada na integração de levantamentos por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) de alta performance e algoritmos de processamento automatizado em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O estudo visa solucionar a morosidade e a variabilidade analítica dos métodos convencionais, focando na extração precisa de parâmetros críticos como gradientes longitudinais e larguras de pista, em estrita observância à norma ABNT NBR 15942 e à ISF-221 do DNIT. A abordagem utiliza o sistema DJI Matrice 350 RTK com sensor Zenmuse P1 para aquisição de dados com *Ground Sampling Distance* (GSD) inferior a 1,25 cm, seguidos pelo processamento fotogramétrico para a geração de Modelos Digitais de Superfície (MDS/DSM) de alta resolução. Além da análise altimétrica, a metodologia permite a extração de indicadores fundamentais para a gestão de manutenção, incluindo a avaliação da visibilidade nos triângulos de aproximação, diagnóstico da condição do pavimento asfáltico, verificação da existência de contratrilhos e mensuração da área superficial da PN. O levantamento possibilita ainda o mapeamento do número de vias urbanas direcionadas à travessia, fornecendo um diagnóstico multidimensional do ativo. A etapa analítica é conduzida via script Python (PyQGIS), que executa a interpolação geométrica de eixos e a amostragem automatizada de cotas. Resultados demonstram que a automação provê perfis fidedignos e relatórios padronizados, reduzindo significativamente o tempo de processamento e eliminando subjetividades inerentes à coleta manual, o que assegura a precisão necessária para auditorias de segurança e planejamento de intervenções preventivas.

Palavras-chave: *Passagem em nível, Aerofotogrametria, QGIS, Automação, Engenharia ferroviária, Manutenção de ativos.*

1. INTRODUÇÃO

A interface entre os modais rodoviário e ferroviário, denominada Passagem em Nível (PN), constitui um dos elementos mais críticos e sensíveis da gestão de infraestrutura de transportes. A manutenção da segurança operacional nestes pontos de interseção depende diretamente da estrita conformidade geométrica e do estado de conservação dos acessos rodoferroviários. Segundo a norma NBR 15942 (ABNT, 2011), a via férrea em travessias deve apresentar continuidade rigorosa na superfície de rolamento e rampas de transição projetadas com gradientes que mitiguem o risco de "encalhe" (suspensão do chassi) de veículos de carga com grande distância entre eixos.

Sob a ótica da manutenção e da segurança viária, a ISF-221 (DNIT, 2015) e a NBR 15680 (ABNT, 2009) estabelecem parâmetros essenciais que devem ser monitorados



sistematicamente, tais como a integridade do pavimento asfáltico cujas patologias podem alterar o perfil de rampa projetado, a presença e o desimpedimento de contratrilhos para a livre passagem dos frisos das rodas, e a manutenção dos triângulos de visibilidade. A desconformidade desses indicadores não apenas compromete a integridade dos ativos, mas eleva exponencialmente o potencial de abalroamentos e descarrilamentos.

Neste cenário, a utilização de drones para o levantamento de dados topográficos representa um avanço disruptivo em termos de produtividade e segurança do trabalho. Diferente dos métodos convencionais de topografia, a aerofotogrametria elimina a necessidade de exposição de técnicos ao risco de atropelamento, visto que não demanda a presença de profissionais no leito da via ferroviária ou no eixo rodoviário. Adicionalmente, a tecnologia permite a aquisição de dados de alta densidade sem a necessidade de interdições de tráfego ou "janelas operacionais", garantindo a circulação ininterrupta de trens e veículos. O presente artigo objetiva demonstrar como a automação via PyQGIS aliada à aerofotogrametria permite transformar esses dados brutos em um diagnóstico normativo ágil, preciso e auditável, focado na gestão estratégica da manutenção ferroviária.

