UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ELOISA DE SOUZA VILELA

AVALIAÇÃO DO USO DO MÉTODO AEROFOTOGRAMÉTRICO PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA.

Ilha Solteira – SP
2025

ELOISA DE SOUZA VILELA

AVALIAÇÃO DO USO DO MÉTODO AEROFOTOGRAMÉTRICO PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Artur Pantoja Marques

Ilha Solteira – SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

V699a

Vilela, Eloisa de Souza.
Avaliação do uso do método aerofotogramétrico para inspeção e monitoramento de via permanente ferroviária / Eloisa de Souza Vilela. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
63 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Artur Pantoja Marques

Inclui bibliografia

1. Drones. 2. Inspeção ferroviária. 3. Via permanente. 4. Manutenção ferroviária. 5. Insfraestrutura.

Elaborado por Raiane da Silva Santos - CRB: 8/9999

ELOISA DE SOUZA VILELA

AVALIAÇÃO DO USO DO MÉTODO AEROFOTOGRAMÉTRICO PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO DE VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira.

Aprovada em: 17/02/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP - Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira (Orientador)

Prof. Dr. Marco Antonio de Morais Alcantara
UNESP - Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira (Examinador)

Profa. Dra. Claudia Scoton Antonio Marques
UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora)

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, por toda força e apoio incondicionais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos, pela minha vida e pela força para superar cada obstáculo. Sou imensamente grata aos meus pais, pelo apoio incondicional em todas as minhas escolhas e desafios, e à minha irmã, por seu incentivo constante. Ao meu namorado, pelo amor e carinho essencial nesta jornada, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha caminhada.

Por fim, agradeço ao Professor Dr. Artur Pantoja Marques, pela orientação, dedicação e paciência, fundamentais para a conclusão deste trabalho. Também expresso minha gratidão aos colaboradores do Laboratório de Topografia, especialmente a Ronaldo Mendes do Amaral, pelo suporte e colaboração.

RESUMO

No Brasil, a expansão do setor ferroviário foi impulsionada, com urgência, pela economia cafeeira, o que resultou em uma malha desorganizada e de vida útil reduzida. Em poucos anos, grande parte da ferrovia encontrava-se sucateada, comprometendo sua operacionalidade. Com o crescimento da economia nacional, os investimentos em ferrovias foram retomados a fim de aprimorar a logística e transporte de cargas para exportação da produção brasileira. Diante disso, é necessário garantir a eficiente operacionalidade da malha e, nesse contexto, este trabalho analisa a aplicação da fotogrametria com drones na inspeção ferroviária, enfatizando sua eficiência e praticidade em comparação com as abordagens convencionais, que apresentam altos custos, longos períodos de execução e riscos operacionais. O trabalho incluiu a avaliação da viabilidade dessa tecnologia em um trecho específico da empresa Rumo Logística. Os resultados obtidos demonstram que a utilização de drones na inspeção ferroviária proporciona maior precisão na detecção de patologias, otimização do tempo e redução dos custos. Além disso, a tecnologia possibilita a criação de um histórico detalhado da ferrovia e a identificação antecipada de não conformidades, permitindo um planejamento mais eficiente dos reparos. No caso específico para inspeção ferroviária, a abordagem fotogramétrica mostrou ser viável para tornar o processo mais preciso. Sugere-se que novos trechos sejam avaliados, para que essa abordagem se torne um método efetivo.

Palavras-chave: drones; inspeção ferroviária; via permanente; manutenção ferroviária; infraestrutura.

ABSTRACT

In Brazil, the expansion of the railway sector was urgently driven by the coffee-based economy, resulting in a disorganized network with a limited lifespan. Within a few years, a significant portion of the railway system had deteriorated, compromising its operational efficiency. As the national economy grew, investments in railways were resumed to enhance logistics and cargo transportation for the export of Brazilian production. Given this scenario, ensuring the efficient operation of the railway network is essential. In this context, this study analyzes the application of drone-based photogrammetry for railway inspection, highlighting its efficiency and practicality compared to conventional methods, which involve high costs, long execution periods, and operational risks. The study assessed the feasibility of this technology on a specific railway section operated by Rumo Logística. The results indicate that using drones for railway inspection enhances the accuracy of defect detection, optimizes time, and reduces costs. Additionally, this technology enables the creation of a detailed railway history and the early identification of nonconformities, allowing for more efficient maintenance planning. Specifically for railway inspection, the photogrammetric approach has proven to be a viable method for increasing process accuracy. It is recommended that additional sections be evaluated to establish this approach as an effective inspection method.

Keywords: drones; railway inspection; track infrastructure; railway maintenance; infrastructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Seção transversal da plataforma ferroviária 12
Figura 2– Representação do perfil do trilho e bitola 13
Figura 3 – Ferrovia com dormentes de madeira. 15
Figura 4 – Ferrovia com dormentes de concreto - monobloco. 16
Figura 5 – Ferrovia com dormentes de aço. 18
Figura 6 – Peças utilizadas na fixação do trilho ao dormente 19
Figura 7 – Lastro ferroviário 20
Figura 8 – Desnível longitudinal 22
Figura 9 – Área 01 – Rubinéia, SP 26
Figura 10 – Área 02 - Santa Fé do Sul, SP 27
Figura 11 – Área 3 - Jales, SP 28
Figura 12 – Área de estudo 29
Figura 13 – Ponto de controle 30
Figura 14 – Voo do “Drone” 31
Figura 15 – Imagem capturada pelo Drone 33
Figura 16 – Ortofotomosaico (parte 1) 34
Figura 17 – Ortofotomosaico (parte 2) 35
Figura 18 – Ortofotomosaico (parte 3) 36
Figura 19 – Dormente em estado crítico 38
Figura 20 – Dormente em estado deteriorado 39
Figura 21 – Dormente com geometria reduzida 40
Figura 22 – Ausência de dormentes 41
Figura 23 – Dormentes fendilhados 42
Figura 24 – Ausência de fixadores 44
Figura 25 – Dormentes em estado de urgência 45
Figura 26 – Lastro degradado 46
Figura 27 – Vegetação no meio da via 47
Figura 28 – Vegetação elevada 48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1– Vantagens e desvantagens dos tipos de dormentes 14

Fluxograma 1 – Sequência de processamento do Agisoft Metashape 32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9

1.1. JUSTIFICATIVA 10

1.2. OBJETIVO PRINCIPAL 10

1.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 10

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11

2.1. MALHA FERROVIÁRIA 11

2.2. CONSTITUIÇÃO DA LINHA FERROVIÁRIA 12

2.2.1. Trilhos 13

2.2.2. Dormentes 13

2.2.3. Fixações 18

2.2.4. Lastro 19

2.2.5. Sublastro 20

2.3. PARÂMETROS GEOMÉTRICOS 20

2.3.1. Nivelamento 21

2.4. INSPEÇÃO DE VIA 22

2.5. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) 23

3. MATERIAIS E MÉTODOS 26

3.1. ÁREA DE ESTUDO 26

3.2. PLANEJAMENTO DO VOO 29

3.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS 33

4. RESULTADOS 37

5. DISCUSSÃO 50

6. CONCLUSÃO 52

REFERÊNCIAS 53

APÊNDICE A - ANÁLISE DAS ANOMALIAS DA VIA FÉRREA 55

ANEXO A – MAPA DE OPERAÇÕES DA RUMO 62

1. INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário foi introduzido no Brasil com o objetivo de impulsionar a economia do país, na segunda metade do século XIX, durante o ciclo do café. Para assegurar investimentos no setor, o governo criou a “Lei de Garantia de Juros”, que assegurava uma taxa de retorno de até 5% sobre o capital investido na construção de ferrovias e a isenção do imposto de importação para a aquisição de trilhos, equipamentos ferroviários e carvão destinados à construção das estradas de ferro (CNT, 2013).

No entanto, devido à urgência em estabelecer esse setor no país, o processo de implementação não foi planejado, resultando em uma malha ferroviária desorganizada. Assim, após 1945, a maioria das ferrovias no Brasil já se encontravam sucateadas, sem condições de oferecer um serviço eficiente para o transporte de cargas e passageiros. As dificuldades financeiras que o país enfrentava, aliadas à obsolescência de grande parte da infraestrutura ferroviária, fizeram com que a possibilidade de uma reestruturação eficaz do setor fosse ignorada.

Entretanto, após a crise econômica enfrentada pelo país, o setor ferroviário voltou a ser reconhecido como uma alternativa viável para o transporte eficiente de grandes volumes. Isso resultou no processo de privatização e concessão ferroviária, iniciado no começo dos anos 1990, marcando o início de um período de reforma e modernização do setor. O objetivo principal era superar as limitações estruturais anteriores, aumentando a eficiência, melhor qualidade nos serviços, conservação adequada, racionalização e expansão das linhas ferroviárias. Com os investimentos realizados pelas concessionárias, o modal ferroviário tornou-se referência em capacidade, produtividade e geração de empregos.

Devido à sua complexidade, evitar complicações se tornou essencial em um modal de tamanha proporção. Apesar da menor frequência de acidentes em relação a outros modais, suas consequências podem ser graves, incluindo danos ambientais, estruturais e até fatais. Um meio para mitigar esses riscos são as inspeções periódicas, fundamentais para a segurança e eficiência das ferrovias. Elas possibilitam a realização de manutenções preventivas e a detecção precoce de problemas estruturais, o que é essencial para evitar acidentes, interrupções nos serviços e danos à carga transportada.

Portanto, a realização de inspeções eficazes garante que as ferrovias permaneçam em condições adequadas de operação, aumentando a confiança no setor e a redução de custos operacionais a longo prazo, uma vez que elimina a necessidade de reparos emergenciais ou bloqueios de vias. Com ferrovias totalmente operacionais, torna-se viável atrair novos investimentos, visando à ampliação e modernização da malha ferroviária, de modo a atender às novas demandas do mercado.

1.1. Justificativa

Este trabalho busca evidenciar a ampla aplicação da fotogrametria com drones na inspeção ferroviária, destacando sua capacidade de tornar o monitoramento da infraestrutura mais ágil e, consequentemente, reduzir os custos de manutenções a longo prazo, tornando mais atrativo o investimento na modernização do setor.

O estudo se baseou na análise de trechos específicos da Rumo Logística, determinando locais estratégicos para aplicar o método de monitoramento, buscando expandir o conhecimento adquirido na graduação, aplicando toda a teoria de engenharia adquirida ao longo do curso.

1.2. Objetivo Principal

Considerando os modos atuais de inspeções ferroviárias, o objetivo principal desse trabalho é analisar a eficiência e viabilidade do uso da fotogrametria com drones na inspeção de ferrovias.

