ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO DE RECHEGO EM VAGÕES DE MINÉRIO VAZIOS POR MEIO DE TECNOLOGIA LIDAR, PROCESSAMENTO EM BORDA E VISÃO COMPUTACIONAL, COM VALIDAÇÃO EM AMBIENTE FERROVIÁRIO OPERACIONAL RELEVANTE

PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES PARA AUMENTO DA SEGURANÇA FERROVIÁRIA, COM FOCO PRINCIPAL EM PASSAGENS DE NÍVEL E LOCAIS CRÍTICOS. (TEMA 4, DELIBERAÇÃO Nº 28/2026)

MRS Logística S.A.

02/10/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO 3
1.1. Título do Projeto 3
1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento 3
1.1.2. Temas 4
1.2. Objetivos 4
1.2.1. Objetivo Geral 4
1.2.2. Objetivos Específicos 4
2. JUSTIFICATIVA 5
2.1. Contexto e Relevância 5
2.2. Estado da arte e Ineditismo 7
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 10
3.1. Métodos e técnicas utilizadas 10
3.2. Etapas 12
3.3. Gestão de Riscos 14
3.4. Indicadores e Metas 16
4. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL 17
5. LOCAL DE EXECUÇÃO 17
6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA 18
6.1. Identificação da entidade 18
6.2. Identificação da equipe executora 18
7. PRODUTOS 19
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS 20
9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO 21

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Sistema automático de detecção de rechego em vagões de minério vazios por meio de tecnologia LiDAR, processamento em borda e visão computacional, com validação em ambiente ferroviário operacional relevante.

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

O projeto enquadra-se nas diretrizes e nos objetivos de inovação estabelecidos pela Resolução ANTT nº 6.021, de 20 de julho de 2023, para a destinação dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico – RDT.

Diretrizes (art. 3º). O projeto atende principalmente ao inciso II — melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, notadamente nos atributos de segurança, continuidade, eficiência e atualidade, ao substituir a inspeção visual manual de rechego por um mecanismo automatizado, contínuo e rastreável de detecção, reduzindo a exposição da operação ao risco de descarrilamento associado a resíduo de minério concentrado nas extremidades do vagão.

Objetivos de inovação (art. 4º). A iniciativa insere-se no inciso III soluções técnicas para problemas específicos e no inciso IV soluções de acompanhamento e monitoramento de atividades ferroviárias em tempo real, bem como de aprimoramento da fiscalização pública, contemplando ainda o inciso II (tecnologia básica e aplicada), na medida em que desenvolve, adapta e valida uma solução de sensoriamento tridimensional (LiDAR) com processamento local e geração de alarmes em tempo real para o Centro de Controle Operacional (CCO).

A linha de inovação consiste na adaptação, integração e validação, em ambiente ferroviário real, de tecnologias de sensoriamento LiDAR, visão computacional e inteligência artificial para a estimativa volumétrica do rechego e sua possível conversão em massa equivalente, com tratamento das incertezas tecnológicas ainda não solucionadas para esta aplicação (posicionamento de sensores para vagões em movimento, segmentação e calibração volumétrica, robustez ambiental e controle de falsos negativos e falsos positivos). O enquadramento definitivo nas diretrizes e objetivos será confirmado pela MRS por ocasião da comunicação do projeto à ANTT.

1.1.2. Temas

O projeto está aderente aos temas prioritários vigentes para a destinação dos RDT, estabelecidos pela Deliberação ANTT nº 28, de 30 de janeiro de 2026 (Anexo I), em especial o item 4 Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária, com foco principal em passagens de nível e locais críticos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver, integrar e validar, em ambiente operacional ferroviário relevante, uma solução tecnológica automatizada para a detecção de rechego em vagões de minério vazios, baseada em sensoriamento LiDAR, captura complementar de imagens, processamento local (em borda) e geração de alarmes em tempo real, capaz de identificar de forma confiável a presença de resíduo de minério equivalente a, no mínimo, 2 toneladas concentradas em uma das extremidades do vagão, eliminando a dependência da inspeção visual humana como mecanismo primário de detecção e contribuindo para o aumento da segurança da circulação ferroviária.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral, o projeto perseguirá os seguintes objetivos específicos:

I - definir e validar o arranjo e o posicionamento dos sensores para captura da geometria interna do vagão em movimento, em condições reais da passarela de Docas;

II - desenvolver e calibrar a lógica de segmentação do vagão e de estimativa volumétrica do rechego a partir de nuvem de pontos tridimensional;

III - estabelecer e validar a correlação entre o volume medido e a massa estimada, por meio da densidade aparente do minério, aderente ao critério operacional de 2 toneladas;

IV - desenvolver mecanismos de redução de falsos negativos e de controle de falsos positivos, com política de decisão assimétrica orientada à segurança;

V - integrar sensoriamento, processamento em borda, evidências visuais e identificação automática do número do vagão (OCR/visão computacional);

VI - avaliar e assegurar a robustez da solução frente a poeira, vibração, umidade, chuva e variações de luminosidade, incluindo protocolo de operação degradada;

VII - validar a confiabilidade, a disponibilidade e o tempo de resposta da solução em ambiente operacional relevante, por meio de plano amostral com rastreabilidade estatística;

VIII - estruturar o processo de melhoria contínua, versionamento e governança dos modelos de detecção, com possibilidade de reavaliação e rollback.

