

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**SISTEMA DE INSPEÇÃO FERROVIÁRIA AUTOMATIZADA
MULTIPLATAFORMA, BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL**

**Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação
ferroviária**

MRS LOGÍSTICA S. A

12/01/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	5
1.1. Título do Projeto	5
1.2. Objetivos	7
2. JUSTIFICATIVA	8
2.1. Contextualização	8
2.2. Razões para a Escolha do Tema	9
2.3. Relevância, Viabilidade e Integração com Outros Projetos RDT 9	
2.4. Contribuição para o Setor Ferroviário, Concessionária, União, Usuários do Sistema e Sociedade em Geral	10
2.5. Enquadramento na Resolução nº 6.021, de 2023	10
2.6. Inovações Propostas e Desenvolvimento	10
2.7. Resultados Esperados e Atendimento às Diretrizes da Resolução nº 6.021, de 2023	11
2.8. Distinção de Obrigações Contratuais	12
2.9. Participação em Seminários, Congressos e Visitas Técnicas .	12
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	14
3.1. Metodologia	14
3.2. Macroentrega 1 – Levantamento e Especificação de Requisitos 15	
3.3. Macroentrega 2 – Desenvolvimento e Prototipagem do Sistema de Aquisição e Inspeção	25

3.4.	Macroentrega 3 – Integração e ensaios funcionais	47
3.5.	Macroentrega 4 – Evolução e Consolidação do Sistema de Inspeção	62
3.6.	Macroentrega 5 – Validação em Ambiente Relevante e Transferência de Tecnologia	78
3.7.	Entrega de Resultados e Produtos do Projeto	88
4.	TEMPO DE EXECUÇÃO, CUSTO TOTAL E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO	90
4.1.	Prazo de Execução	90
4.2.	Custo Total	90
4.3.	Cronograma Físico-Financeiro	91
5.	LOCAL DE EXECUÇÃO	92
6.	ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA	94
6.1.	Identificação da Entidade	94
6.2.	Identificação da Equipe Executora do SENAI	96
6.3.	Identificação da Equipe da Newon	100
6.4.	Identificação da Equipe da MRS	101
7.	PRODUTOS	103
7.1.	Macroentrega 1 - Levantamento e Especificação de Requisito	103
7.2.	Macroentrega 2 – Desenvolvimento e Prototipagem do Sistema de Aquisição e Inspeção	103
7.3.	Macroentrega 3 – Integração e ensaios funcionais	104
7.4.	Macroentrega 4 – Evolução e Consolidação do Sistema de Inspeção	104

7.5. Macroentrega 5 – Validação em Ambiente Relevante e Transferência de Tecnologia	105
7.6. Publicações Científicas Esperadas	105
8. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO	109
8.1. Anexo I - Resumo do Plano de Trabalho.....	109
8.2. Anexo II - Cronograma Físico-Financeiro.....	109
8.3. Anexo III - Proposta técnica e comercial SENAI	109
8.4. Anexo IV - Proposta técnica e comercial NEWON	109
8.5. Anexo V - Proposta técnica e comercial CEDRA	109
8.6. Anexo VI - Cotações comerciais	109
8.7. Anexo VII - Currículos da equipe SENAI	109
8.8. Anexo VIII - Currículos da equipe NEWON	109
8.9. Anexo IX - Currículos da equipe MRS.....	109
8.10. Anexo X - Orçamento analítico previsto.....	109
8.11. Anexo XI - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência	109
8.12. Anexo XII – Dimensionamento dos Custos de Importação	109
8.13. Anexo XIII - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023	109

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Sistema de Inspeção Ferroviária Automatizada multiplataforma, baseado em Visão Computacional

1.1.1. Linha de Inovação e Desenvolvimento

Este projeto está enquadrado nas diretrizes estabelecidas nos Artigos 3º e 4º da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), vinculada ao Ministério dos Transportes, que regulamenta a aplicação dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) destinados ao Subsistema Ferroviário Federal.

A linha de inovação e desenvolvimento proposta fundamenta-se nas seguintes diretrizes do Art. 3º:

- Inciso I – Modernização da infraestrutura integrante do Subsistema Ferroviário Federal;
- Inciso II – Melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, inclusive relacionada aos atributos de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas;
- Inciso VII – Aquisição de equipamentos relacionados a tecnologias que aprimorem a fiscalização por parte do Poder Público.

O projeto apresenta o desenvolvimento de um sistema multiplataforma integrado para inspeção ferroviária baseada em visão computacional, combinando sensores embarcados em veículos ferroviários e imagens aéreas capturadas por drones. A solução permitirá detectar, registrar e analisar anomalias em trilhos, dormentes, lastro e Aparelhos de Mudança de Via (AMVs), contribuindo diretamente para a modernização dos processos de manutenção e fiscalização técnica da via permanente.

O sistema contempla módulos de aquisição, processamento e análise de dados, integrando sensores ópticos a algoritmos de inteligência artificial (IA) e visão computacional. Essa arquitetura tecnológica possibilitará a inspeção automatizada em tempo real, com georreferenciamento preciso, armazenamento seguro das informações e visualização analítica dos resultados em plataforma digital dedicada. Conforme os objetivos de inovação definidos no Art. 4º, o projeto enquadra-se prioritariamente nos seguintes incisos:

- Inciso II – Tecnologia básica e aplicada, ao promover o desenvolvimento de algoritmos avançados de IA para análise visual de componentes ferroviários;
- Inciso IV – Soluções de acompanhamento e monitoramento de atividades ferroviárias em tempo real, bem como de aprimoramento da fiscalização pública;
- Inciso VIII – Formação e aperfeiçoamento profissional, considerando o treinamento de equipes técnicas e a criação de bases de dados multimodais para uso acadêmico e operacional.

A proposta representa uma substituição de práticas tradicionais de inspeção manual por tecnologias de sensoriamento remoto e análise automatizada. Essa abordagem aumenta a eficiência operacional, permite a padronização de dados, reduz o tempo de resposta em manutenções preventivas e corretivas, e eleva o nível de segurança da via, ao mesmo tempo em que otimiza os recursos humanos e financeiros empregados na manutenção da infraestrutura.

1.1.2. Temas

- 01 - Qualidade no serviço de transporte ferroviário, com foco principal na atualidade.
- 04 - Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária
- 06 - Tecnologias para acompanhamento e definição da faixa de domínio.
- 09 - Aprimoramento da manutenção ferroviária, inclusive com a integração de diferentes tecnologias e a automação industrial.
- 10 - Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um sistema multiplataforma integrado, destinado à inspeção ferroviária baseada em visão computacional, combinando sensores embarcados e imagens aéreas obtidas por drones, capaz de detectar, registrar e analisar anomalias em trilhos, dormentes, lastro e Aparelhos de Mudança de Via (AMVs). A plataforma contemplará a aquisição, processamento, armazenamento e análise dos dados, além de algoritmos de detecção e segmentação. Contempla também a integração com sistemas de alimentação e posicionamento, permitindo a operação em campo em veículos em movimento.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Especificar sensores visuais e iluminadores para inspeção de vias ferroviárias. Os sensores e iluminadores serão embarcados em plataformas preexistentes (veículos ferroviários/rodoferroviários) e aéreas não tripuladas (VANTs/Drones).
- Definir arquitetura para aquisição e processamento de dados visuais, incluindo requisitos de hardware, comunicação e sincronização temporal.
- Projetar sistema de alimentação e integração física dos módulos de captura, assegurando confiabilidade e autonomia em operação contínua.
- Desenvolver e integrar sistemas de visão computacional e inteligência artificial para detecção e segmentação de componentes, e identificação de anomalias em trilhos, dormentes, lastro e AMVs.
- Construir e anotar *datasets* multimodais (solo e aéreo) para treinamento e validação dos algoritmos de IA.
- Desenvolver software para gerenciar, armazenar e visualizar os dados de inspeção e resultados, permitindo interação com usuários.
- Demonstrar e validar o sistema em ambiente relevante, representando condições reais de operação ferroviária.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. Contextualização

O transporte ferroviário é um componente estratégico da infraestrutura logística nacional e requer aprimoramento contínuo de seus processos de manutenção e gestão (Jing & Qin, 2025). As práticas atualmente utilizadas baseiam-se majoritariamente em inspeções manuais e medições pontuais, o que limita a cobertura, a precisão e a frequência das verificações. Essas práticas aumentam a exposição de equipes a riscos operacionais, reduz a eficiência da manutenção e dificulta a obtenção de dados integrados que permitam uma gestão preditiva dos ativos ferroviários.

A modernização das atividades de inspeção demanda soluções tecnológicas que possibilitem o monitoramento automatizado e padronizado da via permanente. A aplicação de visão computacional e inteligência artificial permite a detecção de anomalias em trilhos, dormentes, lastro e Aparelhos de Mudança de Via (AMVs), possibilitando um monitoramento de forma contínua (Olivier, Guo, Qian, & Connolly, 2025; Di Summa, et al., 2023). A integração entre sistemas de captura de imagem (sensores de imagem), módulos de posicionamento e plataformas de análise de dados viabiliza a criação de um ambiente unificado de inspeção, contribuindo para a tomada de decisão baseada em evidências e para o planejamento otimizado da manutenção.

O uso combinado de tecnologias de aquisição de dados, instaladas em veículos terrestres e aéreos, amplia o alcance das inspeções e permite o levantamento sistemático de dados georreferenciados, favorecendo a identificação de falhas estruturais e o acompanhamento da faixa de domínio (Askarzadeh, Bridgelall, & Tolliver, 2023; Daniyan, Mpofu, & Nwankwo, 2023; Cao, et al., 2024). A consolidação dos dados em uma plataforma integrada facilita o intercâmbio de informações entre concessionárias e órgãos reguladores, atendendo aos princípios de rastreabilidade e transparência previstos nas diretrizes da ANTT.

Dessa forma, o projeto apresenta a proposta de um sistema de inspeção ferroviária automatizada multiplataforma, baseado em visão computacional, justificado pela necessidade de aprimorar a segurança, a confiabilidade e a rastreabilidade das operações ferroviárias nacionais. A iniciativa está alinhada aos temas estratégicos da ANTT, contribuindo para o avanço tecnológico e o aprimoramento da operação ferroviária nacional.

2.2. Razões para a Escolha do Tema

A escolha do tema decorre da necessidade de aprimorar a gestão de informações e estados de conservação de ativos, contribuindo para a rastreabilidade e a manutenção da infraestrutura da malha ferroviária brasileira. O uso de sensoriamento, dados visuais e algoritmos de inteligência artificial promove inovação em aplicações ferroviárias (Kumar & Harsha, 2024; Aela, Cai, Jing, & Chi, 2024). As limitações das inspeções manuais, aliadas à extensão da malha ferroviária e à fragmentação de dados, constituem obstáculos à manutenção preditiva e à eficiência operacional, reforçando a relevância da proposta para a produção de informações auditáveis e modernização tecnológica do setor.

2.3. Relevância, Viabilidade e Integração com Outros Projetos RDT

O projeto apresenta relevância para o setor ferroviário ao propor uma solução inovadora de inspeção automatizada baseada em visão computacional e sensoriamento embarcado. A iniciativa contribui para o aumento da segurança operacional, a melhoria da qualidade do transporte e a redução de custos de manutenção, atendendo às diretrizes da ANTT nas áreas de segurança e eficiência da operação ferroviária.

A viabilidade técnica está sustentada na aplicação de tecnologias consolidadas de captura e processamento de imagens, aliadas a algoritmos de inteligência artificial e aprendizado profundo. A equipe executora possui experiência comprovada nas áreas de visão computacional, robótica e integração de sensores, o que assegura capacidade técnica para desenvolver e validar o sistema proposto. A arquitetura modular e escalável viabiliza sua utilização em diferentes plataformas, terrestres e aéreas, ampliando o alcance e a aplicabilidade da solução.

Sob a ótica econômica e operacional, o projeto é viável por otimizar recursos e reduzir custos de inspeção e manutenção, permitindo diagnósticos mais rápidos e precisos sem a necessidade de interrupções na via. A integração dos dados de inspeção com sistemas de gestão favorece ações de manutenção preditiva, aumentando a disponibilidade da infraestrutura e promovendo decisões baseadas em dados.

O caráter transversal do sistema proposto favorece sua integração com outros projetos RDT relacionados à digitalização e automação ferroviária. Promovida por meio da utilização compartilhada de *datasets*, metodologias de inspeção e plataformas de análise de dados. Esta abordagem permite sinergia entre iniciativas relacionadas, otimiza recursos e acelera a aplicação de inovações em múltiplos contextos operacionais.

2.4. Contribuição para o Setor Ferroviário, Concessionária, União, Usuários do Sistema e Sociedade em Geral

O projeto contribui para o setor ferroviário ao automatizar e simplificar os processos de inspeção voltados à manutenção e integridade das vias. Para a concessionária, permitirá otimizar a manutenção, aumentar a confiabilidade operacional e reduzir riscos em trechos críticos. Para a União e órgãos reguladores, fornecerá dados integrados, rastreáveis e auditáveis, dando apoio às atividades de fiscalização e ao monitoramento contratual. Para os usuários e a sociedade, promoverá maior segurança, continuidade do serviço, redução de impactos ambientais e incentivo à pesquisa por meio da disponibilização de dados públicos.

2.5. Enquadramento na Resolução nº 6.021, de 2023

O presente projeto se enquadra na Resolução n.º 6.021, de 2023, da ANTT, que regulamenta a destinação dos RDT no âmbito das concessões ferroviárias federais. Conforme o art. 3º e art. 4º da norma, os RDT devem ser destinados a projetos que promovam a modernização da infraestrutura ferroviária, o aprimoramento da qualidade, segurança e continuidade dos serviços, bem como o desenvolvimento de tecnologia básica e aplicada, soluções de monitoramento em tempo real e integração ambiental.

O projeto contempla tais diretrizes ao propor inovação tecnológica para inspeção de trilhos, dormentes, lastro e AMVs, cumprindo o objetivo de fomentar pesquisa aplicada no setor ferroviário. Ademais, a proposta está alinhada com os temas prioritários definidos pela ANTT para os recursos RDT, e apresenta arquitetura escalável, viabilidade técnica e impacto no desempenho operacional da infraestrutura concedida, assegurando assim plena conformidade com os requisitos regulatórios para apresentação de projeto à ANTT.

2.6. Inovações Propostas e Desenvolvimento

O presente projeto propõe soluções inovadoras para inspeção e manutenção da infraestrutura ferroviária, integrando sistemas de sensoriamento e algoritmos de visão computacional e inteligência artificial aplicados ao processamento de imagens obtidas por veículos terrestres e aéreos.

Dentre as inovações propostas neste projeto, destacam-se:

- Construção de base de dados multimodal anotada: criação de *datasets* integrando imagens de veículos ferroviários e aéreos, para treinamento e validação de algoritmos de inteligência artificial (Kumar & Harsha, 2024);

- Arquitetura de aquisição e processamento de dados: definição de requisitos de hardware, comunicação e sincronização temporal para integração confiável dos sistemas de captura de imagem (Sun, Wang, & Wu, 2024);
- Desenvolvimento de modelos de IA para inspeção de componentes da malha ferroviária: aplicação de algoritmos de visão computacional e aprendizado de máquina para detecção e segmentação de trilhos, dormentes, lastro e AMVs (Liu, Wang, Yin, & Tang, 2024; Yuan, et al., 2025);
- Plataforma de gestão e visualização de dados: especificação e implementação de software para armazenamento, análise e monitoramento das inspeções, capaz de fornecer informações rastreáveis, auditáveis e de suporte à manutenção preditiva.

2.7. Resultados Esperados e Atendimento às Diretrizes da Resolução nº 6.021, de 2023

O projeto proposto está em conformidade com os objetivos e diretrizes estabelecidos pela Resolução ANTT nº 6.021, de 20 de julho de 2023, que regulamenta a aplicação dos RDT no setor ferroviário. As ações previstas contribuem diretamente para a modernização tecnológica, a segurança operacional e o aprimoramento dos mecanismos de monitoramento e gestão de ativos ferroviários, atendendo aos princípios de eficiência, inovação e sustentabilidade definidos na norma.

De acordo com os artigos 3º e 4º da Resolução, o projeto se alinha às seguintes diretrizes e objetivos:

- Art. 3º, incisos I, II e V – promove a modernização da infraestrutura ferroviária, ao desenvolver e integrar tecnologias embarcadas e sistemas inteligentes de aquisição e análise de dados, com impacto direto na qualidade e segurança dos serviços prestados e no aprimoramento das capacidades de fiscalização e monitoramento por parte do poder concedente.
- Art. 4º, incisos II, III e IV – atua no desenvolvimento de tecnologia aplicada e soluções de monitoramento contínuo, com foco na inovação em métodos de inspeção e integração com sensores, reforçando a sustentabilidade e a redução de riscos operacionais.
- Art. 4º, inciso VII – fortalece a estruturação de centros de pesquisa tecnológica e bases de conhecimento, ao estabelecer um *dataset* ferroviário validado, metodologias padronizadas de anotação e uma plataforma digital interoperável, que poderá ser expandida para aplicações futuras no setor.

Os resultados esperados incluem:

- Criação de um sistema integrado de aquisição, processamento e visualização de dados ferroviários, com aplicação de modelos de inteligência artificial para detecção automática de anomalias e falhas estruturais;
- Disponibilização de *datasets* ferroviários multimodais anotados e versionados, em conformidade com as boas práticas de *MLOps* e governança de dados;
- Implementação de uma plataforma web interativa para visualização de resultados, comparação de modelos e apoio às equipes de inspeção e manutenção;
- Capacitação técnica e transferência de conhecimento para os profissionais das concessionárias e instituições parceiras, consolidando a aplicação prática das tecnologias desenvolvidas;
- Validação do sistema em ambiente operacional relevante, com ensaios de campo que assegurem a confiabilidade e a aderência dos resultados às necessidades do setor ferroviário.

2.8. Distinção de Obrigações Contratuais

O presente projeto não se destina ao cumprimento de obrigações contratuais da MRS Logística, tampouco substitui ou interfere nas responsabilidades legais e operacionais estabelecidas nos contratos de concessão ferroviária. Seu escopo está voltado ao desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras, voltadas à modernização das práticas de inspeção, manutenção e monitoramento de ativos, com ênfase em pesquisa aplicada, inovação e transferência de conhecimento.

As atividades previstas não envolvem a execução direta de obras, serviços de manutenção rotineira ou quaisquer ações relacionadas à operação comercial da malha ferroviária concedida. Em vez disso, o projeto tem caráter experimental e tecnológico, centrado no desenvolvimento e validação de sistemas de sensoriamento, visão computacional e inteligência artificial capazes de aprimorar o processo de detecção de falhas e apoiar a gestão técnica da infraestrutura.

Trata-se, portanto, de uma iniciativa complementar, conduzida em parceria com uma instituição de pesquisa e inovação, que busca fortalecer a base tecnológica do setor ferroviário e gerar benefícios de longo prazo à operação e à segurança.

2.9. Participação em Seminários, Congressos e Visitas Técnicas

A participação em seminários, congressos e visitas técnicas, tanto no Brasil quanto no exterior, é necessária para o fortalecimento técnico e institucional deste projeto. Essas ações permitirão acompanhar as tendências internacionais, trocar experiências com especialistas de referência e observar práticas consolidadas de digitalização e automação aplicadas à infraestrutura ferroviária.

Entre os eventos previstos destaca-se o *International Conference on 3D Vision* (3DV), que reúne pesquisadores e profissionais das áreas de visão computacional, reconstrução tridimensional e aprendizado profundo. A presença neste congresso possibilitará avaliar e discutir com a comunidade científica internacional os avanços tecnológicos desenvolvidos, promovendo o alinhamento com o estado da arte e subsidiando futuras publicações científicas em periódicos de alto impacto.

Além dos congressos, estão previstas visitas técnicas e reuniões especializadas em instituições e empresas do setor ferroviário, com o objetivo de conhecer sistemas de fiscalização digital, soluções de integração de dados e práticas de automação regulatória. O planejamento detalhado de congressos, visitas técnicas e demais eventos está descrito no cronograma e nas atividades do projeto, podendo ser atualizado conforme o avanço das etapas de desenvolvimento e a disponibilidade de novas oportunidades de intercâmbio técnico-científico.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Metodologia

O projeto será conduzido como uma pesquisa aplicada, orientada à solução de um problema real do setor ferroviário, visando gerar resultados concretos em ambiente relevante. Diferentemente de pesquisas exploratórias, a abordagem aplicada integra investigação científica e desenvolvimento tecnológico, de modo a transformar fundamentos teóricos em uma solução funcional, validada junto aos usuários finais.

A gestão do projeto seguirá uma combinação de práticas de metodologia clássica de gerenciamento de projetos e abordagens ágeis. Sob a perspectiva tradicional (*waterfall*), o projeto está estruturado em macroentregas, que se desdobram em entregáveis, atividades e subatividades, conforme detalhado nas seções seguintes. Essa hierarquia garante rastreabilidade, clareza de responsabilidades e alinhamento entre escopo, cronograma e recursos previstos. O planejamento global será representado em um cronograma Gantt, permitindo visualizar interdependências, marcos e caminhos críticos.