1.3. Objetivo Específico

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre via permanente, abordando todos os seus componentes e a importância de cada um na infraestrutura ferroviária.
- Investigar os princípios e aplicações da fotogrametria no contexto de inspeção ferroviária, com foco em drones como ferramenta de monitoramento.
- Estudar as normas e regulamentações vigentes relacionadas à manutenção e inspeção ferroviária no Brasil.
- Avaliar a viabilidade da fotogrametria com drones em um trecho ferroviário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Malha ferroviária

A ferrovia é um sistema de transporte terrestre autoguiado, em que veículos motorizados ou rebocados se movimentam sobre rodas metálicas que deslizam em trilhos, constituídos por vigas metálicas contínuas e paralelas (DNIT, 2018). Esse modal surgiu durante a Revolução Industrial na Inglaterra, com o objetivo de complementar o transporte hidroviário, especialmente para o deslocamento de carvão mineral das minas até as fundições. Sua criação foi impulsionada pela necessidade de superar barreiras naturais, como montanhas, que dificultavam o uso de outros meios de transporte.

Já no início do século XX, o volume transportado pelas malhas ferroviárias na Europa e na América do Norte atingiu grandes patamares, resultado das melhorias técnicas e da expansão das redes ferroviárias. Esse crescimento foi impulsionado pelo avanço na construção de locomotivas mais potentes, pelo aprimoramento dos trilhos e pela crescente integração entre cidades e regiões industriais. Além disso, as ferrovias desempenharam um papel crucial na movimentação de matérias-primas e produtos manufaturados, tendo uma contribuição significativa para o desenvolvimento econômico e a consolidação da infraestrutura de transporte dessas regiões.

O sucesso financeiro do setor ferroviário motivou a implementação de novos projetos em diversas regiões. No Brasil, durante o século XIX, a influência dos fazendeiros de café do Rio de Janeiro foi decisiva para pressionar o governo em busca de um sistema de transporte mais eficiente e moderno, para substituir as mulas. Além disso, exportadores e comerciantes de café também se beneficiaram com a modernização, já que o alto volume de produção atraiu investimentos estrangeiros e, consequentemente, a grande quantidade produzida criou condições para fomentar a economia local por meio da criação de novas empresas e oportunidades comerciais.

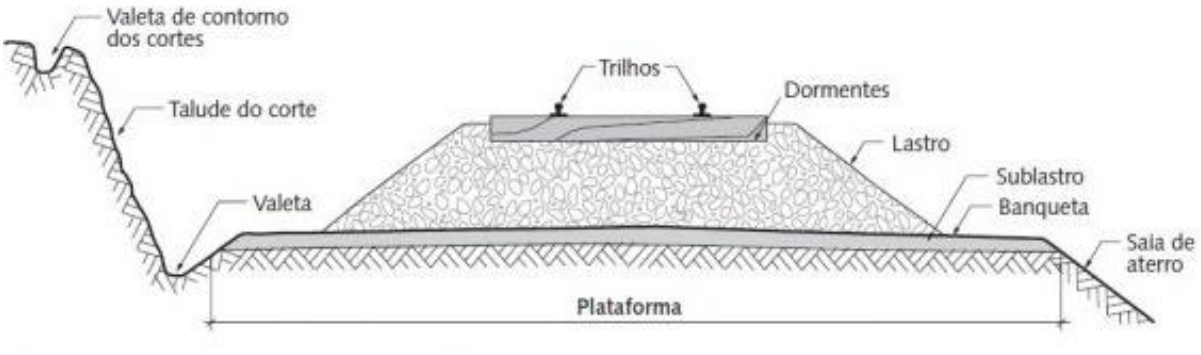
Segundo Lanna (2005), a primeira linha ferroviária foi inaugurada em 1854, a Estrada de Ferro Mauá, tinha 14,50 km de extensão e ligava o Porto Mauá, na Baía de Guanabara, a Fragoso, na Baixada Fluminense, no Rio de Janeiro. Em 1856, a estrada foi expandida de Fragoso até Raiz da Serra de Petrópolis, totalizando 16,32 km de extensão. A primeira locomotiva a rodar foi a Baronesa, que simbolizava o

avanço tecnológico da época e o início da modernização do transporte, atendendo ao crescimento econômico impulsionado pelo comércio de café.

2.2. Constituição da linha ferroviária

A ferrovia é composta pelo material rodante, sistema de sinalização e via permanente, do qual fazem parte a infraestrutura e a superestrutura ferroviária, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1– Seção transversal da plataforma ferroviária



Fonte: NABAIS, 2015

A infraestrutura corresponde aos componentes que formam a plataforma da ferrovia e suporta a superestrutura. É constituída pelos elementos de terraplanagem (aterros e cortes), elementos de drenagem (sarjetas e sargentões), obras de arte (pontilhões, pontes e viadutos) e túneis.

A superestrutura refere-se aos elementos estruturais situados acima do nível do subleito, responsáveis por suportar diretamente os impactos das cargas dos trens. Esses componentes incluem os trilhos, dormentes, acessórios de fixação, aparelhos de mudança de via, lastro e o sublastro. Ela pode ser classificada como rígida, quando os elementos são apoiados sobre lajes de concreto ou vigas fixas, ou elástica, quando o lastro é responsável por transmitir as cargas dos trens, distribuindo-as entre trilhos, dormentes e o próprio lastro, garantindo elasticidade e estabilidade ao sistema ferroviário.

Os componentes da superestrutura, podem estar sujeitos às ações de degradação provocada pela circulação dos trens veículos (frequência de utilização, velocidade dos veículos, volume de carga transportada), pela deterioração por ataque do meio ambiente, pela estabilidade da infraestrutura ou, ainda, pelo fato da via estar

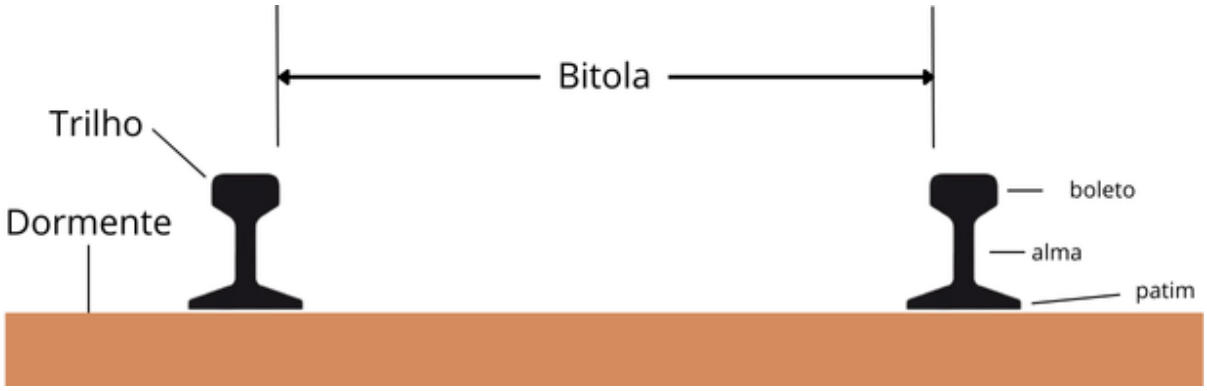
apoiada sobre uma camada de lastro que se encontra sujeita a deslocamentos em todas as direções.

2.2.1. Trilhos

O trilho desempenha duas funções essenciais, se tornando um dos componentes mais importantes da via. Ele constitui a superfície de rolamento que guia o veículo ferroviário e suporta diretamente as cargas geradas pelo movimento dos trens, distribuindo esses esforços de maneira apropriada para os demais elementos da superestrutura e infraestrutura, assegurando a estabilidade e funcionalidade do sistema ferroviário. Devido a alta pressão de contato das rodas e a existência de tensões residuais, os trilhos são os componentes mais suscetíveis à falha, influenciando sua vida útil.

Os trilhos estão diretamente relacionados à bitola, que é a distância entre os dois trilhos de uma via. No Brasil, a bitola padrão é a larga (1,60 m), que proporciona maior estabilidade para velocidades mais altas, porém a mais comum é a métrica, com 1,00 m de largura, amplamente utilizada em ferrovias de transporte regional e de cargas. As vantagens e desvantagens da escolha da bitola está relacionada à capacidade de tráfego e custos de manutenção. Na Figura 2, é apresentado a bitola e o perfil do trilho.

Figura 2– Representação do perfil do trilho e bitola



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.2. Dormentes

Segundo Nabais (2014), dormente tem como função receber e transmitir ao lastro os esforços gerados pelas cargas dos trens, sendo suporte para os trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (bitola). Os

dormentes que são utilizados usualmente são os de madeira, aço e concreto. As vantagens e desvantagens de cada tipo são apresentadas no quadro 01.

Quadro 1– Vantagens e desvantagens dos tipos de dormentes

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Madeira	Menor massa, o que facilita o manuseio, bom isolamento, fixação simples e baixo nível de ruído.	Vida útil limitada, suscetível ao ataque de fungos e insetos, necessidade de tratamento e estoque, e oferta reduzida.
Concreto	Alta resistência a esforços, manutenção da bitola, bom isolamento e longa durabilidade.	Difícil manuseio pela massa elevada, frágil em descarrilamentos, custo de substituição alto e vulnerabilidade a solicitações extremas.
Aço	Alta resistência a solicitações, recondicionáveis, e manutenção da bitola com massa reduzida.	Nível de ruído elevado, ausência de isolamento e falta de inércia.

Fonte: Adaptado de Porto (2004)

2.2.2.1. Dormente de madeira

Os dormentes de madeira são os mais utilizados em ferrovias devido às suas características que atendem bem às exigências desse tipo de aplicação. No entanto, a escassez de madeiras de alta qualidade tem direcionado seu uso para outras finalidades, tornando o emprego na ferrovia economicamente inviável em muitos casos. Atualmente, os dormentes de madeira necessitam de tratamentos químicos extensivos para atender aos padrões ferroviários, o que reduz sua vida útil e aumenta o risco de combustão, além de elevar os custos de manutenção e manejo. A Figura 3 apresenta linha férrea com dormentes de madeira, localizada em São José do Rio Preto-SP.