2. DESENVOLVIMENTO

A metodologia baseia-se na integração de hardware de alta precisão e automação de dados. A etapa inicial consiste na coleta de imagens via aerofotogrametria utilizando o drone DJI Matrice 350 RTK com a câmera Zenmuse P1 de 35 mm (DJI, 2023). Este conjunto permite a captura de fotografias de 45 MP com precisão centimétrica, garantindo a resolução necessária para a identificação de componentes da via. O processamento dos dados é realizado no software Pix4Dmapper (PIX4D, 2024), que utiliza algoritmos de fotogrametria para alinhar as imagens e gerar Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortofotomosaicos métricos.

A fase de análise ocorre no software QGIS, onde a biblioteca PyQGIS é empregada para automatizar o cálculo de parâmetros geométricos por meio de scripts customizados em Python. Atualmente, itens qualitativos como a condição do pavimento asfáltico, a integridade dos contratrilhos e a desobstrução dos triângulos de visibilidade são avaliados por inspeção visual sobre os modelos gerados. Como etapa futura, o projeto prevê a implementação de algoritmos de visão computacional para automatizar essas classificações, eliminando a subjetividade da análise humana e padronizando o diagnóstico de manutenção das Passagens em Nível.

2.1. Aquisição de Dados em Campo

A etapa de aquisição de dados em campo é executada utilizando o sistema DJI Matrice 350 RTK, cuja tecnologia Real Time Kinematic (RTK) é fundamental para garantir o georreferenciamento direto de alta precisão e a correção de coordenadas em tempo real, minimizando a dependência de pontos de controle em solo, figura 1.

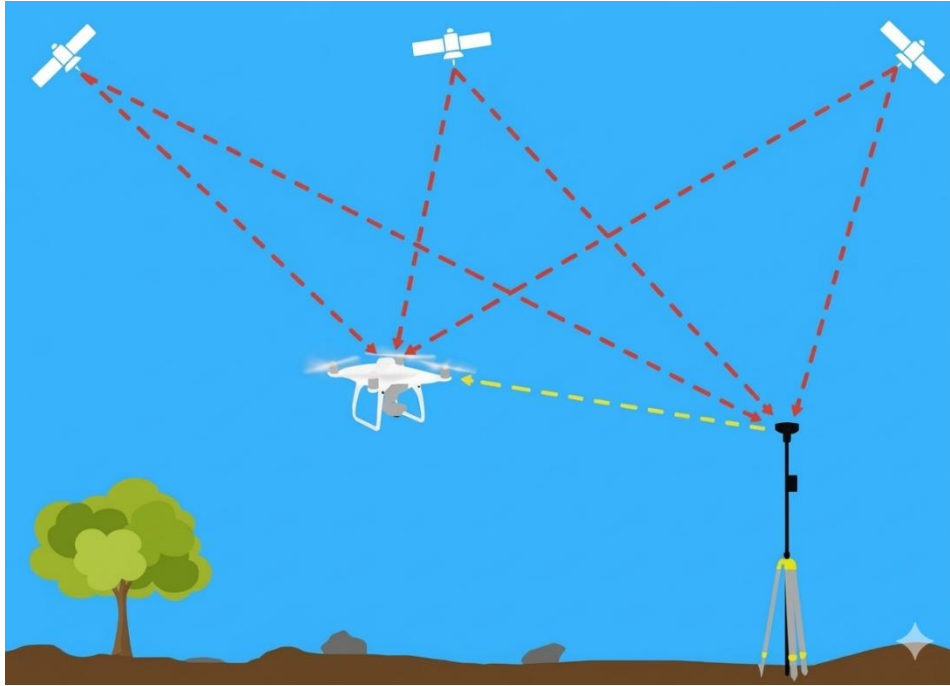


Figura 1. Esquema de utilização drone com RTK (Criada por IA)

Para assegurar a qualidade técnica dos produtos cartográficos, o planejamento de voo é balizado pelo rigoroso cálculo do Ground Sampling Distance (GSD), que define a resolução espacial da imagem. A relação entre a altitude de voo (H) e a resolução desejada é estabelecida pela equação (1).