2. JUSTIFICATIVA

2.1 Contexto e Relevância

Relevância e problema. No processo de descarga por virador de vagões, mesmo após a operação, pode permanecer no interior do vagão resíduo de minério distribuído de forma excêntrica — condição denominada rechego. Quando concentrado em uma das extremidades, esse material representa risco relevante à circulação ferroviária: a presença de aproximadamente 2 toneladas em uma extremidade já contribui para o risco de descarrilamento. Atualmente, a identificação é feita por inspeção visual em campo, executada por colaboradores posicionados na passarela de Docas (local com 4 linhas e maior incidência de rechego). Trata-se de atividade operacionalmente sensível, dependente da percepção humana e sujeita à variabilidade do ambiente, o que limita a padronização e mantém a operação exposta ao risco de não detecção.

Contribuição para o setor, a concessionária, a União, os usuários e a sociedade. A solução eleva o nível de segurança da circulação ferroviária ao automatizar uma etapa crítica de identificação de risco, reduzindo a dependência do fator humano e padronizando a decisão por critérios objetivos. Gera valor em quatro dimensões: segurança operacional, confiabilidade da detecção, agilidade de resposta e rastreabilidade dos eventos. Para a União e para o setor, o projeto produz conhecimento aplicável, produtos documentados e resultados mensuráveis passíveis de disseminação a outras concessionárias, aderentes ao caráter público dos produtos desenvolvidos com RDT.

Enquadramento na Resolução nº 6.021/2023 e inovação proposta. O projeto atende às diretrizes do art. 3º (inciso II) e aos objetivos de inovação do art. 4º (incisos II, III e IV), e adere aos temas prioritários da Deliberação ANTT nº 28/2026, com destaque para o item 4 pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária, com foco principal em passagens de nível e locais críticos, considerando que a passarela de Docas constitui local crítico dado o risco de descarrilamento associado ao rechego. Também se relaciona ao item 10 desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria

da operação ferroviária —, ao item 1 qualidade no serviço de transporte ferroviário, com foco principal na atualidade, e ao item 9 aprimoramentos da manutenção ferroviária, inclusive com a integração de diferentes tecnologias e a automação industrial. A inovação não se limita ao fornecimento e à instalação de equipamentos: consiste na adaptação, combinação e validação, para uma aplicação ferroviária específica e crítica, de tecnologias de sensoriamento LiDAR, visão computacional e inteligência artificial, com desenvolvimento e calibração da lógica de estimativa volumétrica, conversão volume–massa, processamento em borda e tratamento de incertezas tecnológicas não resolvidas para este caso de uso (operação com vagões em movimento, robustez ambiental e minimização de falsos negativos). O tema prioritário definitivo e a respectiva vinculação serão confirmados pela MRS na estruturação e comunicação do projeto à ANTT.

Distinção em relação às obrigações contratuais da concessionária. O projeto não contempla obrigação regular do contrato de concessão nem substitui atividade de operação ou manutenção de execução obrigatória pela MRS. A inspeção de segurança hoje existente permanece sob responsabilidade da concessionária; o que se propõe é a pesquisa aplicada e o desenvolvimento experimental de uma nova solução tecnológica, cujo resultado envolve incerteza e cuja validação ocorrerá em ambiente operacional relevante. Assim, nos termos do art. 8º, inciso I, da Resolução nº 6.021/2023, o objeto do Plano de Trabalho está claramente delimitado como iniciativa de desenvolvimento tecnológico, e não como cumprimento de obrigação contratual preexistente.

Imprescindibilidade das visitas técnicas. A natureza experimental do projeto exige atividades presenciais em campo para levantamento das condições reais, instalação eletromecânica, calibração e acompanhamento da homologação assistida. Estão previstas 9 (nove) visitas técnicas à unidade da MRS (referencialmente em Jan/2027, Abr/ 2027, Jul/2027, Out/2027, Nov/2027, Jan/2028, Fev/2028, Mar/2028 e Abr/2028), imprescindíveis para a instalação e refinamento do arranjo de sensoriamento, os ensaios em condições ambientais reais, adequações para operação em ambiente operacional e a validação de desempenho, impactando diretamente a qualidade e a confiabilidade dos resultados.