Complementarmente, a execução adotará princípios ágeis, com organização do trabalho por sprints semanais. Cada sprint integrará o conjunto de atividades previstas para o período, mantendo aderência ao cronograma macro sem engessá-lo. Para isso, serão realizadas três rotinas principais de acompanhamento:

- Sprint Planning: planejamento das atividades da semana, distribuição de responsabilidades e priorização conforme andamento das entregas.
- Sprint Closing: avaliação dos resultados obtidos, registro de dificuldades, realinhamentos necessários e consolidação de lições aprendidas.
- Reuniões Técnicas Semanais com as equipes da MRS: revisão conjunta do desenvolvimento, validação contínua do escopo técnico e tomada de decisão compartilhada.

3.2. Macroentrega 1 – Levantamento e Especificação de Requisitos

3.2.1. Entregável 1 - Relatório de Requisitos do Sistema

Descrição: O Relatório de Requisitos do Sistema tem como objetivo consolidar todas as informações técnicas e funcionais necessárias para o desenvolvimento do sistema integrado de sensoriamento e inspeção ferroviária baseado em visão computacional. Esse documento estabelece a base conceitual e operacional que orientará o projeto como um todo, assegurando que os módulos de aquisição, processamento, armazenamento e visualização de dados atendam aos objetivos de inspeção, supervisão, curadoria e suporte à decisão definidos para o ambiente ferroviário. O entregável também estabelece o alinhamento entre as equipes de hardware, software, visão computacional e integração de sistemas, servindo como referência desenvolvimento, acompanhamento e validação das etapas seguintes.

Como será desenvolvido:

- Revisão Bibliográfica e de Estado da Arte: mapeamento e análise de publicações científicas, relatórios técnicos e soluções comerciais voltadas à inspeção ferroviária automatizada, visão computacional aplicada, sensoriamento remoto e manutenção preditiva.
- Identificação de Requisitos Funcionais e Não Funcionais: definição detalhada das funções esperadas do sistema (coleta de dados visuais, processamento, armazenamento, análise e interface com o usuário), bem como de requisitos não funcionais (desempenho, segurança, escalabilidade, interoperabilidade e confiabilidade).
- Matriz de Requisitos e Correlação com Submódulos: elaboração de uma matriz que relacione cada requisito com os módulos correspondentes (aquisição, iluminação, posicionamento, dashboard, IA, armazenamento e comunicação).
- Consolidação e Redação Técnica do Relatório: compilação das informações coletadas em um documento técnico estruturado, incluindo tabelas de requisitos, fluxogramas e diagramas de alto nível para ilustrar as relações entre hardware, software e processos de inspeção.

Revisão e Validação:

A revisão será conduzida pela equipe técnica do ISI SIM, composta por especialistas das áreas de visão computacional, eletrônica embarcada e integração de sistemas. A validação ocorrerá em reunião com a equipe da MRS, avaliando critérios como:

- Consistência técnica e alinhamento com os objetivos do projeto;
- Viabilidade de implementação dos requisitos;

- Clareza e rastreabilidade entre requisitos e submódulos;
- Conformidade com normas aplicáveis.

Publicação e Disseminação: O relatório será disponibilizado em formato digital (PDF e DOCX) no repositório interno do projeto, sob controle de versão. Após validação, uma versão resumida poderá ser incluída em relatórios executivos e apresentações institucionais. Quando aplicável, trechos não confidenciais poderão ser compartilhados em *workshops* técnicos e reuniões de acompanhamento com parceiros industriais e acadêmicos.

Justificativas: A elaboração do Relatório de Requisitos do Sistema é fundamental para consolidar as diretrizes técnicas e funcionais que orientarão o desenvolvimento do sistema integrado de sensoramento e inspeção ferroviária baseado em visão computacional.

O documento norteará o processo de desenvolvimento, estabelecendo funcionalidades, parâmetros de projeto, métodos de validação de requisitos e a caracterização do ambiente e das condições de ensaio utilizadas na validação do sistema.

Essas definições asseguram a integração e a compatibilidade entre os subsistemas a serem desenvolvidos, como hardware, software, visão computacional e sistemas de comunicação, além de promover o alinhamento entre as equipes técnicas envolvidas.

3.2.1.1. Atividade 1.1: Revisão Bibliográfica e de Estado da Arte

Descrição: Mapear e analisar publicações científicas, relatórios técnicos e soluções comerciais relacionadas à inspeção ferroviária automatizada e visão computacional.

Métodos e Técnicas: Pesquisa sistemática em bases científicas, revisão técnica comparativa e análise de tecnologias existentes.

Subatividades:

- Levantamento de fontes e referências relevantes.
- Classificação das abordagens por tipo de sensoramento e aplicação.
- Síntese das principais tendências e lacunas tecnológicas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório Técnico contendo Revisão Bibliográfica.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** 01 relatório consolidado de revisão de estado da arte.
- **Resultado:** Identificação de tecnologias e metodologias aplicáveis ao desenvolvimento do sistema.

3.2.1.2. Atividade 1.2: Identificação de Requisitos Funcionais e Não Funcionais

Descrição: Definir os requisitos técnicos e operacionais necessários para o desenvolvimento do sistema de inspeção e sensoramento.

Métodos e Técnicas: Entrevistas técnicas, análise de processos e modelagem de requisitos.

Subatividades:

- Levantamento dos requisitos funcionais do sistema.
- Definição dos requisitos não funcionais (segurança, desempenho e interoperabilidade).
- Estruturação e documentação dos requisitos identificados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Lista de Requisitos funcionais e não-funcionais entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Lista estruturada de requisitos funcionais e não funcionais.
- **Resultado:** Conjunto de requisitos claros, rastreáveis e aderentes aos objetivos do sistema.

3.2.1.3. Atividade 1.3: Matriz de Requisitos e Correlação com Submódulos

Descrição: Relacionar cada requisito identificado aos submódulos do sistema, assegurando rastreabilidade coerência técnica e possibilidade de priorização quando necessário.

Métodos e Técnicas: Engenharia de requisitos, modelagem matricial e validação cruzada.

Subatividades:

- Criação da matriz de correlação entre requisitos e submódulos.
- Verificação da consistência entre requisitos e componentes do sistema.
- Revisão técnica com as equipes responsáveis por hardware, software e integração.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Matriz de correção de requisitos entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Matriz final de requisitos correlacionada aos submódulos.
- **Resultado:** Alinhamento técnico e rastreabilidade completa entre os requisitos e a arquitetura do sistema

3.2.2. Entregável 2 - Especificação Técnica de Sensores e Iluminadores

Descrição: Tem como finalidade definir, com base em critérios técnicos e operacionais, os sensores/câmeras e os sistemas de iluminação apropriados para o ambiente ferroviário de inspeção. O documento resultante estabelecerá parâmetros de desempenho, requisitos ambientais e condições de instalação, levando em consideração as condições adversas de operação, como vibração, poeira, variação térmica e de luminosidade.

Como será desenvolvido:

- Definição de Cenários Operacionais e Condições de Iluminação: caracterização detalhada dos ambientes de inspeção (trilhos, dormentes, lastro e AMVs), incluindo variações diurnas e noturnas, sombreamento, presença de partículas em suspensão e condições climáticas típicas.
- Seleção e Especificação de Câmeras e Iluminadores: análise comparativa de tecnologias disponíveis no mercado para câmeras (monocromáticas, RGB, NIR, térmicas, *line-scan*, entre outras) e iluminadores. Serão definidos parâmetros como resolução, taxa de quadros, sensibilidade espectral, ângulo de abertura, sincronismo e consumo de energia.
- Definição de Posições e Orientações de Instalação: estudo geométrico para determinar as melhores posições para instalação de sensores e iluminadores em relação à via e aos elementos de interesse.
- Requisitos para Integração com o Sistema de Aquisição e Comunicação: validação da compatibilidade elétrica e lógica entre sensores, iluminadores e os controladores embarcados.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida por especialistas das áreas de instrumentação eletrônica, visão computacional e engenharia mecânica do time do ISI SIM.

Publicação e Disseminação: O documento será emitido em formato digital (PDF e DOCX) e armazenado no repositório técnico do projeto, com controle de versão e acesso restrito às equipes de engenharia e aquisição.

Justificativas: A definição precisa dos sensores e iluminadores é essencial para garantir qualidade de imagem, repetibilidade das medições e confiabilidade dos algoritmos de inspeção. A robustez mecânica e óptica desses componentes impacta diretamente na eficácia do sistema em ambiente ferroviário. A padronização de sensores e iluminadores também viabiliza integração modular e escalabilidade, permitindo que futuras versões do sistema ou novos módulos de inspeção sejam desenvolvidos.

3.2.2.1. Atividade 2.1: Definição de Cenários Operacionais e Condições de Iluminação

Descrição: Caracterizar os ambientes de inspeção considerando condições reais de operação ferroviária.

Métodos e Técnicas: Análise de campo, medições de luminosidade e simulação de condições ambientais.

Subatividades:

- Mapeamento de um ponto de inspeção representativo
- Registro das condições ambientais.
- Identificação de fatores interferentes como poeira e vibração.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de visita a campo com detalhes da caracterização ambiental entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento com parâmetros operacionais e de iluminação.
- **Resultado:** Requisitos para criação de cenários realistas que orientarão a seleção de sensores e iluminadores.

3.2.2.2. Atividade 2.2: Seleção e Especificação de Câmeras e Iluminadores

Descrição: Definir os sensores e iluminadores mais adequados ao ambiente ferroviário e às necessidades de inspeção.

Métodos e Técnicas: Benchmarking técnico e análise comparativa.

Subatividades:

- Levantamento de tecnologias disponíveis.
- Avaliação de desempenho óptico e elétrico.
- Seleção final dos modelos conforme requisitos de operação.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Lista de Equipamentos com pelo menos duas opções que atendam aos requisitos definidos.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Especificação técnica de equipamentos.
- **Resultado:** Sensores e iluminadores definidos com base em critérios técnicos e operacionais

3.2.2.3. Atividade 2.3 - Definição de Posições e Orientações de Instalação

Descrição: Determinar as posições e orientações ideais para instalação dos sensores e iluminadores em relação à via e aos alvos de inspeção.

Métodos e Técnicas: Modelagem geométrica e simulação de campo de visão.

Subatividades:

- Definição de ângulos e distâncias ótimas.
- Simulação de cobertura visual e sobreposição de faixas.
- Verificação de restrições mecânicas e elétricas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 ambiente virtual para apoio no dimensionamento do sistema de visão entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Ambiente virtual com posições e orientações recomendadas.
- **Resultado:** Configuração otimizada de instalação para máxima qualidade de imagem.

3.2.3. Entregável 3 - Especificação do Sistema de Aquisição e Armazenamento

Descrição: Este entregável tem como objetivo definir, de forma detalhada e padronizada, a arquitetura técnica do sistema responsável pela aquisição, transmissão, armazenamento e backup dos dados provenientes dos sensores e módulos do projeto. A especificação abrangerá o dimensionamento dos recursos de hardware, a estrutura de comunicação entre os dispositivos, os protocolos adotados e os mecanismos de redundância e segurança dos dados. O documento servirá como referência técnica para o desenvolvimento e integração dos módulos de instrumentação, controle e análise.

Como será desenvolvido:

- **Definição da Arquitetura de Hardware e Comunicação:** Mapeamento dos dispositivos de campo e de interface, definição dos protocolos de comunicação e estruturação do fluxo de dados entre sensores, gateways e servidores.
- **Elaboração de Diagramas de Blocos Funcionais:** Representação da topologia de aquisição e da hierarquia de comunicação, com identificação dos pontos de aquisição, sincronização e transmissão de dados.
- **Dimensionamento do Sistema de Armazenamento:** Estimativa do volume de dados por ciclo de operação, definição de requisitos de capacidade, taxa de amostragem, redundância e retenção temporal.
- **Definição de Estratégias de Backup e Recuperação:** Seleção dos métodos de backup incremental e completo, definição de periodicidade, mecanismos de verificação de integridade e política de restauração.
- **Especificação de Requisitos de Segurança e Integridade:** Definição de mecanismos de autenticação, controle de acesso e registro de logs de operação e falha.
- **Integração com Sistema de Monitoramento e Supervisão:** Mapeamento das interfaces de software e APIs necessárias para integração com módulos de supervisão, visualização e diagnóstico remoto.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica do ISI SIM, composta por especialistas das áreas de sistemas de comunicação, visão computacional, eletrônica embarcada e desenvolvimento de sistemas.

Publicação e Disseminação: O documento será emitido em formato digital (PDF e DOCX) e armazenado no repositório técnico do projeto, com controle de versão e acesso restrito às equipes de engenharia e aquisição.

Justificativas: Este entregável assegura a interoperabilidade entre subsistemas e a escalabilidade do ambiente computacional. Se considerado nos requisitos iniciais, pode fornecer a base para futuras expansões do sistema e integração com plataformas de gêmeos digitais.

3.2.4. Entregável 3 - Especificação do Sistema de Aquisição e Armazenamento

3.2.4.1. Atividade 3.1 - Definição de Arquitetura de Hardware e Comunicação

Descrição: Definir a estrutura técnica do sistema de aquisição, incluindo dispositivos, protocolos e fluxos de dados.

Métodos e Técnicas: Mapeamento de arquitetura, análise e revisita de requisitos funcionais e modelagem de fluxos de comunicação.

Subatividades:

- Identificação dos dispositivos de campo e interfaces de comunicação.
- Seleção dos protocolos de rede e sincronização de dados.
- Criação de diagramas de blocos e fluxogramas funcionais.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de arquitetura de hardware e comunicação entregue

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Especificação completa da arquitetura de hardware e comunicação.
- **Resultado:** Estrutura de aquisição padronizada e interoperável entre módulos e sensores.

3.2.4.2. Atividade 3.2 - Dimensionamento do Sistema de Armazenamento e Backup

Descrição: Dimensionar os recursos de armazenamento e definir estratégias de backup e recuperação de dados.

Métodos e Técnicas: Análise de volume de dados, cálculo de capacidade e mapeamento de cenários de redundância.

Subatividades:

- Estimativa de volume de dados e taxa de amostragem.
- Definição de requisitos de capacidade e retenção temporal.
- Seleção de estratégias de backup incremental e completo.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico com plano de armazenamento e backup entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento com dimensionamento dos recursos armazenamento e políticas de backup
- **Resultado:** Sistema de armazenamento escalável e com mecanismos de recuperação definidos.

3.2.5. Entregável 4 - Especificação de Requisitos para Inteligência Artificial

Descrição: Tem como finalidade definir os requisitos técnicos e funcionais necessários para o desenvolvimento dos módulos de Inteligência Artificial do projeto. O documento abrangerá a identificação das classes e itens de interesse a serem reconhecidos, classificados ou preditos pelos modelos, bem como os requisitos de estruturação, anotação e qualidade dos conjuntos de dados a serem utilizados para treinamento, validação e teste. As metas de desempenho e os indicadores utilizados para validação também serão detalhados nesta entrega.

Como será desenvolvido:

- Definição de Classes e Itens de Interesse: Identificação e categorização das entidades relevantes a serem detectadas ou classificadas pelos modelos de IA considerando aspectos operacionais e de contexto do sistema. Serão definidas as classes principais, subclasses, atributos de relevância e parâmetros observáveis, com base em dados históricos e análises de domínio.
- Análise de Fontes de Dados Disponíveis: Levantamento das bases de dados existentes e avaliação de sua adequação quanto à resolução, frequência de amostragem, representatividade e confiabilidade para as tarefas de IA propostas.
- Requisitos de *Dataset* e Anotação: Definição dos formatos de dados aceitos, volume mínimo por classe, métodos de normalização e estratégias de balanceamento. Serão também definidos os critérios de anotação manual e automatizada, incluindo ferramentas a serem utilizadas, padrões de metadados, e formato de exportação.

- **Requisitos de Qualidade dos Dados:** Estabelecimento de métricas para avaliação da qualidade do *dataset*, como taxa de ruído aceitável, consistência temporal, integridade de amostras e diversidade de cenários.
- **Mapeamento com os Requisitos do Sistema:** Correlação entre as classes de IA e os módulos funcionais do sistema, garantindo aderência às metas de aquisição, processamento e tomada de decisão previstas no projeto.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe de ciência de dados em conjunto com os responsáveis pelos módulos de instrumentação e controle, assegurando alinhamento entre as variáveis coletadas e as classes definidas para IA. A validação será realizada por meio de revisão cruzada técnica com o time da MRS.

Publicação e Disseminação: O documento será emitido em formato digital (PDF e DOCX) e armazenado no repositório técnico do projeto, com controle de versão e acesso restrito às de ciência de dados e desenvolvimento.

Justificativas: Garante a coerência entre os objetivos do projeto e o desempenho esperado dos algoritmos. Tecnicamente, ela assegura que os *datasets* sejam representativos, bem estruturados e compatíveis com os métodos de aprendizado supervisionado e não supervisionado a serem empregados.

3.2.6. Entregável 4 - Especificação de Requisitos para Inteligência Artificial

3.2.6.1. Atividade 4.1 - Definição de Classes e Itens de Interesse

Descrição: Identificar e estruturar as classes e atributos relevantes para detecção e classificação pelos modelos de IA.

Métodos e Técnicas: Análise de domínio, estudo de contexto operacional e revisão de registros históricos.

Subatividades:

- Levantamento das entidades físicas e eventos de interesse.
- Agrupamento por classes principais, subclasses e atributos.
- Definição de parâmetros observáveis e limites operacionais.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Documento com a lista de classes e atributos revisados pela equipe de IA

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Catálogo estruturado de classes e parâmetros observáveis.
- **Resultado:** Conjunto de classes definido e validado, servindo como base para o treinamento dos modelos.

3.2.6.2. Atividade 4.2 - Requisitos de *Dataset* e Anotação

Descrição: Definir especificações para estrutura, volume, anotação e padronização dos dados utilizados no treinamento e validação dos modelos.

Métodos e Técnicas: Análise de variabilidade de dados, revisão de padrões de anotação e definição de métricas de qualidade.

Subatividades:

- Definição de formatos e estruturas de dados aceitas.
- Estabelecimento de critérios de anotação manual e automática.
- Definição de volume mínimo por classe e estratégias de balanceamento.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico contendo as especificações completas de *dataset* e anotação.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento de requisitos de dataset e diretrizes de anotação.
- **Resultado:** Base de dados padronizada e compatível com os requisitos dos modelos de IA.

3.3. Macroentrega 2 – Desenvolvimento e Prototipagem do Sistema de Aquisição e Inspeção

3.3.1. Entregável 5 - Estudo de Posicionamento de Câmeras e Iluminadores

Descrição: O objetivo deste entregável é definir o posicionamento ótimo de câmeras e iluminadores para garantir cobertura visual completa, qualidade de imagem adequada e iluminação homogênea nas áreas de interesse. O estudo visa otimizar o arranjo geométrico dos dispositivos considerando o campo de visão, interferências físicas, ângulos de incidência e condições ambientais. A entrega resultará em um conjunto de parâmetros e diretrizes técnicas que guiarão o projeto mecânico do sistema e os métodos para coleta de dados.

Como será desenvolvido:

- **Modelagem Geométrica e Simulação de Campo de Visão:** Será elaborada uma representação tridimensional do ambiente-alvo, incluindo estruturas, barreiras físicas e áreas críticas de observação. Serão simulados diferentes arranjos de câmeras e iluminadores utilizando ferramentas de modelagem e renderização ótica para avaliar sobreposição de campos de visão, zonas de sombra e níveis de iluminação.
- **Avaliação Experimental em Ambiente Controlado:** Serão montados protótipos de teste em bancada, reproduzindo as condições operacionais de instalação. Nesta fase, serão coletadas imagens sob diferentes condições de luz, distância e orientação para validar a simulação e identificar ajustes necessários na configuração geométrica.
- **Análise de Desempenho e Ajuste de Parâmetros:** Serão aplicadas métricas de qualidade de imagem e indicadores de eficiência luminosa. Essa etapa permitirá refinar o posicionamento e calibrar a potência e o ângulo dos iluminadores.
- **Definição do Posicionamento Ótimo e Documentação Técnica:** A partir dos resultados da simulação e dos testes experimentais, será definida a configuração final de instalação, incluindo coordenadas de fixação, inclinações, alturas e distâncias entre sensores e iluminadores. O resultado será consolidado em um documento técnico com plantas esquemáticas, instruções de montagem e parâmetros de calibração.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica de instrumentação e visão computacional, com apoio do grupo responsável pela integração de hardware e software. A validação será feita por meio de revisão de projeto e teste prático supervisionado.

Publicação e Disseminação: O relatório técnico será disponibilizado no repositório de engenharia do projeto, acompanhado de diagramas em formato CAD e arquivos de simulação 3D. Um resumo dos resultados e recomendações será incluído nas apresentações de acompanhamento técnico e relatórios de progresso.

Justificativas: Assegura a eficácia do sistema de visão, reduzindo ruídos, distorções e falhas de cobertura que comprometeriam a qualidade dos dados de imagem e, conseqüentemente, o desempenho dos algoritmos de IA. Tecnicamente, garante que o sistema opere de forma robusta sob diferentes condições de iluminação e geometria.

3.3.1.1. Atividade 5.1 - Modelagem Geométrica e Simulação de Campo de Visão

Descrição: Modelar o ambiente e simular o campo de visão e iluminação das câmeras e iluminadores.

Métodos e Técnicas: Uso de softwares de modelagem 3D e renderização ótica para análise geométrica e luminosa.

