MOGAI TECNOLOGIA

Proposta Técnica

LiDAR para detecção de rechego em vagões de minério vazios

Projeto estruturado para execução com Recursos para Desenvolvimento Tecnológico — RDT

PROPOSTA TÉCNICA MOGAI – MRS

Á MRS,

A/C: Rafaela Doro
E-mail: rafaela.doro@mrs.com.br

A Mogai apresenta sua proposta técnica para o desenvolvimento tecnológico, implantação experimental e validação, em ambiente operacional relevante, de uma solução inteligente para detecção automática de rechego em vagões de minério vazios, utilizando tecnologia LiDAR, captura complementar de imagens, processamento local e mecanismos automatizados de identificação e registro de eventos.

O projeto será estruturado pela MRS para utilização de Recursos para Desenvolvimento Tecnológico — RDT, observados a Resolução ANTT nº 6.021/2023, a Portaria SUFER nº 17/2023, suas alterações posteriores e os demais procedimentos aplicáveis.

A Mogai será responsável pela execução técnica das atividades que lhe forem contratadas, incluindo o desenvolvimento, a adaptação tecnológica, a integração, os testes, a validação e a produção dos registros técnicos e evidências necessárias ao acompanhamento do projeto. Caberá à MRS, na condição de concessionária, conduzir o enquadramento formal, a comunicação, o relacionamento e a prestação de contas perante a ANTT.

O projeto não se limita ao fornecimento e à instalação de equipamentos. Sua execução compreenderá atividades de desenvolvimento tecnológico aplicado, investigação das condições operacionais, experimentação, calibração, integração de tecnologias e validação de desempenho em ambiente ferroviário real.

Atenciosamente,

Yuri Godinho Laures
+55 27 999-473-284 | +55 27 3337-1818
ylaures@mogai.com.br

1. APRESENTAÇÃO

MEDIR, MONITORAR E MELHORAR PROCESSOS

A Mogai é uma empresa com foco em tecnologia inovadora, com reconhecimento nacional e internacional, alto padrão de qualidade, certificada nas Normas SGQTec, baseada na ISO 9001.

Criamos soluções inovadoras baseadas em tecnologia própria e de terceiros (software e hardware) para indústrias que produzem, consomem, transportam ou armazenam commodities, com soluções para monitoramento dos estoques, automação logística multimodal, ferroviária ou portuária; sistemas para apoio a tomada de decisões baseados em pesquisa operacional e equipamentos e software de visão computacional, onde o Gartner publicou pesquisa em 2022 elencando os fornecedores de destaque mundial – a Mogai é a única empresa da América Latina listada.

Gerar Soluções significa entender os processos do cliente e participar da concepção e desenvolvimento de sistemas que levem à melhoria destes processos, utilizando sistemas corporativos, ERP e equipamentos disponíveis, melhorando o retorno sobre os ativos.

Para maiores informações acesse nosso site ou entre em contato conosco:

www.mogai.com.br | comercial@mogai.com.br | (27) 3337-1818

2. CLIENTES

Apresentamos abaixo alguns de nossos Clientes de monitoramento de estoques:



Clientes de Logística, Pesquisa Operacional e Inovação Aberta:



3. CONTEXTO

No processo de descarga por virador, mesmo após a operação, pode permanecer no interior do vagão um resíduo de minério distribuído de forma excêntrica. Esse material residual, caracterizado como *rechego*, pode representar risco relevante à circulação ferroviária, especialmente quando concentrado em uma das extremidades do vagão. A própria especificação técnica destaca que, nas condições de operação avaliadas, a presença de aproximadamente 2 toneladas em uma das extremidades já contribui para o risco de descarrilamento, tornando indispensável a identificação confiável dessa condição antes da continuidade da circulação.

Atualmente, essa avaliação é realizada por inspeção visual em campo, executada por colaboradores posicionados na passarela de Docas. Trata-se de uma atividade operacionalmente sensível, dependente da percepção humana e sujeita a variabilidades inerentes ao ambiente, à dinâmica do processo e às condições locais. A especificação deixa claro que o objetivo da contratação é eliminar essa dependência como mecanismo primário de detecção, substituindo-a por uma solução automatizada, contínua, rastreável e compatível com os níveis de segurança requeridos.