2.2 Estado da arte e Ineditismo

Foi realizada pesquisa sistemática em bases acadêmicas, incluindo Scientific Reports, MDPI, TRID e ResearchGate; em bancos de patentes, abrangendo o United States Patent and Trademark Office (USPTO) e o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI); nos sítios institucionais de dezesseis fabricantes identificados como potenciais fornecedores ou concorrentes; e em fontes de mercado, inclusive de empresas brasileiras de automação ferroviária. A análise indica que o rechego residual em vagões é reconhecido como problema relevante para a segurança e a eficiência do transporte ferroviário de granéis sólidos. Entretanto, as soluções identificadas tratam partes isoladas do problema e não reúnem, de forma integrada, os recursos previstos neste projeto.

Iniciativas internacionais relacionadas. No meio internacional, foram identificadas duas aplicações tecnicamente próximas ao objeto do projeto, nenhuma caracteriza como solução comercial. A primeira é o sistema Remnant Coal Detection (RCD), desenvolvido pela Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), da Austrália, e descrito por Hargrave e McPhee (2020). O sistema utiliza scanner laser bidimensional fixo, instalado sobre a via próximo à estação de descarga, para detectar material remanescente e retenções em vagões de carvão, emitindo alertas sonoros graduados.

Apesar da proximidade temática, o RCD apresenta diferenças relevantes em relação à solução proposta. O sistema utiliza perfilamento laser bidimensional, e não LiDAR tridimensional multicanal; não incorpora identificação individual do vagão por reconhecimento óptico de caracteres (OCR); e reporta volume sem correlação com a massa. Também foi desenvolvido para carvão, cujas propriedades de refletância, granulometria e aderência diferem das do minério de ferro, e não foi demonstrado para inspeção com vagão em movimento. O estudo ainda relata possibilidade de falso alerta quando o vagão permanece parado sob o sensor.

A segunda iniciativa é o estudo de Mo et al. (2025), publicado na revista Scientific Reports por pesquisadores da China University of Mining and Technology. O trabalho descreve método para estimar o volume de carvão congelado residual em vagões abertos, utilizando sensor LiDAR rotativo multicanal instalado acima da composição, que se deslocava em baixa velocidade. O processamento compreende correção de inclinação e de distorções de movimento, composição das nuvens de pontos por compensação do deslocamento.

Esse estudo constitui o precedente tecnicamente mais próximo da solução proposta por combinar LiDAR tridimensional, reconstrução volumétrica e aquisição dinâmica. Ainda assim, foi validado em baixa velocidade e sem variações significativas. Não incorpora OCR, conversão calibrada de volume em massa, processamento em borda com alerta operacional nem análise específica da concentração do rechego em uma extremidade do vagão, condição associada ao risco operacional considerado neste projeto.

Tecnologias empregadas no mercado nacional. No mercado nacional, foram identificadas abordagens aplicáveis à detecção de carga residual ou de assimetrias de carregamento em vagões, com destaque para balanças ferroviárias instrumentadas e sistemas de visão computacional bidimensional. Essas tecnologias atendem funções específicas, mas não constituem solução equivalente à proposta neste projeto.

As balanças ferroviárias dinâmicas, utilizam extensômetros ou células de carga instalados na via para medir forças por roda ou eixo e estimar a massa total do vagão e sua distribuição longitudinal. Embora possam indicar desequilíbrios, não produzem a geometria do interior do vagão nem localizam diretamente o rechego. Dependem de infraestrutura fixa, calibração periódica e condições adequadas da via, podendo ser afetadas por intervenções no lastro, drenagem e manutenção. Sua replicação em outros pontos da malha requer novas instalações e investimentos.

Outra abordagem utiliza câmeras para registro bidimensional que, se associada a algoritmos de visão computacional para indicam presença e posição aproximada de material remanescente. A MRS realizou uma Prova de Conceito com essa tecnologia em parceria com a DtLabs. Os resultados evidenciaram que a tecnologia é sensível à iluminação natural, sombras, chuva, poeira e ao contraste entre o minério e o fundo do vagão, com impacto na acuracidade das detecções.

Pesquisa de patentes. A pesquisa no banco de patentes do INPI foi realizada em 21 de setembro de 2026, considerando a base atualizada até 15 de setembro de 2026, correspondente à Revista da Propriedade Industrial nº 2906. Foram examinadas 27 combinações de palavras-chave, em português e inglês, nos resumos dos pedidos publicados. Entre os documentos acessíveis na pesquisa do INPI, não foi identificado pedido que combine inspeção do interior de vagão em movimento, detecção e localização de carga residual, reconstrução tridimensional por LiDAR, estimativa de volume e massa, identificação por OCR e processamento em borda. Essa conclusão se limita ao acervo

publicado na data da consulta e não alcança pedidos ainda mantidos no período de sigilo legal.

No campo patentário internacional, foram identificadas soluções correlatas para identificação de material residual em caçambas de caminhões, baseadas na comparação de perfis antes e após a descarga por câmeras, mas não uma aplicação ferroviária equivalente com identificação do vagão, estimativa de massa e alerta em tempo real.