Subatividades:

- Criação de modelo tridimensional do ambiente de inspeção.
- Simulação de diferentes arranjos de câmeras e iluminadores.
- Avaliação de cobertura, sobreposição e zonas de sombra.

Critério de Medição e Faturamento:

- Entrega dos modelos 3D.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelo digital validado com indicação de cobertura visual e luminosa.
- **Resultado:** Configuração preliminar otimizada que assegure cobertura e iluminação uniforme dos pontos de interesse.

3.3.1.2. Atividade 5.2 - Avaliação Experimental em Ambiente Laboratorial

Descrição: Validar em bancada os resultados de simulação sob condições controladas de operação.

Métodos e Técnicas: Ensaios de aquisição de imagem e medição luminosa com protótipos instrumentados.

Subatividades:

- Montagem de bancada experimental representativa das condições reais.
- Coleta de imagens sob diferentes ângulos e intensidades de luz.
- Comparação dos resultados com os dados simulados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório experimental contendo registros e métricas de desempenho validados.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de dados de teste e relatório de comparação experimental-simulado.
- **Resultado:** Validação prática das condições geométricas e luminotécnicas definidas na simulação.

3.3.1.3. Atividade 5.3 - Definição do Posicionamento Ótimo e Documentação Técnica

Descrição: Consolidar a configuração final de instalação de câmeras e iluminadores com base nos resultados obtidos.

Métodos e Técnicas: Análise comparativa de desempenho e otimização geométrica apoiada em métricas de qualidade de imagem.

Subatividades:

- Ajuste fino dos parâmetros de ângulo, altura e distância entre dispositivos.
- Definição das coordenadas finais de instalação e orientação.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Documento técnico com indicação de parâmetros de instalação

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento técnico consolidado com parâmetros de posicionamento e instalação.
- **Resultado:** Configuração final otimizada, validada e pronta para integração no sistema de inspeção.

3.3.1.4. Resumo do Entregável 5

3.3.2. Entregável 6 - Projeto Eletrônico e Mecânico

Descrição: Desenvolver o projeto eletrônico e mecânico completo do sistema de aquisição e inspeção, consolidando as interfaces físicas e funcionais entre sensores, câmeras, iluminadores e unidades de processamento. O escopo abrange o dimensionamento elétrico, eletrônico, estrutural e térmico do conjunto, garantindo robustez, modularidade e facilidade de manutenção. O projeto também considerará as condições ambientais e operacionais típicas do transporte ferroviário, incluindo vibração, temperatura, umidade e interferência eletromagnética.

Como será desenvolvido:

- Levantamento de Requisitos Mecânicos, Elétricos e Ambientais: Serão definidos os parâmetros de operação (tensão, corrente, dissipação térmica, peso, vibração e grau de proteção IP) com base nas condições de uso previstas. A equipe levantará também requisitos normativos e de compatibilidade eletromagnética.
- Projeto Eletrônico - Esquemático, Layout e Interconexões: Com base na arquitetura de hardware definida, serão elaborados os esquemáticos elétricos, o roteamento de placas de circuito impresso (PCB) e os diagramas de interligação entre módulos. Serão utilizados softwares de CAD eletrônico.
- Projeto Mecânico - Estruturas, Fixações e Proteções: O projeto mecânico incluirá o desenho de suportes, carcaças e estruturas de fixação para câmeras, iluminadores e placas eletrônicas. Serão definidos materiais e tratamentos adequados à operação em ambiente ferroviário.
- Integração Eletrônica-Mecânica e Verificação de Compatibilidade Física: As equipes de eletrônica e mecânica trabalharão de forma integrada na validação de espaço, conectividade e dissipação térmica, utilizando simulações 3D e análises de interferência. Serão realizados testes preliminares de montagem e ajustes no modelo CAD integrado.
- Desenhos Técnicos e Lista de Materiais: Serão gerados todos os desenhos técnicos em formato padronizado, bem como a *Bill of Materials* (BOM) detalhada com especificações, quantidades e códigos internos. A documentação servirá de base para a construção do protótipo.
- Revisão de Projeto e Preparação para Fabricação: Antes da liberação para fabricação, será feita uma revisão de engenharia para verificar integridade elétrica, robustez estrutural e orientação a adequação às normas aplicáveis.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica multidisciplinar do projeto (mecânica, eletrônica e integração de sistemas), com acompanhamento do time de engenharia da MRS. A validação ocorrerá em duas etapas: (1) análise técnica dos desenhos e modelos 3D e (2) prototipagem parcial para ensaio de montagem e compatibilidade física.

Publicação e Disseminação: O conjunto de documentos finais (esquemáticos, layouts, desenhos mecânicos e lista de materiais) será armazenado no repositório técnico do projeto, em formato controlado e versionado. Um resumo executivo será incluído no relatório de progresso técnico e apresentado em reuniões de acompanhamento com a MRS e demais parceiros institucionais.

Justificativas: Necessário para a materialização do sistema de inspeção, viabilizando a coleta de dados com reprodutibilidade para as fases seguintes. Este entregável consolida o conhecimento gerado nos primeiros entregáveis sobre engenharia do sistema, permitindo replicação, customização e evolução tecnológica.

3.3.2.1. Atividade 6.1 - Levantamento de Requisitos Mecânicos, Elétricos e Ambientais

Descrição: Identificar e documentar os parâmetros operacionais, ambientais e normativos que orientarão o projeto eletrônico e mecânico.

Métodos e Técnicas: Análise de normas técnicas, medições de campo e consulta a catálogos de componentes.

Subatividades:

- Medição e registro das condições de operação.
- Identificação de restrições elétricas e estruturais.
- Consolidação dos requisitos em planilha técnica.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 planilha de requisitos atualizada pela equipe técnica.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** 01 Lista de requisitos atualizada.
- **Resultado:** Base técnica consolidada para o desenvolvimento de projeto eletrônico e mecânico.

3.3.2.2. Atividade 6.2 - Projeto Eletrônico: Esquemático, Layout e Interconexões

Descrição: Desenvolver o projeto eletrônico completo, incluindo esquemáticos, roteamento de PCBs, se necessário, e diagramas de interligação.

Métodos e Técnicas: Uso de software CAD eletrônico.

Subatividades:

- Revisão de compatibilidade entre módulos e conectores.
- Elaboração de diagramas elétricos funcionais.
- Roteamento e dimensionamento de PCBs.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 conjunto de esquemático, layout e diagramas entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de arquivos eletrônicos (PCB, esquemáticos e diagramas de interconexão).
- **Resultado:** Projeto eletrônico validado para integração com os subsistemas mecânicos e de software.

3.3.2.3. Atividade 6.3 - Projeto Mecânico: Estruturas, Fixações e Proteções

Descrição: Projetar os elementos estruturais, de fixação e proteção que suportarão o sistema de aquisição e inspeção.

Métodos e Técnicas: Modelagem CAD 3D e simulação de esforços mecânicos.

Subatividades:

- Desenho de suportes e carcaças.
- Seleção de materiais
- Validação da necessidade de tratamentos superficiais.
- Validação de resistência mecânica e rigidez.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 conjunto de arquivos CAD e relatório de simulação, se necessário.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos 3D e desenhos técnicos completos do conjunto mecânico.
- **Resultado:** Estrutura robusta e compatível com o ambiente ferroviário e as exigências operacionais.

3.3.2.4. Atividade 6.4 - Integração Eletrônica-Mecânica e Verificação de Compatibilidade Física

Descrição: Validar a compatibilidade geométrica e funcional entre os projetos eletrônico e mecânico.

Métodos e Técnicas: Desenhos 3D integrados e análise de interferência eletromecânica.

Subatividades:

- Importação de modelos eletrônicos para o ambiente CAD 3D.
- Avaliação de espaço, dissipação térmica e acessibilidade.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 modelo 3D integrado

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelo digital consolidado.
- **Resultado:** Integração validada entre os módulos eletrônicos e mecânicos, pronta para prototipagem.

3.3.2.5. Atividade 6.5 - Desenhos Técnicos e Lista de Materiais (BOM)

Descrição: Consolidar toda a documentação técnica necessária à fabricação do protótipo, incluindo desenhos e lista de materiais.

Métodos e Técnicas: Geração automática de documentação via software CAD e validação individual de componentes.

Subatividades:

- Produção de desenhos técnicos detalhados e vistas explodidas.
- Elaboração da Bill of Materials (BOM) com códigos, quantidades e possíveis fornecedores.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 pacote completo de documentação técnica e BOM entregues.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de desenhos técnicos padronizados e lista de materiais.
- **Resultado:** Documentação final pronta para fabricação do protótipo para validação do sistema de medição.

3.3.3. Entregável 7 - Construção do Protótipo do Sistema de Aquisição

Descrição: Este entregável tem como objetivo a construção, integração e validação funcional do primeiro protótipo completo do sistema de aquisição de imagens e dados, incluindo eletrônica, mecânica e sistema de iluminação. O protótipo representa a primeira materialização física do sistema, permitindo validar a arquitetura de hardware definida, a eficiência do arranjo óptico e o desempenho da comunicação e sincronização temporal.

Como será desenvolvido:

- **Montagem da Eletrônica e Estruturas Mecânicas:** Serão fabricadas e montadas as placas eletrônicas, conectores, cablagens e estruturas mecânicas de suporte conforme os desenhos técnicos aprovados. Serão aplicadas boas práticas de montagem eletromecânica, com atenção à dissipação térmica, fixação antivibração e proteção ambiental.
- **Integração do Sistema de Aquisição e Iluminação:** A integração abrangerá a instalação dos sensores de imagem, módulos de controle e unidades de iluminação, garantindo o alinhamento geométrico e o sincronismo operacional. Serão realizados ajustes finos de posicionamento e calibração de intensidade luminosa para assegurar a uniformidade da captura em diferentes condições de iluminação.
- **Ensaio Funcionais de Operação, Comunicação e Sincronização Temporal:** Serão conduzidos testes de operação do sistema para avaliar estabilidade, latência de comunicação, sincronismo entre câmeras e iluminadores e resposta do sistema de armazenamento.

- **Validação Funcional do Protótipo:** A validação será feita mediante testes controlados de aquisição de imagens e operação do sistema, verificando conformidade com os requisitos definidos nas fases anteriores.
- **Documentação Técnica e Plano de Melhorias:** Após os testes, será elaborada documentação técnica consolidando o processo de montagem, diagramas de interligação, resultados de ensaio e recomendações para ajustes.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica de engenharia e integração de sistemas, com acompanhamento da coordenação técnica do projeto por parte da MRS. A validação ocorrerá em ambiente de laboratório sob supervisão conjunta das equipes de hardware e software.

Publicação e Disseminação: Os resultados e documentação do protótipo serão armazenados no repositório técnico do projeto, incluindo relatórios de montagem, diagramas, listas de materiais e registros de ensaio. Um resumo executivo será apresentado em reuniões técnicas com os parceiros institucionais e poderá ser utilizado em seminários internos ou relatórios de progresso para disseminação dos avanços tecnológicos alcançados.

Justificativas: A construção do protótipo do sistema de aquisição é um marco no projeto, pois permite validar experimentalmente a arquitetura proposta, identificar ajustes de projeto e confirmar a viabilidade técnica do sistema em condições reais.

3.3.3.1. Atividade 7.1 - Montagem da Eletrônica e Estruturas Mecânicas

Descrição: Realizar a montagem física das placas eletrônicas, cabos, conectores e estruturas de suporte conforme o projeto aprovado.

Métodos e Técnicas: Aplicação de boas práticas de montagem eletromecânica e controle de qualidade.

Subatividades:

- Fabricação e inspeção de PCBs e chicotes.
- Montagem das estruturas mecânicas e fixações antivibração.
- Teste de continuidade elétrica e verificação de isolamento.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Protótipo montado e funcional.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto eletromecânico completo e operacional.
- **Resultado:** Estrutura física do sistema pronta para integração e testes.

3.3.3.2. Atividade 7.2 - Integração do Sistema de Aquisição e Iluminação

Descrição: Integrar sensores de imagem, módulos de controle e unidades de iluminação com alinhamento geométrico e sincronismo.

Métodos e Técnicas: Ajuste fino de posicionamento óptico e ajuste de intensidade luminosa.

Subatividades:

- Instalação de câmeras, controladores e iluminadores.
- Ajustes de foco, ângulo e intensidade de luz.
- Testes de comunicação e sincronização entre dispositivos.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 protótipo com validação funcional do sistema de visão integrado, em bancada.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo totalmente integrado com sensores e iluminação.
- **Resultado:** Sistema de aquisição pronto para ensaios funcionais e validação.

3.3.3.3. Atividade 7.3 - Ensaios Funcionais de Operação, Comunicação e Sincronização Temporal

Descrição: Testar a estabilidade, comunicação e sincronismo do sistema em operação contínua em laboratório.

Métodos e Técnicas: Execução de testes de bancada, medições de latência e análise de desempenho.

Subatividades:

- Teste de operação simultânea dos módulos.
- Avaliação de sincronismo entre câmeras e iluminadores.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico com resultados de desempenho

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório de ensaios funcionais e registros de desempenho.
- **Resultado:** Validação do desempenho operacional e da confiabilidade do sistema.

3.3.3.4. Atividade 7.4 - Validação Funcional do Protótipo

Descrição: Validar o protótipo completo sob condições reais de operação controlada.

Métodos e Técnicas: Execução de testes comparativos com requisitos e análise de conformidade técnica aos requisitos.

Subatividades:

- Teste de aquisição em ambiente simulado.
- Comparação com parâmetros de projeto e requisitos funcionais.
- Registro de falhas e recomendações de melhoria.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Plano de ensaios em ambiente laboratorial.
- 01 Relatório de ensaios em ambiente laboratorial.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo funcional e documentação de validação.
- **Resultado:** Confirmação da viabilidade técnica e operacional do sistema de aquisição.

3.3.4. Entregável 8 - Revisão da Literatura e Avaliação de Algoritmos de Detecção e Inspeção

Descrição: Este entregável tem como objetivo consolidar o estado da arte em métodos de detecção e segmentação aplicáveis ao contexto do projeto, com foco em técnicas baseadas em visão computacional e aprendizado de máquina. Busca-se identificar, comparar e selecionar algoritmos promissores para aplicação em inspeções automatizadas, considerando critérios de desempenho, robustez e adequação ao ambiente operacional definido pelo projeto. A etapa também contempla a avaliação preliminar dos algoritmos selecionados utilizando *datasets* reais disponibilizados pela MRS, permitindo uma análise quantitativa e qualitativa de desempenho.

Como será desenvolvido:

- Levantamento e categorização das fontes científicas e técnicas: coleta e análise sistemática de artigos, relatórios técnicos e benchmarks relevantes sobre métodos de detecção e segmentação de alvos em imagens e vídeos.
- Análise comparativa dos algoritmos identificados: avaliação dos princípios de funcionamento, requisitos computacionais, métricas de desempenho e limitações de cada técnica.
- Seleção dos algoritmos de maior potencial: definição de um conjunto restrito de métodos para testes preliminares, considerando aderência ao ambiente do sistema de aquisição e às restrições operacionais.
- Implementação e avaliação com *dataset* da MRS: execução de experimentos controlados para mensuração de métricas de desempenho definidas anteriormente e tempo de processamento.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida por especialistas em visão computacional e inteligência artificial vinculados à equipe de P&D do projeto. A validação será realizada em conjunto com o time técnico da MRS, considerando critérios como reprodutibilidade dos resultados, coerência metodológica e relevância prática dos algoritmos avaliados. Será utilizado um protocolo de verificação cruzada para garantir consistência estatística das métricas obtidas.

Publicação e Disseminação: Os resultados serão registrados em relatório técnico interno e submetidos a conferências e periódicos especializados, quando aplicável. Versões resumidas poderão ser apresentadas em workshops e reuniões técnicas com parceiros do projeto, assegurando a disseminação do conhecimento gerado e o alinhamento com os demais grupos de pesquisa envolvidos.

Justificativas: Fundamenta as próximas etapas de desenvolvimento do sistema de inspeção, fornecendo uma base científica e técnica sólida para a escolha dos algoritmos a serem implementados. A revisão da literatura assegura a incorporação de técnicas de ponta, enquanto a avaliação preliminar com dados reais da MRS permite validar sua aplicabilidade prática e antecipar ajustes necessários para integração.

3.3.4.1. Atividade 8.1 - Revisão dos Métodos de Detecção e Segmentação

Descrição: Mapear e analisar o estado da arte em técnicas de detecção e segmentação aplicáveis ao contexto de inspeção ferroviária automatizada.

Métodos e Técnicas: Revisão sistemática da literatura científica e técnica, análise comparativa de benchmarks e relatórios de desempenho, quando existentes.

Subatividades:

- Levantamento de publicações científicas e relatórios técnicos relevantes.
- Categorização dos métodos por abordagem (tradicional, aprendizado profundo, híbrido).
- Registro das principais métricas, datasets e arquiteturas utilizadas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório consolidado com mapeamento dos métodos e tendências identificadas.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico de revisão e classificação de algoritmos.
- **Resultado:** Base teórica consolidada para seleção dos algoritmos mais promissores para o projeto.

3.3.4.2. Atividade 8.2 - Avaliação Preliminar dos Algoritmos Selecionados com Dataset da MRS

Descrição: Executar experimentos comparativos para avaliar o desempenho dos algoritmos selecionados com dados reais fornecidos pela MRS.

Métodos e Técnicas: Implementação controlada de modelos de IA e uso de métricas padronizadas

Subatividades:

- Seleção e implementação dos algoritmos identificados na revisão.
- Preparação e balanceamento do dataset de teste da MRS.
- Execução de testes e coleta de métricas quantitativas e qualitativas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico contendo resultados experimentais e análise comparativa dos algoritmos.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de algoritmos testados e relatório de desempenho documentado.
- **Resultado:** Identificação dos algoritmos mais adequados para aplicação em ambiente ferroviário e definição de parâmetros iniciais para desenvolvimento.

3.3.5. Entregável 9 - Desenvolvimento do Protótipo da Interface Web

Descrição: Desenvolvimento de um protótipo funcional da interface web destinada à visualização, anotação e gerenciamento das informações adquiridas e processadas pelo sistema. A interface permitirá o acesso remoto e colaborativo aos dados, com foco em usabilidade, desempenho e integração com os módulos de aquisição e análise. O protótipo servirá como base para a versão final do sistema, validando fluxos de interação, arquitetura de software e estrutura de dados, além de estabelecer o ambiente de trabalho colaborativo entre usuários e operadores técnicos.

Como será desenvolvido:

- Definição da arquitetura de software: seleção das tecnologias *front-end* e *back-end*, definição de APIs, estrutura de banco de dados e padrões de comunicação entre módulos.
- Criação do *mockup* de telas: elaboração de protótipos visuais que representem a navegação, componentes principais e hierarquia das informações, servindo de base para avaliação preliminar da experiência do usuário.
- Implementação da estrutura base: desenvolvimento do ambiente inicial com autenticação, controle de acesso e organização dos módulos de visualização e anotação.
- Desenvolvimento das funções de visualização: implementação de componentes interativos para exibição de imagens, gráficos e dados temporais, com suporte a diferentes níveis de zoom e camadas de informação.
- Criação do módulo de anotação colaborativa: desenvolvimento de funcionalidades para marcação e categorização de regiões de interesse, com registro de anotações associadas a diferentes perfis de usuário.
- Modelagem dos fluxos de dados e perfis de usuários: definição dos níveis de permissão, papéis de acesso e fluxo de informações entre usuários, garantindo rastreabilidade e integridade dos dados.

- Teste de usabilidade e ajustes: condução de testes com usuários representativos, coleta de feedback e refinamento da interface visando ergonomia, clareza e eficiência operacional.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe de desenvolvimento de software em conjunto com os responsáveis pela integração de dados e os futuros usuários do sistema. A validação será realizada mediante testes de usabilidade supervisionados e revisões técnicas focadas em desempenho, responsividade e segurança.

Publicação e Disseminação: O protótipo será disponibilizado em ambiente de homologação restrito, acessível às equipes envolvidas no projeto. A documentação técnica, incluindo diagramas de arquitetura e fluxos de dados, será publicada em repositório técnico.

Justificativas: O protótipo de interface web cria a base para integração entre diferentes componentes do sistema. Também permite a avaliação antecipada de arquitetura de software e cria os mecanismos de anotação colaborativa, reduzindo risco de etapas posteriores. Também consolida a base tecnológica do sistema em direção a um produto após o projeto.

3.3.5.1. Atividade 9.1 - Arquitetura de Software

Descrição: Definir a arquitetura técnica da aplicação web, incluindo tecnologias, APIs e estrutura de banco de dados.

Métodos e Técnicas: Modelagem em camadas (front-end, back-end, dados), definição de APIs REST e arquitetura modular.

Subatividades:

- Seleção de frameworks
- Especificação de endpoints
- Configuração de ambiente de desenvolvimento.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de documentos de arquitetura de software entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Arquitetura de software definida e validada.
- **Resultado:** Base técnica consistente para o desenvolvimento da interface e integração entre módulos.

3.3.5.2. Atividade 9.2 - Mockup de Telas

Descrição: Criar protótipos visuais das telas principais da aplicação para avaliação inicial da navegação e usabilidade.