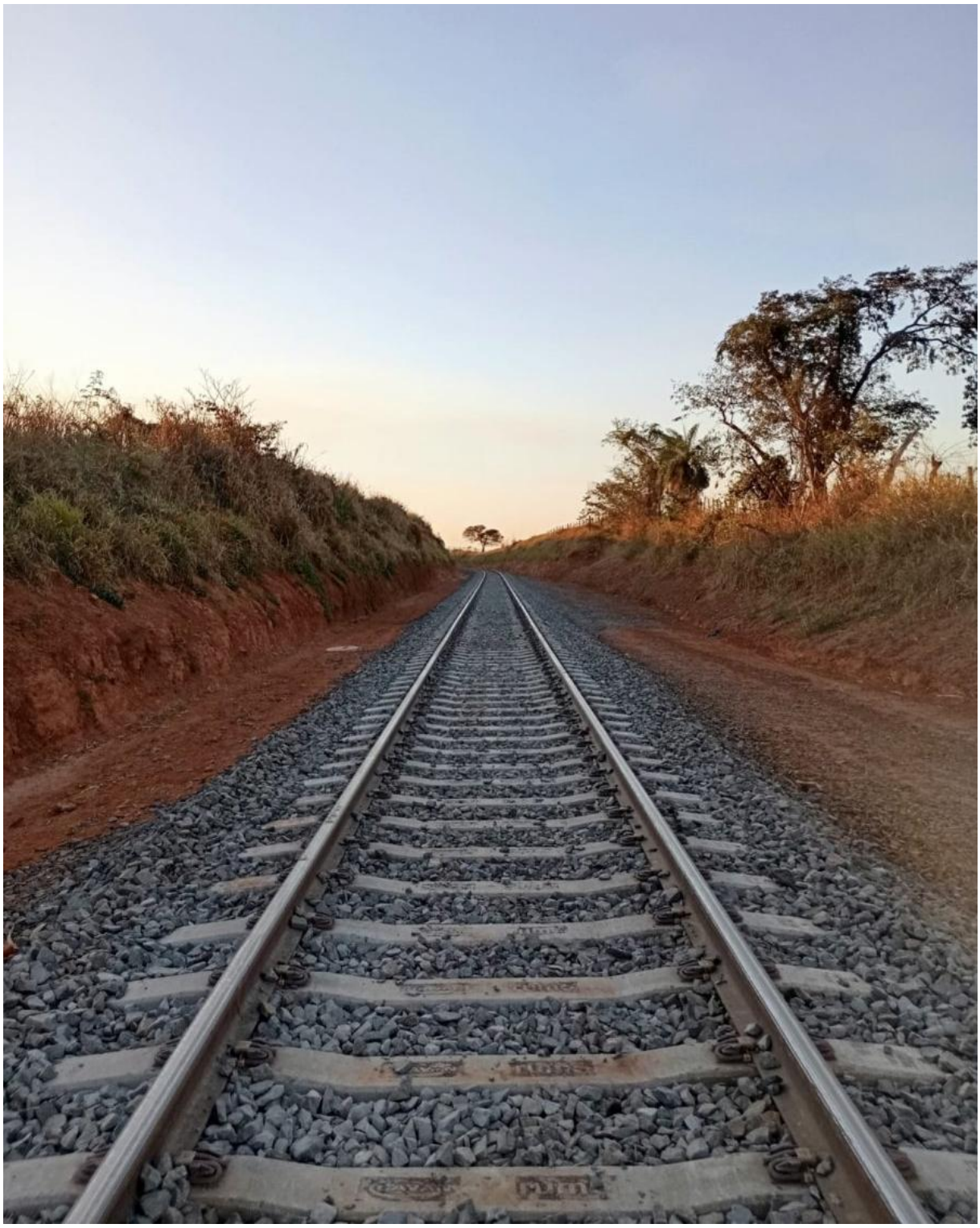
Figura 3 – Ferrovia com dormentes de madeira.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.2.2. Dormente de concreto

Os dormentes de concreto têm ganhado cada vez mais destaque em diversos países devido à sua alta durabilidade e desempenho. Eles podem ser classificados como monoblocos, formados por uma única peça de concreto armado ou protendido, ou como biblocos, compostos por duas peças de concreto protendido ou armado conectadas por um perfil metálico. Essa versatilidade estrutural, aliada à longa vida útil, torna os dormentes de concreto uma solução eficiente para ferrovias modernas. A Figura 4 ilustra uma ferrovia equipada com dormentes de concreto.

Figura 4 – Ferrovia com dormentes de concreto - monobloco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.2.3. Dormente de aço

Os dormentes de aço são chapas laminadas em formato de "U" invertido, com extremidades curvadas para formar garras que se fixam no lastro, reduzindo o deslocamento transversal da via (Nabais, 2014). Apesar de sua alta vida útil e estabilidade, apresentam desvantagens, como a propagação de ruídos devido às vibrações do tráfego. Além disso, por serem excelentes condutores de eletricidade, dificultam o isolamento necessário entre os trilhos, essencial para o funcionamento dos circuitos de sinalização ferroviária. Um exemplo de uma via com dormente de aço é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Ferrovia com dormentes de aço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.3. Fixações

Os elementos de fixação têm como função principal manter os trilhos na posição correta, impedindo deslocamentos horizontais e verticais causados pela

dilatação térmica ou frenagem dos veículos. Além disso, são responsáveis por preservar a bitola da via, garantindo a estabilidade e segurança do sistema ferroviário. Esses dispositivos podem ser classificados como rígidos ou elásticos, dependendo de sua capacidade de absorver tensões. A Figura 6 ilustra componentes típicos utilizados para fixação dos trilhos, evidenciando sua importância na integridade estrutural da via permanente.

Figura 6 – Peças utilizadas na fixação do trilho ao dormente

Fonte: Sinchold Rail, 2024.

2.2.4. Lastro

O lastro tem como funções distribuir os esforços resultantes das cargas dos veículos, formar suporte elástico, formar uma superfície continua e uniforme para os dormentes e os trilhos, impedir os deslocamentos dos dormentes e facilitar a drenagem da superestrutura. Esse elemento deve ser resistente, e não deve produzir pó. A pedra, apresentada na Figura 7, é o melhor tipo de lastro pois é resistente, inalterável pelos agentes atmosféricos e químicos, elástica, permeável e permite a socaria do lastro.

Figura 7 – Lastro ferroviário

Fonte: BR Ferrovia,2024.

2.2.5. Sublastro

Esse elemento tem como função evitar a penetração do lastro no solo, evitando sua contaminação e mantendo a estabilidade da via. Além disso, é muito utilizado para reduzir a quantidade de lastro necessário, já que possui um custo significativamente inferior. Entre seus benefícios incluem-se a diminuição de vibrações na estrutura, a ampliação da vida útil dos componentes ferroviários e a redução de recalques diferenciais. São utilizados materiais granulares, como solos arenosos e cascalhos, que oferecem boa resistência e drenagem, contribuindo para a eficiência da estrutura ferroviária.

2.3. Parâmetros geométricos

Os parâmetros geométricos são fundamentais para avaliar as condições da via férrea e quando há divergências, denominadas irregularidades geométricas ou defeitos na via, podem comprometer a segurança e o desempenho ferroviário. Para identificar essas falhas, realizam-se inspeções periódicas que permitem a detecção e correção dos defeitos. Entre os principais parâmetros utilizados para avaliar a

qualidade geométrica da via, destacam-se aspectos como alinhamento, nivelamento e bitola, que desempenham papel essencial na manutenção da funcionalidade da infraestrutura ferroviária.

2.3.1. Nivelamento

O nivelamento de uma via férrea é um fator fundamental para garantir a estabilidade no apoio dos rodados e a estabilidade vertical dos veículos em movimento. Irregularidades no nivelamento podem surgir devido a assentamentos na via, ocasionados pelas cargas elevadas e altas velocidades das composições. Essas irregularidades resultam em oscilações verticais bruscas e comprometem a segurança e o desempenho da ferrovia.

Esses assentamentos podem ocorrer em qualquer trilho e estão relacionados a zonas de plataforma inadequada, problemas de drenagem, aterros recentes, contaminação/desgaste do lastro e descontinuidades no apoio das travessas ou trilhos (passagens de nível, pontes, juntas de dilatação).

Esses defeitos podem ser classificados como:

- Nivelamento longitudinal: alteração ao longo do eixo da via;
- Nivelamento Transversal: variação na inclinação entre os trilhos;
- Empeno: distorções localizadas que afetam a superfície da via.

A correção dessas patologias demanda inspeções regulares, intervenções adequadas e o uso de tecnologias que garantam a precisão no alinhamento, contribuindo para a durabilidade e segurança operacional. A Figura 8 apresenta um desnivelamento longitudinal, situado na região de Catiguá-SP.

Figura 8 – Desnível longitudinal

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4. Inspeção de via

Para garantir qualidade, confiabilidade, segurança e conforto na circulação ferroviária, é essencial avaliar o estado dos componentes da via e determinar o prazo ideal para substituição ou reparo. Isso exige inspeções regulares, abrangendo medições dos parâmetros geométricos da via, condições dos trilhos e análise das camadas de infraestrutura. Essas inspeções são realizadas por todo quilômetro, permitindo identificar falhas que possam comprometer a funcionalidade da ferrovia ou prever problemas futuros, orientando ações corretivas (Rodrigues, 2012).

Os elementos que compõem a via permanente influenciam diretamente seu desempenho e funcionalidade. Condições inadequadas podem levar à necessidade de interrupções em trechos ferroviários para a execução de atividades de manutenção, como ajustes na geometria da via, reparos ou substituição de componentes danificados ou desgastados, além da reconstituição ou adição de camadas de suporte. Após realizar a inspeção, é gerado um relatório e elaborado um plano de manutenção, baseado no estado que se encontra a ferrovia.

Os tipos de inspeções em ferrovias podem variar conforme as características da área onde estão localizadas. As inspeções mais simples, realizadas a pé, são voltadas para a identificação de defeitos nos elementos da via, como materiais, equipamentos instalados e sistemas de drenagem. Para aumentar a precisão na detecção de falhas, pode-se empregar tecnologias especializadas, como o ultrassom, que permite identificar problemas estruturais com mais precisão, contribuindo para a manutenção e segurança da infraestrutura ferroviária.

Métodos mais avançados também podem ser empregados para inspeções ferroviárias, utilizando veículos motorizados que medem de forma precisa as deformações na via. Esses veículos simulam cargas semelhantes às aplicadas pelo material rodante, analisando o comportamento da superestrutura sob condições reais de operação (Fontul, 2011). Entre as tecnologias utilizadas estão inspeções eletromagnéticas, medições com laser, radares para análise de lastro e sublastro e técnicas de ultrassom, que examinam a estrutura interna dos trilhos.

2.5. Veículo aéreo não tripulado (VANT)

Os veículos aéreos não tripulados, denominados VANTs, tiveram sua origem no setor militar, com o intuito de realizar tarefas como reconhecimento de terrenos, espionagem, transmissão de mensagens e execução de missões especiais (Buzzo, 2015). Com o avanço da tecnologia, esses dispositivos expandiram suas funções e agora são utilizados em diversas áreas, como segurança pública, mapeamento topográfico, monitoramento ambiental, combate a incêndios, proteção ambiental, detectando áreas de desmatamento, utilização nas lavouras e agricultura, entre outros.

Esses veículos operam sem a necessidade de tripulantes a bordo, sendo controlados remotamente a partir de uma base terrestre. Sua operação pode ocorrer de forma autônoma, quando são comandados por computadores, ou controlados remotamente, com a supervisão de um piloto por meio de um controle portátil. Além disso, existe a modalidade semiautônoma, que combina ambos os modos de operação, proporcionando maior flexibilidade (Morgenthal; Hallermann,2014).