Lacunas tecnológicas. A análise das soluções acadêmicas, comerciais e patentárias evidencia a ausência de arquitetura única que reúna precisão espacial, estimativa de massa, identificação individual do vagão e resposta em tempo real para detectar rechego de minério de ferro concentrado em uma extremidade. Os antecedentes localizados apresentam limitações quanto ao material inspecionado, à dimensionalidade do sensor, à velocidade de aquisição, à localização espacial da carga, à conversão de volume em massa ou à integração do resultado com a identidade do vagão.

Permanecem como lacunas a serem tratadas pelo projeto: a reconstrução volumétrica sob velocidade variável, vibrações e paradas momentâneas; a compensação das distorções de movimento e das oclusões produzidas pela geometria irregular do vagão; a calibração da relação entre volume e massa para minério de ferro com diferentes condições de umidade, granulometria e compactação; a operação sob poeira, chuva, incidência solar e variações de refletância; a redução de falsos positivos e falsos negativos; e a sincronização confiável entre OCR, nuvem de pontos, identificação do vagão e alerta operacional.

Caracterização do ineditismo. Com base nas fontes pesquisadas, o projeto não se caracteriza como aquisição direta de tecnologia disponível nem como reprodução de solução comercial, acadêmica ou patentária existente. LiDAR, OCR, processamento em borda e técnicas de reconstrução por nuvens de pontos são tecnologias conhecidas isoladamente. O ineditismo reside em sua integração e adaptação a uma arquitetura específica para detectar, localizar e quantificar rechego de minério de ferro em vagões de composições brasileiras em movimento, estimar sua massa e gerar alerta associado ao vagão inspecionado.

A obtenção desse resultado requer pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental em quatro frentes principais: correção das distorções decorrentes do movimento em velocidades operacionais variáveis; seleção e adaptação dos métodos de reconstrução para a geometria interna dos vagões; calibração da relação entre volume e massa para

minério de ferro; e fusão, em tempo real, dos dados de OCR e LiDAR em ambiente ferroviário real. A combinação dessas frentes, dirigida ao risco de rechego concentrado em extremidades e validada sob condições ambientais e operacionais da movimentação de minério de ferro, não foi encontrada de forma equivalente na literatura, nas soluções de mercado, no USPTO ou nos documentos publicados na base do INPI examinados nesta pesquisa.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

Princípio de medição (LiDAR). A tecnologia LiDAR opera pela emissão de pulsos laser e medição do tempo de retorno, gerando uma nuvem de pontos tridimensional que representa a geometria interna do vagão. A partir da comparação entre a geometria de referência (vagão vazio) e a geometria medida após a descarga, o sistema calcula o volume do material residual e sua distribuição ao longo do vagão, inclusive a concentração em uma das extremidades, condição associada ao risco de descarrilamento.

Conversão volume–massa. O sensoriamento LiDAR fornece medição volumétrica, e não medição direta de massa. A conversão em massa equivalente, necessária ao atendimento do critério de 2 toneladas, é obtida pela aplicação da densidade aparente do minério ao volume calculado (massa estimada = volume medido × densidade aparente). A densidade aparente constitui parâmetro de entrada da lógica de detecção, a ser definida e parametrizada em conjunto com a MRS. Caso a engenharia decida controlar parâmetros volumétricos, essa demanda será ajustada na fase 01 do projeto em questão.

Arquitetura em quatro camadas. A solução é organizada em: (i) sensoriamento em campo — Hammerhead LiDAR, e câmera/OCR para leitura do número do vagão; (ii) processamento em borda — unidade local responsável por segmentação, estimativa volumétrica, decisão de detecção, geração de alarmes e retenção local de eventos em caso de indisponibilidade de comunicação; (iii) comunicação — enlace principal com a rede da MRS e enlace redundante celular (4G/5G) com failover; e (iv) aplicação/operação — dashboard para a Central de Monitoramento, trilha de auditoria, relatórios e repositório de eventos e evidências.

Identificação do vagão e associação evento–vagão. O número do vagão é lido por OCR/visão computacional sobre a numeração lateral, em pipeline de duas etapas (detecção da região do código e reconhecimento de caracteres) com validação por regras de formato; leituras de baixa confiança são rejeitadas. Cada evento de rechego é vinculado ao vagão correspondente por correlação temporal e espacial, consolidando um registro único (evento + número do vagão + evidências).

Inteligência artificial, dados sintéticos e minimização da exposição operacional. O treinamento e a validação dos modelos empregam dados geométricos reais coletados em operação normal e dados sintéticos gerados por modelagem 3D da geometria do vagão, nos quais volumes de rechego de diferentes massas e posições — inclusive ≥ 2 t nas extremidades — são simulados sobre a nuvem de pontos, com randomização de domínio (domain randomization) para reduzir o gap simulação–realidade. Essa estratégia minimiza a criação deliberada de condições reais de risco em campo, restringindo o rechego controlado ao mínimo necessário para calibração e validação-chave.