Métodos e Técnicas: Design de interface utilizando ferramentas de prototipagem

Subatividades:

- Desenho de fluxos de navegação
- Definição de componentes e interação visual.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de Mockup de telas principais apresentado para equipe técnica e usuários-chave.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de telas navegáveis em formato digital.
- **Resultado:** Validação dos fluxos de interação e alinhamento com os requisitos de usabilidade.

3.3.5.3. Atividade 9.3 - Implementação da Estrutura Base

Descrição: Desenvolver a estrutura inicial da aplicação, com autenticação, controle de acesso e organização dos módulos.

Métodos e Técnicas: Programação modular com frameworks web e implementação de telas de login.

Subatividades:

- Desenvolvimento do sistema de login
- Criação de 2 níveis de usuário (visualização e admin)
- Criação da estrutura de diretórios.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Ambiente web funcional rodando localmente.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo operacional com autenticação e controle de sessão.
- **Resultado:** Infraestrutura base pronta para receber demais módulos do sistema.

3.3.5.4. Atividade 9.4 - Implementação das Funções de Visualização

Descrição: Desenvolver módulos para visualização de imagens, gráficos e dados temporais com recursos interativos.

Métodos e Técnicas: Uso de bibliotecas de renderização e visualização.

Subatividades:

- Implementação de zoom e navegação nas imagens
- Sobreposição de outras camadas visuais
- Exibição de metadados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Módulo de visualização integrado ao sistema rodando localmente.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulo com painel de visualização interativo.
- **Resultado:** Visualização eficiente e clara dos dados capturados pelo sistema.

3.3.5.5. Atividade 9.5 - Desenvolvimento de Módulo de Anotação Colaborativa

Descrição: Implementar funcionalidades para anotação manual e colaborativa sobre imagens e vídeos.

Métodos e Técnicas: Programação de componentes interativos e controle de versão de anotações.

Subatividades:

- Criação de ferramentas de marcação e categorização
- Sincronização de anotações multiusuário.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Módulo de anotação de dados integrado ao sistema rodando localmente.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulo com ferramenta de anotação integrada.
- **Resultado:** Capacidade de anotar e validar dados visualmente em equipe.

3.3.5.6. Atividade 9.6 - Elaboração de fluxos de dados e perfis de usuários

Descrição: Definir fluxos de dados, papéis de usuários e níveis de permissão na plataforma.

Métodos e Técnicas: Modelagem de fluxo de informações e definição de papéis de acesso.

Subatividades:

- Criação de fluxogramas de processo
- Documentação dos perfis e privilégios
- Diagramas de Fluxo de Dados

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de documentos de fluxo de dados e perfis de usuário

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documentação técnico de fluxos e perfis de usuários.
- **Resultado:** Sistema seguro e rastreável, com gestão clara de acessos e responsabilidades.

3.3.5.7. Atividade 9.7 - Teste de usabilidade e ajustes

Descrição: Realizar testes de usabilidade com usuários representativos e aplicar ajustes com base no feedback.

Métodos e Técnicas: Testes guiados, observação direta e métricas de interação

Subatividades:

- Planejamento dos testes
- Execução controlada
- Implementação de melhorias

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Repositório com a versão inicial da plataforma web com os módulos desenvolvidos até o momento.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo com avaliação de usabilidade.
- **Resultado:** Interface intuitiva, eficiente e aderente às necessidades do usuário final.

3.3.6. Entregável 10 - Prototipagem do Sistema de Coleta e Armazenamento de Dados

Descrição: Desenvolvimento e a validação do protótipo do sistema responsável pela coleta, transmissão e armazenamento dos dados gerados pelos módulos de aquisição e análise do projeto. O escopo inclui a definição da arquitetura de comunicação entre dispositivos, o desenvolvimento do sistema de armazenamento e indexação em nuvem ou servidor local, e a realização de testes laboratoriais de desempenho e confiabilidade.

Como será desenvolvido:

- Definição da arquitetura de coleta e transmissão de dados: especificação das tecnologias de comunicação, definição dos pacotes de dados, frequência de amostragem, e mecanismos de sincronização temporal. Serão também estabelecidos os requisitos de segurança e integridade das transmissões.

- Implementação do sistema de armazenamento e indexação: desenvolvimento de um sistema de banco de dados relacional ou não relacional, com estrutura otimizada para consultas rápidas e armazenamento. Serão definidos índices, formatos de metadados e mecanismos de backup e redundância.
- Ensaios do hardware em ambiente laboratorial: montagem do protótipo físico do sistema de coleta, integração com sensores e módulos eletrônicos, e execução de testes funcionais para validar conectividade, latência, capacidade de armazenamento e tolerância a falhas.
- Integração inicial com o sistema de visualização: testes de compatibilidade e comunicação com o protótipo da interface web.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de engenharia de sistemas e software, com suporte da equipe de hardware responsável pelos módulos de aquisição. A validação será feita por meio de testes controlados de coleta de dados, avaliação de integridade dos dados e desempenho do sistema sob diferentes cargas de operação.

Publicação e Disseminação: O protótipo e sua documentação associada serão disponibilizados em repositório interno, com controle de versão e acesso restrito às equipes de P&D envolvidas. Resultados técnicos e de desempenho poderão ser apresentados em relatórios intermediários de projeto, workshops internos e reuniões de acompanhamento.

Justificativas: Este entregável assegura a integração eficiente entre hardware e software, reduzindo riscos de perda ou inconsistência de informações. Além disso, sua implementação permite avaliar a escalabilidade da solução para diferentes volumes de dados e condições operacionais, consolidando a infraestrutura digital necessária para futuras fases de validação e operação em campo.

3.3.6.1. Atividade 10.1 - Definição da Arquitetura de Coleta e Transmissão de Dados

Descrição: Definir a arquitetura de comunicação e os parâmetros de coleta, transmissão e sincronização de dados.

Métodos e Técnicas: Modelagem de arquitetura distribuída, definição de protocolos e método de sincronização.

Subatividades:

- Seleção das tecnologias de comunicação.
- Definição de pacotes de dados.
- Especificação dos mecanismos de segurança e redundância.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Documento de arquitetura de comunicação entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Especificação técnica da arquitetura de coleta e transmissão.
- **Resultado:** Comunicação sincronizada entre dispositivos de aquisição e sistema de armazenamento.

3.3.6.2. Atividade 10.2 - Implementação do Sistema de Armazenamento e Indexação

Descrição: Desenvolver o sistema de banco de dados responsável pelo armazenamento e consulta eficiente dos dados coletados no dispositivo de medição.

Métodos e Técnicas: Modelagem de banco de dados, definição de índices e uso de APIs de integração.

Subatividades:

- Criação do esquema de banco de dados.
- Implementação de rotinas de gravação, indexação e backup.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Sistema de armazenamento funcional integrado ao protótipo

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Banco de dados implementado, com estrutura otimizada e segura.
- **Resultado:** Armazenamento robusto e eficiente, garantindo integridade e rastreabilidade dos dados.

3.3.6.3. Atividade 10.3 - Ensaios do Hardware em ambiente laboratorial

Descrição: Testar o protótipo físico do sistema de coleta, avaliando desempenho, conectividade e armazenamento.

Métodos e Técnicas: Testes funcionais e de estresse, medições de latência, taxa de perda de pacotes e tolerância a falhas.

Subatividades:

- Montagem do sistema
- Integração com sensores
- Execução de ensaios

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de testes de desempenho e estabilidade entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo do sistema de coleta e armazenamento validado em ambiente laboratorial.
- **Resultado:** Confirmação da viabilidade técnica e confiabilidade operacional do sistema de coleta e armazenamento.

3.4. Macroentrega 3 – Integração e ensaios funcionais**3.4.1. Entregável 11 - Desenvolvimento e Refinamento dos Algoritmos de Detecção e Segmentação**

Descrição: Desenvolvimento, aprimoramento e integração dos algoritmos de detecção e segmentação aplicados às imagens aéreas e de inspeção coletadas no âmbito do projeto. O foco é aumentar a precisão, robustez e generalização dos modelos de inteligência artificial empregados, considerando diferentes condições de iluminação, ângulo de captura e características de superfície. O escopo inclui desde a curadoria avançada da base de dados até a integração dos modelos refinados ao sistema, permitindo execução offline e validação em cenários reais.

Como será desenvolvido:

- Curadoria e ampliação da base de dados aérea: seleção e organização de imagens aéreas representativas dos diferentes cenários operacionais, complementando o *dataset* existente. Será realizada curadoria técnica com verificação de qualidade, diversidade e, principalmente, anotação consistente dos itens de interesse.

- Exploração e comparação de modelos de detecção e segmentação: análise experimental de diferentes arquiteturas de redes neurais, com variação de hiperparâmetros e técnicas de aumento de dados.
- Refinamento e treinamento dos modelos com base curada: implementação de um pipeline automatizado de treinamento e *fine-tuning* utilizando a base de dados atualizada. Serão aplicadas técnicas de regularização e balanceamento para minimizar *overfitting* e maximizar desempenho em classes minoritárias.
- Integração dos modelos ao sistema para execução offline: adaptação dos modelos selecionados para execução local, com otimizações de desempenho e integração à interface de inspeção.
- Validação dos modelos com casos reais de uso: realização de testes com dados reais obtidos em campo, simulando condições operacionais da MRS. Serão avaliadas as taxas de acerto, falsos positivos e desempenho em tempo real, com registro de métricas e resultados em relatório técnico.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica de visão computacional e aprendizado de máquina, com apoio da equipe de integração de software. A validação envolverá testes comparativos entre versões de modelos (baseline e refinado), seguindo critérios quantitativos e qualitativos. O comitê técnico do projeto e especialistas da MRS atuarão na homologação dos modelos.

Publicação e Disseminação: Os resultados serão documentados em relatórios técnicos detalhados e publicados em repositório interno, com versões dos modelos e scripts de treinamento devidamente versionados. As análises comparativas poderão subsidiar artigos científicos e apresentações em conferências de visão computacional e inteligência artificial aplicada à inspeção industrial. Um resumo técnico poderá ser incluído nos relatórios de acompanhamento do projeto e apresentado em reuniões de integração com parceiros e instituições associadas.

Justificativas: A curadoria de dados e o treinamento supervisionado com base real asseguram representatividade dos cenários operacionais, enquanto a integração offline amplia a aplicabilidade em ambientes com restrições de conectividade. Este entregável eleva o TRL dos modelos de IA, consolidando o conhecimento técnico gerado e criando uma base sólida para futuras expansões.

3.4.1.1. Atividade 11.1 - Curadoria e Ampliação da Base de Dados Aérea

Descrição: Selecionar, organizar e expandir a base de imagens representativas dos cenários operacionais do projeto.

Métodos e Técnicas: Curadoria técnica, análise de qualidade de imagem, controle de diversidade e anotação supervisionada.

Subatividades:

- Verificação de consistência
- Normalização de dados
- Rotulagem dos itens de interesse

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dataset curado e expandido entregue com documentação de anotações.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Base de dados atualizada, anotada e balanceada.
- **Resultado:** Dataset representativo e adequado ao treinamento dos modelos de detecção e segmentação.

3.4.1.2. Atividade 11.2 - Exploração e Comparação de Modelos de Detecção e Segmentação

Descrição: Avaliar diferentes arquiteturas de redes neurais aplicáveis às tarefas de detecção e segmentação.

Métodos e Técnicas: Comparação experimental de modelos com validação cruzada e ajuste de hiperparâmetros.

Subatividades:

- Implementação de modelos
- Configuração de pipelines de teste
- Análise das métricas de desempenho

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório comparativo com desempenho e limitações dos modelos avaliados.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de modelos testados e benchmark documentado.
- **Resultado:** Seleção dos modelos mais promissores para refinamento e integração no sistema.

3.4.1.3. Atividade 11.3 - Refinamento e Treinamento dos Modelos com Base Curada

Descrição: Treinar e ajustar os modelos selecionados utilizando a base de dados curada e balanceada.

Métodos e Técnicas: Fine-tuning supervisionado, regularização, aumento de dados e monitoramento de desempenho por métricas

Subatividades:

- Treinamento iterativo.
- Ajuste de parâmetros.
- Validação cruzada..
- Controle de overfitting

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 (ou mais) modelos treinados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos refinados e prontos para integração.
- **Resultado:** Aumento da precisão e robustez dos algoritmos em condições reais de operação.

3.4.1.4. Atividade 11.4 - Integração dos Modelos ao Sistema para Execução Offline

Descrição: Adaptar os modelos refinados para execução local integrada ao sistema web.

Métodos e Técnicas: Otimização de desempenho e integração com sistema web em conformidade com a arquitetura definida anteriormente.

Subatividades:

- Conversão dos modelos, se necessário
- Integração com a interface de inspeção e validação de inferência

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Módulo de inferência integrado ao sistema rodando localmente.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Sistema com IA e operação offline validada.
- **Resultado:** Execução eficiente dos modelos sem dependência de conectividade externa.

3.4.1.5. Atividade 11.5 - Validação dos modelos com casos reais de uso

Descrição: Testar os modelos em cenários reais utilizando dados de campo obtidos em ambiente definido pela MRS.

Métodos e Técnicas: Testes de campo controlados, coleta de métricas de desempenho e análise comparativa com dados rotulados.

Subatividades:

- Execução de inferências.
- Registro de resultados.
- Avaliação de desempenho.
- Análise de falhas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de validação entregue com métricas consolidadas.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos validados com desempenho comprovado em dados reais.
- **Resultado:** Confirmação da aplicabilidade prática e robustez dos algoritmos em ambiente operacional.

3.4.2. Entregável 12 - Implementação das Lógicas de Inspeção e Visualização dos Resultados

Descrição: Este entregável tem como objetivo implementar as lógicas de inspeção e a visualização integrada dos resultados dos modelos analíticos desenvolvidos na plataforma. Envolve a tradução das regras de negócio e dos critérios técnicos de inspeção em algoritmos operacionais, permitindo a priorização automatizada de ocorrências, falhas ou anomalias detectadas nos dados ferroviários. Além disso, compreende o desenvolvimento da interface web para visualização dinâmica e interativa dos resultados, garantindo que usuários da MRS possam interpretar facilmente as informações e tomar decisões baseadas em evidências.

Como será desenvolvido:

- **Definição das Lógicas Básicas de Inspeção e Priorização:** Elaboração das regras e parâmetros para detecção e classificação de eventos críticos, considerando indicadores operacionais, níveis de severidade e critérios de priorização definidos junto à equipe técnica da MRS.
- **Implementação das Lógicas em Módulos Computacionais:** Tradução das regras em algoritmos executáveis, integrados à base de dados e aos modelos preditivos, garantindo consistência e rastreabilidade dos resultados.
- **Integração dos Resultados dos Modelos com a Interface Web:** Conexão entre os módulos de inferência e o ambiente visual, com definição de APIs e estrutura de dados que possibilitem o carregamento em tempo real dos resultados de inspeção.
- **Desenvolvimento das Ferramentas de Visualização:** Criação de dashboards interativos, painéis de priorização e alertas visuais baseados em mapas ou diagramas ferroviários, de acordo com os requisitos de operação definidos.
- **Testes de Usabilidade e Ajustes de Visualização:** Condução de testes com usuários representativos da MRS para avaliar clareza, tempo de resposta, interpretabilidade das informações e usabilidade geral da interface, com ajustes iterativos.
- **Documentação Técnica e de Configuração:** Registro detalhado das lógicas de inspeção implementadas, arquitetura de integração, parâmetros de entrada e saída, e instruções de configuração para manutenção futura.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de desenvolvimento e validada por especialistas da MRS nas áreas de operação e manutenção. Serão aplicados critérios de validação quanto à consistência das lógicas implementadas, correteza dos resultados exibidos, desempenho da interface e adequação à rotina operacional.

Publicação e Disseminação: O entregável será disponibilizado no repositório técnico do projeto e incorporado à versão de demonstração da plataforma. A documentação e os resultados serão apresentados em reunião técnica com a MRS, acompanhados de um relatório de testes de usabilidade e da descrição das lógicas de inspeção.

Justificativas: A implementação das lógicas de inspeção e a integração dos resultados em uma interface visual transformam os modelos analíticos em ferramentas operacionais efetivas. Esse entregável traduz os resultados científicos e de desenvolvimento em aplicações práticas, promovendo a automação da inspeção, a priorização inteligente de eventos e o suporte à tomada de decisão em campo. Além de ter relevância técnica, contribui diretamente para o aumento da segurança, eficiência e rastreabilidade das operações ferroviárias, conforme temas prioritários do RDT.

3.4.2.1. Atividade 12.1 - Definição das Lógicas Básicas de Inspeção e Priorização

Descrição: Estabelecer as regras e parâmetros de inspeção e priorização de eventos críticos conforme requisitos operacionais da MRS

Métodos e Técnicas: Análise de requisitos, modelagem de regras de decisão e definição de critérios de severidade.

Subatividades:

- Levantamento de indicadores.
- Definição de thresholds.
- Validação com especialistas para redução de subjetividade.
- Documentação das regras.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Documento técnico entregue com todas as lógicas e critérios de priorização definidos.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Especificação consolidada das lógicas de inspeção e priorização.
- **Resultado:** Base técnica para implementação dos algoritmos de detecção automatizada e priorização de falhas.

3.4.2.2. Atividade 12.2 - Integração dos Resultados dos Modelos com a Interface Web

Descrição: Conectar os resultados dos modelos analíticos à interface web para visualização dinâmica e interativa.

Métodos e Técnicas: Desenvolvimento de APIs, integração de dados e estruturação de endpoints para futura integração com sistemas de manutenção.

Subatividades:

- Criação de telas específicas para operação.
- Formatação dos dados de saída.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Módulo integrado para operação de manutenção com resultados dos modelos.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Sistema funcional com integração validada entre os módulos analíticos e a interface web.
- **Resultado:** Disponibilização imediata dos resultados de inspeção aos usuários da plataforma.

3.4.2.3. Atividade 12.3 - Testes de Usabilidade e Ajustes de Visualização

Descrição: Avaliar e otimizar a experiência do usuário na interface de visualização dos resultados de inspeção.

Métodos e Técnicas: Testes de usabilidade com usuários representativos, análise heurística e ajustes iterativos baseados em feedback.

Subatividades:

- Planejamento dos testes.
- Coleta de feedback
- Ajustes de layout.
- Refinamento da navegação e visualização.

Critério de Medição e Faturamento:

- Versão ajustada da interface de operação entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Interface refinada com desempenho e clareza aprimorados.
- **Resultado:** Melhoria na interpretabilidade e eficiência operacional dos usuários durante a inspeção e análise.

3.4.3. Entregável 13 - Aquisição de Dados e Montagem do Dataset Anotado

Descrição: Realizar a coleta sistemática de dados visuais e operacionais em ambiente ferroviário real e consolidar a primeira versão do dataset anotado, que servirá como base para o treinamento, validação e teste dos modelos de detecção e classificação automatizada. O escopo abrange desde a preparação do sistema embarcado de coleta até o pré-processamento e a anotação das imagens capturadas.

Como será desenvolvido:

- Preparação do Sistema de Coleta Embarcado: Configuração e calibração do conjunto de sensores e câmeras a serem instalados nos veículos ferroviários. Inclui o ajuste de parâmetros de captura e a integração com o sistema de posicionamento e registro de metadados.
- Execução de Campanha de Aquisição de Dados em Campo: Planejamento e execução de percursos em diferentes trechos da malha ferroviária, sob distintas condições de iluminação, velocidade e ambiente.
- Pré-processamento e Organização das Imagens: Aplicação de técnicas de limpeza, correção e normalização das imagens capturadas. Envolve a remoção de ruídos, padronização de formatos e armazenamento em estrutura hierárquica, vinculada a metadados geográficos e temporais.
- Geração da Primeira Versão do Dataset Anotado: Definição do esquema de classes e anotação manual supervisionada. O dataset resultante será revisado quanto à consistência, equilíbrio entre classes e qualidade das marcações.
- Verificação de Integridade e Backup: Implementação de rotinas de verificação de integridade e duplicidade dos arquivos, além da criação de cópias de segurança e controle de versionamento do dataset.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de P&D responsável pela aquisição e tratamento de dados, com validação posterior por especialistas da MRS. A validação seguirá critérios de cobertura (quantidade e diversidade de cenários registrados), qualidade das imagens, acurácia das anotações e conformidade com o protocolo de coleta.

Publicação e Disseminação: A primeira versão do dataset anotado será armazenada em ambiente seguro e de acesso controlado, vinculado à infraestrutura do projeto. Um relatório técnico descreverá os métodos de aquisição, estrutura do dataset e indicadores de qualidade. A disseminação será feita em reuniões técnicas com a MRS e, quando permitido, em publicações institucionais e científicas, sem exposição de dados sensíveis.

Justificativas: Este entregável garante que o desenvolvimento dos algoritmos seja sustentado por dados representativos e de alta qualidade, permitindo a generalização dos resultados e a aplicação prática nas operações ferroviárias. Além disso, o dataset servirá como ativo estratégico para futuras pesquisas e aprimoramentos da plataforma de inspeção automatizada.

3.4.3.1. Atividade 13.1 - Preparação do Sistema de Coleta Embarcado

Descrição: Configurar e ajustar o conjunto de sensores e câmeras para aquisição de dados em campo.

Métodos e Técnicas: Ajuste de parâmetros disponíveis nos sistemas de visão, integração de hardware e testes funcionais de comunicação e sincronização.