$$GSD \left(\frac{cm}{px} \right) = \frac{Altura (m) * Tamanho do Pixel (\mu m)}{Distância Focal (mm) * 10} \quad (1)$$

Com base nas especificações da câmera Zenmuse P1 de 35 mm, determinou-se que um voo a aproximadamente 100 metros de altitude resulta em um GSD de cerca de 1 cm. É importante destacar que a qualidade do detalhamento é inversamente proporcional à altitude: quanto menor a altura de voo, menor será o valor do GSD e, consequentemente, maior será a nitidez e a densidade de informações extraídas para o diagnóstico da via. Para viabilizar a reconstrução fotogramétrica com sobreposições adequadas, foram configurados índices de 70% para sobreposição frontal e 80% para lateral, garantindo a coesão da nuvem de pontos e evitando lacunas na geração do modelo. A figura 2 destaca o conceito de sobreposição das imagens.

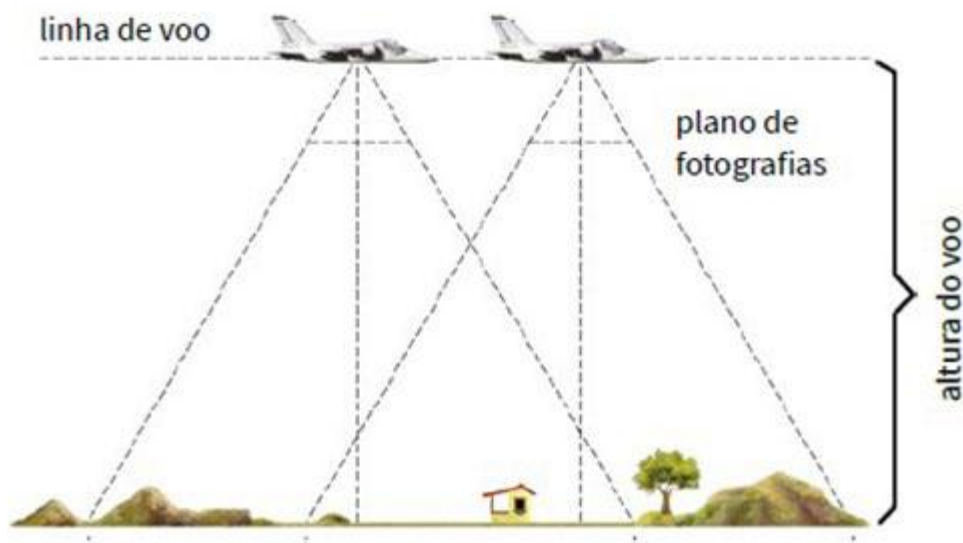


Figura 2. Conceito de aerofotogrametria (Atlas escola – IBGE)

A estratégia de coleta foi dividida em dois planos de voo complementares para atender às diferentes necessidades de manutenção. O primeiro consiste em um levantamento de área focado no entorno imediato da Passagem em Nível (PN), com um grid planejado de 80x80 metros que, devido à abertura angular do sensor na altitude estabelecida, cobre efetivamente uma área terrestre de 140x140 metros. Este plano visa o mapeamento exaustivo do pavimento e dos elementos fixos da PN. O segundo plano é um voo linear para cada lado do eixo da rodovia ao longo da diretriz ferroviária que se estende por 1.000 metros ou até a curva mais próxima. Esta extensão é crucial para a análise de visibilidade, permitindo avaliar se existem obstruções na linha de visada que possam comprometer a segurança de motoristas e maquinistas na aproximação da travessia, consolidando um banco de dados geoespacial completo e fidedigno para a gestão ferroviária.

