

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

SISTEMA DE FISCALIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DE INVESTIMENTOS FERROVIÁRIOS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

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

MRS LOGÍSTICA S. A

14/01/2026

SUMÁRIO

1.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	5
1.1.	Título do Projeto	5
1.2.	Objetivos	6
2.	JUSTIFICATIVA	8
2.1.	Contextualização	8
2.2.	Razões para a Escolha do Tema	8
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	9
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	12
2.8.	Distinção de Obrigações Contratuais	12
2.9.	Participação em Seminários, Congressos e Visitas Técnicas	13
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	14
3.1.	Metodologia	14
3.2.	Macroentrega 1 – Planejamento e Governança de Dados	15
3.3.	Macroentrega 2 – Plataforma Web	26
3.4.	Macroentrega 3 – Inovação e Desenvolvimento Tecnológico	31
3.5.	Macroentrega 4 - Validação e Operação Assistida	45

3.6.	Entrega de Resultados e Produtos do Projeto	55
4.	TEMPO DE EXECUÇÃO, CUSTO TOTAL E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO	57
4.1.	Prazo de Execução	57
4.2.	Custo Total	57
4.3.	Cronograma Físico-Financeiro	57
5.	LOCAL DE EXECUÇÃO	59
6.	ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA	61
6.1.	Identificação da Entidade	61
6.2.	Identificação da Equipe Executora	63
7.	PRODUTOS	72
7.1.	Macroentrega 1 – Planejamento e Governança de Dados	72
7.2.	Macroentrega 2 – Plataforma Web	72
7.3.	Macroentrega 3 – Inovação e Desenvolvimento Tecnológico	73
7.4.	Macroentrega 4 - Validação e Operação Assistida	73
7.5.	Publicações Científicas Esperadas	74
8.	ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO	77
8.1.	Anexo I - Resumo do Plano de Trabalho	77
8.2.	Anexo II - Cronograma Físico-Financeiro	77
8.3.	Anexo III - Proposta técnica e comercial SENAI	77
8.4.	Anexo IV - Proposta técnica e comercial DSG	77
8.5.	Anexo V - Proposta técnica e comercial TOPOCART	77

8.6.	Anexo VI – Orçamento Passagens	77
8.7.	Anexo VII - Currículos da equipe SENAI	77
8.8.	Anexo VIII - Currículos da equipe DSG	77
8.9.	Anexo IX - Currículos da equipe TOPOCART	77
8.10.	Anexo X - Currículos da equipe MRS	77
8.11.	Anexo XI - Orçamento analítico previsto	77
8.12.	Anexo XII - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência	77
8.13.	Anexo XIII – Tabela Salarial e Regramento de Bolsas do SENAI RS	77
8.14.	Anexo XIV - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023	77

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Sistema de Fiscalização e Acompanhamento de Investimentos Ferroviários com Inteligência Artificial

1.1.1. Linha de Inovação e Desenvolvimento

O projeto se insere na linha de inovação voltada à modernização e digitalização da infraestrutura ferroviária nacional, em consonância com os Artigos 3º e 4º da Resolução nº 6.021, de 2023, que orienta o uso dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT). A proposta contribui para a modernização do Subsistema Ferroviário Federal, ao aplicar tecnologias digitais e inteligência artificial para mensurar, avaliar e otimizar obras de infraestrutura sob fiscalização da ANTT, promovendo eficiência, transparência e interoperabilidade entre os sistemas da Agência e das concessionárias.

O projeto também atende ao inciso II do Artigo 4º, ao promover soluções tecnológicas aplicadas à gestão e fiscalização de obras, fortalecendo os processos de controle e acompanhamento técnico em tempo real. Além disso, contribui para o desenvolvimento de tecnologia aplicada e métodos inovadores de análise, alinhando-se aos princípios de transformação digital e gestão inteligente de ativos já estabelecidos no projeto “Digitalização e Interoperabilidade de Projetos e Ativos Ferroviários”, com o qual mantém integração metodológica e tecnológica por meio do uso de modelos de dados estruturados, interoperabilidade BIM e padrões de governança digital baseados na ISO 19650.

1.1.2. Temas

- Tema 5 - Automação e aprimoramento da fiscalização da ANTT
- Tema 7 - Estruturação das informações relativas a bens ferroviários
- Tema 10 - Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O projeto “Sistema de Fiscalização e Acompanhamento de Investimentos Ferroviários com Inteligência Artificial” visa modernizar e automatizar a fiscalização das obras ferroviárias sob concessão, utilizando inteligência artificial, processamento de imagens, modelos BIM e interoperabilidade de dados com o sistema SAFF (Sistema de Acompanhamento e Fiscalização Ferroviária) da ANTT. A iniciativa busca garantir eficiência, rastreabilidade, transparência e padronização das informações enviadas pelas concessionárias, integrando dados estruturados, análises visuais e relatórios automatizados de desempenho físico e financeiro.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Padronizar e assegurar o recebimento contínuo das informações sobre o andamento das obras ferroviárias, enviadas pelas concessionárias por meio de tabelas eletrônicas e/ou sistemas estruturados, contendo cronogramas físico-financeiros e medições periódicas;
- Estruturar processo automatizado de ingestão, validação e interpretação desses dados estruturados, garantindo compatibilidade semântica e sintática com a base de dados da SUFER e o módulos RIF e GEO do SAFF;
- Processar atualizações oriundas das análises de projetos de competência da Gerência de Projetos Ferroviários – GEPEF. Coletar, interpretar e processar periodicamente imagens aéreas, terrestres e orbitais das obras em curso, em formatos georreferenciados, com o uso de drones, câmeras fixas ou imagens de satélite;
- Realizar análise comparativa e integrada entre os dados estruturados enviados pelas concessionárias e as informações visuais extraídas por IA, verificando a conformidade do avanço físico das obras com os cronogramas declarados;
- Detectar automaticamente, por meio de inteligência artificial, atrasos, frentes de serviço inativas, desvios construtivos e inconformidades, correlacionando os dados recebidos com as evidências visuais e temporais;
- Gerar relatórios técnicos automáticos, mapas de calor georreferenciados, alertas de criticidade e indicadores objetivos de desempenho físico, de forma periódica e parametrizável;
- Integrar as informações processadas (estruturadas e visuais) aos módulos RIF e GEO do SAFF, garantindo interoperabilidade técnica, semântica e funcional, conforme os padrões estabelecidos pela ANTT;

- Disponibilizar ferramenta digital com interface amigável, interativa e funcional, voltada ao uso técnico e fiscalizatório da SUFER, com filtros, histórico, downloads e controle de evidências.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. Contextualização

Em atendimento à solicitação formal da Agência Nacional de Transportes Terrestres, por meio do OFÍCIO SEI Nº 31713/2025/COETI/GEPEF/SUFER/DIR-ANTT, foi proposta a elaboração do presente Plano de Trabalho com o objetivo de estruturar e detalhar as ações necessárias ao desenvolvimento de um sistema digital integrado para apoio à fiscalização ferroviária, em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Resolução ANTT nº 6.021, de 20 de julho de 2023.

A demanda apresentada pela ANTT destaca a importância de se modernizar os instrumentos de acompanhamento e supervisão das obras e serviços ferroviários, de forma a ampliar a eficiência regulatória, a transparência e a rastreabilidade das informações técnicas enviadas pelas concessionárias. Nesse contexto, o projeto proposto visa o desenvolvimento e validação de soluções tecnológicas inovadoras, combinando plataformas digitais, inteligência artificial e integração de dados geoespaciais, de modo a permitir a mensuração automatizada do progresso físico das obras, a identificação de inconformidades construtivas e o fortalecimento da infraestrutura institucional da ANTT para a análise e fiscalização digital.

2.2. Razões para a Escolha do Tema

Atualmente, a fiscalização ferroviária enfrenta desafios relacionados à dispersão e heterogeneidade dos dados técnicos, ao uso limitado de evidências digitais verificáveis e à dificuldade de integração entre diferentes fontes de informação, como cronogramas, relatórios fotográficos e medições de campo. Esses fatores reduzem a agilidade e a confiabilidade das análises, dificultando a tomada de decisão regulatória e o monitoramento contínuo da execução contratual.

Diante desse cenário, o presente projeto propõe o desenvolvimento de uma plataforma digital integrada ao SAFF, aliada a modelos de inteligência artificial e bancos de dados multimodais, para automatizar a ingestão, validação e interpretação de dados de obras ferroviárias. Essa abordagem permitirá mensurar o progresso físico de obras com maior agilidade, identificar inconformidades construtivas e produzir indicadores de desempenho de forma objetiva e auditável.

2.3. Relevância, Viabilidade e Integração com Outros Projetos RDT

O presente projeto se integra de forma sinérgica ao RDT “Digitalização e Interoperabilidade de Projetos e Ativos Ferroviários”, ao compartilhar a visão de transformação digital do setor ferroviário e a aplicação de tecnologias emergentes para a gestão inteligente de ativos. Enquanto o projeto da MRS e do BIM Fórum Brasil estrutura metodologias, normas e guias técnicos voltados à padronização e interoperabilidade de informações, o presente projeto avança sobre a aplicação prática desses referenciais, incorporando instrumentação, coleta de dados e inteligência computacional para ampliar a rastreabilidade, a segurança e a eficiência operacional dos sistemas ferroviários.

Essa integração garante relevância técnica e institucional ao alinhar os resultados a uma iniciativa já em andamento, fortalecendo o ecossistema de inovação do setor. Do ponto de vista da viabilidade, a compatibilidade de plataformas e metodologias entre os projetos facilita a interoperabilidade de dados e a replicabilidade das soluções.

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

O projeto contribuirá para a modernização da fiscalização ferroviária nacional, introduzindo recursos de inteligência artificial, integração de dados e automação de processos regulatórios. A iniciativa fortalece a capacidade da ANTT em acompanhar obras e serviços com maior precisão e transparência, elevando o nível de governança e eficiência do setor. Para as concessionárias, representa uma oportunidade de aperfeiçoar a gestão das informações enviadas à Agência, com processos padronizados, interoperáveis e auditáveis. A troca estruturada de dados pode reduzir retrabalho e ampliar a confiança entre poder concedente e operadoras.

A União e a ANTT se beneficiam com instrumentos tecnológicos que aprimoram a tomada de decisão, asseguram o uso racional dos recursos públicos e reforçam o papel do Estado como indutor da inovação no transporte ferroviário. Os usuários e a sociedade, por sua vez, serão impactados de forma indireta, com melhorias na qualidade, segurança e confiabilidade das obras e serviços, reflexo de uma fiscalização mais ágil, precisa e baseada em evidências digitais.

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.

2.6. Inovações Propostas e Desenvolvimento

O projeto propõe inovações tecnológicas e metodológicas centradas na fusão multimodal de dados (imagens aéreas, terrestres e orbitais, nuvens de pontos, modelos BIM e dados estruturados), no emprego de modelos de visão computacional e análise temporal para detecção automática de progresso e inconformidades (WEI, LU, *et al.*, 2022) (PAL, LIN, *et al.*, 2023) (WIDOWATI; RESITA, 2025), e na integração semântica desses resultados a plataformas de gestão (SAFF, módulos RIF/GEO/RAPI) e a repositórios geoespaciais/operacionais. Essas inovações permitem automatizar a fiscalização, gerar evidências auditáveis e produzir indicadores operacionais parametrizáveis para a SUFER/ANTT. Abaixo estão listadas algumas das inovações que se espera desenvolver neste projeto:

2.6.1. Monitoramento multimodal e detecção de mudanças temporal

A presente proposição trata da implementação de *pipelines* de detecção de mudanças que combinem análises de dados multitemporais, como ortofotos, imagens satelitais ou nuvens de pontos, com inferências de modelos de visão computacional. O objetivo é identificar variações relevantes no avanço físico, incluindo movimentações de terra, instalação de trilhos e dormentes, e obras de drenagem. O monitoramento do progresso de construções é tema recorrente em estudos recentes, que propõem a utilização de ativo digitalizado em conjunto com sistemas de detecção de elementos (PAL, LIN, *et al.*, 2023) (PAL, LIN, *et al.*, 2024). A efetividade da detecção de mudanças está documentada para diferentes métodos baseados em aprendizado profundo, como U-Net (CHENG, HUANG, *et al.*, 2024), GANs (NAGY, KOVÁCS; BENEDEK, 2021) e RBF (YEW; LEE, 2021) aplicados à diversos tipos de dados, demonstrando robustez na segmentação de mudanças.