Subatividades:

- Montagem do sistema embarcado.
- Ajuste de câmeras.
- Teste de integração com GPS.
- Verificação de registro de metadados.

Critério de Medição e Faturamento:

- Sistema de coleta de dados disponível para ida a campo.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Sistema embarcado operacional e configurado.
- **Resultado:** Conjunto de sensores prontos para aquisição confiável e sincronizada de dados ferroviários.

3.4.3.2. Atividade 13.2 - Execução de Campanha de Aquisição de Dados em Campo

Descrição: Conduzir campanhas de coleta de imagens e dados operacionais em diferentes condições ambientais e de operação.

Métodos e Técnicas: Planejamento de rotas, registro georreferenciado e protocolos padronizados de coleta.

Subatividades:

- Definição de trechos de teste.
- Execução das coletas.
- Monitoramento de parâmetros.
- Armazenamento inicial dos dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico da campanha de medição em campo.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto bruto de imagens e metadados obtidos em campo.
- **Resultado:** Base de dados representativa das condições reais de operação ferroviária.

3.4.3.3. Atividade 13.3 - Pré-processamento e Organização das Imagens

Descrição: Processar e organizar as imagens coletadas para padronização, limpeza e estruturação do *dataset*.

Métodos e Técnicas: Aplicação de filtros de ruído, normalização de brilho/contraste e indexação por metadados.

Subatividades:

- Filtragem de imagens.
- Correção de distorções.
- Formatação e organização hierárquica de diretórios.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de imagens pré-processadas e organizadas conforme padrão definido.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de imagens estruturado e pronto para anotação.
- **Resultado:** Dados limpos e consistentes para uso nas etapas de anotação e treinamento de modelos.

3.4.3.4. Atividade 13.4 - Geração da Primeira Versão do Dataset Anotado

Descrição: Criar a primeira versão do dataset anotado, com marcação das classes e validação da qualidade das anotações.

Métodos e Técnicas: Anotação manual supervisionada, verificação cruzada e uso de ferramentas específicas de rotulagem.

Subatividades:

- Anotação das imagens.
- Revisão das marcações.
- Balanceamento das classes.
- Data augmentation.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dataset anotado e validado segundo critérios de consistência e completude.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Dataset anotado com classes e metadados definidos.
- **Resultado:** Base consolidada para treinamento e validação de modelos de detecção e segmentação.

3.4.4. Entregável 14 - Definição e Implementação da Arquitetura de Software Integrada

Descrição: O objetivo deste entregável é definir, desenvolver e integrar a arquitetura de software que permitirá a comunicação e interoperabilidade entre os diversos módulos funcionais do sistema, incluindo aquisição de dados, processamento local quando necessário, inferência de modelos e interface de visualização. Os requisitos que guiarão as necessidades de processamento local e online/offline virão dos ensaios realizados em entregáveis anteriores.

Como será desenvolvido:

- **Definição da Arquitetura de Software e Fluxos de Dados:** Elaboração da arquitetura lógica e física do sistema, detalhando camadas de aplicação, comunicação, banco de dados e interfaces online/offline. Serão definidos protocolos de comunicação, padrões de integração, formatos de dados e mecanismos de autenticação e sincronização.
- **Modelagem dos Fluxos de Informação:** Mapeamento das interações entre módulos e definição dos fluxos de entrada e saída de dados, com ênfase em interoperabilidade, latência e redundância controlada.
- **Implementação dos Módulos de Comunicação e Sincronização:** Desenvolvimento dos componentes responsáveis por conectar os sistemas embarcados de aquisição aos módulos de inferência e à interface de visualização online. Inclui a implementação de filas de mensagens, buffers de sincronização e mecanismos de cache para operação offline.
- **Integração dos Módulos e Testes de Compatibilidade:** Integração progressiva dos módulos e execução de testes de compatibilidade entre versões de software, bibliotecas e sistemas operacionais utilizados.
- **Otimização de Desempenho e Segurança:** Avaliação e ajuste de parâmetros de desempenho (tempo de resposta, consumo de memória, uso de rede) e aplicação de boas práticas de segurança, incluindo criptografia de dados sensíveis e autenticação mútua entre módulos.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de desenvolvimento de software do projeto, com participação de especialistas em integração de sistemas da MRS. A validação será realizada por meio de testes funcionais e de desempenho, incluindo simulações de carga e cenários de falha controlados. Os critérios de validação incluem compatibilidade entre componentes, estabilidade de comunicação, escalabilidade e conformidade com os requisitos definidos no entregável de requisitos do sistema.

Publicação e Disseminação: O entregável será formalizado em um documento técnico que descreve a arquitetura de software, diagramas de fluxo, padrões de integração e resultados de testes de compatibilidade. Esse documento e o código-fonte correspondente serão armazenados em repositório institucional controlado, com acesso restrito aos membros do projeto e da MRS. Trechos descritivos da arquitetura poderão ser incluídos em relatórios técnicos e apresentações de resultados parciais do projeto.

Justificativas: Consolidar a infraestrutura de software que sustenta todas as funcionalidades do sistema, garantindo interoperabilidade e implementação do processamento online/offline conforme necessidades identificadas. A definição e implementação de uma arquitetura integrada permitem reduzir riscos de incompatibilidade, simplificar futuras expansões e assegurar a operacionalização eficiente dos algoritmos e interfaces desenvolvidos.

3.4.4.1. Atividade 14.1 - Definição da Arquitetura de Software e Fluxos de Dados

Descrição: Atualização da arquitetura lógica e física do sistema, detalhando camadas de aplicação, comunicação, banco de dados e interfaces, com base nos ensaios realizados.

Métodos e Técnicas: Atualização de modelagem, definição de APIs, protocolos e padrões de integração modular.

Subatividades:

- Atualização de diagramas de arquitetura
- Definição de fluxos de dados para processamento online/offline

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de documentos técnicos de arquitetura entregues.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento de arquitetura de software com diagramas e padrões de integração definidos.
- **Resultado:** Documento de arquitetura de software com diagramas e padrões de integração definidos.

3.4.4.2. Atividade 14.2 - Implementação dos Módulos de Comunicação e Sincronização

Descrição: Aprimorar os componentes responsáveis pela comunicação entre sistemas embarcados, módulos de inferência e interface web.

Métodos e Técnicas: Implementação de filas de mensagens, buffers de sincronização, APIs assíncronas e mecanismos de cache para operação offline.

Subatividades:

- Criação de serviços de comunicação.
- Integração com banco de dados.
- Configuração de middleware.
- Verificar necessidade de pré-processamento local de dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- Sistema web atualizado.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulos de software integrados e operacionais com sincronização online/offline.
- **Resultado:** Comunicação estável, segura e eficiente entre todos os componentes do sistema.

3.4.4.3. Atividade 14.3 - Integração Final e Testes de Compatibilidade entre Componentes

Descrição: Integrar todos os módulos do sistema e realizar testes de compatibilidade e desempenho em ambiente controlado.

Métodos e Técnicas: Simulação de carga e análise de desempenho com ferramentas específicas.

Subatividades:

- Integração dos módulos.
- Execução de testes de compatibilidade.
- Correção de falhas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico com resultados dos testes entregue

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Sistema integrado, testado e validado conforme requisitos de desempenho e compatibilidade.
- **Resultado:** Arquitetura de software funcional e estável, apta a suportar as operações e o processamento distribuído do sistema.

3.5. Macroentrega 4 – Evolução e Consolidação do Sistema de Inspeção

3.5.1. Entregável 15 - Otimização dos Modelos e Nova Rodada de Curadoria

Descrição: O objetivo deste entregável é aprimorar o desempenho e a robustez dos algoritmos de detecção e segmentação desenvolvidos na fase anterior, incorporando novas amostras adquiridas em campo e correções oriundas da curadoria das anotações. Esta etapa visa reduzir falsos positivos e negativos, melhorar a generalização dos modelos para diferentes condições de iluminação e terreno, e consolidar métricas comparativas que evidenciem ganhos de desempenho obtidos. O escopo inclui o refinamento do pipeline de treinamento, ajustes nos hiperparâmetros e avaliação quantitativa em cenários reais de uso.

Como será desenvolvido:

- Nova Rodada de Curadoria e Revisão de Anotações: Revisão sistemática das imagens previamente anotadas, com ênfase em classes de objetos com menor representatividade ou inconsistência nas marcações. Serão empregadas ferramentas colaborativas para conferência cruzada desenvolvidas no sistema web.
- Atualização da Base de Dados e Pré-processamento: Ampliação e balanceamento da base de imagens de treinamento, incorporando novas amostras obtidas em campo. Inclui normalização de formatos, correção de metadados e filtragem de ruídos ou duplicatas.
- Otimização dos Modelos com Base nos Novos Dados: Ajuste dos modelos de detecção e segmentação utilizando estratégias de fine-tuning e aprendizado incremental. Serão avaliadas arquiteturas de redes neurais mais recentes, buscando melhorar o tempo de inferência e a precisão em classes complexas.
- Validação Cruzada e Comparação Estatística de Desempenho: Aplicação de validação cruzada k-fold e testes estatísticos para verificar se as melhorias observadas são estatisticamente significativas.

- Integração dos Resultados com o Sistema de Inspeção: Implementação das versões refinadas dos modelos no ambiente de teste da plataforma, garantindo compatibilidade com os fluxos de dados definidos na arquitetura de software integrada.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de aprendizado de máquina do projeto, com validação independente pela equipe de especialistas da MRS em análise de imagem ferroviária. A validação será baseada em métricas quantitativas de desempenho e comparações diretas entre versões anteriores e refinadas dos modelos.

Publicação e Disseminação: Os resultados serão consolidados em um relatório técnico e apresentados em reuniões técnicas de acompanhamento. Os modelos refinados, acompanhados de documentação e scripts de validação, serão armazenados em repositório seguro com controle de versões. Sumários executivos e indicadores de desempenho poderão ser incluídos em relatórios institucionais ou apresentações técnicas, conforme política de divulgação acordada entre os times.

Justificativas: A atualização das bases e a otimização dos modelos asseguram a adaptação a novos contextos e melhoram a precisão nas detecções.

3.5.1.1. Atividade 15.1 - Nova Rodada de Curadoria e Revisão de Anotações

Descrição: Revisar e corrigir as anotações existentes, priorizando classes com inconsistências ou baixa representatividade.

Métodos e Técnicas: Uso da ferramenta colaborativas de anotação, verificação cruzada e balanceamento manual assistido por IA.

Subatividades:

- Revisão de anotações e correção de inconsistências.
- Conferência entre anotadores.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dataset revisado entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Versão atualizada e consistente do dataset anotado.
- **Resultado:** Melhoria da qualidade das anotações e maior confiabilidade do conjunto de dados para re-treinamento dos modelos.

3.5.1.2. Atividade 15.2 - Reavaliação dos Modelos Existentes e Identificação de Gaps de Desempenho

Descrição: Avaliar os modelos anteriores para identificar limitações de precisão, velocidade ou generalização.

Métodos e Técnicas: Avaliação com métricas de desempenho, análise de erro e comparação entre versões.

Subatividades:

- Execução de testes em dataset revisado.
- Registro de métricas e identificação de falhas recorrentes por classe.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de desempenho comparativo entre modelos e identificação documentada de gaps.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico de análise de desempenho e mapa de melhorias.
- **Resultado:** Compreensão detalhada das limitações dos modelos e definição dos ajustes necessários.

3.5.1.3. Atividade 15.3 - Otimização dos Modelos com Base nos Novos Dados

Descrição: Aperfeiçoar os modelos de detecção e segmentação utilizando os dados revisados e balanceados.

Métodos e Técnicas: Fine-tuning, ajuste de hiperparâmetros e aprendizado incremental.

Subatividades:

- Reconfiguração de parâmetros e re-treinamento
- Validação interna e comparação com baseline.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 modelo refinado com desempenho superior às versões anteriores.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos otimizados e prontos para integração ao sistema.
- **Resultado:** Ganhos de precisão da inferência sob condições variadas.

3.5.1.4. Atividade 15.4 - Validação Cruzada e Comparação Estatística de Desempenho

Descrição: Avaliar estatisticamente o desempenho dos modelos otimizados para confirmar ganhos significativos.

Métodos e Técnicas: Aplicação de validação cruzada k-fold, testes t de significância e análise de variância.

Subatividades:

- Divisão dos dados em folds.
- Execução de múltiplas rodadas de teste.
- Cálculo de intervalos de confiança e análise comparativa.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório estatístico de avaliação do modelo.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório consolidado com resultados quantitativos e comparativos entre modelos.
- **Resultado:** Evidência estatística robusta da melhoria de desempenho e confiabilidade dos modelos refinados.

3.5.2. Entregável 16 - Ampliação das Funcionalidades do Dashboard e Visualização de Resultados

Descrição: O objetivo deste entregável é expandir e aprimorar as funcionalidades do dashboard desenvolvido anteriormente, consolidando-o como uma ferramenta central de análise, acompanhamento e tomada de decisão no contexto das inspeções ferroviárias. A ampliação abrangerá a implementação de indicadores de desempenho, estatísticas dinâmicas, filtros avançados, mecanismos de comparação entre versões de modelos de IA e ferramentas de exportação de relatórios técnicos. O escopo contempla ainda a integração de feedback de usuários da MRS, visando aprimorar a experiência de uso e garantir que as novas funcionalidades atendam às necessidades operacionais e estratégicas da empresa.

Como será desenvolvido:

- Implementação de Estatísticas e Indicadores de Inspeção: Desenvolvimento de painéis dinâmicos com métricas agregadas de desempenho, como número de inspeções, falhas detectadas, acurácia média por modelo, tempo médio de processamento, entre outros.
- Implementação de Filtros Avançados e Busca por Item/Área: Criação de mecanismos de filtragem por trecho, tipo de falha, data da inspeção e status de validação, permitindo consultas direcionadas.
- Ferramentas para Comparação entre Modelos Antigos e Novos: Implementação de módulo que permite comparar resultados entre diferentes versões de modelos de detecção e segmentação, exibindo variações em métricas de desempenho, tempo de inferência e consistência das previsões.
- Implementação de Ferramentas de Exportação de Relatórios e Resultados: Criação de funcionalidades para exportar relatórios completos em formatos como PDF e CSV, incluindo gráficos, tabelas e mapas de calor.
- Testes de Integração e Feedback com Usuários MRS: Condução de testes funcionais e de usabilidade junto à equipe técnica e operacional da MRS, visando identificar melhorias, ajustar fluxos de navegação e validar o alinhamento das novas funcionalidades com as rotinas de trabalho reais.
- Aprimoramento da Experiência do Usuário (UX/UI): Aplicação de boas práticas de design e acessibilidade para melhorar a legibilidade, o tempo de resposta e a clareza das informações exibidas, com base em diretrizes de usabilidade corporativa.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de desenvolvimento de software, com validação conjunta pela equipe de operação da MRS.

Publicação e Disseminação: O dashboard atualizado será disponibilizado no ambiente web de homologação da MRS, seguido de implantação no ambiente produtivo após aprovação formal. A divulgação dos resultados será realizada por meio de reuniões técnicas e apresentações executivas, evidenciando as melhorias de desempenho e as novas possibilidades analíticas.

Justificativas: A inclusão de indicadores, comparações e relatórios automatizados aumenta a transparência e a rastreabilidade dos resultados, fortalecendo a confiabilidade do processo de inspeção.

3.5.2.1. Atividade 16.1 - Implementação de Estatísticas e Indicadores de Inspeção

Descrição: Desenvolver painéis dinâmicos que apresentem indicadores operacionais e de desempenho dos modelos de inspeção.

Métodos e Técnicas: Aplicação de técnicas de análise de dados, visualização interativa e agregação de métricas.

Subatividades:

- Definição de métricas.
- Criação de consultas no banco de dados.
- Desenvolvimento de gráficos interativos e validação de indicadores.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dashboard funcional com indicadores integrado ao sistema web.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Painel de indicadores de desempenho operacional e analítico
- **Resultado:** Consolidação das informações de inspeção em um ambiente visual de apoio à decisão.

3.5.2.2. Atividade 16.2 - Implementação de Filtros Avançados e Busca por Item/Área

Descrição: Criar mecanismos de filtragem que permitam consultas direcionadas a trechos, tipos de falha e períodos específicos.

Métodos e Técnicas: Implementação de filtros dinâmicos e consultas parametrizadas com indexação otimizada.

Subatividades:

- Definição de parâmetros de busca.
- Implementação de endpoints.
- Testes de tempo de resposta.
- Validação com usuários.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 página de busca aos dados integrada ao sistema web.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulo de filtragem avançada integrado ao sistema.
- **Resultado:** Redução do tempo de busca de informações e maior eficiência na análise dos resultados de inspeção.

3.5.2.3. Atividade 16.3 - Ferramentas para
Comparação entre Modelos Antigos e
Novos

Descrição: Desenvolver módulo para análise comparativa entre versões de modelos, destacando variações de desempenho e consistência.

Métodos e Técnicas: Implementação de rotinas de comparação automática e visualização de métricas comparativas.

Subatividades:

- Criação de funções de cálculo de diferença.
- Exibição gráfica de resultados e integração ao dashboard.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Módulo comparativo validado com pelo menos duas versões de modelos distintas

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Ferramenta de comparação de modelos integrada à interface.
- **Resultado:** Melhoria no monitoramento evolutivo dos modelos de IA e suporte à escolha da versão mais eficiente.

3.5.2.4. Atividade 16.4 - Implementação de Ferramentas de Exportação de Relatórios e Resultados

Descrição: Implementar funcionalidades para exportação automática de relatórios e resultados em diferentes formatos.

Métodos e Técnicas: Geração de relatórios dinâmicos via scripts e bibliotecas de exportação para PDF e CSV.

Subatividades:

- Definição do layout dos relatórios.
- Integração com banco de dados.
- Testes de exportação em múltiplos formatos.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 módulo de exportação de relatórios e dados entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulo de exportação de relatórios e resultados.
- **Resultado:** Facilidade na geração de relatórios técnicos e na comunicação dos resultados de inspeção.

3.5.2.5. Atividade 16.5 - Testes de Integração e Feedback com Usuários MRS

Descrição: Conduzir testes integrados e coletar feedback dos usuários da MRS sobre o uso das novas funcionalidades.

Métodos e Técnicas: Aplicação de testes de usabilidade, questionários estruturados e análise de logs de interação.

Subatividades:

- Execução de testes funcionais.
- Coleta de feedback.
- Registro de melhorias e ajustes iterativos.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de testes e ajustes entregue com evidência de validação pelos usuários.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Versão validada do dashboard aprimorado.
- **Resultado:** Interface consolidada e alinhada às necessidades operacionais da MRS.

3.5.3. Entregável 17 - Ajustes no Protótipo de Aquisição e Nova Campanha de Dados

Descrição: Visa aprimorar o protótipo de aquisição de dados utilizado para o monitoramento das condições operacionais e estruturais no ambiente ferroviário, incorporando melhorias eletrônicas, mecânicas e de software. O objetivo é aumentar a confiabilidade das medições, reduzir ruídos e falhas de sincronização e garantir a integridade dos dados coletados em campo. A nova campanha de aquisição de dados permitirá validar as atualizações implementadas, ampliando o volume e a qualidade do dataset que subsidia o desenvolvimento e o refinamento dos modelos de análise.

Como será desenvolvido:

- **Revisão dos Subsistemas Eletrônicos e Mecânicos:** análise detalhada dos componentes de hardware, incluindo sensores, interfaces de comunicação, sistemas de alimentação e invólucro mecânico; substituição ou reforço de partes críticas.
- **Atualização do Software de Coleta e Sincronização:** implementação de melhorias no código para garantir sincronismo entre múltiplos canais de aquisição, otimização do armazenamento e da transmissão de dados; criação de logs automatizados para rastreabilidade e diagnóstico remoto.
- **Nova Campanha de Aquisição de Dados:** realização de coletas em ambiente controlado e posteriormente em operação real, contemplando diferentes condições de carga, velocidade e vibração; calibração e verificação dos sensores antes e após a campanha; documentação detalhada dos parâmetros e dos procedimentos adotados.
- **Integração dos Resultados:** consolidação dos dados obtidos, comparação com registros anteriores e atualização das bases utilizadas nos modelos de inspeção e análise.

Revisão e Validação: A revisão será conduzida pela equipe técnica responsável pelos módulos de instrumentação e análise de dados, com acompanhamento do comitê de integração do projeto. Serão utilizados critérios de validação baseados em estabilidade do sistema, coerência temporal entre canais, completude dos logs e percentual de dados válidos obtidos nas campanhas.

Publicação e Disseminação: Os resultados deste entregável serão consolidados em relatório técnico interno e apresentados em reuniões de acompanhamento do projeto. Parte dos dados e metodologias será incorporada à documentação da versão alfa do sistema de inspeção e ao repositório central de *datasets* para futuras análises e treinamentos.

Justificativas: A atualização do protótipo visa melhorar a qualidade dos dados utilizados no treinamento e validação dos modelos analíticos do sistema. Aprimorar os subsistemas eletrônicos e mecânicos reduz incertezas de medição e falhas operacionais, evoluindo a maturidade tecnológica do sistema como um todo. A nova campanha de dados também fortalece a base empírica do projeto, permitindo maior generalização dos modelos de inspeção e suporte às próximas etapas de validação em ambiente relevante.