Com o crescimento do mercado de drones, os modelos atuais permitem a fixação de dispositivos avançados, como GPS, giroscópios, scanners e câmeras digitais de alta resolução, o que confere a esses veículos uma grande capacidade de

coleta de dados. Graças a essas características, os drones tornaram-se ferramentas amplamente utilizadas por empreendedores e pesquisadores, especialmente para a criação de mapas em áreas remotas ou de difícil acesso, onde a aplicação tradicional da fotogrametria seria economicamente inviável.

O uso de drones nas ferrovias brasileiras vem sendo implementado em inspeções desde 2015, trazendo agilidade na obtenção de informações para a tomada de decisões. Essa ferramenta tem substituído os métodos tradicionais de monitoramento visual, permitindo a verificação de falhas estruturais em obras de arte, trilhos e dormentes quebrados, além de atuar no monitoramento de questões ambientais como incêndios, desastres naturais e segurança física, detectando invasões, roubos e vandalismo. Também contribui para a avaliação de emergências, perícias e investigações de acidentes.

Atualmente, o uso da aerofotogrametria com VANTs é bastante comum. A aerofotogrametria é uma subcategoria da fotogrametria, que é a reconstrução de espaços tridimensionais a partir de imagens bidimensionais. Na aerofotogrametria, uma câmera é montada em uma aeronave para capturar as imagens. A grande vantagem dessa técnica é a praticidade, pois sua operação e aquisição de dados ocorrem de maneira automática, ao contrário de outros métodos, que demandam intervenção manual.

A área coberta pelo drone é um fator de grande importância, pois permite a realização de mapeamentos que podem abranger extensões de até hectares. Além disso, a utilização de drones em regiões inacessíveis ou perigosas proporciona uma grande vantagem, já que possibilita o levantamento de dados sem a necessidade de expor a equipe a riscos.

Para assegurar a precisão do levantamento realizado por meio dessa tecnologia, é necessário considerar coordenadas de pontos conhecidos dentro da área mapeada. Esses pontos de controle desempenham um papel essencial no processamento dos dados, contribuindo para o georreferenciamento e a correção de eventuais falhas na identificação das imagens durante o processamento nos softwares utilizados.

Portanto, o uso do drone possibilita uma alternativa viável para neutralizar os obstáculos encontrados pelas concessionárias, e a longa extensão dos trechos

ferroviários. As empresas conseguem diminuir o uso de pessoas em locais perigosos e de difícil acesso, diminuindo os riscos na realização de determinada inspeção a via.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de um trecho ferroviário pertencente à Rumo Logística, cuja malha está ilustrada no Anexo A. O trecho corresponde à subcategoria 73, que conecta a cidade de Araraquara, em São Paulo, à cidade de Aparecida do Taboado, no Mato Grosso do Sul. Essa subcategoria é considerada de alta performance, devido à sua relevância como corredor de trens. A área selecionada foi determinada a partir da análise, com o auxílio do software Google Earth, da melhor opção.

O primeiro local analisado foi uma área situada na cidade de Rubinéia, SP, próxima à divisa com Mato Grosso do Sul. Devido ser próxima de áreas de preservação, como a Ponte Rodoferroviária de Rubinéia, a Rumo não autorizou o voo na região, considerando os riscos e as passagens perigosas. O segundo local avaliado foi em Santa Fé do Sul, SP, onde também não houve autorização devido ao intenso tráfego de trens. As áreas de ambas as cidades estão ilustradas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Área 01 – Rubinéia, SP

Fonte: Google Earth Pro (2021).

Figura 10 – Área 02 - Santa Fé do Sul, SP

Fonte: Google Earth Pro (2021).

O terceiro local analisado foi na cidade de Jales, SP, próximo ao pátio ferroviário, sendo inicialmente considerado ideal para avaliar as vias, AMVs e jacarés. No entanto, durante a visita in loco, foi constatada a construção de um viaduto sobre a linha férrea, o que inviabilizou o voo. Além disso, outra impossibilidade foi que a ANAC não autorizou a operação devido à proximidade do local com o aeroporto. A Figura 11 ilustra a área estudada nesse terceiro local.

Figura 11 – Área 3 - Jales, SP

Fonte: Google Earth Pro (2021).

A área selecionada para o trabalho está localizada na cidade de Jales, SP, a poucos quilômetros da terceira área analisada. Esse local apresentou condições favoráveis para a realização do voo, sem restrições impostas pela Rumo ou pela regulamentação de voo. Para ser considerada adequada, a área deveria possuir um relevo favorável, boa visibilidade e fácil acesso, atendendo de maneira satisfatória aos critérios estabelecidos. Assim, a área que melhor se enquadrou nessas condições está ilustrada na Figura 12.

Figura 12 – Área de estudo

Fonte: Google Earth Pro (2021).

3.2. Planejamento do voo

O uso da fotogrametria digital, consiste na reconstrução do espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais digitais, ou seja, a partir das fotografias coletadas são obtidas informações de campo para o seu georreferenciamento, de modo a produzir ortofotos (fotografias isentas de distorções) bem como modelos digitais da superfície.

A etapa de planejamento teve início na determinação de coordenadas de pontos para a cobertura da aerofotogrametria. Foram determinados nove pontos de controle, com o objetivo de melhorar a precisão final. Foi realizado o levantamento e implantação (locação) dos pontos de controle (apoio) fotogramétrico utilizando posicionamento cinemático em tempo real com receptor GNSS RTK, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Ponto de controle

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final dessa etapa, realizou o método aerofotogramétrico, com a utilização de um “Drone” da DJI, modelo Phantom 4 Pro V2, para coleta das fotografias na área analisada. Foi executado após rigoroso processo de planejamento do voo com

características básicas e recomendações de segurança da ANAC e autorização do DECEA, com altura de voo média de 25 metros em condições meteorológicas favoráveis, conforme Figura 14.

Figura 14 – Voo do “Drone”

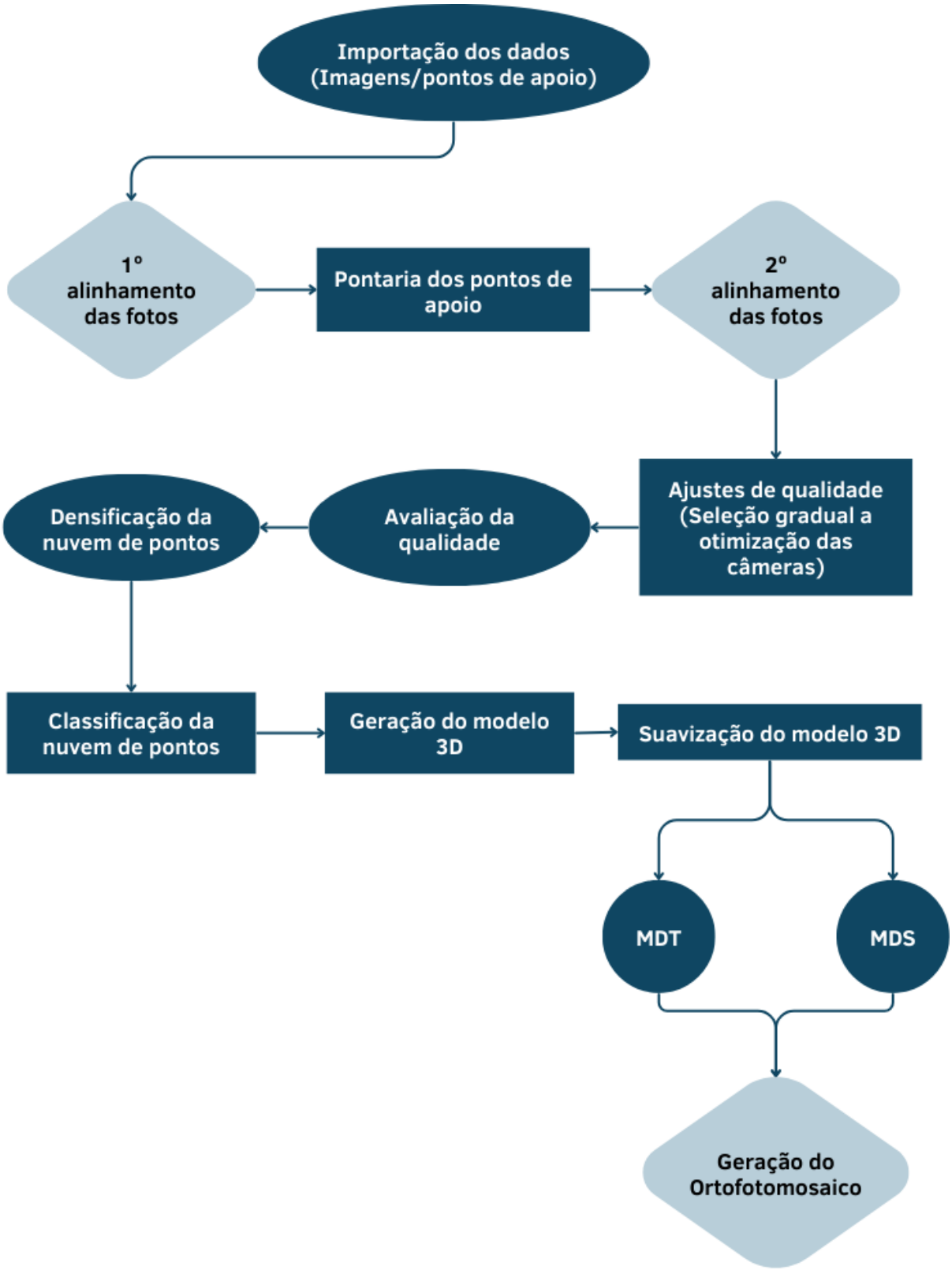
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o levantamento, realizou-se o processamento fotogramétrico das imagens e geração dos elementos gráficos e Ortofoto. Os nove pontos de controle, que foram marcados com tinta spray, devido a aplicação de lastro na área, foram encobertos impossibilitando a geração do Modelo Digital da Superfície da Ferrovia (MDS).

Para a elaboração do mosaico de ortofotos, utilizou-se o software Agisoft Metashape, onde as imagens capturadas foram importadas e alinhadas para criar uma base consistente. Posteriormente, realizou-se a orientação e a verificação da qualidade e, em seguida, a nuvem de pontos foi densificada e classificada para distinguir as características relevantes do terreno. A partir dessa etapa, gerou-se o ortofotomosaico. A ortofoto resultante permitiu o levantamento e a análise das patologias presentes na área estudada.

O Fluxograma 1 apresenta a ordem em que foram realizadas as etapas para a geração final.