Além da necessidade de detectar o rechego, o desafio envolve também a disponibilização tempestiva da informação para a operação. Todo evento identificado deve gerar alarme com evidências do vagão, incluindo imagens e identificação lateral, de forma que a Central de Monitoramento/CCO possa programar o desvio do trem e acionar a equipe responsável pela atuação em campo. Assim, a solução não deve apenas “enxergar” o evento, mas inseri-lo no tempo correto da operação ferroviária, permitindo resposta segura e eficaz.

4. OBJETIVOS

Esta proposta tem como objetivo apresentar a solução da Mogai para detecção automática de rechego em vagões de minério vazios, por meio da aplicação de tecnologia LiDAR integrada a recursos de processamento local (Hammerhead LiDAR), monitoramento operacional e geração de alarmes em tempo real, em aderência à especificação técnica disponibilizada pela contratante.

A solução proposta visa:

- automatizar a identificação de rechego próximo à região de descarga;
- eliminar a necessidade de inspeção visual em campo como mecanismo principal de detecção;
- disponibilizar à operação alarmes e evidências visuais do evento de forma tempestiva;
- apoiar a tomada de decisão da Central de Monitoramento/CCO;
- operar de maneira contínua, robusta e compatível com o ambiente ferroviário;
- permitir homologação controlada, operação assistida e evolução contínua dos modelos de detecção.

4.1. Enquadramento como projeto de desenvolvimento tecnológico

O projeto será conduzido como uma iniciativa de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico voltada à adaptação, integração e validação de uma solução automatizada para identificação de rechego em vagões de minério vazios.

Embora a Mogai possua conhecimento técnico, componentes e experiências anteriores relacionados ao uso de sensores e processamento de dados, a aplicação proposta apresenta desafios e incertezas tecnológicas que deverão ser solucionados durante o projeto, entre os quais:

- definição do arranjo e do posicionamento adequado dos sensores para operação com vagões em movimento;
- avaliação dos impactos de vibração, poeira, umidade, condições de iluminação e variações ambientais;
- desenvolvimento e calibração da lógica de segmentação do vagão e identificação volumétrica do rechego;
- definição da correlação entre os dados geométricos capturados e o limiar operacional associado à massa residual;
- tratamento das diferenças existentes entre modelos, geometrias e condições dos vagões;
- desenvolvimento de mecanismos para redução de falsos negativos e controle de falsos positivos;
- integração entre sensoriamento, processamento local, evidências visuais, identificação do vagão e geração de eventos;
- validação da confiabilidade, disponibilidade e tempo de resposta da solução em ambiente operacional relevante.

Preliminarmente, o projeto apresenta aderência aos temas prioritários relacionados à qualidade e atualidade do serviço ferroviário, ao aumento da segurança ferroviária, à integração de tecnologias e automação industrial e ao desenvolvimento de tecnologias para melhoria da operação ferroviária. O enquadramento definitivo será confirmado pela MRS durante a elaboração do Plano de Trabalho RDT.

A maturidade tecnológica inicial e a maturidade tecnológica pretendida ao final do projeto deverão ser definidas na etapa de estruturação, considerando os componentes preexistentes, os novos desenvolvimentos necessários e o ambiente no qual ocorrerá a validação.

5. SITUAÇÃO ATUAL E SITUAÇÃO PRETENDIDA

5.1. Situação Atual

No cenário atual, a identificação de rechego é realizada por inspeção visual simples, com base nos mesmos pontos observados pela equipe de campo na passarela de Docas. Essa abordagem, embora operacionalmente conhecida, depende de observação humana em um ambiente com alto fluxo de trens e elevada criticidade para segurança, o que limita a padronização da análise e mantém a operação exposta a riscos associados à não detecção do evento. A especificação informa, inclusive, que a passarela de Docas possui 4 linhas, maior incidência de rechego e atualmente conta com colaboradores dedicados à inspeção visual.