3.5.3.1. Atividade 17.1 - Revisão dos Subsistemas Eletrônicos e Mecânicos

Descrição: Avaliar e aprimorar os componentes eletrônicos e mecânicos do protótipo, assegurando robustez e confiabilidade operacional.

Métodos e Técnicas: Inspeção técnica, testes de bancada, análise de falhas e substituição de componentes críticos.

Subatividades:

- Avaliação de sensores e cabos e do sistema de alimentação.
- Revisão estrutural do protótipo.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Serviço de revisão e teste do protótipo, pronto para novas coletas de dados em campo.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Protótipo atualizado com melhorias eletrônicas e mecânicas implementadas.
- **Resultado:** Redução de falhas de coleta e aumento da confiabilidade do sistema em ambiente operacional.

3.5.3.2. Atividade 17.2 - Atualização do Software de Coleta e Sincronização

Descrição: Implementar melhorias no software embarcado para garantir sincronismo preciso entre sensores e eficiência na coleta e transmissão de dados.

Métodos e Técnicas: Programação embarcada, análise de logs, testes de sincronização temporal e verificação de desempenho.

Subatividades:

- Revisão do código
- Validação de comunicação entre módulos

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de código-fonte validado entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Versão otimizada do software de coleta com sincronização validada.
- **Resultado:** Melhoria na qualidade e integridade dos dados registrados durante as campanhas de aquisição.

3.5.3.3. Atividade 17.3 - Nova Campanha de Aquisição de dados

Descrição: Conduzir uma nova campanha de aquisição de dados para validar o protótipo atualizado e ampliar o dataset existente.

Métodos e Técnicas: Coleta em campo, ajustes de protótipo pré e pós-campanha, registro de metadados e validação de dados adquiridos.

Subatividades:

- Planejamento logístico.
- Coleta de dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de dados não rotulados para incremento de dataset

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Novo conjunto de dados ferroviários calibrado e documentado.
- **Resultado:** Ampliação e qualificação da base de dados utilizada para o refinamento dos modelos analíticos.

3.5.4. Entregável 18 - Segunda Versão do *Dataset* Anotado

Descrição: Expandir e qualificar a base de dados do sistema de inspeção ferroviária, incorporando as novas amostras obtidas na última campanha de aquisição e revisando as anotações previamente existentes

Como será desenvolvido:

- **Consolidação das Novas Imagens Coletadas:** organização e integração das novas imagens obtidas durante a campanha de aquisição; aplicação de filtros de qualidade e descarte de amostras com ruídos ou inconsistências; alinhamento dos metadados com o padrão da primeira versão do *dataset*.
- **Anotação e Validação Colaborativa das Novas Amostras:** utilização de ferramentas para anotação semiautomática e manual, com participação de especialistas para garantir precisão na rotulagem de forma interativa; aplicação de critérios padronizados para classes de defeitos, elementos estruturais e condições operacionais; execução de revisões cruzadas entre anotadores para controle de qualidade.
- **Revisão de Coerência e Balanceamento:** verificação estatística da distribuição das classes e dos tipos de imagem; ajuste e reclassificação quando necessário para manter equilíbrio entre categorias e garantir representatividade adequada dos cenários operacionais.
- **Publicação da Segunda Versão do *Dataset*:** formatação final do conjunto de dados, incluindo documentação descritiva (metadados, estrutura de pastas, instruções de uso e licenciamento); disponibilização em repositório interno e preparação para eventual submissão pública conforme as diretrizes de confidencialidade e propriedade intelectual do projeto.

Revisão e Validação: A validação será conduzida pela equipe de ciência de dados e visão computacional, com auditoria cruzada de amostras por revisores técnicos da MRS. Serão utilizados critérios de consistência entre anotações, integridade de metadados, ausência de duplicidade e acurácia das classes atribuídas.

Publicação e Disseminação: O *dataset* será publicado no repositório institucional do projeto, acompanhado de documentação técnica e guia de uso. A disponibilização para parceiros e instituições de pesquisa poderá ser feita mediante termo de cooperação. A existência e principais características do *dataset* serão comunicadas em relatórios técnicos, apresentações de resultados e possíveis artigos científicos sobre o desenvolvimento do sistema de inspeção.

Justificativas: Necessário para a evolução dos modelos de inteligência artificial do projeto, garantindo que as novas condições de coleta de dados, operação, ambientes e tipos de defeito estejam devidamente representados. A anotação colaborativa e a validação cruzada aumentam a confiabilidade das amostras e reduzem vieses. A segunda versão do *dataset* consolida a infraestrutura de dados como ativo do projeto.

3.5.4.1. Atividade 18.1 - Consolidação das Novas Imagens Coletadas

Descrição: Organizar, filtrar e integrar as novas imagens obtidas durante a campanha de aquisição ao dataset existente.

Métodos e Técnicas: Aplicação de filtros de qualidade, alinhamento de metadados e verificação de integridade de arquivos.

Subatividades:

- Padronização de formatos, descarte de amostras ruidosas, vinculação de dados georreferenciados e atualização de índices.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 conjunto de dados atualizados.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Base de imagens atualizada e integrada à estrutura da primeira versão do dataset.
- **Resultado:** Dataset expandido e padronizado, pronto para anotação e uso em modelos de IA.

3.5.4.2. Atividade 18.2 - Anotação e Validação Colaborativa das Novas Amostras

Descrição: Realizar a anotação semiautomática e manual das novas imagens, garantindo consistência e precisão das classes definidas.

Métodos e Técnicas: Uso da ferramenta colaborativa de anotação, conferência cruzada entre revisores e validação estatística.

Subatividades:

- Rotulagem
- Revisão Cruzada e correção de inconsistências.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dataset anotado atualizado.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de imagens anotadas e revisadas conforme critérios de padronização definidos.
- **Resultado:** Segunda versão do dataset validada e apta para treinamento e avaliação de modelos analíticos.

3.5.5. Entregável 19 - Versão Alfa do Sistema de Inspeção

Descrição: Este entregável representa a primeira versão integrada do sistema de inspeção, reunindo os módulos de aquisição de dados, inteligência artificial e visualização em um ambiente operacional unificado. Tem como objetivo demonstrar a viabilidade técnica do sistema, avaliar seu desempenho sob condições reais de operação e identificar ajustes necessários antes da disponibilização para testes externos. Trata-se de um marco de maturidade tecnológica que consolida os principais resultados de hardware, software e integração alcançados ao longo do projeto.

Como será desenvolvido:

- Integração Completa dos Módulos de Aquisição, IA e Visualização: interligação dos métodos, módulos funcionais e fluxos de dados desenvolvidos.
- Testes de Operação Contínua e Resiliência: execução de testes prolongados em ambiente laboratorial para avaliar a estabilidade, tempo de resposta, consumo de recursos e capacidade de recuperação do sistema diante de falhas; análise de logs e indicadores de desempenho para detecção de gargalos e vulnerabilidades.
- Documentação Técnica da Versão Alfa: produção de documentação detalhada cobrindo arquitetura do sistema, fluxos de dados, dependências, instruções de instalação e manutenção; elaboração de diagramas funcionais e relatórios de desempenho.

- **Preparação do Ambiente para Validação Externa:** configuração de infraestrutura de teste para demonstração e validação com parceiros; implementação de mecanismos de registro de resultados e feedback de uso; definição de critérios de segurança e controle de acesso à versão alfa.
- **Correções e Ajustes Pós-Teste:** registro sistemático de ocorrências durante os testes e priorização das correções para a transição à versão beta.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida pela equipe de integração de sistemas e pela equipe técnica da MRS, com suporte dos responsáveis pelos módulos de hardware, IA e software

Publicação e Disseminação: A versão alfa será disponibilizada em ambiente restrito de testes, acessível à equipe técnica e parceiros estratégicos mediante credenciais de acesso controlado. A documentação e os resultados preliminares de desempenho serão publicados em relatórios internos e poderão subsidiar apresentações técnicas ou artigos em eventos especializados sobre inspeção automatizada e visão computacional aplicada à infraestrutura ferroviária.

Justificativas: Permite verificar a robustez e a interoperabilidade entre os módulos de hardware e software. Sob o ponto de vista técnico, a integração e os testes de resiliência asseguram a confiabilidade da solução antes de sua adoção em campo. A versão alfa também serve como prova de conceito operacional, consolidando a arquitetura e viabilizando ajustes finos a partir de feedbacks de usuários e parceiros industriais, garantindo que o sistema evolua de forma controlada rumo à sua versão beta e, posteriormente, à validação em ambiente real.

3.5.5.1. Atividade 19.1 - Integração Completa dos Módulos de Aquisição, IA e Visualização

Descrição: Integrar os módulos de aquisição, processamento de IA e visualização em um ambiente operacional unificado.

Métodos e Técnicas: Uso de APIs padronizadas, containers de software e protocolos de comunicação assíncrona.

Subatividades:

- Configuração de interfaces e validação de fluxos de dados.
- Sincronização entre módulos e testes de interoperabilidade.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 versão alfa de software

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Plataforma integrada com comunicação estável entre todos os módulos.
- **Resultado:** Ambiente unificado que demonstre a interoperabilidade completa do sistema de inspeção.

3.5.5.2. Atividade 19.2 - Testes de Operação Contínua e Resiliência

Descrição: Avaliar a estabilidade e a resiliência do sistema sob operação contínua e condições simuladas de falha.

Métodos e Técnicas: Testes de estresse, injeção de falhas e análise de logs de desempenho.

Subatividades:

- Execução de ciclos prolongados de operação

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico com métricas de estabilidade, tempo médio de resposta e recuperação de falhas.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de logs e indicadores de desempenho documentados.
- **Resultado:** Validação da robustez e confiabilidade do sistema em operação contínua.

3.5.5.3. Atividade 19.3 - Documentação Técnica da Versão Alfa

Descrição: Elaborar documentação técnica completa da versão alfa, cobrindo arquitetura, fluxos de dados e instruções operacionais.

Métodos e Técnicas: Redação técnica estruturada e atualização de diagramas.

Subatividades:

- Geração de diagramas funcionais.
- Escrita de guias de instalação e compilação.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de documentação de software.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Manual técnico e relatório de arquitetura da versão alfa.
- **Resultado:** Base documental consolidada para manutenção e evolução do sistema.

3.6. Macroentrega 5 – Validação em Ambiente Relevante e Transferência de Tecnologia

3.6.1. Entregável 20 - Documentação Técnica da Plataforma

Descrição: Este entregável tem como objetivo documentar as versões finais dos componentes de hardware, software e modelos de IA. Incluirá manuais detalhados de instalação, operação e manutenção, além de diagramas técnicos e fluxos de dados. O material será consolidado em um documento. Essa documentação assegura a continuidade do desenvolvimento do projeto, a manutenção e a possibilidade de replicação da plataforma por outras equipes.

Como será desenvolvido:

- **Levantamento das Versões Finais dos Componentes:** compilação das versões definitivas de hardware, firmware, software e modelos de IA integrados à plataforma.
- **Elaboração dos Manuais de Instalação e Operação:** criação de documentos descritivos e ilustrativos que orientem a instalação, configuração, calibração e uso do sistema; inclusão de seções sobre requisitos mínimos, procedimentos de inicialização, operação contínua e manutenção preventiva.
- **Produção dos Diagramas Técnicos e Fluxos de Dados:** desenvolvimento de diagramas de arquitetura, fluxogramas de comunicação, mapas de integração de sensores e representações gráficas dos pipelines de dados e inferência.
- **Consolidação dos Documentos:** integração dos diferentes documentos técnicos em um repositório unificado, assegurando consistência entre diagramas, manuais e código-fonte.

Revisão e Validação: A revisão será realizada pela equipe técnica multidisciplinar, incluindo os líderes de software, hardware e integração de sistemas.

Publicação e Disseminação: Os documentos finais serão disponibilizados em formato digital, com controle de versão e permissões de acesso restritas conforme a política de confidencialidade do projeto. Os manuais e diagramas poderão ser parcialmente publicados em relatórios públicos e materiais de transferência tecnológica, preservando eventuais informações sensíveis.

Justificativas: A documentação técnica detalhada ajuda na manutenção e continuidade do desenvolvimento contínuo da plataforma. Permite a replicação do sistema por outras equipes ou instituições.

3.6.1.1. Atividade 20.1 - Manuais de Instalação e Operação

Descrição: Elaborar manuais técnicos que descrevam os procedimentos de instalação, configuração, calibração e operação do sistema.

Métodos e Técnicas: Redação técnica estruturada, documentação ilustrada e revisão cruzada entre equipes de hardware e software.

Subatividades:

- Compilação de informações técnicas.
- Validação de consistência e revisão editorial.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 manual técnico completo revisado e aprovado pela coordenação do projeto.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Manual de instalação e operação padronizado, em formato digital
- **Resultado:** Facilitação da implantação, uso e manutenção da plataforma por equipes técnicas e operacionais.

3.6.1.2. Atividade 20.2 - Diagramas técnicos e de fluxos de dados da versão final

Descrição: Produzir diagramas de arquitetura, fluxos de comunicação, integração de sensores e pipelines de dados da versão final da plataforma.

Métodos e Técnicas: Modelagem de sistemas, uso de ferramentas CAD e UML, e validação com especialistas de integração.

Subatividades:

- Criação de diagramas elétricos e lógicos para representação de fluxos de dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de Diagramas entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Diagramas de arquitetura e fluxos de dados da versão final da plataforma.
- **Resultado:** Documentação visual consolidada que assegura rastreabilidade, manutenção e replicabilidade do sistema.

3.6.2. Entregável 21 - Ensaio em ambiente relevante com usuários MRS

Descrição: Tem como objetivo validar o desempenho, a estabilidade e a usabilidade da plataforma em condições reais de operação ferroviária, simulando situações de uso efetivo pelos profissionais da operação. O escopo contempla a definição, execução e análise de testes em ambiente relevante, com coleta embarcada de dados, visando comprovar o comportamento do sistema em cenários operacionais representativos

Como será desenvolvido:

- Desenvolvimento do roteiro de testes em campo: elaboração detalhada dos procedimentos experimentais, definindo objetivos de cada teste, métricas de desempenho, protocolos de segurança e responsabilidades das equipes envolvidas.
- Preparação do ambiente de ensaio: seleção e instrumentação dos locais de teste, configuração dos dispositivos embarcados e integração dos sistemas de coleta e monitoramento em tempo real.
- Execução dos ensaios com o sistema de coleta embarcado: realização dos testes de campo sob supervisão técnica, registrando dados de operação e comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais.
- Registro dos resultados de desempenho e usabilidade: compilação estruturada dos dados obtidos.

- **Análise técnica e comparativa dos resultados:** processamento dos dados de teste para avaliar conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos, destacando desvios, falhas ou oportunidades de melhoria.

Revisão e Validação: A revisão técnica será conduzida conjuntamente pela equipe de desenvolvimento e pela equipe operacional da MRS, assegurando que os resultados dos ensaios atendam aos requisitos de desempenho e segurança definidos. A validação será formalizada por meio de relatório técnico conjunto.

Publicação e Disseminação: Os resultados consolidados serão disponibilizados em relatório técnico interno do projeto, contendo gráficos, tabelas comparativas e análises interpretativas. Uma versão resumida poderá ser utilizada em apresentações institucionais, relatórios de progresso e workshops técnicos com a MRS.

Justificativas: Este é um marco de evolução de maturidade tecnológica do projeto. Assegura a transição segura do sistema da fase de desenvolvimento para a aplicação prática, permitindo ajustes finos de desempenho e garantindo conformidade com os requisitos técnicos e de usabilidade definidos no projeto.

3.6.2.1. Atividade 21.1 - Desenvolvimento de roteiro de testes em campo

Descrição: Elaborar o plano detalhado dos ensaios de campo, definindo objetivos, métricas, protocolos e responsabilidades.

Métodos e Técnicas: Aplicação de metodologia de ensaios experimentais, definição de métricas de desempenho e protocolos de segurança operacional.

Subatividades:

- Redação do roteiro.
- Definição de critérios de sucesso.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Roteiro de testes entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento técnico contendo plano e roteiro detalhado dos ensaios.
- **Resultado:** Planejamento estruturado que assegura a execução controlada e segura dos testes em ambiente relevante.

3.6.2.2. Atividade 21.2 - Execução dos ensaios com o sistema de coleta embarcado

Descrição: Realizar os testes de campo conforme o roteiro definido, utilizando o protótipo do sistema embarcado de coleta e o sistema web desenvolvido.

Métodos e Técnicas: Testes em campo supervisionados, registro automatizado de dados e observação técnica em condições reais de operação.

Subatividades:

- Preparação de equipamentos.
- Execução dos ensaios.
- Acompanhamento técnico durante a coleta.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de ensaios em campo.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto completo de dados de campo e relatórios parciais de execução dos testes.
- **Resultado:** Validação prática do desempenho e da estabilidade do sistema em operação ferroviária real.

3.6.2.3. Atividade 21.3 - Registro e análise dos resultados de desempenho e usabilidade em ambiente relevante

Descrição: Compilar e analisar os dados coletados nos testes, avaliando o desempenho técnico e a usabilidade do sistema.

Métodos e Técnicas: Análise estatística dos resultados e interpretação de logs

Subatividades:

- Comparação com critérios definidos.
- Consolidação em relatório técnico.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico consolidado de desempenho e usabilidade do sistema.
- **Resultado:** Confirmação da aderência do sistema aos requisitos técnicos e operacionais, com identificação de ajustes para evolução tecnológica.

3.6.3. Entregável 22 - Transferência de Tecnologia e Encerramento do Projeto

Descrição: Este entregável tem como objetivo consolidar os resultados técnicos e operacionais obtidos ao longo do projeto e assegurar a transferência estruturada do conhecimento, das ferramentas e das metodologias desenvolvidas à MRS Logística. O escopo inclui a preparação dos pacotes de entrega contendo códigos, documentação, diagramas e manuais técnicos, o treinamento da equipe técnica da MRS para continuidade do desenvolvimento e manutenção da plataforma, a realização de um workshop público de transferência de tecnologia com participação da ANTT e a elaboração do relatório final consolidando resultados, lições aprendidas e recomendações.

Como será desenvolvido:

- Preparação dos pacotes de entrega: organização e empacotamento de todos os artefatos técnicos do projeto (códigos-fonte, modelos, bases de dados, manuais, diagramas e documentação técnica), com estrutura padronizada para facilitar o uso e futuras atualizações pela equipe da MRS.
- Treinamento técnico da equipe MRS: realização de sessões presenciais e remotas de capacitação sobre a arquitetura do sistema, procedimentos de manutenção, integração de novos módulos e boas práticas de operação.
- Workshop de Transferência de Tecnologia (com público e ANTT): evento técnico para apresentação dos resultados finais do projeto, das metodologias de desenvolvimento e dos impactos esperados sobre a operação ferroviária, promovendo o compartilhamento de conhecimento com a MRS, a ANTT e demais stakeholders do setor.
- Encerramento técnico e administrativo: formalização da entrega final dos produtos do projeto, emissão dos termos de aceite e registro das atividades de finalização.

Revisão e Validação: A validação da transferência tecnológica será confirmada mediante checklist de entrega dos pacotes técnicos, verificação de integridade e funcionalidade dos componentes, e avaliação da capacitação da equipe MRS.

Publicação e Disseminação: O material do workshop e os manuais técnicos serão publicados no repositório do projeto para garantir segurança e confidencialidade. A síntese dos resultados e impactos do projeto poderá ser apresentada em eventos técnicos, relatórios anuais e publicações institucionais.

Justificativas: Garante a sustentabilidade e continuidade dos resultados alcançados, permitindo que a MRS opere, mantenha e evolua o sistema de forma autônoma. Além disso, o workshop público reforça a transparência e o alinhamento institucional com órgãos reguladores como a ANTT, fortalecendo a credibilidade técnica do projeto. O relatório final consolida todo o aprendizado e serve como referência para futuras iniciativas de inovação tecnológica em monitoramento e gestão ferroviária, encerrando o ciclo de desenvolvimento.

3.6.3.1. Atividade 22.1 - Preparação dos pacotes de entrega

Descrição: Organizar e consolidar todos os artefatos técnicos produzidos no projeto em pacotes estruturados para entrega à MRS.

Métodos e Técnicas: Empacotamento padronizado de código, documentação e modelos com controle de versão e metadados técnicos.

Subatividades:

- Consolidar todos os artefatos técnicos produzidos no projeto

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 conjunto de documentos técnicos entregue.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto consolidado contendo códigos, manuais, diagramas e modelos operacionais.
- **Resultado:** Entrega organizada e rastreável de todos os resultados técnicos do projeto, apta à transferência de conhecimento e incremento futuro de maturidade tecnológica.

3.6.3.2. Atividade 22.2 - Treinamento técnico da equipe MRS para desenvolvimento contínuo do sistema

Descrição: Capacitar a equipe técnica da MRS para operar, manter e evoluir a plataforma desenvolvida.

Métodos e Técnicas: Realização de workshops técnicos, treinamentos práticos e sessões remotas de demonstração.

Subatividades:

- Elaboração de material didático.
- Condução de treinamentos presenciais e online.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Treinamento realizado presencialmente.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Material completo de treinamento e registros das sessões realizadas.
- **Resultado:** Equipe MRS capacitada para operar e aprimorar o sistema de forma autônoma.

3.6.3.3. Atividade 22.3 - Workshop de Transferência de Tecnologia (público com ANTT)

Descrição: Promover evento técnico para apresentação dos resultados, metodologias e impactos do projeto.