2.6.2. Aplicação de modelos de detecção e segmentação para elementos de obras e construções

Para identificação e quantificação de elementos construtivos (trilhos, dormentes, equipamentos, frentes ativas/inativas e outras obras de infraestrutura) serão empregados modelos de detecção e segmentação com resultados promissores em trabalhos prévios (por exemplo, variantes de YOLO (DOLHOPOLOV, HONCHARENKO, *et al.*, 2024) para detecção em tempo real e Mask R-CNN (WEI, LU, *et al.*, 2022) para segmentação). A literatura aplicada em canteiros de obras e estudos com UAV (LIANG, CHO; SEO, 2023) demonstra que essas arquiteturas alcançam altos níveis de acurácia em tarefas de detecção/segmentação e que podem ser adaptadas por *fine-tuning* com *datasets* específicos do domínio ferroviário (PAPPATERRA, FLAMMINI, *et al.*, 2021) (RAUCH; BRAML, 2025).

2.6.3. Integração semântica com sistemas GIS e SAFF

O projeto desenvolverá camadas de interoperabilidade semântica para mapear entidades detectadas (por exemplo, “trilho instalado”, “frente de serviço inativa”) aos modelos de dados do SAFF (RIF, GEO, RAPI) e a geobancos (ArcGIS). Estudos e relatórios setoriais (ESRI, 2021) destacam que a integração GIS–BIM, por exemplo, e a harmonização de metadados são fundamentais para monitoramento estruturado e para suporte à tomada de decisão em infraestrutura, melhorando consistência e reuso de informações.

2.6.4. Automação do fluxo de ingestão, validação e curadoria de dados

Será implantado um *pipeline* automatizado (ETL/DVC/MLOps) que realiza ingestão programada de tabelas padronizadas, imagens e nuvens de pontos; validação semântica/sintática; normalização de unidades; e versionamento de *datasets* para reprodutibilidade. A adoção de práticas de *data governance* e *MLOps* é recomendada na literatura (BROUS, JANSSEN; KRANS, 2020) para assegurar rastreabilidade das inferências e permitir auditoria técnica dos resultados, além de auxiliar na manutenção e melhoria dos resultados dos modelos com o tempo (TREVEIL, OMOUNT, *et al.*, 2020).

2.6.5. Validação cruzada com dados oficiais e critérios metrológicos

Os resultados das inferências serão validados de forma autônoma contra cronogramas físico-financeiros e medições realizadas em campo. Estudos acadêmicos (ÁLVARES; COSTA, 2019) e patentes (UNIVERSITY, 2019) (OHANIAN, 2019) aplicadas demonstram abordagens para combinar dados 4D BIM com imagens para estimativa de progresso e cálculo de volumes, mostrando viabilidade técnica para produzir métricas comparáveis às medições tradicionais.

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

O projeto está alinhado aos artigos 3º e 4º da Resolução, conforme destacado a seguir:

- Art. 3º, incisos I, II e VII: apoia a modernização da infraestrutura ferroviária, a melhoria dos serviços concedidos e o aprimoramento da fiscalização pública.
- Art. 4º, incisos II, IV e VII: desenvolve tecnologias aplicadas, soluções de acompanhamento em tempo real e infraestrutura tecnológica para a fiscalização.
- Art. 7º, inciso IV: define produtos, resultados e cronograma que asseguram a transparência e rastreabilidade da execução.
- Art. 10, §4º: cumpre o requisito de execução por entidade com experiência comprovada em desenvolvimento tecnológico e corpo técnico especializado em transporte ferroviário.

As entregas previstas, incluindo plataforma integrada, modelos de IA, *datasets* multimodais, integração ao SAFF e capacitação institucional, materializam as ações de inovação e digitalização previstas pelos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico, conforme o escopo regulatório vigente.

2.8. Distinção de Obrigações Contratuais

É importante destacar que o presente projeto não tem por objetivo atender a obrigações contratuais preexistentes das concessionárias ferroviárias, nem substitui ou interfere nas responsabilidades previstas nos respectivos contratos de concessão. As atividades aqui propostas não se relacionam diretamente à execução, manutenção ou operação da infraestrutura concedida, mas sim à criação de ferramentas tecnológicas, metodologias e sistemas de apoio à fiscalização pública e à inovação institucional.

Trata-se, portanto, de uma iniciativa complementar e de caráter tecnológico, que visa fortalecer a capacidade regulatória e fiscalizatória da ANTT por meio do desenvolvimento de soluções digitais, modelos de inteligência artificial e integração de dados, promovendo ganhos de eficiência, transparência e rastreabilidade sem gerar qualquer sobreposição às obrigações contratuais.

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, e a *Autodesk University (AU)*, um dos maiores eventos mundiais voltados à inovação digital, modelagem 3D, BIM e integração de tecnologias aplicadas à engenharia e à construção. A presença nestes congressos 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 acadêmicas em revistas 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.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Metodologia

O projeto será conduzido como uma pesquisa aplicada voltada à solução de um problema regulatório concreto: a necessidade de padronizar, integrar e automatizar a fiscalização de obras ferroviárias sob responsabilidade da ANTT. A abordagem combina investigação científica, desenvolvimento tecnológico e validação em ambiente operacional, transformando requisitos institucionais em uma solução funcional que integra dados estruturados, imagens e modelos de inteligência artificial.

A gestão seguirá uma combinação de práticas clássicas de gerenciamento de projetos e métodos ágeis. Na estrutura tradicional (*waterfall*), o projeto está organizado em quatro macroentregas, indo da governança de dados, passando pelo desenvolvimento tecnológico e finalizando com a validação operacional. Cada macroentrega está detalhada em entregáveis, atividades e subatividades descritas ao longo deste documento. Essa hierarquia assegura rastreabilidade entre os módulos técnicos (SAFF, dataset multimodal, modelos de IA), clareza de responsabilidades e alinhamento entre escopo, cronograma e recursos previstos. O planejamento global será representado em um cronograma Gantt, permitindo visualizar dependências entre pacotes de trabalho, especialmente entre padronização de dados, desenvolvimento da plataforma web e testes operacionais.

Complementarmente, a execução adotará princípios ágeis com ciclos curtos de trabalho. Os sprints semanais organizam o desenvolvimento dos módulos da plataforma web, pipelines de dados, rotinas de interoperabilidade e modelos de IA permitindo ajuste contínuo conforme surgirem novos requisitos regulatórios ou técnicos. A rotina de acompanhamento incluirá:

- **Sprint Planning** para priorização das tarefas críticas (ex.: integração com SAFF, rotinas de auditoria de dados, validação dos modelos);
- **Sprint Review/Closing** para avaliação de resultados, identificação de gargalos e realinhamento técnico;
- **Reuniões técnicas semanais** com a MRS, e sempre que necessário, com a ANTT, garantindo validação contínua das funcionalidades e aderência regulatória.

3.2. Macroentrega 1 – Planejamento e Governança de Dados

3.2.1. Entregável 1 - Estruturação dos Marcos Técnicos e Operacionais do Projeto

Descrição: Definição dos processos, fluxos e responsabilidades entre ANTT, SUFER e concessionárias, estabelecendo os marcos técnicos, operacionais e administrativos que orientarão a execução do projeto.

Como será desenvolvido:

- Levantamento e mapeamento dos fluxos de comunicação e tramitação de informações entre unidades da ANTT e a MRS.
- Definição dos marcos técnicos e cronogramas de referência do projeto.
- Elaboração de documento normativo contendo padrões de comunicação, responsabilidades e entregas mínimas.

Revisão e Validação: Avaliação conjunta pela equipe técnica da MRS, da GEPEF/SUFER e pelas áreas de tecnologia e fiscalização da ANTT. A validação será feita em conjunto em um comitê técnico interinstitucional.

Publicação e Disseminação: Disponibilização em ambiente interno da ANTT.

Justificativas: Este entregável define o arcabouço técnico e administrativo que orientará a execução do projeto, assegurando a padronização dos fluxos de comunicação e a coordenação entre ANTT, SUFER e concessionárias. A criação de marcos e procedimentos claros permite controlar prazos, responsabilidades e entregas, reduzindo ambiguidades operacionais e facilitando a integração entre equipes. Além disso, o documento resultante servirá como referência para o alinhamento com outros projetos RDT em andamento, fortalecendo a governança e a rastreabilidade das ações do programa.

3.2.1.1. Atividade 1.1: Mapear fluxos de comunicação e tramitação de informações

Descrição: Mapear e documentar os fluxos de comunicação existentes entre as áreas técnicas da ANTT e MRS, identificando lacunas e pontos de aprimoramento.

Métodos e Técnicas:

- Entrevistas e reuniões técnicas com equipes da SUFER e das concessionárias;
- Análise de processos administrativos e fluxos de tramitação de informações;
- Uso de ferramentas de mapeamento de processos.

Subatividades:

- Entendimento dos dados atuais existentes.
- Levantar fluxos atuais de comunicação e validação de dados.
- Mapear responsáveis e prazos em cada etapa do fluxo.
- Elaborar fluxogramas padronizados para cada tipo de interação (conclusão de obra, alteração de escopo etc.).

Entregas Parciais:

- Relatório técnico com mapeamento dos fluxos institucionais;
- Diagramas BPMN dos processos-chave de comunicação;
- Documento consolidado de análise crítica dos fluxos.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 relatório técnico contendo todos os fluxos mapeados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** 01 relatório técnico e diagramas BPMN documentando os fluxos institucionais de comunicação entre ANTT e MRS.
- **Resultado:** Visão consolidada dos canais e responsabilidades institucionais, baseando as próximas etapas do projeto em processos formalmente definidos e auditáveis.

3.2.1.2. Atividade 1.2: Definir requisitos e marcos técnicos e cronogramas de referência

Descrição: Definir requisitos e marcos técnicos e operacionais que comporão o cronograma de referência do projeto, considerando interfaces entre áreas técnicas da ANTT e concessionárias.

Métodos e Técnicas:

- Planejamento técnico-operacional baseado em metodologia ágil;
- Identificação de dependências e validação dos *milestones*;
- Construção de cronograma detalhado (Gantt Chart).

Subatividades:

- Identificar entregas críticas e seus marcos de controle;
- Criar lista de requisitos mensuráveis do projeto com base nos entregáveis validados;
- Elaborar cronograma consolidado de execução;
- Validar o cronograma com os stakeholders.

Entregas Parciais:

- Lista de Requisitos
- Cronograma técnico-operacional consolidado;
- Documento de marcos técnicos do projeto.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 relatório técnico contendo cronograma e documento de marcos técnicos

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento de requisitos e marcos técnicos e cronograma consolidado.
- **Resultado:** Planejamento estruturado e alinhado entre as equipes técnicas e regulatórias, garantindo previsibilidade na execução.

3.2.1.3. **Atividade 1.3:** Redigir documento normativo de governança do projeto

Descrição: Elaborar documento consolidado com diretrizes de governança, padrões de comunicação, responsabilidades e requisitos mínimos de reporte entre ANTT e MRS.

Métodos e Técnicas:

- Benchmarking com documentos normativos internos da ANTT.

- Redação técnica colaborativa;
- Validação por comitê técnico.

Subatividades:

- Estruturar modelo de documento com capítulos e seções padrão;
- Consolidar as regras e fluxos aprovados;
- Submeter para aprovação por comitê

Entregas Parciais:

- Minuta do documento de governança de projeto;
- Versão final aprovada e termo de aceite assinado

Critério de Medição e Faturamento:

- Pagamento após termo de aceite assinado

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento técnico de governança do projeto e registro formal de aprovação.
- **Resultado:** Artefato que garante alinhamento técnico, transparência e padronização entre os agentes envolvidos.

3.2.2. Entregável 2 - Padronização e Integração dos Dados Ferroviários

Descrição: Desenvolvimento de dicionários de dados, modelos de tabelas e APIs de integração compatíveis com o SAFF, assegurando a interoperabilidade entre os sistemas da MRS e da ANTT e a conformidade com os princípios de gestão da informação em ambiente comum de dados (CDE) conforme a ISO 19650.

Como será desenvolvido:

- Definição dos formatos estruturados de dados (tabelas, cronogramas, medições), observando o ciclo de informação definido pela ISO 19650 para criação, verificação, aprovação e publicação de dados em ambiente CDE;
- Implementação de API REST e modelo de integração com os módulos RIF e GEO do SAFF.