Fluxograma 1 – Sequência de processamento do Agisoft Metashape



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3. Processamento dos dados

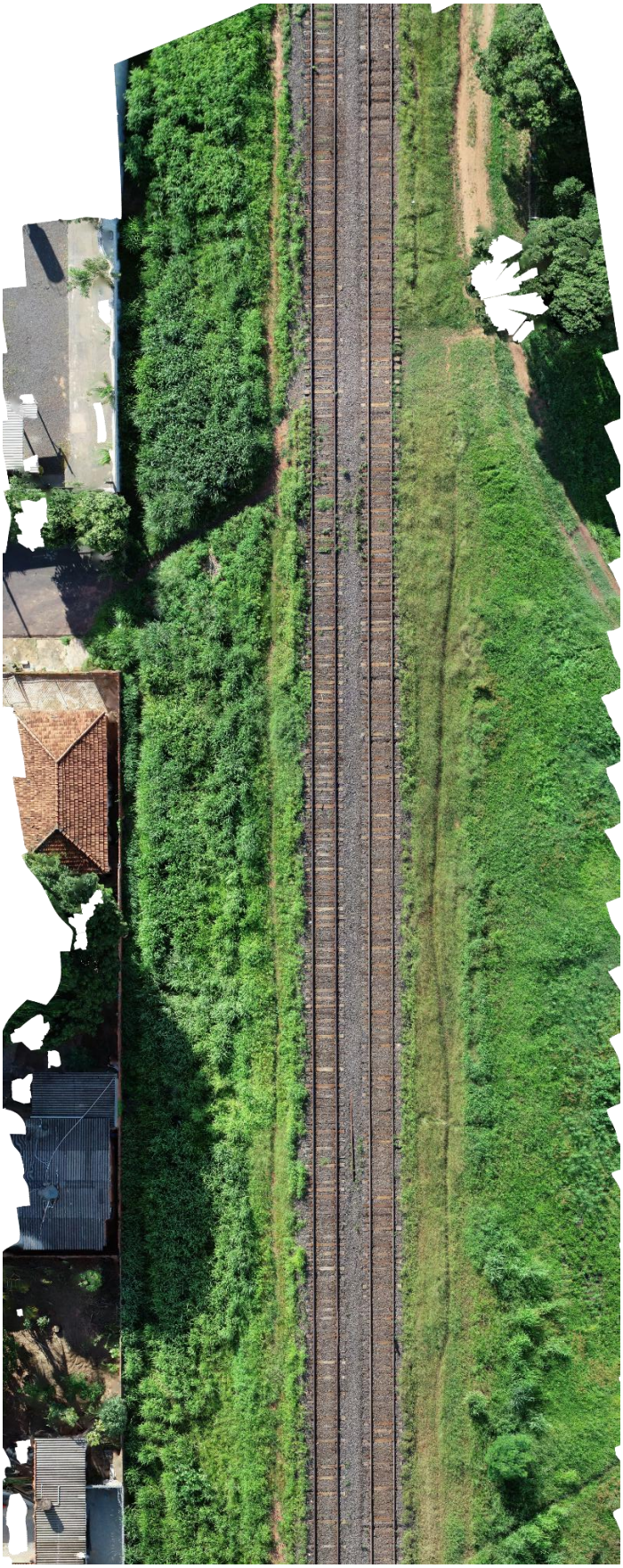
Após a validação dos dados, foi iniciado o processamento das imagens capturadas durante o aerolevantamento. O modelo de câmera utilizado foi o DJI FC6310 20MP que gerou um total de 134 imagens com elevado índice de qualidade. Posteriormente, foram inseridas as coordenadas dos pontos de apoio, garantindo o georreferenciamento e aumentando a precisão dos dados levantados no processo. A Figura 15 apresenta uma imagem capturada pelo drone.

Figura 15 – Imagem capturada pelo Drone

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, foi possível gerar o ortofotomosaico, que servirá como base para a extração de informações sobre possíveis falhas ou pontos de atenção identificados durante as inspeções. O modelo final foi dividido em três partes, para melhor visualização, conforme as Figuras 16,17 e 18.

Figura 16 – Ortofotomosaico (parte 1)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Ortofotomosaico (parte 2)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Ortofotomosaico (parte 3)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. RESULTADOS

A análise do ortofotomosaico permitiu a obtenção de dados para avaliar sua aplicabilidade nas inspeções ferroviárias. Com base na planilha de defeitos (Apêndice A), foi possível identificar, de forma precisa, as falhas detectadas pelo drone ao longo do trecho analisado. Os defeitos identificados foram categorizados conforme seu nível de urgência, possibilitando uma hierarquização das ações corretivas. Essas informações podem ser utilizadas pela concessionária tanto para a elaboração de um plano de manutenção preventiva quanto para a adoção de medidas emergenciais.

No trecho analisado, foram identificados seis tipos de defeitos, sendo a maioria relacionada a falhas na superestrutura da ferrovia. O problema mais crítico refere-se às condições dos dormentes, que, em alguns pontos, apresentam um avançado estado de deterioração, conforme ilustrado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Dormente em estado crítico

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Dormente em estado deteriorado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, foram constatadas rupturas completas em diversos dormentes ao longo do trecho, sendo os casos mais graves aqueles em que a perda da geometria original ultrapassou 80% da área total do dormente, como demonstrado na Figura 21. Por fim, também foi verificada a ausência de dormentes em determinados pontos, conforme evidenciado na Figura 22.

Figura 21 – Dormente com geometria reduzida

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Ausência de dormentes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro defeito identificado foi o fendilhamento dos dormentes, caracterizado por fissuras que se estendem por toda a sua extensão. Essa manifestação compromete a integridade estrutural dos componentes, aumentando a probabilidade de ruptura em um curto intervalo de tempo, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Dormentes fendilhados

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise permitiu identificar as fixações presentes, bem como as posições em que os fixadores deveriam estar instalados, mas estavam ausentes, ou que estavam corroídos. Na Figura 24, a ausência desses elementos nos dormentes é claramente visível. Dessa forma, a avaliação por meio do ortomosaico georreferenciado possibilita o mapeamento de dormentes que apresentam risco potencial de deslocamento devido à falta de fixação adequada.

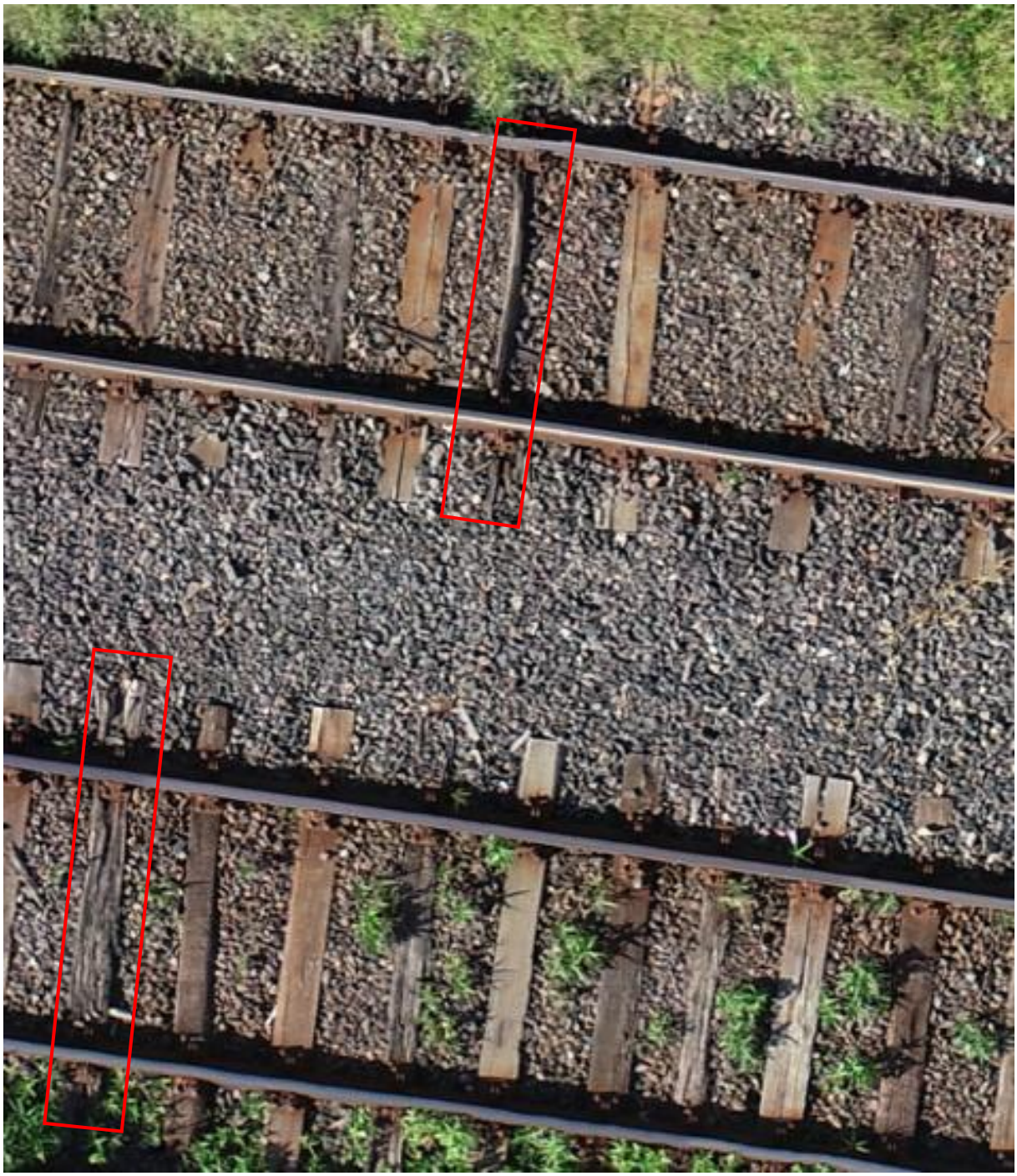
Figura 24 – Ausência de fixadores

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do estado observado dos dormentes, é possível classificá-los com grau de urgência, considerando o impacto direto na segurança operacional da via. A precariedade dessas estruturas compromete a estabilidade do trecho ferroviário, e, com a inspeção realizada com o drone, foi possível analisar detalhadamente essa

condição, proporcionando registros visuais que evidenciam a criticidade da situação, conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Dormentes em estado de urgência



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à qualidade do lastro no trecho analisado, foi constatado um processo de colmatação, resultante do atrito e da abrasão entre as partículas do material. O esmagamento dos grãos provoca alterações graduais na estrutura granular e na densidade do lastro, comprometendo sua capacidade de drenagem e

suporte. Como consequência, o lastro perde suas propriedades de resiliência e elasticidade, tornando-se necessária medidas corretivas, como renovação do lastro, limpeza mecânica ou substituição parcial do material contaminado. A Figura 26 ilustra a variação na estrutura do lastro, evidenciando a necessidade de intervenção nesse trecho.

Figura 26 – Lastro degradado

Fonte: Elaborado pelo autor.

As anomalias também foram identificadas na infraestrutura ferroviária. A análise do ortofotomosaico revelou a presença de vegetação elevada ao longo de toda a extensão da via, incluindo a área entre os dormentes, evidenciando a deficiência na manutenção e limpeza do local. Nas Figuras 27 e 28, é possível observar,

respectivamente, a vegetação presente no interior da via e uma visão geral da sua dispersão ao redor da ferrovia.