Parâmetros técnicos e robustez ambiental. São considerados: grau de proteção dos ativos (referência de segurança ferroviária EN 50129, a validar em campo); filtragem de ruído da nuvem de pontos; monitoramento de degradação e sujidade das lentes; e disponibilidade projetada ≥ 99,5%, com redundância de energia (nobreak/UPS) e de comunicação, monitoramento de saúde e estratégia de recuperação de falhas. Todos os parâmetros de desempenho serão validados com a engenharia da Mogai e pactuados com a MRS na fase de detalhamento.

Materiais, equipamentos e software. Serão empregados: Hammerhead LiDAR, ativo preexistente da Mogai, que será locado durante o tempo de execução do projeto, unidade de alimentação ininterrupta (nobreak/UPS), materiais de instalação eletromecânica e câmera para identificação/OCR do vagão. Os ativos tecnológicos preexistentes da Mogai são reaproveitados como ponto de partida e permanecem regidos pela cláusula de ativos preexistentes. A ilustração dos bens e a lista de bens com previsão de transferência constam dos anexos do Plano de Trabalho.

Referencial técnico-científico. A abordagem apoia-se no estado da arte de estimativa volumétrica por nuvem de pontos, em que métodos de fatiamento e integração numérica sobre nuvens LiDAR atingem erros relativos tipicamente inferiores a 5% em cenários controlados (Remote Sensing, 2026), e em aplicações de segmentação de veículos e

cargas a granel por LiDAR e aprendizado profundo. As referências encontram-se listadas na Seção 8.

Plano de validação estatística. A validação de desempenho seguirá plano amostral com rastreabilidade estatística: estimativa por intervalos de confiança para falsos negativos e falsos positivos e uso de planos de amostragem por atributos/variáveis (referências ANSI/ASQ Z1.4 e Z1.9). Para demonstrar taxa de falsos negativos ≤ 0,1% com 95% de confiança sem falha observada, a aproximação de limite superior (regra de três) implica um conjunto da ordem de 3000 eventos controlados ≥ 2 t, porém, as metas quantitativas e o tamanho amostral de cada indicador serão consolidados na Fase 01, com base no detalhamento executivo da solução, nas condições reais de operação em Docas e na validação, junto às áreas técnicas da MRS, dos limites seguros para geração de eventos controlados, manobras de desvio e eventual pesagem de vagões. Essa definição faseada garante que os critérios de desempenho sejam tecnicamente robustos, estatisticamente rastreáveis e compatíveis com as restrições operacionais e de segurança do ambiente ferroviário.

Produção científica e acadêmica. Prevê-se a possibilidade de produção de artigo técnico-científico sobre detecção de rechego por LiDAR em ambiente ferroviário, além da constituição de base de dados com controle de proveniência, passível de disseminação observadas a segurança operacional, os segredos industriais e a LGPD.

3.2. Etapas

A implantação será conduzida de forma faseada, orientada por segurança operacional, rastreabilidade técnica e redução de riscos, com período de homologação entre 3 e 6 meses em operação assistida, conforme a especificação. As etapas propostas são:

Fase 0 — Estruturação do projeto RDT. Estruturação documental e regulatória anterior ao início da execução técnico-financeira, com produção dos insumos técnicos para a comunicação do projeto à ANTT pela MRS.

I - confirmação do enquadramento e dos temas prioritários; validação de título, objeto e objetivos;

II - consolidação de macroentregas, entregáveis e critérios de conclusão;

III - elaboração do cronograma físico-financeiro, da matriz de riscos, da matriz de indicadores e da matriz de responsabilidades;

IV - identificação da propriedade intelectual preexistente e das regras de tratamento de dados e produtos. Resultado: Plano de Trabalho e anexos aptos à comunicação à ANTT.

Fase 1 — Levantamento e detalhamento executivo. Refinamento das informações de campo e detalhamento executivo da solução (1ª visita técnica).

V - preparação e definição do posicionamento dos Hammerhead Lidar e da infraestrutura local de processamento;

VI - avaliação dos pontos de energia e conectividade e dos requisitos normativos aplicáveis;

VII - consolidação do arranjo definitivo de sensoriamento, definições de metas e taxas. Resultado: projeto executivo e arquitetura consolidada.

Fase 2 — Implantação e configuração da solução. Implantação física e lógica da solução (2ª visita técnica).

VIII - instalação eletromecânica de sensores, unidade de borda e mecanismos de comunicação;

IX - configuração inicial da lógica de detecção, dos critérios de alarme e do armazenamento local de eventos e da operação degradada. Resultado: solução instalada e configurada.

Fase 3 — Testes funcionais e calibração inicial. Testes funcionais e ajustes de calibração (3ª visita técnica).

X - verificação do sensoriamento, do processamento em tempo real, da emissão de alarmes e da captura de evidências;

XI - calibração da estimativa volumétrica e da conversão volume–massa. Resultado: sistema apto aos testes em campo e relatório de calibração.

Fase 4 — Operação assistida e homologação. Homologação em ambiente real, com acompanhamento assistido e comparação controlada com a prática atual (4ª visita técnica), por período de 3 a 6 meses.