5.2. Situação Pretendida

Com a implantação da solução proposta pela Mogai, a detecção do rechego passa a ser realizada de forma automatizada, contínua e em tempo real, com base em leitura sensorial e lógica de processamento local (Hammerhead LiDAR). O sistema passa a identificar variações de volume compatíveis com o critério operacional estabelecido, registrar o evento, gerar evidências visuais associadas e comunicar o resultado ao processo operacional no tempo necessário para decisão e mobilização.

5.3. Transformação Esperada

A evolução proposta pode ser resumida da seguinte forma:

- ***De:*** um processo de verificação predominantemente manual, dependente de inspeção visual em campo, com maior exposição operacional e menor padronização da decisão.
- ***Para:*** um processo automatizado, rastreável e orientado por critérios objetivos, com detecção em tempo real, registro de evidências, operação em borda, monitoramento da saúde da solução e suporte estruturado ao CCO.

Essa transformação gera valor direto em quatro dimensões principais: segurança operacional, confiabilidade da detecção, agilidade de resposta e redução da dependência do fator humano na etapa crítica de identificação.

6. SOLUÇÃO PROPOSTA PELA MOGAI

A Mogai propõe desenvolver, integrar e validar uma solução tecnológica composta por sensores LiDAR, recursos complementares de captura de imagens, unidade de processamento local, algoritmos de tratamento e interpretação de dados, mecanismos automatizados de detecção de rechego, registro de eventos e monitoramento da saúde dos componentes.

A arquitetura inicial será refinada ao longo do projeto por meio de levantamento técnico, ensaios, desenvolvimento incremental, calibração e validação em campo. O arranjo definitivo de equipamentos, parâmetros, algoritmos e integrações será definido com base nas evidências obtidas durante as etapas experimentais e nos critérios de desempenho acordados no Plano de Trabalho.

A existência de componentes e conhecimentos preexistentes da Mogai (Hammerhead LiDAR) reduz riscos básicos de engenharia, mas não elimina o caráter de desenvolvimento tecnológico do projeto. A inovação proposta está na adaptação, combinação e validação desses recursos para uma aplicação ferroviária específica, submetida a condições operacionais críticas e a requisitos de segurança, confiabilidade e resposta em tempo real.

A lógica de solução considera que o processamento principal não deve depender exclusivamente de infraestrutura remota. Por isso, a proposta da Mogai adota processamento em borda, com unidade instalada próxima aos sensores que compõem o Hammerhead LiDAR, responsável pela execução da lógica de detecção em tempo real, geração de alarmes e manutenção da capacidade local de registro e armazenamento dos eventos em caso de indisponibilidade de comunicação com a infraestrutura central. Essa abordagem aumenta a resiliência operacional da solução e está totalmente alinhada à especificação técnica.

De forma complementar, a solução prevê mecanismos de monitoramento do estado dos sensores, da unidade de processamento e da comunicação, permitindo sinalização de falhas ou operação degradada. Sempre que tecnicamente aplicável, a arquitetura poderá contemplar meios redundantes de comunicação para envio de alarmes críticos e informações mínimas necessárias à tomada de decisão operacional.

Do ponto de vista funcional, a solução da Mogai é estruturada para:

- capturar a geometria interna do vagão e os dados necessários à análise do rechego;
- identificar variações volumétricas compatíveis com o limiar operacional definido;
- associar o evento detectado às evidências visuais requeridas;
- emitir alarmes ao processo operacional em tempo compatível com a mobilização;

- manter rastreabilidade dos eventos e base histórica para análise e melhoria contínua;
- suportar evolução controlada dos modelos de detecção ao longo da operação.

6.1. Da medição volumétrica à estimativa de massa

A tecnologia Hammerhead 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 do vagão vazio (referência) 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.