Figura 27 – Vegetação no meio da via

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Vegetação elevada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os produtos gerados a partir do ortofotomosaico representam uma ferramenta estratégica para o planejamento e a gestão da infraestrutura ferroviária, possibilitando a criação de um banco de dados detalhado para a análise de parâmetros ao longo do tempo. A concessionária pode utilizar essas informações para tomar decisões relacionadas à manutenção preventiva, intervenções corretivas e aprimoramento da segurança operacional.

A metodologia empregada na inspeção ferroviária com o uso de drones demonstrou ser uma abordagem mais eficaz e ágil, permitindo a obtenção de um volume significativo de dados em um curto período. Além disso, a integração desses dados pode contribuir para diversas áreas, como manutenção, planejamento estratégico, desenvolvimento de projetos e até mesmo processos jurídicos, ao fornecer registros visuais detalhados das condições da via permanente.

Comparado aos métodos tradicionais de inspeção, o uso de drones se destaca pela superior qualidade das imagens e pela riqueza de detalhes capturados,

permitindo uma avaliação mais precisa das anomalias e facilitando a identificação precoce de falhas que possam comprometer a operação ferroviária.

5. DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta, constatou-se o grande potencial da aerofotogrametria com drones para inspeções ferroviárias, especialmente na geração de ortomosaicos detalhados. Por meio da análise dessas imagens e com base na literatura, foi possível identificar diversas anomalias nos dormentes, trilhos, lastro e na infraestrutura da via.

A metodologia foi aplicada em um trecho de 300 metros de ferrovia na cidade de Jales-SP, onde foram identificadas seis patologias distintas. A detecção desses defeitos, que tradicionalmente exigiria um processo mais demorado e custoso com os métodos convencionais, foi realizada de forma ágil e eficiente com o uso de drones. Além disso, a aplicação do ortofotomosaico possibilitou a criação de uma planilha detalhada para o mapeamento das anomalias, contendo informações sobre suas causas, riscos, medidas corretivas e grau de urgência. Dessa forma, os produtos gerados demonstram um grande potencial para substituir técnicas clássicas na fiscalização da implantação da via e no planejamento de ações de manutenção.

Em relação à integridade dos dormentes, verificou-se que muitos apresentavam um alto grau de degradação, com fendilhamentos, ausência de dormentes e estados avançados de deterioração. Como os dormentes desempenham um papel essencial na sustentação dos trilhos e na manutenção da bitola, essas falhas representam um risco significativo à operação ferroviária e exigem medidas corretivas urgentes. Assim como as fixações corroídas ou ausentes comprometem a função estrutural dos dormentes e devem ser tratadas com a mesma prioridade.

Já na infraestrutura, a presença de vegetação excessiva dentro da faixa de domínio e entre os dormentes evidencia a falta de manutenção adequada por parte da concessionária no trecho analisado. Considerando que a linha férrea da região é de alto fluxo, uma eventual interdição devido ao crescimento descontrolado da vegetação poderia causar grandes impactos operacionais, os quais poderiam ser evitados com a realização de limpezas preventivas. Além disso, a análise do lastro permitiu identificar variações estruturais que comprometem sua função de drenagem, podendo resultar em infiltrações e erosões que afetam a estabilidade da via.

Quando comparado aos métodos tradicionais de inspeção utilizados na região, o ortomosaico se destaca pela superior qualidade das imagens e pelo nível de

detalhamento dos componentes da ferrovia. Além disso, os dados extraídos se mostraram consistentes com a proposta inicial do estudo, demonstrando um grande potencial para a obtenção de parâmetros que podem contribuir para o aprimoramento de dados para a engenharia.

6. CONCLUSÃO

Dessa forma, a inspeção ferroviária baseada em aerofotogrametria permite um maior controle das variáveis envolvidas, aumentando a eficiência e a velocidade do processo, além de reduzir significativamente os custos operacionais. A possibilidade de realizar mapeamentos aéreos periódicos garante à concessionária um histórico detalhado da evolução do trecho ferroviário ao longo do tempo, permitindo uma gestão mais eficaz da manutenção da via.

Conclui-se, portanto, que, em projetos futuros na área mapeada, o uso do ortofotomosaico e dos produtos derivados do levantamento aerofotogramétrico se apresenta como uma ferramenta promissora para a modernização e otimização das inspeções ferroviárias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT (Brasil). Acidentes Ferroviários No Brasil: Análise Comparativa com a União Europeia. **Acidentes Ferroviários**, [*S. L.*], 21 Nov. 2020.

AGUIAR, L.T. **Inspeção de via permanente:** um fator determinante no processo de direcionamento da manutenção ferroviária. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2011.

ALECRIM, Carla Marília Cavalcante. **Utilização de imagens associadas ao georreferenciamento como ferramenta para o monitoramento do estado de conservação de ferrovias.** 2017.

ALVES, Edgard Gomes Castro; RAMOS, Rebeca Barbosa da Silva; SILVA, Carolina Rosa. **Transporte ferroviário no Brasil**: Desafios e oportunidades. Revista Conecta, v. 3, p. 15-27, 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. Disponível em: www.antf.org.br. Acesso em: 12 set de 2024.

AZEVEDO, Fernando Saldanha et al. **Levantamento das patologias na superestrutura da via permanente de uma antiga linha férrea:** um estudo de caso de um trecho da via férrea localizada no município de Pombal-PB. 2021.

BARRETO, L. **Mosaico de ortofotos: o que você precisa saber.** 2016. Disponível em: Acesso em 03 dez. 2024.

BRINA, H. **Estradas de Ferro** – Volume 1 – Via Permanente. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979

BUZZO, L. **História dos Drones:** do início aos dias de hoje. Disponível em: https://odrones.com.br/historia-dos-drones/. Acesso em 03 dez. 2024.

CÂMARA, Guilherme Becker et al. **Procedimento e software para identificar, classificar e analisar problemas na linha ferroviária de trem de carga**. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **O sistema ferroviário brasileiro.** Brasília: CNT, 2013

COSTA, Robson Correia da. **Proposição de dispositivo de medidas in situ para avaliação do comportamento mecânico de lastro ferroviário: estudo de caso na Estrada de Ferro Carajás**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CRISTIANO, Gilberto. **Transporte ferroviário de cargas no Brasil:** histórico e projetos em andamento. Engenharia, Gestão e Inovação Volume 14, p. 78.

DRONE SERVICES. **A complete Guide to Railway Drone Inspection**. Disponível em: https://soldrones.com/blog/railway-drone-inspection/. Acesso em: 23 set. 2024.

KERETCH, Edegar Mauricio. **Acidentes ferroviários motivados por desgaste na ponta de agulha do aparelho de mudança de via.** 2017. Tese de Doutorado. [sn].

LANNA, Ana Lúcia Duarte. **Ferrovias no Brasil**, 1870-1920. História econômica & história de empresas, v. 8, n. 1, 2005.

MACÊDO, Fernanda Bittencourt. **Estudo do desgaste de trilhos ferroviários**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

MATOS, INÊS MENDES. **Análise da evolução a longo-prazo sobre diferentes tipos de defeitos de geometria de vias-férreas.** 2023.

MENDES, Bruna Granemann Mendes; NEUTZLING Liz Victoria Magnaguagno Neutzling. **O uso de ortomosaico georreferenciado para inspeção de dormentes de madeira e fixações**. Curitiba, 2021.

MORGENTHAL, G; HALLERMAN, N**. Quality Assessment Of Unmanned Aeri al Vehicle (UAV) Basead Visual Inspection Of Structures.** Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, Germany, 2014.

NABAIS, Rui José da Silva (org.). **Manual básico de engenharia ferroviária.** São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014. E-book. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 16 nov. 2024.

PEREIRA, Jamille Albuquerque. **Impactos das condições das vias permanentes na operação ferroviária:** avaliação de um método de inspeção das condições de manutenção e reabilitação de ferrovias. 2016.

RUMO LOGÍSTICA S.A. Dados obtidos a partir diretamente com a empresa. São José do Rio Preto, 2024.

SANTOS, Debora Brito et al. **A infraestrutura no transporte ferroviário no Brasil.** South American Development Society Journal, v. 4, n. 10, p. 38-51, 2018.

SENSORES REMOTOS. Braunschweig, Alemanha. **Detecção de trilhos e modelagem 3D baseada em projeção a partir de UAV Point Cloud**. Nuvem de pontos baseada em UAV, [*s. l.*], v. 20, ed. 18, 13 set. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5220#B14-sensors-20-05220. Acesso em: 12 set. 2024

SILVA, Bruna Ribeiro. **Análise da superelevação em curvas horizontais de rodovias por meio do uso integrado de produtos de fotogrametria**. 2023.

SILVA, Luiz Francisco Muniz da. **Fundamentos teórico-experimentais da mecânica dos pavimentos ferroviários e esboço de um sistema de gerência aplicado à manutenção da via permanente**. Coope, Rio de Janeiro, 2002.

TREIBER, Heloisa Moraes; FRANÇOSO, Maria Tereza; STENICO, Nayara de Oliveira**. Uso do ground penetrating radar para inspeção de via permanente ferroviária.** Disponível em: https://www.antf.org.br/wp-content/uploads/2021/09/USO-DO-GROUND-PENETRATING-RADAR-PARA-INSPE%C3%87%C3%83O-DE-VIA-PERMANENTE-FERROVI%C3%81RIA.pdf. Acesso em: 12 set. 2024

APÊNDICE A - ANÁLISE DAS ANOMALIAS DA VIA FÉRREA

Tabela 1 - Estado dos dormentes

Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Estado dos dormentes	Superestrutura	A deterioração ocorre principalmente devido à exposição prolongada às intempéries, ao ataque de agentes biológicos como fungos e insetos xilófagos, e à ação mecânica provocada pelo tráfego ferroviário constante. A umidade excessiva, combinada com variações de temperatura, acelera o ressecamento e a formação de rachaduras, tornando o material mais suscetível a quebras e perdas de resistência. Além disso, a ausência ou insuficiência de tratamento químico reduz a durabilidade da madeira, facilitando o apodrecimento e comprometendo sua função estrutural. A presença de fissuras, lascamentos e desagregações pode levar à perda progressiva de sua capacidade de suportar os esforços transmitidos pelos trilhos. Além disso a ausência de dormentes em determinados pontos pode ser resultado de remoções inadequadas, falhas na manutenção ou deslocamento por instabilidade do lastro.	A perda de resistência e integridade estrutural pode levar a um apoio inadequado dos trilhos, resultando em deslocamentos longitudinais e transversais da via, desníveis e variações indesejadas na bitola. Essas irregularidades aumentam os impactos dinâmicos entre o trem e a via, elevando a chance de falhas estruturais nos trilhos, nas fixações e até mesmo no lastro. Além disso, reduzem a capacidade da superestrutura de distribuir adequadamente as cargas aplicadas, tornando a via mais suscetível a recalques diferenciais e perda de nivelamento. Em cenários extremos, a degradação avançada pode contribuir para o descarrilamento de composições ferroviárias, principalmente em trechos de alta velocidade ou com elevada circulação de cargas. A longo prazo, a falta de manutenção adequada dos dormentes pode acarretar um aumento exponencial nos custos operacionais, pois exige reparos emergenciais frequentes e compromete a vida útil dos demais componentes da via.	A substituição de dormentes deteriorados deve ser realizada com frequência compatível com a vida útil estimada do material e com base em inspeções regulares da via. Para dormentes de madeira, o tratamento químico periódico com preservantes específicos pode prolongar sua durabilidade, reduzindo a ação de fungos e insetos. Em áreas com alta umidade, a drenagem eficiente do lastro é essencial para evitar a degradação acelerada da madeira. Além disso, a correta fixação dos dormentes e a manutenção das condições do lastro são fundamentais para evitar deslocamentos indesejados e garantir a estabilidade da via. Quando há ausência de dormentes, é necessário realizar reposições imediatas, garantindo que os trilhos sejam devidamente sustentados e que a bitola seja mantida dentro dos padrões técnicos exigidos.	Alto