XII - avaliação de desempenho com vagões sem rechego e com rechego controlado (tamanho da amostra definida na Fase 01);

XIII - apuração de falsos positivos, falsos negativos, tempo de resposta, disponibilidade e acurácia de identificação do vagão, conforme o plano de validação estatística. Resultado: evidências suficientes para validação técnica e operacional.

Fase 5 — Estabilização e transição para operação. Consolidação da solução em produção (5ª visita técnica).

XIV - ajustes finais, formalização da documentação técnica e transferência estruturada de conhecimento;

XV - consolidação da governança para evolução controlada de software e modelos, com versionamento e rollback. Resultado: solução estabilizada, documentação final e aceite.

A documentação técnica a ser fornecida será suficiente para permitir a replicação da solução em outros pontos da malha ferroviária da MRS, em outras ferrovias e em outros tipos de hardware.

Visitas técnicas. As 5 (cinco) visitas técnicas previstas, com 2 (dois) profissionais por visita, contemplam levantamento de campo, instalação, calibração, acompanhamento da homologação e transição para operação, sendo detalhadas no cronograma físico-financeiro (Anexo III).

3.3. Gestão de Riscos

A execução do projeto será acompanhada por matriz de riscos revisada a cada macroentrega, com registro formal de ocorrências, ações de tratamento e responsáveis. Os riscos identificados na fase de estruturação são os seguintes:

#	Risco	Prob.	Impacto	Tratamento previsto
1	Imprecisão na conversão entre volume medido e massa estimada (densidade aparente)	Média	Alto	Parametrização conjunta com a MRS; calibração em campo; ajuste do parâmetro ao longo da operação

#	Risco	Prob.	Impacto	Tratamento previsto
2	Ocorrência de falsos negativos acima da meta em eventos ≥ 2 t	Baixa	Alto	Limiar calibrado com margem de segurança; política de decisão assimétrica; verificação cruzada entre dados volumétricos e evidências de imagem
3	Dificuldade de gerar eventos reais ≥ 2 t para teste sem expor a operação a risco	Alta	Médio	Dados sintéticos com randomização de domínio; rechego controlado pontual apenas para calibração-chave; uso de casos históricos
4	Degradação da leitura por poeira, chuva, vibração ou variação de luminosidade	Média	Médio	Filtragem de ruído da nuvem de pontos; protocolo de operação degradada com alarme a Central de Monitoramento
5	Variabilidade entre modelos, geometrias e condições dos vagões	Média	Médio	Levantamento das tipologias na Fase 1; base de dados segmentada por geometria; retreinamento controlado
6	Indisponibilidade de janelas operacionais, acessos ou liberações em campo	Média	Médio	Programação antecipada das visitas técnicas com a MRS; premissas formalizadas; remobilização tratada por gestão de mudanças
7	Indisponibilidade de energia ou do enlace principal de comunicação	Médio	Médio	Processamento em borda com retenção local de eventos (ring-buffer); nobreak/UPS;
8	Descumprimento do prazo regulamentar de	Baixa	Alto	Fase 0 dedicada à estruturação documental; comunicação conduzida pela MRS com a antecedência

#	Risco	Prob.	Impacto	Tratamento previsto
	comunicação à ANTT ou alteração de enquadramento			mínima de 60 dias (art. 7º da Resolução nº 6.021/2023)

Riscos que se materializem com impacto sobre objeto, entregáveis, cronograma ou orçamento serão submetidos ao processo formal de gestão de mudanças, com avaliação prévia dos efeitos técnicos, financeiros e regulatórios.

3.4. Indicadores e Metas

O desempenho será aferido por indicadores objetivos, medidos em campo, aplicados em duas fases: durante a homologação, como critério de aprovação; e durante a operação assistida, como monitoramento contínuo de manutenção de desempenho.

Indicador	Forma de apuração
Taxa de falsos negativos (eventos ≥ 2 t)	Razão entre eventos ≥ 2 t não detectados e o total de eventos ≥ 2 t apresentados ao sistema, medida sobre vagões com rechego controlado
Taxa de falsos positivos	Razão entre alarmes emitidos sem rechego real e o total de vagões sem rechego inspecionados
Disponibilidade do sistema	Razão entre o tempo em que a solução esteve apta a detectar e o tempo total do período, descontadas paradas planejadas
Tempo de resposta do alarme	Intervalo entre a passagem do vagão pelo ponto de leitura e a disponibilização do alarme com evidências na Central de Monitoramento
Acurácia de identificação do vagão	Razão entre vagões corretamente identificados e o total de vagões válidos, com rejeição automática de leituras abaixo do limiar de confiança

A definição das metas dos indicadores ocorrerá durante a Fase 01 do projeto em questão, visto a criticidade e viabilidade dos processos operacionais (manobras de desvio e pesagem de vagões).

4. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL

Previsão de início. 01 de dezembro de 2026 observada a comunicação formal do início do projeto à ANTT.

Tempo de execução. Prazo estimado de aproximadamente 17 (dezessete) meses, da mobilização (Dez/2026) à conclusão da Fase 5 (Abr/2028), incluído o período de homologação de 3 a 6 meses em operação assistida. Os marcos são referenciais e serão ajustados em função da data formal de início e das janelas operacionais, respeitada a duração máxima de 48 meses do art. 7º, III, da Resolução.

Custo total. R$ 894.897,60 (oitocentos e noventa e quatro mil oitocentos e noventa e sete reais e sessenta centavos), a preço global fechado, com todos os tributos inclusos.

Cronograma Execução	Ano Concessão	Recurso Ano	Recurso
ago/26 a jul/27	5	1	R$ 309.058,69
ago/26 a jul/27	5	2	R$ 42.797,07
ago/27 a jul/28	6	4	R$ 543.041,84

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

Local de instalação, testes e homologação. Passarela de Docas, ao longo do trecho concedido à MRS, onde ocorrerão a instalação do sensoriamento, os testes em campo e a homologação assistida. Endereço do local: Rua Fernando José Cerqueira, Av. Brisamar, Itaguaí - RJ.

Local de desenvolvimento. Instalações e laboratórios da Mogai Tecnologia de Informação S.A., em Vitória/ES (R Gelu Vervloet dos Santos, 590, Sala 1108, Jardim Camburi, CEP 29090-100), onde serão realizados o desenvolvimento de software, a modelagem 3D, a geração de dados sintéticos, o treinamento dos modelos e os testes de bancada.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação da entidade

Concessionária (responsável perante a ANTT). MRS Logística S.A., CNPJ 01.417.222/0001-77, Praia de Botafogo, 228, sala 707, Bairro Botafogo, Rio de Janeiro – RJ, CEP: 22250-040— responsável pelo enquadramento formal, pela comunicação e pelo relacionamento institucional com a ANTT e pela prestação de contas (RADT).

Entidade executora contratada. Mogai Tecnologia de Informação S.A., CNPJ 02.302.296/0001-20, R Gelu Vervloet dos Santos, 590, Sala 1108, Jardim Camburi, Vitória/ES, CEP 29090-100 — responsável pela execução técnica do projeto.

Histórico e qualificação. A Mogai é empresa de tecnologia com reconhecimento nacional e internacional, certificada com base na ISO 9001 (Normas SGQTec), e foi a única empresa da América Latina listada pelo Gartner (2022) entre fornecedores de destaque mundial em visão computacional. Possui experiência comprovada em monitoramento de estoques, automação logística multimodal, ferroviária e portuária, pesquisa operacional e visão computacional, atendendo a clientes como Vale, ArcelorMittal, CSN, Usiminas, Petrobras, Cargill e Suzano, o que atende ao art. 10, § 4º, da Resolução nº 6.021/2023 quanto à experiência em desenvolvimento tecnológico e corpo técnico especializado, inclusive com atuação no setor de transporte de commodities e ferroviário.

6.2. Identificação da equipe executora

Coordenação e equipe executora (Mogai). A coordenação técnica e o ponto de contato do projeto são exercidos por Yuri Godinho Laures (Mogai). A equipe técnica alocada por perfil e carga horária prevista é apresentada a seguir.

- Gerente Projetos – Yuri Godinho Laures – Administração – 095.718.977-01;
- Especialista – Daniel Luis Cosmo – Phd Engenharia Elétrica – 118.380.027-40;
- Cientista de Dados – Marcus Romano Salles Bernardes de Souza – Msc Engenharia – 085.865.496-22;
- Cientista de dados – André Neves Prestes – Engenharia Machine Learning – 438.642.278-10;

- Analista de Engenharia – Nathãn Elias Reis Dutra – Análise Sistemas – 145.359.857-07;
- Desenvolvedor Full Stack – André de Souza Medeiros Leal – Análise Sistemas – 074.341.146-30;
- Desenvolvedor UX – Vitor Matheus Rodrigues de Jesus – Engenharia Automação – 128.421.797-30;
- Analista de Negócios – Marina Ragazzi Bassani – Engenharia Produção – 137.577.607-00;

Bolsistas/estudantes. Não previstos nesta configuração.

7. PRODUTOS

O projeto gerará os seguintes produtos utilizados na solução de detecção automática de rechego, com a respectiva serventia:

I - **Solução de detecção automática de rechego (instalada e homologada):** estimativa de massa; decisão de detecção e identificação do vagão (OCR), disponibilizados com código-fonte aberto e manual de utilização; dashboard/interface de visualização de alarmes, evidências, status dos ativos e trilha de auditoria; repositório versionado de nuvens de pontos e imagens rotuladas (reais e sintéticas), com controle de proveniência; modelos treinados com governança, versionamento e possibilidade de rollback.