É importante esclarecer que o Hammerhead LiDAR fornece uma medição volumétrica, e não uma medição direta de massa. A conversão do volume detectado em massa equivalente, necessária para o atendimento ao critério operacional de 2 toneladas estabelecido na especificação, é obtida pela aplicação da densidade aparente do minério ao volume calculado:

massa estimada = volume medido × densidade aparente do material

Dessa forma, a densidade aparente constitui um parâmetro de entrada da lógica de detecção. Seu valor será definido e parametrizado em conjunto com a MRS durante a fase de detalhamento executivo, considerando o tipo de minério transportado e a variabilidade decorrente de umidade, granulometria e grau de compactação do material residual. O sistema permitirá a parametrização e o ajuste desse valor ao longo da operação, e a calibração em campo será utilizada para verificar a aderência entre a massa estimada e a massa real observada.

Outra possível solução a ser discutida durante a Fase 01, é a possibilidade de a MRS decidir pela medição volumétrica e não mais pela massa.

Além disso, a Mogai possui serviços de medição de densidade, entretanto não compõe essa proposta e pode vir a ser discutido posteriormente.

6.2. Arquitetura técnica da solução

A arquitetura é organizada em quatro camadas integradas:

1. ***Camada de sensoriamento (campo):*** Hammerhead LiDAR posicionado(s) para captura da geometria interna do vagão em movimento e câmera/OCR para leitura do número do vagão;
2. ***Camada de processamento em borda:*** unidade de processamento local instalada próxima aos sensores (compõem o Hammerhead LiDAR), responsável por segmentação do vagão, estimativa volumétrica do rechego, decisão de detecção, geração de alarmes e retenção local de eventos em caso de indisponibilidade de comunicação;
3. ***Camada de comunicação:*** enlace principal com a rede da MRS e enlace redundante (ver 6.2), para envio de alarmes e evidências ao CCO;
4. ***Camada de aplicação/operação:*** dashboard operacional para o CCO, trilha de auditoria, relatórios e repositório de eventos e evidências (ver seção de dashboard e de dados).

O fluxo funcional é:

I. captura;

II. segmentação e estimativa volumétrica;

III. decisão vs. limiar de 2 t;

IV. associação com evidências e número do vagão;

V. geração de alarme;

VI. envio ao CCO / retenção local.

O arranjo definitivo será consolidado na Fase 1, conforme já previsto na proposta.

6.3. Disponibilidade, resiliência e SLA

A solução é projetada para disponibilidade ≥ 99,5%, conforme a especificação — equivalente a no máximo, aproximadamente, 43,8 horas de indisponibilidade por ano. Os mecanismos previstos são:

- ***Redundância de energia:*** unidade de alimentação ininterrupta (nobreak/UPS) dimensionada para sustentar sensoriamento, processamento e comunicação por período pactuado, com alarme de perda de rede elétrica;
- ***Redundância de comunicação:*** enlace principal com a infraestrutura da MRS e enlace secundário celular (4G/5G, dual-SIM sempre que viável), com failover automático para envio de alarmes críticos;
- ***Monitoramento de saúde (health monitoring):*** verificação contínua do estado de sensores, unidade de borda, energia e enlaces, com sinalização de falha ou operação degradada e monitoramento remoto dos ativos;
- ***Estratégia de recuperação de falhas:*** reinício automático assistido (watchdog), retenção local de eventos durante indisponibilidade e ressincronização com a central ao restabelecer o enlace.
- ***SLA:*** metas de disponibilidade, tempo de detecção de falha e tempo-alvo de restabelecimento serão formalizadas em anexo de SLA, a pactuar na fase de detalhamento.

Estas medidas incorporam as recomendações da MRS quanto a nobreak (UPS), comunicação redundante via 5G e monitoramento remoto da saúde dos ativos.

6.4. Dashboard operacional e gestão de eventos

A solução disponibilizará ao CCO um dashboard operacional como interface primária de valor para a equipe de monitoramento, contemplando:

- visualização de alarmes em tempo real;
- status dos ativos e monitoramento da saúde do sistema;
- trilha de auditoria das ações;
- identificação do número do vagão.