Tabela 2 - Fendilhamento dos dormentes

Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Fendilhamento de dormentes	Superestrutura	O processo de absorver e perder umidade do ambiente pela madeira gera variações volumétricas, causando tensões internas que, ao longo do tempo, resultam em fendilhamentos. A exposição constante às intempéries, como chuvas, variações bruscas de temperatura e radiação solar, acelera esse processo, tornando a madeira mais propensa a rachaduras. O carregamento cíclico imposto pelos trens, aliado ao impacto gerado pelo contato dos trilhos e das fixações, intensifica o surgimento e a progressão dessas fissuras. A qualidade da madeira também influencia diretamente o fendilhamento, sendo que dormentes provenientes de espécies menos resistentes ou que não passaram por um tratamento adequado são mais suscetíveis a esse tipo de degradação. Além disso, processos naturais de envelhecimento, aliados ao desgaste por atrito e à ação de fungos e insetos xilófagos, contribuem para o aumento das fissuras longitudinais e transversais. O fendilhamento pode ocorrer logo nos primeiros anos de utilização ou se agravar com o tempo, dependendo das condições ambientais e da intensidade do tráfego ferroviário.	Quando as fissuras se tornam excessivas, a resistência mecânica do dormente é reduzida, comprometendo sua capacidade de distribuir uniformemente as cargas transmitidas pelos trilhos ao lastro. Isso pode gerar variações na bitola da via, provocando desalinhamentos e instabilidades estruturais que aumentam a probabilidade de falhas nos trilhos e nas fixações. Fendilhamentos severos podem levar à quebra completa do dormente, resultando em falhas pontuais de suporte e reduzindo a estabilidade da via. Outra preocupação está relacionada à penetração de umidade e agentes biológicos nas fissuras, o que acelera o processo de degradação e favorece a proliferação de fungos e pragas que enfraquecem ainda mais a estrutura do dormente. O fendilhamento excessivo também pode comprometer a fixação dos trilhos, uma vez que pregos, grampos ou parafusos podem perder aderência ou se soltar com o tempo, aumentando o risco de deslocamento dos trilhos e, consequentemente, a possibilidade de descarrilamento. A longo prazo, esse tipo de falha pode elevar significativamente os custos de manutenção, exigindo substituições mais frequentes dos dormentes e demandando intervenções emergenciais para evitar acidentes.	Para reduzir a incidência desse problema, é essencial que os dormentes sejam fabricados com madeira de alta qualidade e passem por um tratamento adequado com preservantes químicos, que ajudam a reduzir a absorção de umidade e a ação de organismos biológicos. Além disso, o controle da umidade na via permanente, por meio de um sistema de drenagem eficiente, pode minimizar a expansão e contração da madeira, reduzindo a formação de fissuras. Em casos em que os fendilhamentos ainda não comprometeram a resistência estrutural do dormente, é possível aplicar resinas ou compostos selantes para vedar as rachaduras e prolongar sua vida útil. No entanto, quando as fissuras são excessivas e comprometem a funcionalidade do dormente, a substituição deve ser realizada imediatamente para garantir a estabilidade da via. A substituição por dormentes de concreto ou aço e a pesquisa por materiais alternativos, como dormentes de plástico reciclado ou híbridos, pode ser uma solução viável para reduzir os impactos do fendilhamento e aumentar a durabilidade da via permanente.	Alto

Tabela 3 – Lastro Colmatado

Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Lastro Colmatado	Superestrutura	A colmatação do lastro ocorre, principalmente, devido a impactos, atrito, choques, fraturas e abrasão das partículas ao longo da vida útil da via ou durante processos de manutenção, como a socaria. Além disso, a contaminação do lastro pode ser causada pelo desgaste dos dormentes de concreto, infiltração de partículas finas provenientes das camadas subjacentes (bombeamento de finos do sublastro ou subleito) ou pela queda de materiais transportados pela ferrovia. A degradação da via está associada ao aumento das deflexões, sendo que cada componente da superestrutura e da subestrutura apresenta mecanismos específicos de desgaste. Segundo Fortunato (2005), essa degradação pode resultar da perda de estabilidade e resiliência, bem como do surgimento de deformações permanentes nos trilhos. Caso essas alterações provoquem tensões elevadas na interface dormente/lastro, podem acelerar o desgaste e a fragmentação dos agregados, favorecendo a colmatação do lastro ferroviário. Além disso, a presença de material fino altera significativamente as propriedades do lastro, impactando sua granulometria e reduzindo os espaços vazios entre as partículas, o que compromete sua capacidade drenante e interfere no imbricamento entre os grãos. Essas mudanças também afetam a resposta resiliente da via, tornando-a mais rígida e intensificando os impactos dinâmicos entre a via e os veículos ferroviários.	A presença excessiva de finos com características plásticas na camada de lastro pode gerar a formação de uma “lama” quando exposta à umidade. Esse processo resulta em lubrificação excessiva entre os agregados, reduzindo o ângulo de atrito e aumentando o deslizamento entre os grãos. Como consequência, o tráfego ferroviário sobre essa camada instável pode provocar deslocamentos significativos no lastro, elevando a possibilidade de quebra dos agregados e reduzindo sua durabilidade. Por outro lado, se os finos forem secos e não apresentarem plasticidade, podem aderir às partículas graúdas, criando uma espécie de “cimentação” entre os grãos. Esse fenômeno leva ao aumento da rigidez do lastro, tornando-o menos eficiente na dissipação das cargas dinâmicas dos trens. Esse aumento de rigidez pode resultar em impactos excessivos sobre os dormentes e trilhos, acelerando a degradação da superestrutura e comprometendo a estabilidade da via. Além disso, a colmatação do lastro compromete sua capacidade drenante, favorecendo o acúmulo de água na estrutura da ferrovia. Isso pode gerar problemas como bombeamento de finos do subleito, erosão da plataforma ferroviária e instabilidade da via permanente, aumentando os riscos de recalques diferenciais e deformações geométricas, como afundamentos e desalinhamentos longitudinais. A deterioração progressiva do lastro devido à colmatação pode resultar na perda da geometria da via, ampliando as chances de descarrilamento e colocando em risco a segurança operacional da ferrovia. Além disso, a redução da vida útil do lastro e dos demais componentes da superestrutura eleva os custos de manutenção corretiva, exigindo intervenções mais frequentes para garantir a confiabilidade da infraestrutura ferroviária.	A manutenção do lastro pode ser realizada de forma manual, semimecanizada ou mecanizada, dependendo do grau de colmatação e da extensão da intervenção necessária. Os serviços manuais e semimecanizados são utilizados para correções pontuais e de menor escala, enquanto a manutenção mecanizada é aplicada em trechos mais extensos e com necessidade de maior eficiência operacional. No caso dos serviços semimecanizados, são empregadas máquinas manuais de compactação do lastro, conhecidas no setor ferroviário como *Grupo Jackson*. Essas ferramentas auxiliam na redistribuição e compactação do material, garantindo melhor acomodação dos agregados. Já os serviços mecanizados contam com equipamentos como desguarnecedoras de lastro, máquinas de socaria mecanizadas e reguladoras de lastro, que removem impurezas, reposicionam e adensam o lastro para restabelecer sua função estrutural. Quando há insuficiência de material no lastro após a remoção de contaminantes, programações específicas são feitas para reposição de brita. Esse serviço ocorre, geralmente, no período noturno, pois exige a interdição do trecho ferroviário. Para a complementação, utilizam-se vagões Hooper, carregados com brita no pátio de manutenção com auxílio de pás carregadeiras. A descarga do material ocorre manualmente, com a brita sendo distribuída de maneira uniforme ao longo do trecho. Além da reposição e compactação, outro serviço essencial é a limpeza do lastro, realizada para remover partículas finas e materiais contaminantes que comprometem sua função drenante. O processo pode ser manual, utilizando garfos de lastro para retirada e peneiramento do material, ou mecanizado, através de desguarnecedoras que realizam a separação dos finos e a realocação do lastro limpo.	Alto