2.2. Processamento Fotogramétrico (Pix4Dmapper)

O processamento das imagens brutas fundamentou-se no algoritmo Structure from Motion (SfM), técnica fotogramétrica que permite a reconstrução tridimensional da infraestrutura a partir da extração e correspondência de pontos homólogos em imagens sobrepostas (WESTOBY et al., 2012). Este fluxo de trabalho, executado no ecossistema Pix4Dmapper, permitiu a geração de ativos geoespaciais de alta precisão baseados em pilares técnicos fundamentais para a conformidade normativa (PIX4D, 2024).

A qualidade métrica dos produtos é condicionada pelo Ground Sample Distance (GSD), que define a distância real no terreno representada por cada pixel. No presente estudo, a GSD foi otimizada via planejamento de voo (altitude de 100m e sobreposição de 80/70%), resultando em uma resolução centimétrica (aprox. 1 cm/pixel). Este parâmetro é determinante para a acurácia dos modelos, permitindo a identificação de patologias milimétricas no pavimento e elementos da infraestrutura ferroviária, assegurando que o erro de amostragem atenda às tolerâncias exigidas pelos órgãos reguladores e pela ANTT (ANTT, 2015).



A base estrutural do projeto é a Nuvem de Pontos Densa, composta por milhões de pontos individualizados com coordenadas espaciais georreferenciadas e informações de reflectância (RGB). Após a filtragem para remoção de ruídos (como vegetação e veículos), este insumo derivou o Modelo Digital de Superfície (MDS) modelo numérico contínuo essencial para a automação da análise de rampas e a Malha Texturizada (Mesh), que provê uma representação fotorrealista da PN (WOLF; GHILANI, 2014). Complementarmente, gerou-se o Ortomosaico, produto bidimensional ortoretificado e livre de distorções de perspectiva, que permite medições diretas de áreas e distâncias com precisão centimétrica em ambiente SIG (ANDRADE, 2012).

O rigor técnico e a confiabilidade dos dados para fins de auditoria são assegurados pelo Quality Report do software. A validação estatística do processo é dada pelo Root Mean Square Error (RMSE) residual, que detalha a calibração da câmera e os erros de georreferenciamento. Conforme observado na reconstrução da nuvem de pontos e no alinhamento dos centros perspectivos das câmeras (Figura 3).

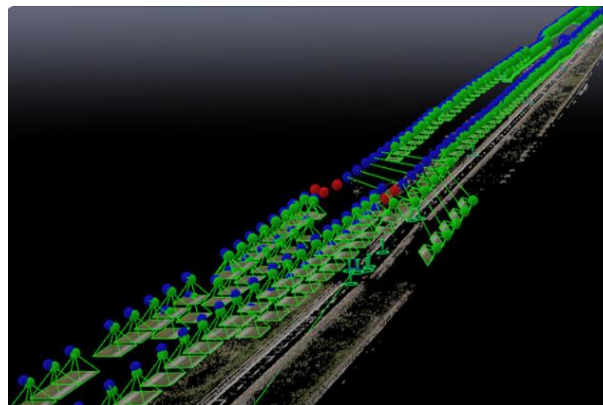


Figura 3. Geração da nuvem de pontos (Autoria própria, 2026)

Esse rigor garante que as métricas extraídas, como inclinações de rampa e gabaritos de via, sejam matematicamente consistentes, tecnicamente auditáveis e validadas pelo relatório de qualidade que atesta a precisão posicional dos sensores (Figura 4).

Quality Report	
Generated with Pix4Mapper version 4.8.4	
Important: Click on the different icons for: - Help to analyze the results in the Quality Report - Additional information about the sections	
Click here for additional tips to analyze the Quality Report	
Summary	
Project	R22 Main Rd & Bypass 2021_02_18
Processed	2021-02-22 15:58:00
Camera Model Name(s)	Anafi_4.0_4508x3456 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.82 cm / 1.11 in

Figura 4. Relatório de Qualidade (Autoria própria, 2026)

2.3. Metodologia de Automação das Análises (PyQGIS)

A etapa final da metodologia consiste na análise espacial dos dados processados, realizada no software QGIS (versão 3.x), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto amplamente consolidado na comunidade acadêmica e profissional (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024). O diferencial desta abordagem reside na utilização do Console Python e da biblioteca PyQGIS, que permitem a manipulação direta da API do software para automatizar tarefas repetitivas e cálculos geométricos complexos, reduzindo o erro humano e o tempo de entrega dos diagnósticos.