Fluxo de gestão dos eventos: cada detecção gera um alarme com evidências associadas (imagem, número do vagão e dados volumétricos). O operador do CCO recebe o alarme, registra a tratativa (reconhecimento, ação tomada, classificação e observações) e encerra a ocorrência. Todas as ações ficam registradas em trilha de auditoria, garantindo rastreabilidade completa.

6.5. Identificação e associação do vagão

A identificação do número do vagão será realizada por leitura óptica automática (OCR/visão computacional) sobre a numeração lateral, com pipeline em duas etapas (detecção da região do código + reconhecimento de caracteres) e validação por regras de formato. Leituras de baixa confiança são automaticamente rejeitadas e sinalizadas, evitando associação incorreta.

- ***Acurácia esperada:*** ≥ 98% de leitura correta do número do vagão em condições nominais (alvo — validar com engenharia Mogai), com rejeição automática das leituras abaixo do limiar de confiança;
- ***Associação evento–vagão:*** cada evento de rechego é vinculado ao vagão correspondente por correlação temporal/espacial entre a passagem, a leitura do número e a detecção volumétrica, consolidando um registro único (evento + número do vagão + evidências).

A operação noturna depende de avaliação local quanto à iluminação pré-existente que será avaliada durante a fase 01.

6.6. Estratégia de treinamento, dados sintéticos e evolução dos modelos

A Mogai reconhece que a criação deliberada de condições reais de rechego para teste envolve riscos operacionais e de segurança. Por isso, a estratégia de treinamento e validação minimiza a exposição operacional:

- ***Treinamento inicial:*** construído a partir de (i) dados geométricos reais coletados em operação normal (vagões vazios e com resíduo naturalmente ocorrente) e (ii) 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.
- ***Bases de dados:*** repositório versionado de nuvens de pontos e imagens rotuladas, segregando dados reais e sintéticos, com controle de proveniência.
- ***Dados sintéticos e randomização de domínio:*** geração de cenários variando massa, distribuição, geometria de vagão, ruído do sensor e condições ambientais (domain randomization), reduzindo o gap sim-para-real.
- ***Cenários de rechego sem exposição operacional:*** uso de rechego controlado pontual apenas para calibração/validação-chave, complementado por injeção sintética de volumes na nuvem de pontos e por casos históricos, evitando a criação sistemática de condições de risco em campo.
- ***Evolução contínua dos modelos:*** ciclo de reavaliação periódica com dados de operação, retreinamento controlado, versionamento e possibilidade de rollback, conforme já previsto na proposta (governança de modelos).

6.7. Robustez ambiental e operação degradada

O ambiente da passarela de Docas apresenta poeira, chuva, vibração e variação de luminosidade. A solução prevê:

Mitigação e monitoramento:

- sensores com grau de proteção adequado ao ambiente (ver seção de segurança física), com wavelength/óptica selecionados para robustez a poeira e umidade;
- filtragem de ruído da nuvem de pontos (remoção de retornos espúrios de partículas em suspensão e

gotas) por processamento dedicado;

- monitoramento de degradação da leitura e detecção de obstrução/sujidade das lentes por análise da qualidade do sinal (densidade e intensidade de pontos);
- validação da qualidade das leituras antes de cada decisão de detecção.

Alarmes de qualidade/ambiente ao CCO (o sistema gerará alarme quando):

- os sensores estiverem excessivamente sujos;
- houver perda de qualidade da leitura;
- a medição estiver comprometida por chuva intensa ou condições ambientais severas;
- houver impossibilidade de realizar a detecção com segurança.

Protocolo de operação degradada: ao identificar condição que comprometa a confiabilidade, o sistema sinaliza estado degradado ao CCO, mantém o registro local dos eventos e, conforme critério pactuado, pode reverter a inspeção do trecho afetado ao procedimento de contingência acordado, até o restabelecimento das condições nominais.

6.8. Segurança física dos ativos

Considerando a exposição dos equipamentos ao ambiente externo e a criticidade operacional, a solução prevê:

- gabinetes/estruturas de proteção para sensores e unidade de borda, com grau de proteção IP66 ou superior e resistência a impacto IK10 (alvo — validar), adequados a ambiente ferroviário (faixa típica −40 °C a +70 °C) e, quando aplicável, aderentes a normas de segurança ferroviária (referência EN 50129);
- proteção contra impactos dos componentes ópticos;

Proteção física por gaiola/estrutura equivalente e mecanismos antivandalismo necessitam de avaliação prévia do local, não fazendo parte da composição do escopo dessa proposta.