- Criação de procedimentos de versionamento, auditoria e controle de acesso para dados técnicos e operacionais compartilhados entre ANTT e concessionárias;
- Realização de testes de interoperabilidade com dados simulados e reais.

Revisão e Validação: Testes de compatibilidade conduzidos pela equipe de tecnologia da SUFER, incluindo a verificação de conformidade com os requisitos de gestão da informação previstos na ISO 19650. Aprovação pela coordenação do projeto e homologação em ambiente de teste.

Publicação e Disseminação: Manual técnico e documentação de integração, incluindo guia de boas práticas para gestão da informação em CDE.

Justificativas: O uso de um *Common Data Environment* (CDE) conforme a ISO 19650 promove padronização, interoperabilidade e rastreabilidade dos dados ferroviários, facilitando a integração com o SAFF e demais plataformas digitais da ANTT. Essa abordagem reduz inconsistências, melhora a governança da informação e cria as bases para a fiscalização digital integrada e colaborativa entre a Agência e as concessionárias.

3.2.2.1. **Atividade 2.1:** Definir formatos estruturados de dados (tabelas, cronogramas e medições)

Descrição: Definir e padronizar os formatos estruturados de dados utilizados para envio de informações pelas concessionárias, abrangendo cronogramas físico-financeiros, medições periódicas e indicadores de desempenho, com foco em futuras integrações e intercâmbio de informações entre sistemas.

Métodos e Técnicas:

- Análise de formatos utilizados atualmente pelas concessionárias e de informações existentes, mas não reportadas.
- Definição de dicionário de dados (campos, tipos, unidades e periodicidade);
- Criação de modelos-padrão em tabelas (Excel/CSV) para uso uniforme.

Subatividades:

- Levantar e comparar os formatos existentes na MRS;

- Estruturar modelo-padrão de tabelas com campos obrigatórios e identificadores únicos;
- Validar o modelo junto à equipe técnica e de TI da ANTT

Entregas Parciais:

- Relatório técnico de levantamento e análise de formatos;
- Novo modelo-padrão de planilha validado;
- Documento do dicionário de dados;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório do status, avaliação dos dados existentes, novos padrões e dicionário de dados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Dicionário de dados ferroviários, planilha-padrão e documentação associada.
- **Resultado:** Uniformização das informações enviadas pelas concessionárias, garantindo compatibilidade e consistência entre bases de dados.

3.2.2.2. **Atividade 2.2:** Desenvolver, documentar e integrar API REST para integração com o SAFF

Descrição: Desenvolver interface para automatizar o envio e recebimento de dados entre os sistemas das concessionárias e o SAFF, promovendo interoperabilidade e atualização contínua.

Métodos e Técnicas:

- Desenvolvimento em arquitetura RESTful com autenticação segura;
- Uso de padrões JSON e XML para troca de informações;
- Criação de ambiente de homologação para testes de integração.

Subatividades:

- Especificar endpoints, parâmetros e formatos de resposta da API;
- Implementar e testar API com dados simulados;
- Elaborar documentação técnica;

- Integrar ou apoiar na integração pelo lado do SAFF.

Entregas Parciais:

- Documento de especificação da API;
- API implementada em ambiente de homologação;
- Manual técnico com exemplos de integração.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 API validada com dados simulados
- 01 Manual técnico com exemplos de integração

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** API REST funcional e documentação de integração.
- **Resultado:** Intercâmbio de dados automatizado entre concessionárias e o SAFF, reduzindo erros e atrasos nas transmissões.

3.2.2.3. **Atividade 2.3:** Realizar testes de interoperabilidade com dados simulados e reais

Descrição: Executar testes de interoperabilidade e integração entre os sistemas das concessionárias e os módulos RIF e GEO do SAFF, validando a performance e consistência da comunicação entre plataformas.

Métodos e Técnicas:

- Testes funcionais e de carga em ambiente controlado;
- Simulação de envio e ingestão de dados reais e fictícios;
- Verificação de logs e consistência semântica.

Subatividades:

- Preparar ambiente de teste com dados reais e simulados;
- Executar testes automatizados de integração e desempenho;
- Gerar relatório técnico com resultados, inconsistências e recomendações.

Entregas Parciais:

- Ambiente de testes configurado;

- Relatório técnico de interoperabilidade;
- Registro de logs e resultados consolidados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de desempenho e interoperabilidade

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** API testada e documentada. Relatório técnico de testes de interoperabilidade e logs de integração.
- **Resultado:** Garantia de compatibilidade funcional entre sistemas, validando a padronização e a confiabilidade da transmissão de dados ferroviários.

3.2.3. Entregável 3 - Curadoria e Qualificação de Dados de Fiscalização

Descrição: Implantação de processos manuais e automatizados de ingestão, verificação e tratamento de dados estruturados e visuais recebidos das concessionárias.

Como será desenvolvido:

- Implementação de *pipelines* de validação e verificação de consistência.
- Criação de rotinas de normalização de campos e verificação de integridade.
- Desenvolvimento de módulos de controle de qualidade e auditoria de dados.

Revisão e Validação: Análise de amostras por equipe técnica da SUFER. Relatórios comparativos entre dados originais e dados tratados.

Publicação e Disseminação: Relatórios internos de qualidade de dados e *dashboards* analíticos disponibilizados à SUFER.

Justificativas: Este entregável consolida a base técnica necessária para garantir a confiabilidade e a consistência dos dados utilizados na fiscalização ferroviária. A implementação de pipelines e rotinas de qualificação assegura que as informações recebidas das concessionárias atendam a padrões de integridade, formato e semântica definidos pela ANTT. Além de reduzir retrabalho e inconsistências, o processo de curadoria viabiliza análises automatizadas interoperáveis com os módulos do SAFF, criando uma infraestrutura de dados para uso regulatório e para futuras aplicações de inteligência artificial no acompanhamento de obras e ativos ferroviários.

3.2.3.1. **Atividade 3.1:** Implementar pipelines automáticos de validação e verificação de consistência

Descrição: Desenvolver e implantar pipelines automatizados de validação de dados estruturados e visuais, com verificação semântica e sintática, para assegurar conformidade com os padrões definidos no dicionário de dados ferroviários.

Métodos e Técnicas:

- Engenharia de dados e automação de processos.
- Validação sintática e semântica baseada em regras e esquemas de dados.
- Aplicação de técnicas de controle de qualidade e detecção de inconsistências.

Subatividades:

- Implementar scripts automáticos para validação de estrutura e formato de tabelas.
- Preparar arquitetura para rotinas de verificação cruzada entre medições, cronogramas e imagens.
- Criar logs de inconsistências e relatórios de erros automáticos.

Entregas Parciais:

- Pipeline de validação implementado e documentado;
- Relatório técnico de testes e inconsistências detectadas;
- Logs e dashboards de acompanhamento de qualidade.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Pipeline de Dados testado em ambiente controlado

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Pipeline automatizado de validação de dados e relatórios de controle de qualidade.
- **Resultado:** Garantia de que os dados recebidos das concessionárias atendem aos padrões técnicos exigidos pela ANTT.

3.2.3.2. Atividade 3.2: Criar rotinas de normalização e verificação de integridade

Descrição: Desenvolver rotinas automáticas para normalização dos campos, padronização de unidades e verificação da integridade relacional entre *datasets* estruturados (tabelas, cronogramas e medições).

Métodos e Técnicas:

- Aplicação de técnicas de limpeza e normalização de dados (*data cleansing*).
- Implementação de regras de consistência temporal e relacional.

Subatividades:

- Criar scripts de normalização de unidades e formatos.
- Implementar verificações automáticas de duplicidade e valores nulos.
- Validar integridade referencial entre cronogramas e medições.

Entregas Parciais:

- Código-fonte das rotinas de normalização;
- Relatório técnico de integridade e consistência;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Conjunto de códigos-fonte de scripts de normalização e validação de dados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Rotinas automatizadas de normalização e relatório técnico de consistência.

- **Resultado:** Dados uniformes, completos e consistentes, prontos para processamento automatizado e análise comparativa com imagens de campo.

3.2.3.3. **Atividade 3.3:** Desenvolver módulos de controle de qualidade e auditoria de dados

Descrição: Desenvolver módulos específicos de controle de qualidade e auditoria de dados, com dashboards analíticos que permitam rastrear a origem, as alterações e o histórico de tratamento de cada conjunto de dados.

Métodos e Técnicas:

- Desenvolvimento de dashboards interativos
- Implementação de trilhas de auditoria (logs) e versionamento de dados.
- Aplicação de metodologias de controle estatístico da qualidade

Subatividades:

- Criar banco de logs de ingestão e tratamento de dados.
- Desenvolver dashboards com indicadores de qualidade e volume processado.
- Suporte para integração do módulo de auditoria ao ambiente de homologação do SAFF.

Entregas Parciais:

- Dashboard de auditoria funcional;
- Relatório para suporte na integração dos métodos de controle de qualidade e auditoria de dados ao SAFF.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Dashboard de auditoria funcional
- 01 Relatório de integração

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Módulo de auditoria de dados, logs rastreáveis e painel de indicadores de qualidade.

- **Resultado:** Transparência e rastreabilidade completos no fluxo de dados, fortalecendo a governança e a confiabilidade das informações utilizadas na fiscalização ferroviária.

3.3. Macroentrega 2 – Plataforma Web

3.3.1. Entregável 4 - Desenvolvimento de Plataforma Web Integrada ao SAFF

Descrição: Criação da plataforma digital de fiscalização, com interface web, painéis dinâmicos, relatórios automatizados e integração total ao SAFF.

Como será desenvolvido:

- Levantamento de requisitos funcionais junto à SUFER.
- Desenvolvimento da aplicação web e APIs de integração.
- Testes de desempenho, segurança e interoperabilidade com os módulos RIF, GEO e RAPI.

Revisão e Validação: Testes de aceitação realizados por usuários técnicos da SUFER. Ajustes finais homologados pela coordenação do projeto.

Publicação e Disseminação: Implantação em ambiente de teste

Justificativas: A plataforma web integrada ao SAFF é o núcleo operacional do projeto, responsável por consolidar, processar e apresentar as informações de fiscalização de forma automatizada e acessível. Sua criação atende à necessidade de centralizar o acompanhamento das obras ferroviárias, permitindo visualização georreferenciada, emissão de relatórios padronizados e integração direta com os módulos institucionais da ANTT.

3.3.1.1. Atividade 4.1: Levantar e documentar requisitos funcionais e técnicos da plataforma

Descrição: Realizar levantamento detalhado de requisitos junto às áreas técnicas da ANTT, com foco nas funcionalidades operacionais, requisitos de integração, fluxos de dados e padrões de segurança e usabilidade.

Métodos e Técnicas:

- Entrevistas técnicas e oficinas de co-design com usuários
- Elaboração de Documento de Requisitos de Software (DRS);
- Modelagem de casos de uso e fluxos de navegação

Subatividades:

- Levantar requisitos funcionais e não funcionais com os usuários técnicos;
- Elaborar protótipos de interface (*wireframes*) para validação preliminar;

Entregas Parciais:

- Relatório de levantamento de requisitos de software;
- Protótipo de interface inicial (*wireframe* navegável);

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de requisitos de software
- 01 Protótipo de interface

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento de requisitos e protótipos validados.
- **Resultado:** Definição clara das necessidades da ANTT, garantindo que a plataforma seja desenvolvida com foco funcional e aderente ao processo de fiscalização.

3.3.1.2. **Atividade 4.2:** Desenvolver arquitetura da aplicação e infraestrutura tecnológica

Descrição: Definir e implantar a arquitetura tecnológica da plataforma web, abrangendo servidores, banco de dados, camada de integração e segurança, e infraestrutura necessária à interoperabilidade com o SAFF.

Métodos e Técnicas:

- Arquitetura em microserviços e APIs RESTful;
- Implementação em ambiente de nuvem (AWS, Azure ou equivalente);
- Aplicação de normas OWASP para segurança e autenticação.

Subatividades:

- Definir arquitetura lógica e física da aplicação;
- Configurar ambiente de desenvolvimento, teste e homologação;
- Implantar mecanismos de autenticação e controle de acesso.

Entregas Parciais:

- Documento de arquitetura da aplicação;
- Ambiente de desenvolvimento configurado;
- Relatório técnico de segurança e autenticação.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Serviço de preparação de ambiente em nuvem para desenvolvimento, teste e homologação

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Arquitetura de software e infraestrutura operacional.
- **Resultado:** Ambiente tecnológico robusto e seguro, pronto para o desenvolvimento da aplicação web e integração com sistemas externos.