O algoritmo desenvolvido, estruturado em Programação Orientada a Objetos (POO), utiliza as classes do núcleo *qgis.core* para realizar a integração entre as camadas vetoriais (eixos da rodovia) e a camada raster (Modelo Digital de Superfície - MDS). A lógica de processamento foi desenhada para executar três funções principais:

- **Amostragem Altimétrica Automatizada:** O script utiliza o método *interpolate(d)* da classe *QgsGeometry* para percorrer os eixos vetorizados da pista a cada 1 metro linear. Para cada ponto gerado, o código acessa o valor de elevação (Z) diretamente do MDS através da função *sample()* do provedor de dados raster.
- **Cálculo de Gradientes (Rampas):** Com os valores de Z extraídos, o algoritmo calcula a inclinação percentual (i%) entre estacas consecutivas e a inclinação média do trecho, garantindo que o diagnóstico de rampa esteja em conformidade com os 30 metros de acesso exigidos pela ISF-221 (DNIT, 2015).
- **Geração de Produtos Derivados:** O código automatiza a exportação de uma planilha em formato CSV com o perfil detalhado e, simultaneamente, utiliza a classe *QgsPrintLayout* para gerar um relatório em PDF. Este relatório inclui uma planta topográfica da PN, um quadro de dados técnicos e um gráfico do perfil altimétrico gerado dinamicamente via *QgsLayoutItemPolyline*.

A inteligência do diagnóstico reside na integração entre a geometria vetorial e os dados matriciais. O fragmento de código abaixo (Figura 5) ilustra a lógica de extração altimétrica, onde o script interpola pontos ao longo do eixo da via e realiza a amostragem (*sampling*) diretamente no provedor de dados do MDS.

```
# Trecho principal da amostragem altimétrica via PyQGIS
for d in range(0, int(comp_processamento) + 1):
    # Interpola o ponto na distância 'd' ao longo da linha
    ponto_xy = geom.interpolate(d).asPoint()

    # Extrai o valor de Z (elevação) do raster (DSM) na posição XY
    val, ok = self.dsm.dataProvider().sample(QgsPointXY(ponto_xy), 1)

    z_atual = val if ok else 0
    # Cálculo da rampa percentual em relação ao ponto anterior
    rampa = (z_atual - z_anterior) * 100 if z_anterior is not None else 0
```

Figura 5. Fragmento do código para extração das cotas (Autoria própria, 2026)

A escolha do Python como linguagem de integração justifica-se por sua versatilidade e pela vasta disponibilidade de bibliotecas para análise de dados (GRONER, 2013). Atualmente, o script processa de forma objetiva os dados geométricos, enquanto análises qualitativas como a integridade de contratrilhos e triângulos de visibilidade permanecem sob inspeção visual no ambiente SIG. Contudo, a estrutura do código foi projetada de forma modular para que, em etapas futuras, novos pacotes de visão computacional e machine learning possam ser acoplados para a detecção automática de patologias asfálticas e obstruções de visibilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da integração entre aerofotogrametria e automação via PyQGIS para o diagnóstico de Passagens em Nível. Para validar a acurácia do método proposto, foi realizado um teste comparativo entre o levantamento realizado pelo sistema DJI Matrice 350 RTK e o método de topografia convencional, utilizando receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) em configuração Manual (Base e Rover), figura 6.