Tabela 4- Drenagem ineficiente

Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Drenagem ineficiente	Infraestrutura	A drenagem é essencial para garantir que a água da chuva ou a umidade do solo não se acumulem ao redor dos trilhos, pois o acúmulo de água pode afetar diretamente o lastro e as estruturas da via. As causas de uma drenagem ineficiente podem ser atribuídas a obstrução ou inexistência das vias de drenagem, como valas, bueiros e drenos. O entupimento dessas estruturas ocorre principalmente devido ao acúmulo de detritos, vegetação ou material orgânico, que obstruem o fluxo da água e impedem sua correta evaporação ou escoamento. A falta de manutenção preventiva das vias de drenagem contribui significativamente para esse problema, pois, com o tempo, as estruturas de drenagem podem ser danificadas ou subdimensionadas para lidar com a quantidade de água que se acumula devido à intensidade das chuvas ou ao tipo de solo. Em algumas regiões, a falta de drenagem superficial adequada também pode ser atribuída ao desgaste natural do lastro, que, ao longo do tempo, perde a capacidade de permitir que a água seja absorvida e drenada para camadas mais profundas do solo.	Um dos principais riscos é a erosão do lastro, que ocorre quando a água se acumula de forma inadequada entre os trilhos e o lastro, enfraquecendo a base da via e removendo o material de drenagem, o que leva ao deslocamento dos trilhos e compromete sua estabilidade. Esse enfraquecimento da base pode causar afundamentos nos trilhos, resultando em falhas na geometria da via e em problemas de alinhamento e nivelamento, afetando diretamente a qualidade do percurso do trem e aumentando o risco de acidentes. A presença constante de umidade nas camadas do lastro e ao redor dos trilhos pode acelerar a corrosão das fixações metálicas e dos dormentes, aumentando a taxa de degradação da infraestrutura e, consequentemente, gerando custos elevados de manutenção e reparação. Outro risco importante é o aumento da possibilidade de deslizamentos de terra em regiões com terrenos inclinados, onde a água acumulada pode promover deslizamentos e derrapagens, comprometendo a segurança dos trens em circulação e resultando em interrupções no serviço. Além disso, a drenagem ineficiente pode causar o acúmulo de água nas fundações dos dormentes, o que, em conjunto com o peso dos trens, pode levar ao afundamento ou deformação dos componentes estruturais da via, prejudicando a segurança e a eficiência das operações ferroviárias.	A remoção de detritos, vegetação e outros materiais que obstruem os sistemas de drenagem deve ser realizada periodicamente, garantindo que as valas, bueiros e drenos estejam livres de qualquer obstrução. A limpeza das estruturas de drenagem deve ser feita com o uso de equipamentos manuais ou mecanizados, dependendo da extensão da área afetada. Quando detectada uma falha na drenagem devido ao projeto inadequado ou ao subdimensionamento das vias de drenagem, é fundamental realizar uma avaliação detalhada do sistema e, quando necessário, ampliar ou redesenhar o sistema de drenagem para garantir que ele tenha a capacidade de escoar adequadamente a água, considerando as condições climáticas e o tipo de solo da região. Em áreas com grande incidência de chuvas ou solos argilosos, é importante avaliar a possibilidade de implementar drenagem profunda, utilizando drenos verticais ou horizontais, para garantir que a água seja rapidamente absorvida e desviada. A melhoria das condições de drenagem superficial também pode incluir a reconFiguração do perfil da via, criando inclinações adequadas para o escoamento da água. Além disso, o uso de materiais alternativos para o lastro, que tenham melhor capacidade de drenagem, também pode ser uma solução viável para prevenir o acúmulo de água. Em locais de maior risco de alagamento, é possível a instalação de sistemas de drenagem temporários, como bombas d’água, para retirar o excesso de água acumulada e evitar danos imediatos.	Médio

Tabela 5- Corrosão das fixações

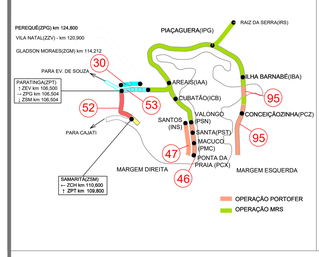
Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Corrosão das fixações	Superestrutura	A corrosão das fixações ocorre devido a uma combinação de fatores ambientais e operacionais, sendo o principal fator a presença de umidade. A umidade, associada à exposição a substâncias agressivas, como sais e outros agentes químicos, acelera os processos eletroquímicos que resultam na oxidação do material metálico. As fixações são componentes que ficam diretamente expostos ao ambiente, tornando-se suscetíveis à ação da água, especialmente em áreas com alta precipitação pluviométrica ou regiões costeiras, onde o sal pode contribuir significativamente para a corrosão. A presença de detritos e partículas no lastro pode manter a umidade nas fixações, favorecendo o processo corrosivo. As condições climáticas extremas, com grandes variações de temperatura, também podem ter impacto negativo, uma vez que a dilatação e contração dos materiais metálicos aceleram a degradação das fixações. Quando as fixações não são devidamente instaladas ou quando há falhas no processo de manutenção, a ausência dessas fixações ou a deterioração das mesmas pode ocorrer com maior frequência, comprometendo a segurança da via.	A corrosão progressiva enfraquece as fixações e compromete sua capacidade de manter o alinhamento dos trilhos, o que pode levar ao desalinhamento da via, com potenciais impactos negativos sobre a segurança do tráfego ferroviário. A falta de fixações adequadas também pode resultar em deslocamentos ou afrouxamento dos trilhos, aumentando o risco de acidentes, como descarrilamentos. A corrosão nas fixações pode gerar custos elevados com reparos e substituições de peças danificadas, além de paradas inesperadas que afetam a pontualidade e a eficiência do sistema ferroviário. Com o tempo, o enfraquecimento das fixações pode resultar na perda de capacidade da infraestrutura, exigindo investimentos maiores para restauração e manutenção, e ainda colocando em risco a integridade das composições ferroviárias.	Para mitigar os problemas de corrosão das fixações e a ausência dessas fixações, pode ser utilizados materiais anticorrosivos ou tratamentos de proteção das fixações, eficaz para prolongar a vida útil desses componentes. A aplicação de revestimentos galvanizados ou o uso de ligas metálicas mais resistentes à corrosão reduz os danos causados pela umidade e pelos agentes químicos presentes na via. A instalação de sistemas de drenagem adequados, para evitar o acúmulo de água nas fixações, é outra medida para preservar as peças. Além disso, o monitoramento constante das fixações por meio de tecnologias de inspeção, como sensores de corrosão e câmeras de alta resolução, pode proporcionar dados em tempo real sobre o estado dos componentes, permitindo intervenções mais precisas e menos dispendiosas. A troca periódica de fixações corroídas ou danificadas deve ser realizada conforme um plano de manutenção preventiva, garantindo que a superestrutura ferroviária se mantenha estável e funcional. Em relação à ausência das fixações, é necessário a instalação completa e correta das fixações em toda a extensão da via. A falta de fixações adequadas deve ser corrigida imediatamente, garantindo que todas as partes do trilho estejam devidamente fixadas e alinhadas.	Baixo

Tabela 6 - Vegetação na via

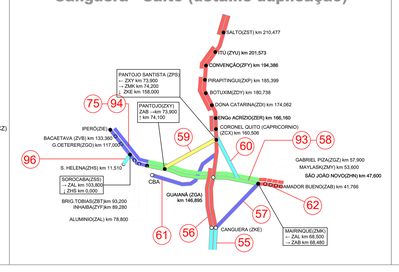
Anomalia	Classificação	Causa	Riscos	Ação proposta	Grau
Vegetação na via	Infraestrutura	A vegetação pode se desenvolver tanto na superfície do lastro quanto ao longo das bordas da via, sendo uma das principais causas desse problema o fornecimento de um ambiente propício para seu crescimento, como áreas com acúmulo de matéria orgânica ou umidade. A vegetação pode crescer devido à falta de manutenção adequada do lastro, que, se não for periodicamente removido de detritos e substâncias que favoreçam o crescimento de plantas, proporciona um ambiente ideal para o desenvolvimento de raízes e vegetação. As condições climáticas, como chuvas frequentes ou temperaturas amenas, favorecem a germinação das sementes e o crescimento das plantas. As sementes podem vir de diferentes fontes, como áreas adjacentes à via ou até mesmo do tráfego ferroviário, quando as plantas se espalham pelas rodas dos trens.	As raízes das plantas podem penetrar no lastro, causando danos estruturais ao material, o que resulta na sua degradação e diminuição da capacidade de drenagem da via, o lastro pode ficar obstruído pela presença de raízes, aumentando a possibilidade de alagamentos e comprometendo a estabilidade do trilho. Esse fenômeno pode levar a deslocamentos ou até mesmo a desmoronamentos de trilhos, representando um risco de descarrilamento. Outro risco importante é o impacto na visibilidade da via, pois a vegetação pode crescer ao longo das bordas, dificultando a visão do maquinista e a sinalização, o que compromete a segurança operacional. O crescimento excessivo de vegetação também pode aumentar o peso do sistema ferroviário, pois o lastro pode ser obstruído, afetando o alinhamento e a nivelagem dos trilhos. Além disso, a presença de vegetação ao longo da via pode representar um risco de incêndios, especialmente em regiões de clima seco, onde as plantas secas podem servir como combustível para incêndios que possam afetar a infraestrutura ferroviária.	A remoção da vegetação é uma das primeiras medidas a ser tomada e deve ser realizada regularmente, essas ações visam eliminar as plantas de forma eficaz, prevenindo o crescimento de novas vegetações que possam comprometer o lastro e a estrutura da via. A remoção dos resíduos após a capina é igualmente importante para garantir que não haja acúmulo de matéria orgânica, o que poderia incentivar o desenvolvimento de novas plantas. Em casos mais graves, pode-se optar pelo uso de herbicidas específicos para controle de vegetação, sempre observando rigorosamente as normativas ambientais e regulamentos locais para garantir que o uso desses produtos não cause impactos negativos ao ecossistema. A aplicação de herbicidas deve ser feita de forma controlada e responsável, preferencialmente em áreas onde a vegetação se mostra mais resistente às técnicas de capina, garantindo que a fauna local e o meio ambiente não sejam afetados de forma irreversível. Além disso, é crucial implementar um sistema de drenagem eficiente ao longo da via para evitar o acúmulo de água e as condições favoráveis para o crescimento de plantas.	Baixo

ANEXO A – MAPA DE OPERAÇÕES DA RUMO

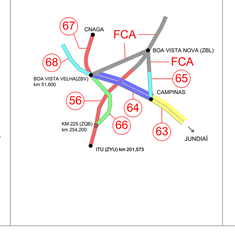
DETALHE 1
Santos



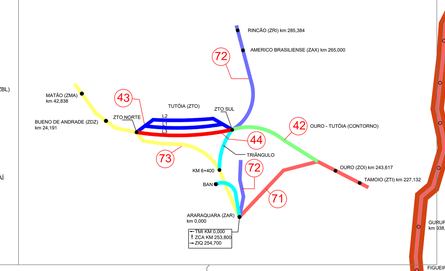
DETALHE 2
Trecho Iperó - Amador Bueno
Canguera - Salto (detalhe duplicação)



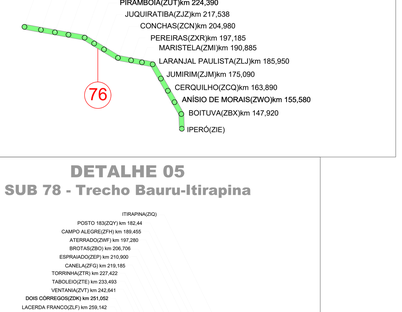
DETALHE 3
Campinas



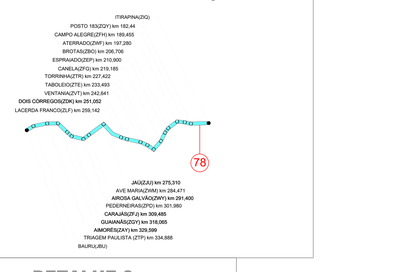
DETALHE 4
Araraquara



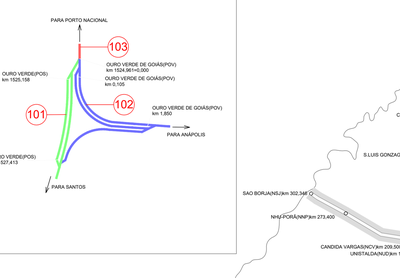
DETALHE 04
SUB 76 - Trecho Iperó - Rubião Junior



DETALHE 05
SUB 78 - Trecho Bauru-Itirapina



DETALHE 6
Anápolis



BASE DE DADOS: SIV
ATUALIZADO EM: SET-2022
*MAPA EM REVISÃO

rumo