Métodos e Técnicas: Organização de workshop híbrido (presencial e remoto) com apresentações técnicas, painéis de discussão e demonstrações práticas.

Subatividades:

- Planejamento logístico.
- Preparação de apresentações e demonstrações.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Workshop com participação da ANTT e entrega do material de divulgação.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Apresentações técnicas, gravações do evento e material de comunicação institucional.

- **Resultado:** Disseminação dos resultados do projeto e fortalecimento do alinhamento institucional com MRS e ANTT.

3.6.3.4. Atividade 22.4 - Relatório final de projeto

Descrição: Consolidar os resultados técnicos, administrativos e financeiros do projeto em um documento final abrangente.

Métodos e Técnicas: Síntese de resultados, estruturação de capítulos técnicos e administrativos conforme modelo a ser definido.

Subatividades:

- Descrição de lições aprendidas.
- Revisão final por todas as equipes envolvidas.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório final.

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico e de gestão consolidado do projeto.
- **Resultado:** Registro formal dos resultados, conclusões e recomendações para continuidade e expansão das soluções desenvolvidas.

3.6.4. Entregável 23 – Administração do Projeto

Descrição: Gestão administrativa, técnica e financeira do projeto, assegurando o cumprimento dos cronogramas, marcos contratuais, indicadores de desempenho e a conformidade com as normas e procedimentos da ANTT. Este entregável contempla as atividades de coordenação, acompanhamento e controle da execução, bem como a comunicação institucional com os órgãos envolvidos.

Como será desenvolvido:

- Estabelecimento de rotinas de acompanhamento técnico e administrativo;
- Controle de cronograma, custos e entregas em conformidade com os marcos definidos;

- Elaboração de relatórios periódicos de progresso e reuniões de acompanhamento com a equipe da ANTT;
- Gestão documental e registro de versões de produtos e artefatos técnicos;
- Suporte à prestação de contas e auditorias técnicas, quando aplicável.

Revisão e Validação: Revisão técnica e administrativa contínua pela coordenação do projeto

Publicação e Disseminação: Relatórios de acompanhamento e documentação de gestão disponibilizados em repositório de projeto.

Justificativas: O adequado gerenciamento administrativo e técnico garante o alinhamento entre as etapas do projeto, a utilização eficiente dos recursos e a rastreabilidade de decisões

3.6.4.1. **Atividade 23.1:** Gestão do Projeto

Descrição: Gerenciar o projeto em todas as suas fases, assegurando a integração entre as equipes, o cumprimento dos prazos, a qualidade técnica das entregas e a conformidade administrativa e financeira.

Métodos e Técnicas:

- Adoção de práticas clássicas de gestão de projetos e metodologias ágeis adaptadas;
- Monitoramento de indicadores de desempenho (prazos, custos, riscos, qualidade);
- Reuniões periódicas de acompanhamento e controle de mudanças;

Subatividades:

- Reuniões mensais de acompanhamento técnico e administrativo.
- Apresentação de trabalhos com resultados do projeto em eventos.

Critério de Medição e Faturamento:

- 26 Meses de acompanhamento

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Gestão técnica e administrativa.
- **Resultado:** Execução coordenada, transparente e eficiente do projeto

3.6.4.2. **Atividade 23.2:** Associação Tecnológica

Descrição: Realizar a associação institucional ao CEDRA na modalidade Advanced, visando suporte técnico, estratégico e de integração com o ecossistema de inovação. A associação compreende o acesso a programas de pesquisa, formação especializada, rede de startups e comitês industriais, além de Suporte ao scale-up de produto aplicado ao transporte ferroviário, fortalecendo as ações de desenvolvimento tecnológico e capacitação da equipe ao longo de 24 meses.

Métodos e Técnicas:

- Aplicação de metodologias scale-up para produto aplicado ao transporte ferroviário;
- Participação em reuniões do Comitê Industrial e eventos organizados pelo CEDRA;
- Envolvimento em workshops de pesquisa e sessões de Research in Progress;
- Interação com a rede de startups e instituições parceiras do CEDRA para troca de experiências e oportunidades;
- Acesso a ações de formação e capacitação de pessoas promovida pelo CEDRA.

Subatividades:

- Identificação e acompanhamento de ações específicas de scale-up voltadas ao produto ferroviário;
- Formalização da associação e adesão ao plano Advanced;

Critério de Medição e Faturamento:

- 24 meses de associação ativa e acompanhamento das ações CEDRA;

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatórios técnicos, registros de participação e documentação da associação;
- **Resultado:** Suporte ao scale-up do produto aplicado ao setor ferroviário e fortalecimento da rede de colaboração com instituições e empresas.

3.7. **Entrega de Resultados e Produtos do Projeto**

Os resultados, produtos e materiais desenvolvidos no âmbito deste projeto serão entregues em formato digital e físico, de acordo com a natureza de cada componente. A entrega abrangerá tanto os elementos de software e hardware quanto os artefatos de documentação técnica e relatórios finais, garantindo que a MRS possa operar, manter e evoluir as soluções desenvolvidas de forma autônoma e sustentável.

A plataforma integrada, principal produto do projeto, será entregue em sua versão final, incluindo todos os módulos de coleta, processamento e análise de dados embarcados, interfaces de visualização e dashboards operacionais. O sistema será acompanhado de seus manuais de instalação, operação e manutenção, bem como dos diagramas técnicos e fluxos de dados, de modo a permitir integração plena com os sistemas internos da MRS e eventuais futuras expansões.

Os componentes de hardware e instrumentação, como os módulos de sensoriamento embarcados e unidades de processamento, serão entregues após ensaios em ambiente relevante acompanhados por relatórios de desempenho. Os dados coletados durante os testes, incluindo imagens, registros de desempenho e métricas de usabilidade, serão fornecidos em formato estruturado e compatível com os sistemas de gestão da MRS, com metadados e dicionários padronizados para garantir interoperabilidade.

Os modelos de análise, scripts de automação, APIs e algoritmos serão entregues em ambiente seguro e versionado, seguindo práticas de *data governance* e *MLOps*, de modo a permitir reprodutibilidade dos resultados e evolução contínua das funcionalidades. Serão disponibilizados também os pacotes de código-fonte e ambientes virtuais de execução documentados. A entrega incluirá ainda os relatórios técnicos finais, contendo o detalhamento metodológico, os resultados obtidos em laboratório e campo, as avaliações de desempenho dos sistemas e as recomendações técnicas para continuidade do desenvolvimento. Estes documentos serão disponibilizados em formato eletrônico padronizado, seguindo templates institucionais.

A disseminação dos resultados será realizada por meio de workshops técnicos e reuniões de acompanhamento, incluindo um Workshop de Transferência de Tecnologia aberto à participação da ANTT e demais interessados do setor ferroviário. Também serão conduzidos treinamentos técnicos presenciais e remotos com as equipes da MRS, assegurando domínio operacional e capacidade de evolução da plataforma após o encerramento do projeto.

4. TEMPO DE EXECUÇÃO, CUSTO TOTAL E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

4.1. Prazo de Execução

O prazo estimado para a execução do projeto é de 26 meses. Dia 01 de março de 2026 é a data estimada de início do projeto e 30 de abril de 2028 a data estimada de término, caso o projeto tenha o contrato assinado até janeiro de 2026 para que seja possível a mobilização da equipe e reuniões iniciais.

4.2. Custo Total

O custo total orçado é de R\$ 11.421.593,89 (onze milhões e quatrocentos e vinte e um mil e quinhentos e noventa e três reais e oitenta e nove centavos).

Os valores serão desembolsados conforme tabela abaixo, considerando o saldo residual dos anos 1, 2 e 3:

Cronograma físico financeiro	Ano Concessão	Valor	Ano Recurso	Ano dispêndio
Mar 26 a Jul 26	4	1.792.391,53	4	4
Mar 26 a Jul 26	4	534.900,00	1	4
Mar 26 a Jul 26	5	5.637.996,17	5	5
Ago 26 a Jul 27	6	3.456.306,19	6	6

4.3. Cronograma Físico-Financeiro

O custo total orçado de R\$ 11.421.593,89 refere-se aos 26 meses de execução do projeto. Os primeiros 12 meses concentram um custo estimado de R\$ 6.064.782,58, enquanto o período do mês 13 ao mês 24 totaliza R\$ 4.746.619,55, e os meses 25 e 26, de encerramento do projeto, somam R\$ 610.191,76. Considerando a data prevista de início em 01 de março de 2026, o projeto tem início no Ano 04 da concessão, no qual serão executados os primeiros quatro meses, correspondendo a um dispêndio de R\$ 2.327.291,53. O período do mês 05 ao mês 16 do projeto será executado no Ano 05 da concessão, totalizando R\$ 5.637.996,17. Por fim, o período do mês 17 ao mês 26, compreendendo a conclusão do projeto, será executado no Ano 06 da concessão, com custo estimado de R\$ 3.456.306,19. Ressalta-se que não há alocação de recursos em anos de concessão anteriores ao início do projeto.

O cronograma físico-financeiro está detalhado no Anexo II - Cronograma Físico-Financeiro e o orçamento analítico previsto no Anexo X - Orçamento analítico previsto. Os valores dos produtos estão cotados por item de serviço, estão descritos nas atividades do plano de trabalho e detalhados no Capítulo 3 deste documento.

As cotações das passagens aéreas levam em conta uma estimativa para os deslocamentos internacionais, haja vista que nem todos os eventos previstos no projeto tem suas sedes e locais definidos. Foi utilizada, como parâmetro, a cidade de Vancouver no Canadá, sede do próximo evento da *International Conference on 3D Vision*, para a cotação dos voos e seguros de viagem. As cotações são efetuadas em classe econômica para os voos internacionais.

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O projeto será executado nas dependências do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento (ISI SIM), localizado em São Leopoldo/RS, e em locais definidos ao longo dos trechos ferroviários sob concessão, destinados à coleta de dados, testes operacionais e validação de sistemas.

As atividades de pesquisa, desenvolvimento e integração tecnológica ocorrerão predominantemente nas instalações do ISI SIM, que dispõe de infraestrutura completa para execução de projetos de alta complexidade em inteligência artificial, instrumentação, metrologia e integração digital. Os principais ambientes de execução no ISI SIM serão:

- Laboratório de Manufatura Avançada – destinado às atividades de desenvolvimento e treinamento de algoritmos de inteligência artificial, simulação computacional, processamento de imagens e integração de sistemas digitais.
- Laboratório de Metrologia, Ensaaios e Sensoriamento – responsável pelos testes de desempenho, calibração e validação metrológica dos sensores, módulos eletrônicos e instrumentações de campo utilizadas no projeto.
- Laboratório de Prototipagem Eletrônica – utilizado para o desenvolvimento, montagem e testes dos sistemas embarcados e dispositivos de comunicação.
- Laboratório IoT – empregado para experimentação e validação de protótipos conectados, com ênfase em sistemas IoT e plataformas de sensoriamento remoto.
- Laboratório de Fabricação Experimental – destinado à produção de componentes, suportes e estruturas experimentais associadas às instrumentações ferroviárias.

Parte das atividades experimentais será realizada em campo, em obras e locais a serem definidos durante a execução do projeto, abrangendo:

- Instalação e operação de instrumentações e sensores para coleta de dados estruturais, ambientais e visuais, quando necessário.
- Ensaaios práticos de validação dos modelos de IA.
- Testes de conectividade e desempenho dos módulos de software em ambientes operacionais.

Os locais de coleta e validação serão definidos em conjunto com a MRS, priorizando trechos que apresentem diversidade de condições operacionais, tipologias de obra e disponibilidade de dados históricos. As atividades de observação, acompanhamento técnico e treinamentos serão executadas tanto de forma presencial quanto remota, conforme o cronograma de campo estabelecido no plano de execução do projeto.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação da Entidade

6.1.1. Entidade

O projeto será desenvolvido pelo Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento (ISI SIM), unidade integrante da Rede SENAI de Institutos de Inovação e Tecnologia, em parceria com a NEWON ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA.

O ISI SIM é uma instituição de ciência, tecnologia e inovação (ICT) que atua desde sua fundação em 2017 no desenvolvimento de soluções tecnológicas avançadas voltadas a sensoriamento, metrologia, inteligência artificial, manufatura avançada, instrumentação e sistemas embarcados.

Sua infraestrutura conta com mais de 20 mil m² de área total, sendo 16 mil m² de área construída, distribuídos em três prédios (A, B e C), que abrigam laboratórios acreditados, áreas de P&D, espaços de treinamento e auditórios equipados para atividades de capacitação e difusão tecnológica.

O instituto é reconhecido por sua atuação em projetos de P&D com a indústria, órgãos reguladores e concessionárias de infraestrutura, destacando-se em iniciativas voltadas ao monitoramento e análise inteligente de sistemas complexos, metrologia de grandes volumes, integração digital de dados e validação experimental em ambiente relevante.

O ISI SIM atua de forma articulada com outras unidades da Rede SENAI de Inovação, ICTs parceiras e empresas do setor, dispondo de equipe multidisciplinar formada por engenheiros, cientistas de dados, especialistas em metrologia, desenvolvedores de sistemas e técnicos de campo. Durante a execução deste projeto, o ISI SIM será responsável por:

- Coordenação geral e técnica das atividades de P&D;
- Desenvolvimento, integração e validação dos sistemas e modelos de IA;
- Execução dos testes laboratoriais e experimentais;
- Elaboração dos relatórios técnicos e pareceres;

A execução contará também com a participação da NEWON, responsável por garantir que os requisitos funcionais e não funcionais do sistema estejam alinhados com as demandas reais do mercado e dos usuários finais (operadores e equipes de manutenção), prover análise crítica sobre a adequação da plataforma às regulamentações vigentes do setor de transporte ferroviário e orientar a definição de lógicas de inspeção e priorização de falhas, assegurando que os dashboards e relatórios gerados entreguem valor prático para a tomada de decisão.

6.1.2. Projetos com Entregas Realizadas

Entre os projetos de destaque desenvolvidos pelo ISI SIM e seus objetivos resumidos, estão:

- **ART: Automated Recognition and Tagging:** Desenvolvimento de uma metodologia de escaneamento e processamento de nuvens de pontos e um novo protótipo de aplicação de software aplicável a unidades de produção de óleo e gás *onshore* e *offshore*.
- **HMI para IPS:** Desenvolvimento de uma HMI com arquitetura de microsserviços para as novas funcionalidades e recursos do QT QML (*drag and drop*, *zoom*, rolagem e mapa 3D) de acordo com as boas práticas de *user experience*.
- **Nozzle_I:** Desenvolvimento de algoritmos para automação da inspeção visual realizada por operadores em bicos injetores.
- **RDP4Automation:** Desenvolvimento em conjunto entre dois países (Brasil e Suíça) de um Sistema de Automação com IA embarcada para detecção e predição de falhas em máquinas rotativas afim de estabelecer um método para Processo de Desenvolvimento Remoto (RDP).
- **RTLS:** Desenvolvimento de um sistema para gerenciamento dos recursos de movimentação em área controlada, identificando o posicionamento dos recursos de produção, tempo de operação e a melhor rota, com visualização em 2D.
- **Sentinela:** Desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial para identificação e classificação de comportamento por meio de metadados gerados por sistema de câmeras.
- **Smart Quote:** Desenvolvimento de uma ferramenta web de orçamento instantâneo para fabricação de peças por manufatura aditiva
- **TriCovid - Sistema de Triagem Inteligente:** Desenvolvimento de um sistema orientado para apoio à decisão na triagem remota de pacientes com COVID-19, que permita a realização de anamnese e análise clínica, sem contato com profissionais da saúde, por meio de câmeras e sensores de temperatura; frequência cardíaca; percentual de oxigênio no sangue; frequência respiratória e pressão arterial.

- **XThermal:** Desenvolvimento de um sistema de sensoriamento (hardware e firmware) para processar dados de sensores infravermelho, utilizados em conjunto com câmera RGB, com alcance de até 3 metros, para medição rápida de temperatura.

6.1.3. Projetos em Execução

Em conformidade com as diretrizes internas de confidencialidade e proteção à propriedade intelectual, os projetos atualmente em andamento no ISI SIM são apresentados somente por meio de seus títulos e descrições públicas. Essa medida visa preservar informações estratégicas, resultados técnicos e dados sensíveis vinculados às empresas parceiras e instituições participantes, garantindo a integridade dos acordos de confidencialidade (NDAs) firmados e o sigilo tecnológico associado às atividades de pesquisa e desenvolvimento. Alguns projetos em andamento:

- **3D APT:** 3D Automated Perception and Tagging.
- **AgroBot:** Projeto de pesquisa e desenvolvimento voltado à criação de uma arquitetura modular para integrar veículos autônomos e dispositivos inteligentes utilizados na agricultura digital e de precisão.
- **MITRA:** Microesferas Inteligentes para Temperatura, Pressão e Reologia.
- **PRISM:** Productivity Intelligent System for Manufacturing.
- **VBA – Veículo Batedor Autônomo:** Desenvolvimento de tecnologias e fusão de sensores para condução autônoma e inspeção da condição operacional de vias férreas após condição climática severa.
- **VisAgro:** Desenvolver avanços na direção de sistemas de visão computacional para detecção, localização e classificação de objetos no domínio agrícola.

6.2. Identificação da Equipe Executora do SENAI

6.2.1. Identificação da Equipe de Gestão

Vitor Camargo Nardelli é engenheiro mecânico formado pela UDESC com mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica pela UFSC na área de Metrologia e Instrumentação. Durante o doutorado atuou como pesquisador visitante no WZL da RWTH em Aachen na Alemanha. Possui experiência industrial e acadêmica na área de Metrologia e Instrumentação, Qualidade Industrial, Desenvolvimento de Produtos e Sistemas de Sensoriamento. Atuou como especialista de desenvolvimento industrial para o SENAI DN, colaborando para a estruturação da rede de institutos SENAI e como gestor da Rede SENAI de Metrologia e Rede SENAI de Ferramentaria. Desde 2023 é Diretor do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento coordenando uma equipe de mais de 140 colaboradores na execução de projetos de cooperação com a indústria. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6871250619160097>

Franciele Juliana Rebelo é doutoranda em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Engenharia Mecânica pela UFRGS (2023). Especialista em Engenharia de Produção com ênfase em Gestão de Projetos (2020). Engenheira Mecânica pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul, 2017) e Técnica em Plásticos pelo IFSul (2009). Participou como pesquisadora em projetos de estudo da vida útil de moldes para polímeros de Engenharia, em desenvolvimento de DoE, estruturação de planos de ensaio e validação de requisitos técnicos. Atuou no Laboratório de Transformação de Termoplásticos do IFSul, com ênfase em aulas práticas nos processos de extrusão e injeção e pesquisa em materiais poliméricos. Também atuou no Laboratório de Metrologia, Hidráulica e Pneumática do IFSul, colaborando na preparação de aulas práticas, monitoria em Metrologia e montagem de circuitos hidráulicos e pneumáticos. Trabalhou no Laboratório de Metrologia do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento, com atuação orientada a planejamento e controle da produção, implementação de ferramentas da qualidade e análise crítica das demandas técnicas. A partir de 2019 passou a atuar na Gestão da Qualidade e Gestão de Projetos de PD no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Desde 2023 atua na Coordenação da equipe de Gestão da Qualidade e Gestão de Projetos da carteira de PD do SENAI/RS. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/3016182064870149>

6.2.2. Identificação da Equipe Executora do Projeto

Joao Francisco Valiati concluiu o Pós-doutorado no Institut Français du Pétrole (IFP), como integrante do projeto e-wok_HUB (Environnement-Web-Ontology-Knowledge_HUB) em 2008, que tratava do desenvolvimento de métodos para a integração de sistemas dedicados à estocagem de CO₂, realizando atividade ligadas à lógica e semântica de programas e sistemas web, no desenvolvimento de metodologias para a geração de código fonte a partir de ontologias. Em 2006 concluiu o Doutorado em Ciências da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em que abordei o desenvolvimento de uma metodologia para identificação de regiões promotoras em DNA. Em 2002, obteve o título de Especialista em Bioinformática pelo Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Em 2000 concluiu o curso de Mestrado em Ciências da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em que tratei problemas relacionados ao reconhecimento de voz utilizando comandos isolados com independência de locutor. E em 1998, concluiu a graduação pela Universidade de Passo Fundo (UPF) onde tratou do desenvolvimento de software para a análise de solos. Desde 2021 atua como Pesquisador Sênior no Instituto Senai de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4658545839496086>.

Maik Basso possui doutorado em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil, 2022. Possui mestrado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Automação (PPGEE - UFRGS), 2018. É bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2015. Seus atuais interesses de pesquisa incluem os seguintes temas: robótica móvel (mapeamento, exploração, planejamento de caminhos e fusão de mapas); sistemas embarcados para veículos aéreos não tripulados (VANTs); processamento de imagem; visão computacional; inteligência artificial; tecnologias WEB; desenvolvimento e modelagem de sistemas; mercado econômico e financeiro relacionado a ações e criptomoedas. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8235401127902954>.