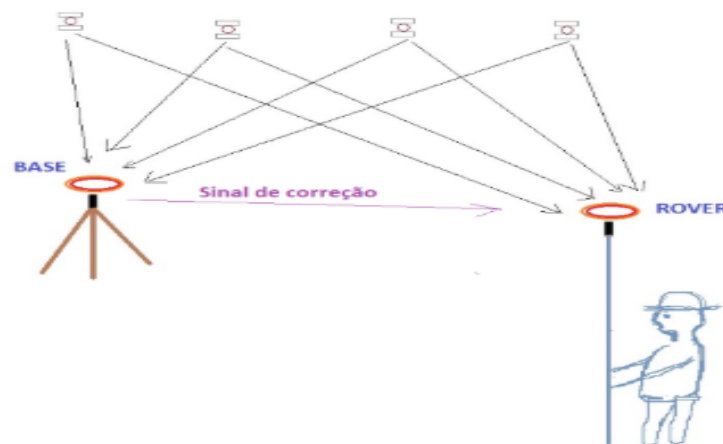


Figura 6. Levantamento com GNSS Manual (Autoria própria, 2024)

A análise estatística do perfil altimétrico extraídas de pontos de controle comuns em ambos os métodos revelou uma variação residual próxima de zero (figura 7), podendo ser considerada nula para fins de engenharia ferroviária. Esta paridade técnica assegura que a utilização de drones, além de mais célere, é um método de coleta de dados plenamente confiável e preciso, atendendo aos rigorosos requisitos de tolerância das normas técnicas.

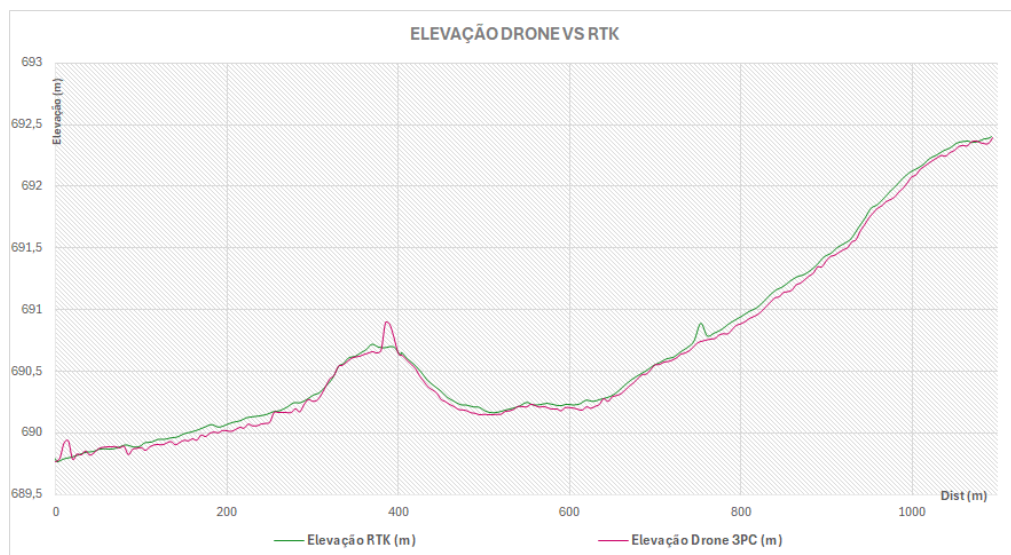


Figura 7. Comparativo perfil altimétrico (Autoria própria, 2024)

A utilização do script Python permitiu a geração imediata de perfis longitudinais e relatórios padronizados. Nos testes práticos, observou-se que a extração automatizada de dados removeu a subjetividade inerente à interpretação manual de curvas de nível, fornecendo gradientes de rampa com precisão de duas casas decimais. A visualização do Modelo Digital de Superfície (MDS) em ambiente SIG facilitou a identificação de pontos de acúmulo de água e deformações no pavimento asfáltico que não eram facilmente detectáveis em levantamentos por pontos esparsos da topografia convencional. Além da precisão, a agilidade no processamento de dados em lote permitiu uma redução estimada de 70% no tempo de entrega do diagnóstico final, comparado ao fluxo de trabalho manual.