3.3.1.3. Atividade 4.3: Desenvolver e implementar a aplicação web

Descrição: Desenvolver a plataforma web com interface responsiva, painéis dinâmicos e módulos de ingestão, análise e visualização de dados, assegurando integração plena com os módulos RIF, GEO e RAPI do SAFF.

Métodos e Técnicas:

- Desenvolvimento full stack
- Integração com bancos de dados relacionais e geoespaciais
- Testes de integração contínua (CI/CD)

Subatividades:

- Desenvolver módulo de ingestão e armazenamento de dados estruturados;
- Implementar interface gráfica e dashboards dinâmicos;
- Criar módulo de relatórios técnicos e exportação padronizada.

Entregas Parciais:

- Protótipo funcional da aplicação web;
- Dashboard interativo para acompanhamento de obras;
- Módulo de relatórios automatizados integrado ao SAFF.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Protótipo funcional da aplicação web testado em ambiente controlado
- 01 Protótipo funcional da aplicação web implementado em ambiente de teste em nuvem com dashboards e relatórios automatizados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Aplicação web funcional, dashboards e relatórios automatizados.
- **Resultado:** Plataforma operacional que centraliza o monitoramento e a fiscalização das obras ferroviárias de forma automatizada e interativa.

3.3.1.4. **Atividade 4.4:** Realizar testes de desempenho, segurança e interoperabilidade

Descrição: Executar testes técnicos de desempenho, carga, segurança cibernética e interoperabilidade da plataforma com os módulos RIF, GEO e RAPI do SAFF, garantindo estabilidade e conformidade técnica.

Métodos e Técnicas:

- Testes de carga e stress;
- Testes de segurança
- Validação de interoperabilidade via chamadas API e *datasets* de teste

Subatividades:

- Planejar e documentar os casos de teste;
- Executar testes funcionais e de carga;
- Corrigir falhas identificadas e repetir a validação.

Entregas Parciais:

- Plano de testes;
- Relatório de resultados;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de resultados dos testes

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatórios técnicos de teste e versão estável da plataforma.
- **Resultado:** Sistema seguro, interoperável e com desempenho validado para operação contínua.

3.3.1.5. Atividade 4.5: Homologar, implantar e documentar a plataforma

Descrição: Homologar a versão final da plataforma em ambiente produtivo, documentar toda a arquitetura e processos e realizar a transferência formal para uso da equipe SUFER/ANTT.

Métodos e Técnicas:

- Procedimentos de homologação supervisionada;
- Implantação controlada com rollback e logs de operação;
- Elaboração de documentação técnica e manual do usuário.

Subatividades:

- Dar suporte na implantação da versão final em ambiente de produção;
- Produzir documentação técnica e manual de operação.

Entregas Parciais:

- Suporte na implantação da plataforma em ambiente operacional.
- Manual técnico para o usuário final.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 mês de suporte na implantação
- 01 Manual técnico
- Viagens

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Plataforma operacional. Documentação técnica e manual de uso.

- **Resultado:** Sistema web totalmente implantado e integrado ao SAFF, pronto para uso oficial pela ANTT.

3.4. Macroentrega 3 – Inovação e Desenvolvimento Tecnológico

3.4.1. Entregável 5 - Criação de Dataset Ferroviário Multimodal

Descrição: Formação de banco de dados georreferenciado com imagens aéreas, terrestres e orbitais de obras ferroviárias, servindo como base de treinamento e validação de modelos de IA.

Como será desenvolvido:

- Solicitar para todas as concessionárias o envio de imagens e nuvens de pontos não rotuladas;
- Planejamento de campanhas de coleta de imagens via drones e/ou satélites em obras MRS;
- Análise Exploratória de Dados;
- Anotação manual e classificação das imagens conforme tipologia das obras.
- Armazenamento seguro e versionado em ambiente controlado.

Revisão e Validação: Validação da rotulagem por especialistas da GEPEF. Verificação da consistência geoespacial e temporal das imagens.

Publicação e Disseminação: Não será disponibilizado até o final do projeto.

Justificativas: O *dataset* ferroviário multimodal é um ativo estratégico para o desenvolvimento e validação dos modelos de inteligência artificial previstos no projeto. A consolidação de imagens aéreas, terrestres e orbitais devidamente rotuladas e georreferenciadas permitirá a criação de uma base de dados padronizada e representativa das condições reais das obras. Esse acervo possibilitará análises comparativas, automação de medições e identificação de inconformidades construtivas com alta precisão.

3.4.1.1. **Atividade 5.1:** Solicitar, organizar e catalogar acervos de imagens e nuvens de pontos das concessionárias

Descrição: Solicitar formalmente às concessionárias ferroviárias o envio de acervos de imagens e nuvens de pontos não rotuladas, consolidando e organizando os dados recebidos em um repositório padronizado.

Métodos e Técnicas:

- Utilização de ofícios e canais oficiais para solicitação de dados;
- Catalogação e armazenamento de metadados;
- Verificação de integridade e formatos;
- Análise Exploratória de Dados.

Subatividades:

- Apoiar ANTT na elaboração de ofício a ser enviado às concessionárias;
- Receber e armazenar os arquivos enviados em ambiente seguro
- Catalogar e indexar os dados recebidos em banco de metadados.
- Identificar características de representatividade e consistência dos dados ferroviários disponíveis (não anotados).

Entregas Parciais:

- Relatório de recebimento e catalogação de acervo;
- Banco inicial de metadados com obras, períodos e fontes de imagem;
- Documento técnico de Análise Exploratória de Dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de recebimento e armazenamento dos dados
- 01 Banco de dados não rotulado de obras

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Banco inicial de imagens e nuvens de pontos organizados e catalogados.
- **Resultado:** Base de dados unificada e rastreável, consolidando o acervo ferroviário nacional para posterior curadoria e anotação.

3.4.1.2. Atividade 5.2: Planejar e executar campanhas de coleta de imagens aéreas, terrestres e orbitais em obras da MRS

Descrição: Planejar e conduzir campanhas de aquisição de imagens complementares via drones, câmeras fixas e satélites, assegurando cobertura geográfica e temporal adequada das obras ferroviárias em andamento da MRS.

Métodos e Técnicas:

- Planejamento de voo com drones
- Contratação de imagens orbitais para testes e validações.
- Processamento inicial com fotogrametria e ortorretificação.

Subatividades:

- Planejar campanhas de coleta de acordo com as obras prioritárias definidas pela ANTT;
- Executar voos com drones e processar imagens;
- Integrar imagens orbitais e terrestres ao banco de dados.

Entregas Parciais:

- Plano de voo e campanha de coleta aprovado;
- Conjunto de imagens processadas e georreferenciadas;
- Relatório técnico das atividades com boas práticas para padronização de dados.

Critério de Medição e Faturamento:

- 08 Serviço de planejamento da campanha de coleta de dados
- Viagens
- 08 Banco de dados de imagens coletadas das obras selecionadas
- 01 Relatório com boas práticas para coletas de dados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Imagens multiespectrais processadas e integradas ao banco de dados.
- **Resultado:** Ampliação da base multimodal, cobrindo obras recentes e reforçando a representatividade espacial e temporal do *dataset*.

3.4.1.3. **Atividade 5.3:** Realizar anotação e classificação manual das imagens

Descrição: Executar a anotação e rotulagem manual das imagens, classificando objetos, estruturas e condições de obra conforme tipologias ferroviárias.

Métodos e Técnicas:

- Uso de ferramentas de anotação;
- Definição de esquema de classes e hierarquias de anotação;
- Controle de qualidade por dupla verificação.

Subatividades:

- Definir protocolo de anotação e classes de interesse;
- Realizar anotação manual das imagens por equipe técnica treinada;
- Executar revisão cruzada.

Entregas Parciais:

- Manual de Anotação e classes
- Conjunto de imagens e nuvens de pontos rotuladas

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Manual de anotação e classes
- 01 Banco de dados rotulado

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** *Dataset* ferroviário anotado e validado; manual técnico de anotação.
- **Resultado:** Base de dados rotulada de alta qualidade, apta ao treinamento e validação dos modelos de IA.

3.4.1.4. **Atividade 5.4:** Implementar armazenamento seguro, versionado e controlado

Descrição: Integrar ambiente computacional para armazenamento seguro, versionamento e controle de acesso dos dados multimodais (imagens, nuvens de pontos e metadados) com sistema web desenvolvido.

Métodos e Técnicas:

- Utilização de soluções de armazenamento em nuvem com versionamento
- Implementação de controle de acesso baseado em papéis
- Adoção de práticas de *data governance* e *compliance*.

Subatividades:

- Definir estrutura hierárquica de diretórios e versionamento;
- Configurar ambiente seguro com controle de autenticação;
- Criar rotina de backup e logs de acesso.

Entregas Parciais:

- Ambiente de armazenamento implementado e testado
- Integração com sistema web desenvolvido

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Ambiente de armazenamento com sistema web desenvolvido

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Ambiente seguro e controlado de armazenamento multimodal.
- **Resultado:** Garantia de integridade, segurança e rastreabilidade dos dados utilizados no treinamento e validação de modelos de IA.

3.4.2. Entregável 6 - Avaliação de Rotas Tecnológicas para Modelos de Inteligência Artificial

Descrição: Avaliação comparativa de diferentes rotas tecnológicas para a aplicação de Inteligência Artificial na mensuração do progresso físico e na detecção de inconformidades em obras ferroviárias. O objetivo é identificar a abordagem mais adequada entre o uso de modelos supervisionados clássicos e modelos baseados em linguagem (LLMs) com engenharia de prompt e pipelines multimodais, considerando critérios técnicos, operacionais e de custo.

Como será desenvolvido:

- Levantamento e análise de arquiteturas de referência aplicáveis (visão computacional supervisionada, LLM multimodal, *few-shot* learning, etc.);
- Análise de viabilidade técnica das soluções existentes, com base na disponibilidade e representatividade dos dados ferroviários existentes (não anotados);

- Comparação teórica das abordagens segundo métricas de acurácia, tempo de inferência, a partir de referências bibliográficas;
- Comparação teórica das abordagens em termos de complexidade de integração, custo computacional e interpretabilidade dos resultados;
- Elaboração de documento técnico de decisão, definindo a rota tecnológica preferencial e os critérios de adoção.

Revisão e Validação: Avaliação técnica conduzida pela equipe de IA do projeto.

Publicação e Disseminação: Elaboração de documento técnico consolidado, contendo análise comparativa, justificativas da escolha e recomendações de implementação.

Justificativas: A rápida evolução de modelos de linguagem e de visão multimodal exige uma avaliação criteriosa das alternativas tecnológicas disponíveis, de modo a selecionar aquela que maximize desempenho, escalabilidade e aderência institucional. Essa análise reduz riscos técnicos e garantir que o investimento em desenvolvimento posterior ocorra sobre uma base tecnológica consolidada e validada.

3.4.2.1. **Atividade 6.1:** Avaliar abordagens de aprendizado supervisionado e visão computacional

Descrição: Analisar e avaliar as rotas baseadas em aprendizado supervisionado, utilizando modelos clássicos e redes neurais de visão computacional aplicadas a imagens aéreas e orbitais de obras ferroviárias. O objetivo é selecionar, a partir de revisão bibliográfica e análise exploratória dos dados ferroviários (não anotados), viabilidade técnica de aplicação, escalabilidade e custo computacional dessas abordagens para mensuração automática do progresso físico e detecção de inconformidades.

Métodos e Técnicas:

- Análise de viabilidade técnica de soluções baseadas em aprendizado supervisionado, utilizando modelos clássicos e redes neurais de visão computacional;
- Identificação de aspectos-chave para desenvolvimento e implantação da solução;
- Levantamento de indicadores de desempenhos reportados em aplicações semelhantes, com base na literatura.
- Comparação teórica de arquiteturas e análise de trade-offs entre desempenho e custo.

Subatividades:

- Identificar rotas com viabilidade técnica;
- Avaliar teoricamente as rotas mapeadas em termos de acurácia e tempo de inferência, com base na literatura;
- Avaliar teoricamente as rotas mapeadas em termos de complexidade de integração, custo computacional e interpretabilidade dos resultados;
- Executar experimentos com subconjuntos do dataset, dados ferroviários existentes (não anotado);

Entregas Parciais:

- Resultados qualitativos de experimentos;
- Documento de viabilidade técnica;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Pipeline configurado e validado
- 01 Relatório técnico com análise de desempenho

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico com resultados de desempenho e repositório de modelos supervisionados testados.
- **Resultado:** Identificação das arquiteturas supervisionadas mais promissoras para aplicação na fiscalização digital ferroviária.