Fernando Souza Soares é Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos, tendo atuado como pesquisador do Grupo de Mecânica Aplicada da UFRGS (GMAp). Experiente em pesquisa, com foco em fadiga mecânica de materiais e sistemas mecânicos automotivos (chassis, suspensão, sistemas de direção). Mestre em Engenharia Mecânica pela UFRGS, Graduado em Engenharia Mecânica Automotiva pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Laureado como Destaque Acadêmico pela Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul (SERGS) ao alcançar o 1 Lugar na classificação geral dos cursos de engenharia da ULBRA, como formando, no decorrer do ano de 2011. Atualmente, atua como Especialista em Projetos Mecânicos no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9529240518705742>.

Tiago Giacomelli Alves possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal de Pelotas (2015) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2018). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4964924442158327>.

Jean Schmith é Doutorando em Engenharia Mecânica no Promec - UFRGS. Possui Mestrado em Computação Aplicada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2011). Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2005). É Professor dos cursos de Engenharia Eletrônica, Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia da Computação e Engenharia Biomédica na Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos, projeto e produção de equipamentos eletrônicos. É pesquisador do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Foca nas áreas de Processamento Digital de Sinais, Processamento de Imagens, Ciência de Dados, Inteligência Artificial, Hardware, Firmware e IA na borda. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7662727778218200>.

Tales Gustavo Vieira é Engenheiro Mecânico, mestre na área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2014), na área de manufatura digital. Possui experiência acadêmica e industrial, principalmente nos temas: Projetos Mecânicos por meio de desenho assistido por computador (CAD); Simulação a Eventos Discretos (SED); automação de processos; Simulação de células robóticas; Simulação humana; simulação com nuvem de pontos; Digitalização da manufatura, Processamento de nuvem de pontos. Gerenciou o Laboratório de Manufatura Digital do Centro de Competência em Manufatura do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CCM-ITA), pesquisador do Instituto SENAI de Tecnologia Metalmecânica (Belo Horizonte MG) (2014 a 2018). Atualmente atua como pesquisador do Instituto SENAI de Inovação em Soluções Integradas em Metalmecânica, na Federação das Indústrias do Rio Grande do Sul com pesquisa na área de manufatura digital e nuvem de pontos. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5481262769137328>.

Giovanni Gaiardo possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2023) e pós-graduação lato sensu em Ciência de Dados e Inteligência Artificial (2024). Atualmente é Pesquisador do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento e estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Tem interesse nas áreas de Aprendizado de Máquina, Visão Computacional e Ciência de Dados. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1049237396965088>.

Rafael Borges Allgayer possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2025) e ensino médio integrado ao técnico em eletrotécnica pelo Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Guarapari (2017). Atualmente atua como Analista no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Tem interesse nas áreas de Aprendizado de Máquina, Inteligência Artificial, Nuvem de Pontos e Ciência de Dados. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9636919621777807>.

Artur Martini da Rosa é Bacharel em Engenharia de Controle e Automação pela UFRGS, com foco em pesquisa aplicada nas áreas de visão computacional, inteligência artificial e robótica. Atualmente atua como Analista no Instituto SENAI de Inovação Soluções com projetos de software voltados à sistemas de visão computacional e robótica. Aluno de mestrado no PPGC da UFRGS nas áreas de sistemas multiagentes, robótica e inteligência artificial. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/3788049545285413>.

Diego Alberto Fruchtenicht é Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Controle e Automação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2018). Possui experiência como docente no ensino técnico nas áreas de elétrica, eletrônica e automação industrial. Trabalhou no desenvolvimento de software para controladores lógico programáveis (CLPs), robôs convencionais e colaborativos e projetos de Motion Control, focados em aplicações industriais. Atualmente é pesquisador nas áreas de automação e eletrônica embarcada no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8318969299794729>.

6.3. Identificação da Equipe da Newon

Dimitry Palma Lima Boczar é executivo e empresário com sólida trajetória no setor de engenharia e automação industrial, atuando há mais de quatro décadas em posições de liderança estratégica e na condução de negócios voltados à Indústria 4.0, digitalização de processos e manufatura avançada. Fundador e CEO da Newon Engenharia e Tecnologia, lidera a transformação tecnológica e a integração OT/IT em grandes empresas dos segmentos de mineração, siderurgia, energia e transporte. Membro ativo do YPO e da ISA Minas Gerais, atua também na articulação institucional e no fomento de ecossistemas de inovação e tecnologia industrial.

Gabriel Andrade Anjos Naves é Executivo sênior com mais de 15 anos de experiência em automação industrial, engenharia de controle, IoT e Indústria 4.0, atuando em posições de liderança técnica e estratégica em empresas de tecnologia e automação. Especialista em implantação de projetos industriais complexos, integração de sistemas, engenharia de inovação e recuperação operacional e de faturamento.

Gustavo Rodrigo Martinez é um profissional com mais de 25 anos de experiência na liderança e entrega de projetos complexos em automação industrial, atuando como Senior Project Manager com certificações PMP e PSM I. Possui ampla vivência em gestão de portfólio, análise de dados e business intelligence, com forte foco em otimização de desempenho, qualidade e rentabilidade de projetos. Foi responsável pela implementação e gestão de um PMO corporativo, desenvolvimento de sistema de controle de custos e criação de dashboards em tempo real utilizando Power BI. Atuou também na Honeywell HPS, conduzindo projetos CIP envolvendo equipamentos especializados, montagem de infraestrutura e comissionamento, além de liderar iniciativa Six Sigma Green Belt para melhoria de processos. Apresenta sólida capacidade de comunicação, solução de problemas e relacionamento com clientes, sendo fluente em português, inglês e espanhol.

Thiago Torres Alves é um profissional com 10 anos de experiência consolidada em Engenharia de Controle e Automação Industrial, especialização em liderança técnica, desenvolvimento de software dedicado e arquitetura de sistemas de controle, supervisão (SCADA) e rastreabilidade. Histórico comprovado na otimização de processos produtivos, gestão de equipes multidisciplinares e implementação de soluções que unem hardware, software (CLP) e Análise de Dados.

Matheus Oliveira é Engenheiro de Controle e Automação com 6 anos de experiência na indústria, unindo automação, software e análise de dados para entregar soluções completas e inteligentes.

6.4. Identificação da Equipe da MRS

6.4.1. Identificação da Equipe de Gestão

Jessica Camila Costa Pinto é graduada em Engenharia Civil com especialização em Gerenciamento de Projetos e formação em Liderança. Possui 10 anos de experiência no setor de transporte ferroviário, incluindo 4 anos dedicados à área de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Atualmente, atua como Coordenadora de Inovação na MRS Logística S/A, onde desenvolveu sólida expertise em gestão de projetos, planejamento estratégico e controle de processos voltados ao diagnóstico ferroviário e iniciativas de PD&I. Possui trajetória marcada pela busca contínua por soluções inovadoras que impulsionem a eficiência operacional e a transformação tecnológica no setor ferroviário.

Pedro Henrique Oliveira é Engenheiro de Produção, mestre em administração e pós-graduado em Gestão da Inovação e Empreendedorismo. É um profissional apaixonado por transformação digital e inovação, com mais de 20 anos de experiência em liderar iniciativas estratégicas que impulsionam o crescimento e a eficiência das empresas. Sua trajetória inclui posições de destaque em empresas renomadas como MRS Logística S/A, FUNPRESP-EXE e Petros. Atualmente atua como Consultor de Transformação Digital e Inovação na MRS.

Raquel de Freitas Oliveira é graduada em Engenharia Civil com pós-graduação em Gerenciamento de Projetos e certificação Green Belt em Lean Six Sigma. Possui sólida experiência em gestão de projetos, processos e operações, com forte atuação em ambientes complexos e multidisciplinares. Ao longo de 10 anos, liderou equipes técnicas e operacionais no sistema ferroviário do Rio de Janeiro, gerenciando obras, contratos e projetos de expansão. Possui Expertise em planejamento financeiro e controle orçamentário (Capex). Atualmente é gestora de projetos de Visão Computacional na Gerência de Inovação da MRS

6.4.2. Identificação da Equipe Executora do Projeto

Alexandre Lima de Carvalho Possui doutorado (2025) em Processamento de Sinais para Universidade Federal de Juiz de Fora e mestrado (2014) em Engenharia Elétrica - Energia pela mesma universidade. Possui experiência na área de Engenharia Elétrica. Atualmente com 32 anos de experiência na área de engenharia elétrica, atuando nos setores de distribuição de energia, telefonia, tv a cabo, fibra óptica, obras de grande porte e geração de energia dentro de diversos estados do país. Ampla experiência em obras dos gêneros acima descritos referente a implantação, gestão e conhecimento de materiais aplicados. Experiência em implantação de NR-10, orientação, ensino e manutenção da norma. Experiência em planejamento de obras, eficiência energética, estudos de usinas fotovoltaicas e migração para o mercado livre. Trabalhos diversos com Machine Learning, envolvendo processamento de sinais, imagens, previsões e classificações. Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/6231925667421541>

Marcelo Augusto Landim do Rosario é graduado em Engenharia Elétrica pela Rede de Ensino Doctum, com especializações em Gestão de Projetos e Metodologias Ágeis, e atualmente aprofunda seus estudos em Visão Computacional. Possui expertise na aplicação de tecnologias inovadoras, como drones, aerofotogrametria e visão computacional, voltadas para inspeções e diagnóstico de superestrutura ferroviária. Utiliza técnicas avançadas de Visão Computacional e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para geoprocessamento, análise e saneamento de dados. Sua experiência inclui desenvolvimento, implantação e gestão de projetos inovadores no setor ferroviário. Atualmente é Especialista Ferroviário, com uma trajetória de 6 anos na área, com ênfase em Via Permanente.

Luan Henrique Mendonça Moreira é mestre em Engenharia Mecânica com dissertação voltada à detecção de danos em materiais via Visão Computacional e Machine Learning. Possui ampla experiência prática com modelagem estatística e preditiva, aprendizado supervisionado e não supervisionado, e redes neurais profundas aplicadas a problemas industriais. Sua trajetória combina fundamentos sólidos em estatística, engenharia de features e preparação de dados com atuação direta no treinamento, validação e avaliação de modelos de Machine Learning e Deep Learning, utilizando TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn, XGBoost e OpenCV. Atua desde a concepção e estruturação de datasets até o tuning e validação cruzada de modelos, definindo KPIs de performance, conduzindo testes A/B, e desenvolvendo soluções robustas para detecção, previsão e otimização de processos. Além da parte técnica, participa de forma estratégica na prospecção e integração de tecnologias e na colaboração entre times de engenharia, IA e operação, traduzindo resultados de modelos em ganhos reais de negócio.

7. PRODUTOS

7.1. Macroentrega 1 - Levantamento e Especificação de Requisito

O projeto conceitual do sistema de inspeção ferroviária contempla a estrutura funcional e os requisitos técnicos e operacionais necessários à aquisição e classificação de dados relevantes. São identificadas as demandas específicas do processo de monitoramento da via, os tipos de defeitos e anomalias a serem detectados, bem como as variáveis ambientais e operacionais que influenciam o desempenho do sistema. O levantamento detalhado dessas informações serve de base para o desenvolvimento de soluções que comporão o sistema.

Além da definição conceitual, são conduzidas análises preliminares de viabilidade técnica e de integração entre hardware e software, considerando aspectos como compatibilidade de sensores, capacidade de armazenamento e transmissão de dados, e requisitos de processamento. O resultado esperado dessa macroentrega é um documento de especificação que consolida o entendimento do problema, descreve as funcionalidades esperadas e orienta as próximas etapas do desenvolvimento.

Esta macroentrega gera o Projeto Conceitual, conforme apresentado no Anexo XI.

7.2. Macroentrega 2 – Desenvolvimento e Prototipagem do Sistema de Aquisição e Inspeção

O projeto do sistema de aquisição de dados abrange o desenvolvimento dos subsistemas mecânico, elétrico e eletrônico responsáveis pela coleta de informações em campo. São projetados os módulos de iluminação, câmeras, conectividade e georreferenciamento, de forma a garantir a sincronização e a rastreabilidade das medições.

A definição dos sensores, lentes e iluminadores é conduzida a partir de testes comparativos de desempenho e resulta em um conjunto de especificações técnicas que asseguram a qualidade das imagens e dos dados adquiridos, servindo de base para os ensaios e validações futuras.

Esta macroentrega gera o Projeto do Sistema de Aquisição de Dados e a Especificação de Sensores, conforme apresentado no Anexo XI.

7.3. Macroentrega 3 – Integração e ensaios funcionais

A fase de integração e ensaios funcionais concentra-se na consolidação dos componentes do sistema e na verificação de sua interoperabilidade. São elaborados Diagramas Técnicos que ilustram as arquiteturas de software, os fluxos de dados e os protocolos de comunicação entre os módulos de aquisição e processamento. Esses diagramas servem como referência para o desenvolvimento e a depuração dos sistemas embarcados, garantindo que a coleta, a transmissão e o armazenamento das informações ocorram de forma eficiente e segura.

Durante os ensaios, o protótipo é submetido a testes em condições controladas, reproduzindo cenários típicos de operação ferroviária. Essa etapa permite avaliar o desempenho dos sensores, a qualidade dos dados coletados e a resposta do sistema às variações de ambiente e velocidade. Os resultados obtidos subsidiam ajustes de hardware e software, assegurando a estabilidade do sistema e preparando-o para a fase de implementação de algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina.

Esta macroentrega tem como resultado os Diagramas Técnicos e o Dataset Ferroviário Multimodal e Método para Treinamento de Modelos de Inteligência Artificial, conforme apresentado no Anexo XI.

7.4. Macroentrega 4 – Evolução e Consolidação do Sistema de Inspeção

O dataset ferroviário multimodal reúne conjuntos de dados anotados e documentados para o treinamento de modelos de inteligência artificial voltados à inspeção. A base inclui imagens e medições obtidas em diferentes condições de operação, acompanhadas de instruções para treinamento e variação de hiperparâmetros. O material serve de referência para o desenvolvimento de modelos de detecção e classificação de anomalias, que podem ser alteradas conforme o interesse. Isto é, é possível alterar o escopo do modelo para outros elementos da ferrovia, contemplando detecção e classificação não apenas no contexto das tarefas estabelecidas durante o projeto, mas possibilitando ampliação para outras tarefas dentro do contexto de inspeção ferroviária, facilitada pelo ambiente de MLOps proposto. Sendo assim, a arquitetura permite a ampliação de escopo para outros elementos da ferrovia, em projetos futuros.

O ambiente de MLOps é estruturado para suportar o ciclo de atualização contínua dos modelos. Ele integra ferramentas de versionamento, monitoramento e automação de processos de treinamento, garantindo a rastreabilidade e a reprodutibilidade dos resultados. Esse conjunto de soluções consolida a parte analítica do sistema e permite sua evolução a partir de novos dados coletados, que podem ser advindos de ferrovias quaisquer, não limitando-se às ferrovias estudadas inicialmente durante o desenvolvimento do projeto. Dessa forma, é possível replicar a solução, recebendo conjuntos de dados de outras ferrovias além da patrocinadora para treinamento.

Esta macroentrega tem como resultado o Desenvolvimento do Ambiente de MLOps, além de fomentar a robustez do Dataset Ferroviário Multimodal e Método para Treinamento de Modelos de Inteligência Artificial, conforme apresentado no Anexo XI.

7.5. Macroentrega 5 – Validação em Ambiente Relevante e Transferência de Tecnologia

A documentação técnica inclui manuais de operação e manutenção, além de materiais de capacitação para equipes responsáveis pela implementação e uso do sistema. Esse conjunto assegura a transferência estruturada do conhecimento gerado.

O resultado esperado contempla a elaboração de manuais técnicos detalhados para instalação, operação e manutenção do sistema, informações sobre o código aberto, bem como a produção de materiais de treinamento voltados à disseminação das tecnologias desenvolvidas. Está prevista a capacitação da equipe da MRS, assegurando que os profissionais envolvidos dominem plenamente os conceitos, métodos e ferramentas necessários à operação e à atualização contínua do sistema. Adicionalmente, serão realizados treinamentos abertos, possibilitando, quando de interesse, a participação de profissionais de outras pessoas do setor em geral, ampliando o alcance e a difusão das soluções desenvolvidas.

Além da documentação e da transferência de tecnologia, espera-se como resultado o protótipo completo do sistema de aquisição de imagens e dados, incluindo eletrônica, mecânica e sistema de iluminação, com todas as funcionalidades necessárias para sua validação funcional. Os testes em ambiente ferroviário, tem como objetivo validar a utilização do sistema em condições reais de operação.

Esta macroentrega gera a Documentação, Expansão e Capacitação das Equipes Técnicas, bem como o Protótipo do Sistema de Aquisição de Dados e a API de acesso à informação, conforme apresentado no Anexo XI.

7.6. Publicações Científicas Esperadas

A produção científica decorrente deste projeto deverá contemplar artigos e comunicações técnicas voltadas à divulgação dos avanços obtidos nas áreas de visão computacional, inteligência artificial e sistemas autônomos aplicados à inspeção ferroviária. As publicações terão como foco principal demonstrar a contribuição tecnológica e metodológica do sistema multiplataforma desenvolvido, abordando desde a arquitetura de aquisição e processamento de dados até os resultados obtidos em campo.

Espera-se que resultados como a construção e disponibilização de um *dataset* multimodal e anotado de imagens aéreas e terrestres, a implementação de algoritmos de detecção e segmentação de anomalias em trilhos e dormentes e o desenvolvimento de técnicas de fusão sensorial e análise geoespacial gerem publicações de relevância para a comunidade científica. Esses materiais poderão servir como referência para novas pesquisas e aplicações voltadas à automação da manutenção e à segurança ferroviária.

As publicações oriundas do projeto poderão ser submetidas a conferências e periódicos de alto impacto nas áreas de visão computacional, transporte inteligente, engenharia civil digital e automação de infraestrutura. Entre os canais de divulgação científica de interesse destacam-se eventos internacionais como o *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, o *International Conference on 3D Vision (3DV)* e o *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, além de periódicos como *Automation in Construction*, *Advanced Engineering Informatics* e *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, reconhecidos por disseminar avanços em digitalização e automação aplicadas à infraestrutura ferroviária.

Além de contribuir para o avanço do conhecimento técnico-científico, as publicações terão papel estratégico na validação dos métodos desenvolvidos e na difusão das boas práticas estabelecidas ao longo do projeto. Todos os trabalhos resultantes incluirão o devido reconhecimento à ANTT e à MRS pelo apoio e financiamento no âmbito das ações de Pesquisa e Desenvolvimento, reforçando o compromisso institucional com a inovação, a transparência e a consolidação de uma base de conhecimento aberta e aplicada ao setor ferroviário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

- Aela, P., Cai, J., Jing, G., & Chi, H. L. (2024). Vision-based monitoring of railway superstructure: A review. *Construction and Building Materials*, 442, p. 137385.
- Askarzadeh, T., Bridgelall, R., & Tolliver, D. D. (2023). Systematic literature review of drone utility in railway condition monitoring. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*.
- Cao, Z., Qin, Y., Jia, L., Xie, Z., Gao, Y., Wang, Y., & Yu. (2024). Railway Intrusion Detection Based on Machine Vision: A Survey, Challenges, and Perspectives. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- Daniyan, I., Mpofu, K., & Nwankwo, S. (2023). Design of a robot for inspection and diagnostic operations of rail track facilities. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Di Summa, M., Griseta, M. E., Mosca, N., Patruno, C., Nitti, M., Renò, V., & Stella, E. (2023). A Review on Deep Learning Techniques for Railway Infrastructure Monitoring. *IEEE Access*, 11, pp. 114638-114661. doi:10.1109/ACCESS.2023.3309814
- Jing, G., & Qin, X. (2025). Revolutionizing railway maintenance: the advent of inspection robots. Em *Resilient, Sustainable and Smart Ballasted Railway Track* (pp. 711-750).
- Kumar, A., & Harsha, S. P. (2024). A systematic literature review of defect detection in railways using machine vision-based inspection methods. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
- Liu, W., Wang, S., Yin, Z., & Tang, Z. (2024). Structural damage detection of switch rails using deep learning. *NDT & E International*, 147, p. 103205.
- Olivier, B., Guo, F., Qian, Y., & Connolly, D. P. (2025). A Review of Computer Vision for Railways,. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 26, pp. 11034-11065. doi:10.1109/TITS.2025.3552011
- Sun, D. Z., Wang, P., & Wu, J. (2024). Railway Multi-source Data Analysis and Fusion. Em *International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Transportation: Volume IV*.
- Yuan, X., Kang, B., Wang, Y., Liu, W., Liu, B., Hou, D., & Ma, Y. (2025). Rapid Detection of Visual and Structural Defects of Railway Fasteners via RGB-P Bimodal Data Fusion. *IEEE Sensors Journal*.

8. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

- 8.1. Anexo I - Resumo do Plano de Trabalho**
- 8.2. Anexo II - Cronograma Físico-Financeiro**
- 8.3. Anexo III - Proposta técnica e comercial SENAI**
- 8.4. Anexo IV - Proposta técnica e comercial NEWON**
- 8.5. Anexo V - Proposta técnica e comercial CEDRA**
- 8.6. Anexo VI - Cotações comerciais**
- 8.7. Anexo VII - Currículos da equipe SENAI**
- 8.8. Anexo VIII - Currículos da equipe NEWON**
- 8.9. Anexo IX - Currículos da equipe MRS**
- 8.10. Anexo X - Orçamento analítico previsto**
- 8.11. Anexo XI - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência**
- 8.12. Anexo XII – Dimensionamento dos Custos de Importação**
- 8.13. Anexo XIII - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023**