Como resultado final da análise, é possível obter um relatório em CVS com os dados detalhado e um relatório objetivo em PDF com um gráfico do perfil altimétrico, projeção da passagem de nível e dados de rampa e largura do ativo, figura 8.

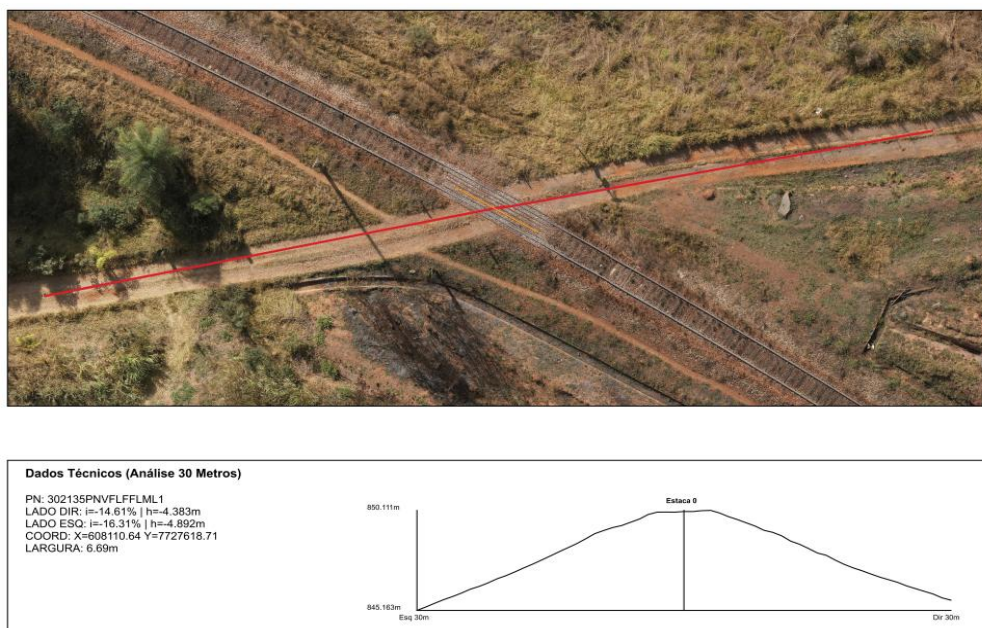


Figura 8. Projeção topográfica (Autoria própria, 2026)



Como próximos passos para o aprimoramento desta metodologia, o projeto prevê a integração de algoritmos de Visão Computacional e Deep Learning. O objetivo é automatizar as análises que atualmente dependem da interpretação visual do técnico, como a detecção de patologias e trincas no asfalto, a conferência da integridade dos contratrilhos e a medição do triângulo de visada. Com essa evolução, o sistema deixará de ser apenas uma ferramenta de auxílio topográfico para se tornar uma plataforma completa de monitoramento preditivo e gestão de manutenção, capaz de gerar alertas automáticos de segurança operacional baseados em imagens de alta resolução.

4. CONCLUSÃO

A implementação da metodologia baseada em levantamentos aerofotogramétricos com o sistema DJI Matrice 350 RTK, aliada à automação via PyQGIS, demonstrou ser uma solução disruptiva para o diagnóstico de Passagens em Nível. A transição para o uso de Modelos Digitais de Superfície (MDS) permitiu uma análise holística e multidimensional do ativo, superando as limitações da topografia convencional ao fornecer dados de alta densidade sem a necessidade de interdições operacionais ou exposição de técnicos a riscos de atropelamento.