3.4.2.2. **Atividade 6.2:** Avaliar abordagens baseadas em Modelos de Linguagem e Engenharia de Prompt

Descrição: Investigar o uso de LLM e técnicas de engenharia de prompt como alternativa ou complemento às abordagens supervisionadas. A atividade identificará o potencial dessas tecnologias para interpretar cronogramas estruturados, analisar descrições textuais e associar imagens a contextos construtivos sem necessidade de grande volume de dados rotulados.

Métodos e Técnicas:

- Análise de viabilidade técnica de soluções baseadas em LLM e engenharia de prompt;
- Identificação de aspectos-chave para desenvolvimento e implantação da solução

- Implementação de pipelines de inferência com engenharia de prompt;
- Análise qualitativa de desempenho;
- Análise de custo-benefício e escalabilidade computacional.

Subatividades:

- Identificar rotas com viabilidade técnica
- Selecionar modelos LLM multimodais disponíveis para teste;
- Definir e ajustar prompts e instruções de inferência;
- Executar testes com diferentes tipos de dados e níveis de contextualização;
- Avaliar desempenho, interpretabilidade e reprodutibilidade dos resultados.

Entregas Parciais:

- Resultados qualitativos de experimentos;
- Documento de viabilidade técnica;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Pipeline configurado com documentação
- 01 Relatório técnico de viabilidade

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório consolidado de avaliação tecnológica entre rotas supervisionadas e baseadas em LLMs.
- **Resultado:** Definição fundamentada da rota tecnológica mais adequada ao contexto de fiscalização digital da ANTT, considerando desempenho, custo, replicabilidade e maturidade técnica.

3.4.3. Entregável 7 - Desenvolvimento e Validação de Modelos de Inteligência Artificial

Descrição: Desenvolvimento, ajuste e validação dos modelos de Inteligência Artificial definidos na etapa anterior, destinados à mensuração automatizada do progresso físico das obras ferroviárias e à identificação de inconformidades construtivas, a partir de imagens, cronogramas estruturados e outros dados multimodais.

Como será desenvolvido:

- Implementação de provas de conceito (PoCs) para alternativas de rotas tecnológicas, utilizando subconjuntos representativos do *dataset* ferroviário;
- Comparação das abordagens segundo métricas de acurácia, tempo de inferência, complexidade de integração, custo computacional e interpretabilidade dos resultados;
- Implementação dos modelos selecionados na avaliação de rota tecnológica, podendo incluir técnicas supervisionadas, modelos de visão multimodal ou pipelines baseados em LLMs;
- Avaliação de métricas de desempenho e calibração de parâmetros.
- Integração dos modelos ao *backend* da plataforma web.

Revisão e Validação: Validação cruzada com dados reais e tabelas de obras. Relatórios de desempenho (acurácia alvo de 85% ou superior).

Publicação e Disseminação: Não será disponibilizado até o final do projeto.

Justificativas: A abordagem adotada garante flexibilidade tecnológica e escalabilidade, permitindo que o desenvolvimento se adapte à rota mais eficaz identificada na etapa anterior.

3.4.3.1. **Atividade 7.1:** Planejar arquitetura dos modelos e preparar o ambiente de treinamento

Descrição: Definir a arquitetura dos modelos de IA a serem utilizados (visão computacional e aprendizado supervisionado), preparar o ambiente computacional e selecionar as ferramentas, bibliotecas e frameworks necessários.

Métodos e Técnicas:

- Revisão bibliográfica de soluções baseadas em aprendizado supervisionado, utilizando modelos clássicos e redes neurais de visão computacional;
- Revisão bibliográfica de soluções baseadas em LLM e engenharia de prompt;
- Planejamento de pipeline de Machine Learning
- Definição de arquitetura de modelos inteligentes e aprendizado supervisionado;

- Configuração de ambiente em GPU/Cloud para processamento de dados.

Subatividades:

- Selecionar frameworks de IA;
- Criar ambiente de execução e controle de versões de modelos;
- Definir métricas de avaliação e documentação técnica do pipeline.

Entregas Parciais:

- Documento de arquitetura dos modelos;
- Ambiente computacional configurado;
- Documento técnico de preparação e validação inicial.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório técnico de preparação do ambiente

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Documento de arquitetura de modelos e ambiente configurado.
- **Resultado:** Base técnica e computacional pronta para o desenvolvimento e treinamento dos modelos de IA.

3.4.3.2. **Atividade 7.2:** Desenvolver modelos de detecção e classificação de elementos ferroviários

Descrição: Desenvolver modelos de visão computacional para identificar e classificar componentes e estruturas ferroviárias em imagens aéreas e orbitais.

Métodos e Técnicas:

- Treinamento supervisionado com dataset rotulado (Entregável 5);
- Aplicação de técnicas de detecção de objetos;
- Otimização e ajuste fino (fine-tuning) de redes pré-treinadas.

Subatividades:

- Definir conjunto de classes e parâmetros de treinamento;
- Treinar modelos para detecção e segmentação de elementos;
- Avaliar métricas de desempenho

Entregas Parciais:

- Modelos treinados e validados;
- Relatório de desempenho e parâmetros de treinamento;
- Repositório com modelos e scripts de execução

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Script de treinamento
- 01 Relatório com métricas de desempenho

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos de detecção e classificação de estruturas ferroviárias.
- **Resultado:** Capacidade automatizada de reconhecer componentes e estágios de obra a partir de imagens multiespectrais.

3.4.3.3. Atividade 7.3: Desenvolver modelos de análise temporal e detecção de inconformidades

Descrição: Criar modelos capazes de comparar a evolução temporal das obras com os cronogramas estruturados e identificar inconformidades como atrasos, frentes inativas ou desvios construtivos.

Métodos e Técnicas:

- Modelagem de séries temporais e análise de diferenças entre imagens (Change Detection);
- Combinação de dados estruturados (cronogramas) e visuais (imagens georreferenciadas);
- Aplicação de redes recorrentes e outros algoritmos.

Subatividades:

- Desenvolver modelo de detecção de mudanças entre períodos de imagem;
- Correlacionar progresso físico com cronogramas enviados;

- Detectar inconformidades e gerar alertas automáticos.

Entregas Parciais:

- Código-fonte e modelo de detecção temporal;
- Relatório técnico de desempenho;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Script de treinamento
- 01 Relatório com métricas de desempenho

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos de análise temporal e detecção de inconformidades.
- **Resultado:** Mecanismo automatizado para correlacionar avanço físico real e cronogramas planejados.

3.4.3.4. Atividade 7.4: Integrar modelos de IA ao backend da plataforma web

Descrição: Realizar a integração dos modelos de IA (visão e temporal) ao backend da plataforma web desenvolvida no Entregável 4, garantindo interoperabilidade e processamento em nuvem dos dados e imagens recebidas.

Métodos e Técnicas:

- Implementação de APIs REST para comunicação entre módulos;
- Uso de contêineres (Docker) e orquestração (Kubernetes);
- Padronização de endpoints e autenticação por token.

Subatividades:

- Desenvolver API para execução de inferências;
- Integrar o pipeline de IA ao backend e banco de dados da plataforma;
- Validar tempo de resposta e estabilidade da integração.

Entregas Parciais:

- API de inferência implementada;
- Integração backend-modelos funcional;
- Relatório técnico de desempenho da integração.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 API de inferência
- 01 Serviço de integração com backend
- 01 Relatório técnico de desempenho da integração

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** APIs integradas e backend funcional com inferência automatizada.
- **Resultado:** Plataforma web capaz de executar modelos de IA em tempo real, disponibilizando resultados analíticos à SUFER e às concessionárias, conforme perfil de acesso.

3.4.3.5. Atividade 7.5: Integrar os modelos e resultados com o SAFF

Descrição: Garantir a interoperabilidade dos modelos de IA e seus resultados com o SAFF, por meio de interfaces e formatos padronizados de exportação e sincronização.

Métodos e Técnicas:

- Desenvolvimento de conectores e serviços de integração;
- Mapeamento de dados e transformação ETL;
- Testes de compatibilidade com os módulos RIF, GEO e RAPI

Subatividades:

- Mapear campos e formatos de dados exigidos pelo SAFF;
- Criar conectores de exportação automática e importação de atualizações;
- Realizar testes de integração em ambiente controlado.

Entregas Parciais:

- Conector de integração SAFF-Sistema Web com IA;
- Relatório técnico de compatibilidade e testes;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Serviço de integração com SAFF
- Viagens
- 01 Relatório técnico de desempenho da integração

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conectores e rotinas de integração entre modelos e SAFF.
- **Resultado:** Sincronização plena dos resultados das análises com o sistema de fiscalização da ANTT.

3.4.3.6. **Atividade 7.6:** Validar desempenho, calibrar parâmetros e consolidar modelos finais

Descrição: Avaliar o desempenho global dos modelos treinados, calibrar parâmetros e consolidar as versões finais, documentando as métricas, resultados e limitações observadas.

Métodos e Técnicas:

- Validação cruzada e testes com novos dados reais;
- Fine-tuning com os novos dados nos modelos já desenvolvidos.

Subatividades:

- Realizar testes de validação com dataset independente;
- Ajustar hiperparâmetros e recalibrar modelos;
- Consolidar modelos finais e elaborar relatório técnico final de macroentrega.

Entregas Parciais:

- Modelos calibrados e prontos para operação;
- Relatório de validação final;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Serviço de fine-tuning de modelos
- 01 Relatório técnico de desempenho final

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Modelos finais calibrados e relatórios de desempenho consolidados.
- **Resultado:** Soluções de IA robustas, validadas e prontas para uso operacional na plataforma de fiscalização ferroviária.

3.5. Macroentrega 4 - Validação e Operação Assistida

3.5.1. Entregável 8 - Validação Operacional do Sistema em Obras Reais

Descrição: Testes práticos da plataforma e dos modelos de IA em obras ferroviárias selecionadas, avaliando desempenho, confiabilidade e aderência funcional.

Como será desenvolvido:

- Seleção de três obras da MRS com fornecimento contínuo de dados.
- Execução de comparações entre cronogramas e medições automáticas.
- Registro de evidências, alertas e relatórios automáticos.

Revisão e Validação: Análise dos resultados pela equipe SUFER. Relatórios de desempenho por obra e parecer técnico da solução.

Publicação e Disseminação: Relatórios técnicos internos e apresentações em reuniões de acompanhamento.

Justificativas: A validação operacional é a etapa que comprova o desempenho real da solução desenvolvida, assegurando que os modelos de IA e a plataforma web operem de forma confiável em condições de campo. A execução dos testes em obras ferroviárias reais permitirá verificar a acurácia das medições automáticas, a estabilidade dos sistemas e a aderência dos resultados aos processos de fiscalização da ANTT. Essa fase é decisiva para confirmar o atingimento do nível de maturidade tecnológica (TRL 6), consolidando as evidências necessárias para a homologação do sistema e para sua futura adoção institucional.

3.5.1.1. **Atividade 8.1:** Selecionar e preparar obras ferroviárias para os testes operacionais

Descrição: Selecionar, em conjunto com a SUFER e as concessionárias participantes, ao menos três obras ferroviárias representativas, garantindo diversidade de estágios construtivos e disponibilidade de dados contínuos para avaliação.

Métodos e Técnicas:

- Definição de critérios técnicos de seleção (escala, tipo de obra, estágio de execução);
- Levantamento de dados de referência e cronogramas oficiais;
- Planejamento de infraestrutura para coleta e integração de dados de campo.

Subatividades:

- Definir critérios de seleção e priorização das obras;
- Obter autorização e acordos de cooperação com a(s) concessionárias para acompanhamento e coleta de dados;
- Preparar ambiente de coleta e integração de dados.

Entregas Parciais:

- Relatório técnico de seleção das obras;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de planejamento

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico e plano operacional de testes por obra.
- **Resultado:** Obras devidamente selecionadas e preparadas para a execução dos testes de campo do sistema como um todo.

3.5.1.2. **Atividade 8.2:** Executar testes de campo e coleta sistemática de dados

Descrição: Realizar os testes de campo aplicando o sistema integrado em cada obra selecionada, registrando dados, imagens e cronogramas de referência, e executando medições automáticas com os modelos de IA.