II - **Documentação Técnica:** conjunto de documentos técnicos que descrevem a solução desenvolvida, contemplando sua arquitetura, implementação, validação e operação, de forma a permitir sua reprodução, manutenção e expansão em outros pontos da malha ferroviária da MRS, em outras concessionárias ferroviárias e em diferentes plataformas de hardware. A documentação incluirá:

- Arquitetura: descrição da arquitetura da solução, detalhando como seus componentes se integram e operam de forma conjunta, bem como as funções, interfaces e responsabilidades de cada elemento do sistema.
- Estrutura de Hardware: relação e descrição dos equipamentos físicos que compõem a solução, incluindo suas especificações técnicas, requisitos de

instalação, montagem, alimentação elétrica, proteção e demais condições necessárias para sua reprodução em outros locais de aplicação.

- Fluxo de Dados: representação do fluxo das informações ao longo da solução, contemplando desde a captura dos dados pelos sensores durante a passagem do vagão, passando pelas etapas de processamento, identificação da existência de rechego, geração de alarmes e registro dos eventos e evidências na Central de Monitoramento.
- Modelos de Inteligência Artificial: documentação dos algoritmos e modelos empregados para detecção e mensuração do rechego, incluindo sua finalidade, lógica de funcionamento, processo de treinamento e validação, bem como os critérios utilizados para reconhecimento e classificação dos eventos monitorados.

III - **Publicação científica esperada:** artigo técnico-científico sobre detecção de rechego por LiDAR em ambiente ferroviário.

IV - **Bens de Hardware Transferidos:** Além dos produtos documentais e intelectuais gerados no âmbito do projeto, serão transferidos os ativos de hardware que compõem a solução implantada, incluindo os conjuntos modulares necessários à sua operação. Dentre eles, destacam-se sistemas de alimentação ininterrupta de energia (Nobreak/UPS), gabinetes e invólucros de proteção, materiais de instalação e infraestrutura (cabos, bases, suportes, fixações e acessórios correlatos), câmeras destinadas à identificação e leitura automática (OCR) da numeração dos vagões, bem como demais componentes e insumos necessários ao funcionamento da solução desenvolvida.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

Normativos aplicáveis:

BRASIL. Lei nº 14.273, de 23 de dezembro de 2021. Lei das Ferrovias (art. 18 — recursos para desenvolvimento tecnológico e preservação da memória ferroviária).

ANTT. Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023. Dispõe sobre a destinação dos RDT e dos RPMF.

ANTT/SUFER. Portaria nº 17, de 6 de dezembro de 2023 (alterada pela Portaria nº 9, de 9 de agosto de 2024). Procedimentos e instruções complementares.

ANTT. Deliberação nº 28, de 30 de janeiro de 2026. Temas prioritários para destinação dos RDT e RPMF (vigência até 27 de junho de 2028).

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais — LGPD.

ABNT. NBR ISO 9001 — Sistemas de gestão da qualidade.

CENELEC. EN 50129 — Railway applications: safety related electronic systems for signalling.

ANSI/ASQ Z1.4 e ANSI/ASQ Z1.9 — Sampling procedures and tables for inspection by attributes and by variables.

Referências bibliográficas:

SRITAP, C.; PITAYACHAVAL, P.; TANTRAIRATN, S. Development of a bulk material volume estimation system using automatic moving rail LiDAR technology. Journal of Applied Methods in Electronics and Computers, v. 12, n. 2, p. 48-53, 2024.

MANISH, R. et al. Image-aided LiDAR mapping platform and data processing strategy for stockpile volume estimation. Remote Sensing, v. 14, n. 1, art. 231, 2022.

MAHLBERG, J. A. et al. Salt stockpile inventory management using LiDAR volumetric measurements. Remote Sensing, v. 14, n. 19, art. 4802, 2022.

YANG, X.; HUANG, Y.; ZHANG, Q. Automatic stockpile extraction and measurement using 3D point cloud and multi-scale directional curvature. Remote Sensing, v. 12, n. 6, art. 960, 2020.

Application of LiDAR-based technology to construction material volume estimation. Remote Sensing, v. 18, n. 10, art. 1649, 2026 (erro relativo médio de 1,97%, abaixo da tolerância de engenharia de 5%).

Hargrave, C.; McPhee, P. Remnant Coal Detection System. Resources, v. 9, n. 4, artigo 45, 2020.

Mo, X.; Wu, X.; Zhou, W.; Liu, Y.; Dong, S.; Zhao, C. Estimate the volume of residual frozen coal in railway carriage using a rotating LiDAR. Scientific Reports, v. 15, artigo 36745, 2025.

9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

Deverão ser apensados os anexos listados a seguir, e outros que se fizerem necessários:

I - Resumo do Plano de Trabalho;

II - Cronograma físico-financeiro do projeto;

III - Proposta técnica e comercial;

IV - Cotações comerciais;

V - Currículos;

VI - Orçamento analítico previsto;

VII - Justificativa de escolha do fornecedor;

VIII - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência;

IX - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023.