A validação do método, comprovada pela variação nula nos testes comparativos com equipamentos GNSS de precisão, assegura a confiabilidade técnica necessária para auditorias normativas. A automação desenvolvida não apenas conferiu agilidade ao processo reduzindo drasticamente o tempo entre a coleta e a entrega do relatório, mas também eliminou a subjetividade humana na extração de parâmetros críticos de manutenção, como gradientes de rampa, integridade de contratrilhos e conformidade dos triângulos de visibilidade. Este método também possibilita o arquivamento dos dados digitais para utilizar na definição de ciclo de intervenção e investigação de acidentes.

Em suma, a capacidade de gerar diagnósticos precisos, padronizados e auditáveis transforma o levantamento aéreo em uma ferramenta estratégica para a gestão de ativos ferroviários. Conclui-se que o fluxo de trabalho proposto eleva o patamar de segurança na interface rodoferroviária e estabelece uma base sólida para a futura integração de algoritmos de visão computacional, consolidando a digitalização completa dos processos de inspeção.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa MRS Logística pelo incentivo para estudos e implementação de novas tecnologias, buscando confiabilidade e segurança.

6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. Fotogrametria. 2. ed. Curitiba: SBG, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15942: Engenharia ferroviária Passagem em nível Critérios de projeto e segurança. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15680: Engenharia ferroviária Passagem em nível Sinalização. Rio de Janeiro, 2009.



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Instrução de Serviço Ferroviário ISF-221: Projeto de Passagem em Nível. Brasília: DNIT, 2015.

DJI. Matrice 350 RTK User Manual. v1.0. Shenzhen: DJI Enterprise, 2023. Disponível em: <https://enterprise.dji.com/pt-br/matrice-350-rtk>. Acesso em: 22 mar. 2024.

GRONER, C. Learning PyQGIS. Birmingham: Packt Publishing, 2013.

PIX4D. Pix4Dmapper Getting Started Manual. Prilly: Pix4D S.A., 2024. Disponível em: <https://data.pix4d.com/>. Acesso em: 22 mar. 2024.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. QGIS Association, 2024. Disponível em: <https://www.qgis.org>. Acesso em: 22 mar. 2024.

WESTOBY, M. J. et al. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, v. 179, p. 300-314, 2012.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. 14. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014.



SMART INSPECTION OF LEVEL CROSSINGS: INTEGRATION OF RPA AND GIS ALGORITHMS

ABSTRACT

This article proposes and evaluates a systematized methodology for the geometric inspection and diagnosis of railway Level Crossings (LC), based on the integration of high-performance Remotely Piloted Aircraft (RPA) surveys and automated processing algorithms within a Geographic Information System (GIS) environment. The study aims to address the slowness and analytical variability of conventional methods, focusing on the precise extraction of critical parameters such as longitudinal gradients and road widths, in strict compliance with the ABNT NBR 15942 standard and DNIT's ISF-221. The approach utilizes the DJI Matrice 350 RTK system with a Zenmuse P1 sensor for data acquisition with a Ground Sampling Distance (GSD) of less than 1.25 cm, followed by photogrammetric processing to generate high-resolution Digital Surface Models (DSM). Beyond altimetric analysis, the methodology allows for the extraction of fundamental indicators for maintenance management, including visibility assessment in approach triangles, diagnosis of asphalt pavement conditions, verification of the existence of check rails, and measurement of the level crossing's surface area. The survey also enables the mapping of the number of urban roads directed toward the crossing, providing a multidimensional diagnosis of the asset. The analytical stage is conducted via a Python script (PyQGIS), which performs geometric axis interpolation and automated elevation sampling. Results demonstrate that automation provides reliable profiles and standardized reports, significantly reducing processing time and eliminating subjectivities inherent in manual collection, ensuring the precision required for safety audits and preventive intervention planning.

Keywords: *Level crossing, Photogrammetry, QGIS, Automation, Railway engineering, Asset maintenance.*