Métodos e Técnicas:

- Execução de coleta de dados em campo;
- Execução de inferências com os modelos de IA integrados à plataforma;

- Registro e comparação das medições automáticas com dados oficiais das concessionárias.

Subatividades:

- Coletar dados de imagens e/ou nuvens de pontos;
- Executar medições automáticas e compará-las com medições oficiais;
- Documentar alertas, falhas e resultados de cada execução.

Entregas Parciais:

- 01 Relatório técnicos de desempenho;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de desempenho
- Viagens

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Conjunto de relatórios de teste e base de dados de operação real.
- **Resultado:** Evidência prática do funcionamento do sistema em diferentes contextos ferroviários.

3.5.1.3. **Atividade 8.3:** Avaliar desempenho e confiabilidade dos modelos em ambiente real

Descrição: Avaliar o desempenho dos modelos de IA e da plataforma web sob condições operacionais reais, medindo precisão, tempo de resposta, estabilidade e aderência às necessidades da fiscalização.

Métodos e Técnicas:

- Análise de métricas de desempenho (acurácia, precisão, recall, tempo médio de inferência);
- Avaliação de confiabilidade e disponibilidade

Subatividades:

- Consolidar dados de desempenho obtidos nos testes;

- Avaliar estabilidade e disponibilidade do sistema em operação contínua;
- Elaborar relatório técnico consolidado com métricas comparativas por obra.

Entregas Parciais:

- Relatório consolidado de desempenho e confiabilidade;
- Documento técnico de recomendações de melhoria.

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de desempenho

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico consolidado de desempenho operacional.
- **Resultado:** Diagnóstico da performance e confiabilidade do sistema em uso real.

3.5.1.4. Atividade 8.4: Consolidar relatório técnico de validação operacional

Descrição: Elaborar parecer técnico final consolidando as evidências, métricas e resultados obtidos nas obras testadas, avaliando o atendimento aos requisitos funcionais, técnicos e operacionais definidos para o projeto.

Métodos e Técnicas:

- Análise comparativa entre resultados previstos e observados;
- Revisão técnica conjunta com SUFER e GEPEF;
- Estruturação de parecer e recomendações de ajustes para homologação final.

Subatividades:

- Consolidar resultados e indicadores por obra;
- Elaborar relatório técnico final da validação;
- Emitir parecer técnico com recomendações para homologação.

Entregas Parciais:

- Relatório final consolidado;
- Apresentação final para ANTT e concessionárias envolvidas;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório final de ensaios
- 01 Apresentação de resultados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico final de validação operacional, consolidando as evidências, métricas de desempenho e resultados obtidos durante os testes em campo;
- **Resultado:** Evidência da maturidade tecnológica atingida (TRL 6), validando a aplicabilidade da solução em ambiente real;

3.5.2. Entregável 9 - Ajustes Técnicos e Suporte na Homologação do Sistema

Descrição: Realização de melhorias técnicas e funcionais identificadas durante os testes de campo, culminando na homologação final do sistema.

Como será desenvolvido:

- Coleta sistemática de feedback de fiscais e engenheiros.
- Implementação de correções e aprimoramentos de interface e algoritmos.
- Execução de testes regressivos e validação funcional.

Revisão e Validação: Homologação final pela SUFER e emissão de relatório conclusivo.

Publicação e Disseminação: Versão homologada disponibilizada em ambiente produtivo disponibilizado pela ANTT.

Justificativas: Este entregável consolida a transição entre o desenvolvimento experimental e o uso institucional da solução. A etapa de ajustes técnicos e suporte à homologação garante que todas as melhorias identificadas durante os testes operacionais sejam implementadas, resultando em uma versão estável e plenamente funcional do sistema.

3.5.2.1. **Atividade 9.1:** Implementar ajustes técnicos e funcionais identificados durante a validação

Descrição: Executar as melhorias técnicas, correções e aperfeiçoamentos identificados durante os testes de campo, com foco em estabilidade, usabilidade, desempenho e aderência funcional dos módulos integrados.

Métodos e Técnicas:

- Revisão técnica dos feedbacks e logs de erro;
- Testes unitários e de integração após cada correção;
- Atualização de documentação técnica e de usuário.

Subatividades:

- Consolidar e priorizar as demandas de melhoria provenientes dos testes;
- Implementar ajustes em interface, backend e algoritmos de IA;
- Executar testes unitários e de integração em ambiente controlado;
- Atualizar documentação técnica e manuais de operação.

Entregas Parciais:

- Logs de correções e versões liberadas;
- Manual técnico atualizado.
- Relatório técnico de ajustes implementados;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Log de correções
- 01 Relatório de ajustes técnicos realizados

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico consolidado e versão atualizada do sistema.
- **Resultado:** Sistema revisado e otimizado conforme os apontamentos de campo, apto à homologação final.

3.5.2.2. **Atividade 9.2:** Conduzir testes finais, validação funcional e suporte à homologação

Descrição: Executar a bateria final de testes regressivos, de desempenho e de integração para homologação do sistema, garantindo o pleno funcionamento dos módulos, a consistência dos dados e a conformidade com os requisitos.

Métodos e Técnicas:

- Execução de testes regressivos (unitários, integrados e de carga);
- Comparação entre resultados esperados e obtidos (testes de aceitação);
- Documentação e auditoria de conformidade técnica;
- Apoio técnico à SUFER durante o processo formal de homologação.

Subatividades:

- Conduzir testes de desempenho, segurança e interoperabilidade;
- Validar o funcionamento dos módulos de IA e integração SAFF;
- Elaborar relatório técnico de homologação e versão final;
- Suportar tecnicamente a equipe da ANTT no processo de homologação formal.

Entregas Parciais:

- Relatório técnico de testes de homologação;
- Versão final do sistema;

Critério de Medição e Faturamento:

- 01 Relatório de testes de homologação
- 01 Versão final do sistema

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Relatório técnico de homologação e versão final do sistema em ambiente produtivo.
- **Resultado:** Sistema homologado e disponibilizado oficialmente para uso institucional na fiscalização ferroviária.

3.5.3. Entregável 10 - Expansão e Capacitação das Equipes Técnicas

Descrição: Capacitação das equipes técnicas envolvidas.

Como será desenvolvido:

Preparação de material de apoio (apresentações) sobre o sistema.

- Realização de treinamentos presenciais e online para fiscais e técnicos da ANTT e de outras concessionárias.
- Implantação de suporte técnico durante os primeiros 90 dias de operação.

Revisão e Validação: Avaliação da eficácia do treinamento e do uso da plataforma.

Publicação e Disseminação: Emissão de relatórios de capacitação.

Justificativas: A capacitação das equipes técnicas é necessária para assegurar a continuidade operacional e o uso efetivo da plataforma desenvolvida. Este entregável garante que fiscais, analistas e técnicos da ANTT e das concessionárias estejam aptos a operar o sistema, interpretar os resultados gerados e aplicar os novos fluxos digitais de fiscalização. O suporte técnico inicial previsto permitirá resolver dúvidas e ajustar procedimentos durante o período de adoção.

3.5.3.1. Atividade 10.1: Realizar capacitação técnica e suporte inicial às equipes de operação

Descrição: Planejar e executar o programa de capacitação das equipes envolvidas na operação e manutenção do sistema, abrangendo apresentações técnicas, demonstrações práticas e suporte técnico durante o período inicial de operação.

Métodos e Técnicas:

- Elaboração de material didático e apresentações técnicas (manuais, tutoriais, vídeos e guias de operação);
- Realização de workshops e treinamentos presenciais e online (formato híbrido);
- Acompanhamento técnico pós-treinamento e suporte assistido durante os primeiros 150 dias de uso;

Subatividades:

- Elaborar material técnico e instrucional atualizado sobre o sistema e suas funcionalidades;

- Ministrar treinamentos presenciais e online para fiscais, analistas e gestores;
- Disponibilizar suporte técnico remoto durante os 150 dias iniciais de operação;
- Coletar feedbacks e indicadores de desempenho da capacitação (nível de uso e FAQ);
- Consolidar relatório técnico de capacitação e recomendações de continuidade.

Entregas Parciais:

- Material de capacitação (manuais, tutoriais, apresentações e vídeos);
- Registro de treinamentos realizados (lista de presença);
- Relatório técnico de capacitação e suporte inicial.

Critério de Medição e Faturamento:

- 05 Meses de Suporte de Operação
- 01 Material de treinamento
- 01 Relatório técnico da capacitação e suporte
- Viagens

Produtos Esperados e Resultados:

- **Produtos:** Material instrucional completo, relatórios técnicos de capacitação e suporte técnico inicial.
- **Resultado:** Equipes capacitadas e autônomas na operação do sistema, garantindo a sustentabilidade técnica e institucional do uso da solução no processo de fiscalização ferroviária.

3.5.4. Entregável 11 – 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.

3.5.4.1. **Atividade 11.1:** 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.
- Participação em eventos.

Entregas Parciais:

- Relatórios conforme necessidade do projeto.

Critério de Medição e Faturamento:

- 36 Meses de acompanhamento
- Viagens

Produtos Esperados e Resultados:

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

3.6. Entrega de Resultados e Produtos do Projeto

Os resultados, produtos e materiais desenvolvidos no âmbito deste projeto serão entregues à ANTT em formato digital, estruturado e documentado, assegurando a rastreabilidade, reprodutibilidade e a integração com o SAFF. A plataforma web integrada, desenvolvida como principal produto do projeto, será o ambiente central para disponibilização e visualização dos dados, modelos e relatórios. Nela estarão incorporados os módulos de automação da fiscalização, os modelos de inteligência artificial para detecção de inconformidades e mensuração do progresso físico das obras, bem como os *dashboards* analíticos e painéis de indicadores que apoiarão as equipes técnicas da SUFER em suas atividades de fiscalização. A plataforma será acompanhada de manual de instruções de uso, documentação técnica de arquitetura e especificações funcionais, de forma a permitir sua replicação ou execução em ambiente controlado pela SUTEC/ANTT.

Os *datasets* ferroviários multimodais, compostos por imagens aéreas, terrestres e orbitais, e os respectivos modelos de IA treinados e validados, serão entregues em ambiente seguro e versionado, garantindo conformidade com as boas práticas de *data governance* e MLOps. As informações sensíveis terão controle de acesso restrito, assegurando sigilo técnico e aderência aos requisitos regulatórios de proteção de dados.

Todos os relatórios técnicos, manuais de integração, dicionários de dados, APIs, módulos de validação e documentação de curadoria serão entregues em formato eletrônico padronizado, com *templates* definidos em reuniões de projeto, permitindo uso institucional e auditoria técnica. O código-fonte dos módulos desenvolvidos no âmbito do projeto será disponibilizado à ANTT de forma aberta, documentada e organizada, possibilitando a replicação da solução e sua evolução futura pela própria Agência. Serão fornecidos resultados parciais ao longo do projeto para avaliação das áreas técnicas tanto da MRS quanto da ANTT. As versões finais dos produtos serão disponibilizadas à ANTT para uso em ambiente produtivo, sem qualquer limitação temporal ou dependência operacional vinculada ao executor, garantindo plena autonomia da Agência quanto ao uso e manutenção dos resultados.

A disseminação dos resultados ocorrerá por meio de reuniões técnicas periódicas ao longo do projeto, relatórios de acompanhamento e apresentações públicas, quando apropriado. Também serão realizados treinamentos presenciais e online para capacitação dos fiscais e engenheiros envolvidos na última etapa 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 36 meses. Dia 01 de março de 2026 é a data estimada de início do projeto e 28 de fevereiro de 2029 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\$ 8.196.618,29 (oito milhões cento e noventa e seis mil seiscientos e dezoito reais e vinte e nove centavos).

4.3. Cronograma Físico-Financeiro

O cronograma físico-financeiro será apresentado no Anexo II, sendo complementado pelo diagrama de Gantt das atividades apresentado na Figura 1, e o orçamento analítico previsto no Anexo X. Os valores dos produtos estão cotados por item de serviço, 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.

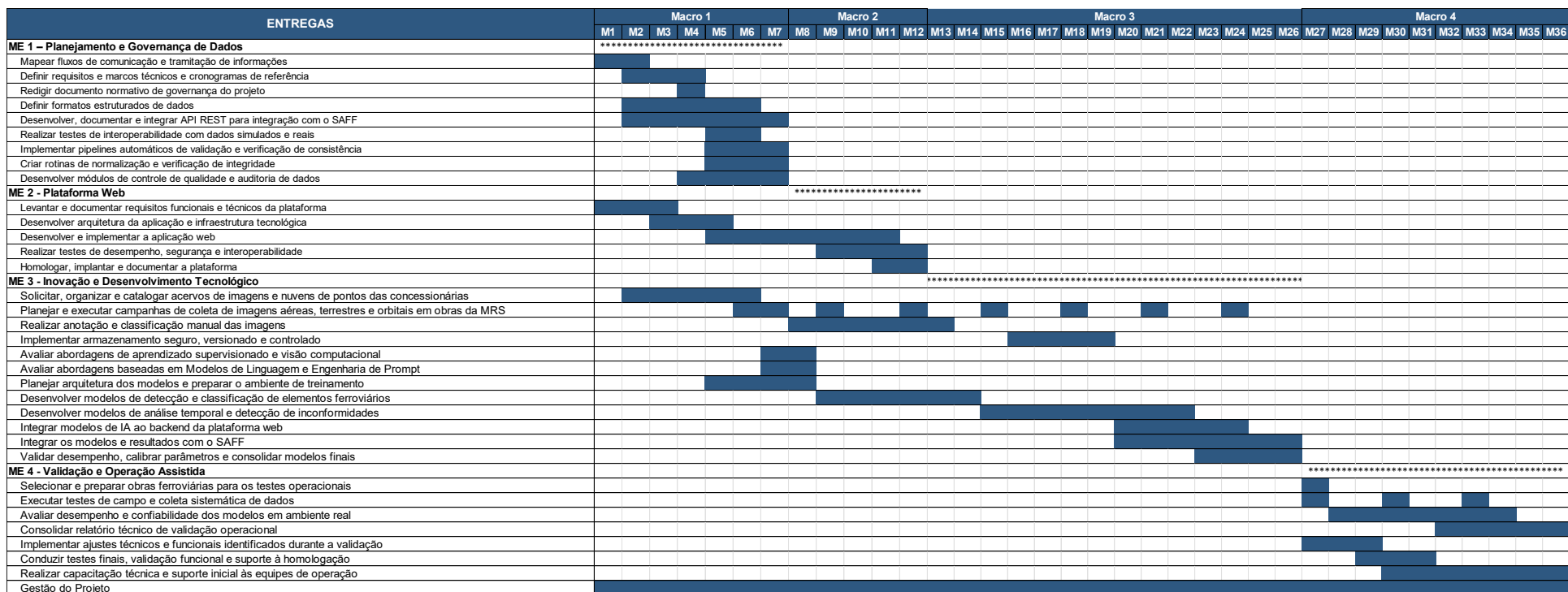


Figura 1 - Gantt das Atividades do Projeto

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 e integração com o SAFF em condições reais;
- Testes de conectividade e desempenho dos módulos de software em ambientes operacionais.

Os locais de coleta e validação serão definidos em conjunto com a SUFER/ANTT e as concessionárias ferroviárias participantes, 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 MRS e a DSG.

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;
- Apoio técnico à homologação e capacitação das equipes da ANTT e das concessionárias ferroviárias.

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 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.
- **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

6.2.1. Identificação da Equipe de Gestão do ISI SIM

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 ISI SIM

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 Bioninformática 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>.

Carlos Solon Soares Guimarães Junior é Doutor e Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), é também Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI campus Santo Ângelo/RS). Atualmente, está se especializando em Engenharia de Software para Aplicações em Ciência de Dados pelo Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC) da UFRGS, aprofundando seus conhecimentos na área. Especialista em Engenharia de Sistemas e Coordenador de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) aplicados à indústria no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Atuação estratégica no desenvolvimento, liderança, supervisão técnica e coordenação integral do ciclo de vida de sistemas em projetos de Automação e Robótica, Visão Computacional, Inteligência Artificial (IA), Internet Industrial das Coisas (IIoT) e Engenharia de Software. Com forte ênfase no uso de metodologias ágeis, é comprometido com a integração eficiente de tecnologias e abordagens em todas as fases, promovendo melhorias contínuas e entregando resultados estratégicos em projetos multidisciplinares, acelerando a inovação tecnológica na indústria. Desde 2022, também atua como professor de pós-graduação na Faculdade SENAI CETIQT, no curso de Especialização Lato Sensu (MBI) em Indústria Avançada: Automotiva 4.0. Ministra as disciplinas Digitalização de Produtos e Processos e Integração Horizontal e Vertical, contribuindo com a formação de profissionais estratégicos do setor automotivo em temas ligados à Indústria 4.0. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9280582425910791>

Dionata da Silva Nunes é formado em Engenharia de Sistemas Digitais pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) e Mestre em Microeletrônica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Tem experiência profissional como desenvolvedor de sistemas. Atuando nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e execução de projetos e atividades relacionados a produtos e serviços da área de computação, tecnologias móveis, energia e automação. Specialties: * Linguagens de Programação: C/C++, C#, PHP e Java; * Desenvolvimento Mobile: Android, iOS; * Sistemas Operacionais: Família Windows e Linux; * Redes de Computadores: UDP, TCP, IP, IPv6, ATM, Multicast, MPLS, BGP; * Banco de Dados: MySQL, MS SQL Server e PostgreSQL; * Metodologia Ágeis e Scrum; * Sistemas embarcados: Linux e Android. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9358587646476613>.

Túlio Dapper e Silva é mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) na UFRGS com ênfase em Sistemas de Automação. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), realizou um intercâmbio com duração de um ano e meio na University of the West of England (UWE) em Bristol, Inglaterra. Atuou em pesquisas acadêmicas envolvendo processamento de imagens, algoritmos evolutivos e rede de computadores. Possui experiência sólida em programação e manipulação de banco de dados. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4129101275072692>.

Ezequiel Eric Olejaz Freire é Engenheiro de Controle e Automação formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com atuação em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica. Atualmente é pesquisador no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento, onde trabalha com ciência de dados, inteligência artificial, visão computacional e processamento de nuvem de pontos. Possui experiência em coordenação técnica de projetos e desenvolvimento de soluções de sensoriamento inteligente. Iniciou seus estudos de pós-graduação como aluno especial do Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC/UFRGS), na disciplina de Aprendizado Profundo. Atuou em projetos de iniciação científica na UFRGS, com foco em controle automático de processos industriais e em biorremediação por microalgas. Seus interesses de pesquisa estão voltados à computação e incluem mineração, integração e análise de dados, bem como aprendizado de máquina, representação do conhecimento e raciocínio. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/2022223605907079>.

Leonardo Kenny Treichel da Cunha possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul(2024) e ensino-medio-segundo-graupelo Colegio Estadual Piratini(2015). Atualmente é Analista do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Aprendizagem de Máquina. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9741350402690761>.

Luciano Andrade de Moura atua no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento desde 2019, atualmente como Analista de Tecnologia da Informação Sênior, desempenhando o papel de Arquiteto de Software. Tem experiência no desenvolvimento e integração de APIs, sistemas web e arquiteturas baseadas em microsserviços, abrangendo também aplicações desktop e mobile. Entre suas atividades estão o desenho de arquiteturas escaláveis e distribuídas, definição de rotas tecnológicas, além da aplicação de práticas de engenharia de software voltadas à qualidade, segurança e desempenho. É graduado em Ciência da Computação pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA) desde 2018. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9055766956914565>.

Renan Damé de Almeida é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Santa Cruz do Sul (2014). Atualmente é desenvolvedor de software no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/2690726419428112>.

Guilherme Fernandes Tischer atua no Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Sensoriamento desde 2018, atualmente como Analista de TI Pleno no Instituto SENAI de Inovação em Sensoriamento, atuando no desenvolvimento de sistemas web voltados a projetos de inovação tecnológica em diversas áreas, com ênfase em soluções para o setor agrícola. Possui graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas e pós-graduação em Arquitetura de Software, Cloud Computing e Desenvolvimento de Aplicações Web. Tem experiência em arquitetura de sistemas, integração de tecnologias emergentes e desenvolvimento de aplicações voltadas à Indústria 4.0 e ao agronegócio. Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1803953056716264>.

Especialista em Engenharia Ferroviária (a definir): Profissional com experiência em obras e manutenção de infraestrutura ferroviária, responsável por validar requisitos técnicos, auxiliar na interpretação dos dados de campo e assegurar aderência das soluções às práticas operacionais do setor. Será realizada a abertura de uma bolsa de pesquisa para o projeto, conforme edital vigente do SENAI RS.

Especialista em Modelagem BIM e Gestão da Informação (a definir): profissional com experiência em processos de modelagem e integração conforme a ISO 19650, atuando no alinhamento entre os modelos de dados e o conceito de *Common Data Environment* (CDE) utilizado no projeto. Será realizada a abertura de uma bolsa de pesquisa para o projeto, conforme edital vigente do SENAI RS.

Engenheiro Civil ou de Obras (a definir): Profissional com atuação em acompanhamento de obras lineares e sistemas de medição de progresso físico, que contribuirá para a parametrização dos indicadores de desempenho e para a calibração dos modelos de IA. Será realizada a abertura de uma bolsa de pesquisa para o projeto, conforme edital vigente do SENAI RS.

6.2.3. Identificação da Equipe da Equipe de Gestão MRS

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, FUNPRESPEX 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

Felipe Arce Boiarski é Engenheiro Mecânico com MBA em Gestão Empresarial e pós-graduação em Gestão de Projetos, atua como Consultor de Eficiência em Projetos de Capital. Possui mais de 10 anos de experiência em manutenção industrial, excelência operacional, gestão de investimentos e transformação organizacional em setores como mineração, logística, telecomunicações e saúde. É reconhecido pela capacidade analítica, visão estratégica e habilidade em liderar projetos multidisciplinares. Fluente em português, espanhol e inglês, com atuação internacional no Brasil, México, Peru e Uruguai. Valoriza a colaboração entre áreas e a entrega de soluções com impacto financeiro e gerencial.

Yuri G Dorgam lasbech é especialista em PMO/VMO, com trajetória marcada pela liderança de projetos estratégicos de digitalização e gestão de portfólio em empresas de referência como MRS Logística, Mercedes-Benz e Embraer. Engenheiro de Automação e Controle pela FEI, com formação internacional em negócios (Kaplan Toronto) e cursando pós-graduação em Gestão pela Fundação Dom Cabral, alia visão estratégica à experiência prática em ambientes complexos nacionais e internacionais. Conduziu iniciativas de alto impacto em CAPEX, otimização de custos e implantação de modelos de gestão orientados a dados, além de protagonizar negociações e parcerias com grandes players industriais. Fluente em inglês e com domínio de espanhol e alemão, destaca-se pela capacidade de integrar inovação, governança e resultados tangíveis em projetos de grande escala.

6.2.4. Identificação da Equipe Executora da MRS

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.

Paulo Renato Vieira Andrade é arquiteto, urbanista e atua como líder estratégico da Engenharia Digital na MRS Logística, conduzindo a adoção de metodologias avançadas como BIM, AWP e GIS, para acelerar, integrar e dar previsibilidade a projetos de expansão de alta complexidade. Combinando a experiência prática de campo com sólida base acadêmica, também é professor de pós-graduação, formando especialistas em BIM e Indústria 4.0.

6.2.5. Identificação da Equipe Executora da DSG

Decio de Sena Gouvea é um Profissional com 40 anos em TI e 30 anos no portfólio SAP, atuando como Advisor e Solution Architect em S/4HANA, Enterprise Asset Management, Product Lifecycle Management, Supply Chain Management e Enterprise Project&Portfolio Management. Liderou mais de 10 implementações S/4 no Brasil, incluindo programas de alta complexidade como MRS. Desenvolveu soluções complexas em projetos como Petrobras (Desenvolvimento e Manutenção de Poços de Petróleo) e Embraer (Gestão das Estruturas de Produtos das Aeronaves). Especialista em ETO/MTO em diversas indústrias como construção civil, energia, siderurgia, telecomunicações, automotiva, agro e bancos. Exlíder SAP do COE LATAM na Infosys e ex-consultor SAP Brasil por 11 anos

6.2.6. Identificação da Equipe Executora da Topocart

Givanildo Silva: Eng. Agrimensor pela UFV, atualmente Diretor Técnico da Topocart, com 25 anos de experiência em Topografia, Geodésia, Cartografia e As Built. Executou diversos trabalhos no Brasil e África, dentre eles: Mapeamento de Corredores Ferroviário de mais de 10.000km (Valec, Transnordestina, Rumo Logística), 20.000 km de rodovias (DNIT, ANTT, DER-MG e empresas de consultoria) diversos aeroportos brasileiros para o programa de privatização. Atualmente executou todos os levantamentos integrados para o projeto executivo do TIC Trens SP.

Alessandra Sugamoto é Engenheira Cartógrafa formada em 2001 pela Universidade Federal do Paraná, com aproximadamente 24 anos de sólida experiência em geotecnologias aplicadas à infraestrutura. Sua expertise concentra-se em serviços de engenharia e topografia especializados, notavelmente em aerolevantamentos Foto/Laser (LIDAR) e na geração de produtos cartográficos essenciais como ortoimagens, MDT e bases cartográficas planialtimétricas. Com uma atuação abrangente no Brasil e internacionalmente (Angola e Uruguai), ela liderou projetos críticos para grandes players como RUMO S.A/RUMO MALHA NORTE S.A, MRS Logística S.A., e VALEC ENGENHARIA, além de acumular seus trabalhos de maior duração junto ao DNIT, focados na caracterização topográfica da infraestrutura rodoviária e na regularização de Faixas de Domínio. Seu portfólio inclui levantamentos em ferrovias de grande extensão, serviços topobatimétricos, Laser Scan para modelagem 3D (Revit) e o mapeamento de vastas áreas urbanas e rurais, demonstrando profundo domínio em soluções de dados espaciais para projetos de engenharia básica e executiva.

Maicon Rodrigues de Oliveira é Engenheiro de Agrimensura graduado pela Universidade Federal de Viçosa, somando 19 anos de experiência focada na execução e gestão de levantamentos geodésicos e topográficos complexos. Sua especialidade reside na execução de campo e na aplicação de múltiplas tecnologias para projetos de engenharia civil de larga escala. Proficiência em Levantamentos Topobatimétricos , topografia convencional para Obras de Arte Correntes (OACs) com representação 3D , e Laser Scan fixo para modelagem em Revit de estações ferroviárias. Em seu portfólio está incluído domínio técnico na implantação de redes geodésicas de precisão, realização de levantamentos topográficos aplicáveis a projetos de linhas de transmissão. Incluindo preparação de dados para geração de arquivos PLSCADD e gerenciamentos de projetos críticos de infraestrutura. Sua atuação é vasta, cobrindo diversas regiões do Brasil e incluindo participações em empreendimentos internacionais de grande escala, como o mapeamento do Uruguai e projetos rodoviários em Angola, consolidando-o como um especialista em soluções de agrimensura aplicadas a grandes obras de engenharia.

7. PRODUTOS

7.1. Macroentrega 1 – Planejamento e Governança de Dados

Esta macroentrega estabelece a base técnica e metodológica que sustentará todo o projeto, definindo fluxos de comunicação, responsabilidades institucionais e padrões de interoperabilidade entre ANTT, SUFER e concessionárias. Inclui o mapeamento de processos, definição de marcos técnicos e elaboração de documentos de governança que orientarão a gestão integrada de dados e a execução das atividades.

Os resultados consolidam a estrutura necessária para garantir rastreabilidade, padronização e segurança das informações que alimentarão os sistemas digitais de fiscalização. Esta macroentrega terá como entregáveis os produtos e estudos, conforme ANEXO XII - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência:

- Padronização e Integração dos Dados Ferroviários – conjunto de artefatos técnicos e digitais para padronização e integração de dados com o SAFF; e
- Curadoria e Qualificação de Dados de Fiscalização – módulos e relatórios relacionados ao pipeline de validação, consistência e auditoria de dados.

7.2. Macroentrega 2 – Plataforma Web

Nesta etapa concentram-se os esforços de desenvolvimento e integração tecnológica da solução digital, com foco na construção da plataforma web de fiscalização e na sua interoperabilidade com o SAFF. Serão concebidas e implementadas as bases do sistema que permitirão a centralização, padronização e visualização dos dados das obras ferroviárias, bem como a geração de relatórios automatizados e painéis analíticos para apoio às atividades de fiscalização.

A plataforma web atuará como o núcleo operacional do projeto, concentrando os fluxos de ingestão, armazenamento, visualização e integração de dados estruturados e geoespaciais, garantindo interoperabilidade com os módulos do SAFF e suporte à evolução futura das funcionalidades analíticas. Esta macroentrega terá como entregável o produto “Plataforma Web Integrada ao SAFF”, uma aplicação web completa, contemplando arquitetura, desenvolvimento, integração e homologação.

7.3. Macroentrega 3 – Inovação e Desenvolvimento Tecnológico

Nesta etapa concentram-se as atividades de pesquisa aplicada, inovação tecnológica e desenvolvimento avançado de inteligência artificial, tendo como base o uso intensivo de dados multimodais provenientes das obras ferroviárias. A macroentrega abrange a criação, curadoria e qualificação do dataset ferroviário multimodal, bem como a avaliação de rotas tecnológicas e o desenvolvimento de modelos de IA voltados à mensuração automatizada do progresso físico das obras e à detecção de inconformidades construtivas.

Os esforços desta macroentrega visam transformar dados estruturados, imagens e nuvens de pontos em informações analíticas de alto valor para a fiscalização regulatória, por meio de técnicas de visão computacional, aprendizado supervisionado e outras abordagens avançadas. Os modelos desenvolvidos serão integrados de forma controlada à plataforma web, permitindo sua utilização em ambiente regulatório, respeitando os requisitos de confiabilidade, rastreabilidade e auditabilidade exigidos pela ANTT. Esta macroentrega terá como entregáveis os produtos e estudos, conforme ANEXO XII – Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência:

- Dataset Ferroviário Multimodal – base consolidada de dados geoespaciais, imagens e nuvens de pontos rotuladas; e
- Modelos de Inteligência Artificial – conjunto de pipelines, modelos e APIs de inferência desenvolvidos para mensuração e detecção de inconformidades.

7.4. Macroentrega 4 - Validação e Operação Assistida

A quarta macroentrega abrange as etapas práticas de validação, homologação e transferência tecnológica, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam efetivamente testadas, ajustadas e absorvidas pela ANTT. Os testes de campo em obras reais permitirão validar a performance dos modelos e da plataforma, assegurando o atendimento aos requisitos funcionais e técnicos.

Além da validação operacional, esta fase inclui o treinamento das equipes, a homologação final e a consolidação dos relatórios técnicos que documentam o desempenho do sistema em ambiente real. Esta macroentrega terá como entregáveis os produtos e estudos, conforme ANEXO XII - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência:

- Validação Operacional do Sistema – documentos e relatórios técnicos gerados durante os testes em obras reais;

- Ajustes Técnicos e Homologação Final – versão produtiva do sistema e documentação associada à homologação final; e
- Expansão e Capacitação das Equipes Técnicas – conjunto de materiais instrucionais e registros de capacitação.

7.5. Publicações Científicas Esperadas

Atividades como a participação em seminários e congressos servem para ampliar o intercâmbio técnico-científico, acompanhar as tendências internacionais em automação, visão computacional e modelagem geoespacial, além de validar os resultados com a comunidade especializada. Um dos eventos internacionais mais importantes é o *International Conference on 3D Vision (3DV)*, que reúne pesquisadores e profissionais das áreas de visão computacional, reconstrução 3D e aprendizado profundo para análise de imagens. Estar presente e publicar trabalhos neste tipo de congresso permite apresentar e discutir os métodos desenvolvidos no projeto com os principais grupos de pesquisa do mundo, facilitando uma avaliação comparativa do desempenho das abordagens e identificando oportunidades de melhorias tecnológicas.

Além da divulgação acadêmica, a apresentação de trabalhos em congressos possibilita visitas técnicas a instituições e empresas de referência internacional que proporcionam conhecer na prática soluções de fiscalização digital, sistemas de gestão geoespacial e plataformas de IA aplicadas a grandes obras de infraestrutura. Esse intercâmbio de experiências ajuda a aprimorar os métodos do projeto, garantindo que estejam alinhados tecnologicamente e operacionalmente com o contexto ferroviário brasileiro.

Os resultados mais relevantes, especialmente aqueles ligados à detecção automática do avanço físico das obras ferroviárias e à fusão multimodal de dados, poderão embasar publicações em periódicos de alto impacto, como o *Automation in Construction* (Elsevier), conhecido pela divulgação de pesquisas aplicadas à digitalização, modelagem e automação na área de infraestrutura. Ainda, revistas importantes como *Advanced Engineering Informatics* e *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* também podem ser usadas para apresentar os avanços do projeto. Em todas as publicações técnicas e científicas decorrentes, será incluído o agradecimento formal (*acknowledgment*) à ANTT e a MRS, reconhecendo o apoio e o financiamento concedidos no âmbito do RDT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVAS APLICÁVEIS

ÁLVARES, Juliana S.; COSTA, Dayana B. **Construction Progress Monitoring Using Unmanned Aerial System and 4D BIM**. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Dublin, Ireland: [s.n.]. 2019.

BROUS, Paul; JANSSEN, Marijn; KRANS, Rutger. **Data Governance as Success Factor for Data Science**. 19th Conference on e-Business, e-Services, and e-Society (I3E). Skukuza, South Africa: [s.n.]. 2020.

CHENG, Guangliang *et al.* Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. **Sensors**, v. 23, 2023.

CHENG, Guangliang *et al.* Change Detection Methods for Remote Sensing in the Last Decade: A Comprehensive Review. **Remote Sensing**, 2024.

DOLHOPOLOV, Serhii *et al.* **Optimizing construction site management through YOLOv5-based object detection: a comprehensive analysis of resource utilization and safety enhancement**. 9th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry. Almaty, Kazakhstan: [s.n.]. 2024.

ESRI. **GIS AND BIM INTEGRATION: A High Level Global Report**. [S.l.]. 2021.

LIANG, Han; CHO, Jongyoung; SEO, Suyoung. Construction Site Multi-Category Target Detection System Based on UAV Low-Altitude Remote Sensing. **Remote Sensing**, 2023.

NAGY, Balázs; KOVÁCS, Lóránt; BENEDEK, Csaba. ChangeGAN: A Deep Network for Change Detection in Coarsely Registered Point Clouds. **IEEE Robotics and Automation Letters**, 2021.

OHANIAN, Levente K. A. R. **Remote tracking of progress at construction sites**. US11346937B2, 2019.

PAL, Aritra *et al.* Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin. **Developments in the built environment**, v. 16, p. 100247, 2023.

PAL, Aritra *et al.* Activity-level construction progress monitoring through semantic segmentation of 3D-informed orthographic images. **Automation in Construction**, v. 157, p. 105157, 2024.

PAPPATERRA, Mauro José *et al.* A Systematic Review of Artificial Intelligence Public Datasets for Railway Applications. **Infrastructures**, v. 6, set. 2021.

RAUCH, Lukas; BRAML, Thomas. Rohbau3D: A Shell Construction Site 3D Point Cloud Dataset. **Scientific Data**, 2025.

TREVEIL, Mark *et al.* **Introducing MLOps: How to Scale Machine Learning in the Enterprise**. [S.l.]: O'Reilly Media, 2020.

UNIVERSITY, Tongji. **A construction progress assessment method based on multi-UAV visual coordination**. CN110490415B, 2019.

WEI, Wei *et al.* Integrated vision-based automated progress monitoring of indoor construction using mask region-based convolutional neural networks and BIM. **Automation in Construction**, 2022.

WIDOWATI, Elok Dewi; RESITA, Andyska Maya. PROJECT DURATION FORECASTING METHODS USING EVM AND ESM FOR A DOUBLE-TRACK RAILWAY PROJECT IN COMPARISON. **Jurnal Pensil : Pendidikan Teknik Sipil**, 2025.

YEW, Zi J.; LEE, Gim H. **City-scale Scene Change Detection using Point Clouds**. International Conference on Robotics and Automation (ICRA). [S.l.]: [s.n.]. 2021.

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 DSG**
- 8.5. Anexo V - Proposta técnica e comercial TOPOCART**
- 8.6. Anexo VI – Orçamento Passagens**
- 8.7. Anexo VII - Currículos da equipe SENAI**
- 8.8. Anexo VIII - Currículos da equipe DSG**
- 8.9. Anexo IX - Currículos da equipe TOPOCART**
- 8.10. Anexo X - Currículos da equipe MRS**
- 8.11. Anexo XI - Orçamento analítico previsto**
- 8.12. Anexo XII - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência**
- 8.13. Anexo XIII – Tabela Salarial e Regramento de Bolsas do SENAI RS**
- 8.14. Anexo XIV - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023**