6.9. Relatórios automáticos e indicadores

A solução gerará relatórios sob demanda, contendo no mínimo: desempenho do algoritmo (FN/FP), disponibilidade do sistema, quantidade de alarmes, eventos tratados e pendentes e saúde da solução. Os relatórios serão estruturados para permitir conclusões objetivas sobre:

- "Estamos atingindo o desempenho esperado?"
- "Estamos atendendo aos critérios estabelecidos na homologação?"
- "O algoritmo está melhorando ao longo do tempo?"

Para isso, os indicadores serão apresentados com séries históricas e comparação contra as metas de aceite, evidenciando tendência de evolução dos modelos.

7. DIRETRIZES DE ATENDIMENTO À ESPECIFICAÇÃO

A proposta da Mogai foi estruturada para atender às diretrizes centrais da especificação, em especial:

- detecção automática de rechegos com volume equivalente a, no mínimo, 2 toneladas em uma das extremidades do vagão;
- priorização da não ocorrência de falsos negativos para eventos iguais ou superiores a esse limiar;
- operação contínua e autônoma;
- geração de alarme com evidências do evento;
- processamento local em tempo real;
- armazenamento local de eventos em caso de indisponibilidade de link principal;
- monitoramento do estado do sistema;
- homologação em campo com operação assistida;
- processo de melhoria contínua, versionamento e rollback de modelos e software;
- conformidade com requisitos de segurança de dados e LGPD.

Além das diretrizes funcionais e operacionais, o projeto deverá observar as seguintes diretrizes de execução com RDT:

- aderência aos temas prioritários e às diretrizes estabelecidas pela ANTT;
- caracterização objetiva do desafio e das incertezas tecnológicas;
- separação entre componentes preexistentes e produtos desenvolvidos com recursos do projeto;
- definição de objetivos geral e específicos mensuráveis;
- estruturação das atividades em macroentregas e entregáveis verificáveis;
- vinculação das entregas ao cronograma físico-financeiro;
- manutenção de rastreabilidade entre atividades executadas, profissionais envolvidos, horas, custos, documentos e produtos gerados;
- controle formal de versões, decisões, riscos e alterações do projeto;
- geração e preservação de evidências de desenvolvimento, testes, calibração e validação;
- apoio técnico à elaboração dos relatórios de acompanhamento e da prestação de contas conduzida pela MRS.

8. ESCOPO DOS SERVIÇOS

A Mogai propõe a execução dos serviços necessários para implantação de uma solução de detecção automática de rechego em vagões de minério vazios, com utilização de tecnologia Hammerhead LiDAR, captura de evidências visuais, processamento local em tempo real e integração operacional para emissão de alarmes à Central de Monitoramento/CCO. A estrutura proposta foi concebida para atender ao objetivo de eliminar a inspeção visual em campo como mecanismo primário de detecção, mantendo níveis de desempenho compatíveis com a criticidade da operação ferroviária.

O escopo contempla o detalhamento técnico da solução, incluindo definição do arranjo de sensoriamento, posicionamento dos equipamentos, arquitetura de processamento local, fluxo de geração de alarmes, lógica de armazenamento de eventos e critérios de integração operacional. Também faz parte do escopo a preparação da

solução para operação contínua e autônoma em ambiente ferroviário, considerando as características da passarela de Docas, o fluxo operacional do local e os critérios mínimos estabelecidos na especificação.

Estão contemplados, ainda, os serviços de instalação, parametrização, configuração, testes iniciais, validação funcional, operação assistida e acompanhamento da homologação em campo. Essa etapa será conduzida com foco em aderência aos critérios de desempenho definidos para a solução, em especial a detecção de rechegos equivalentes a, no mínimo, 2 toneladas em uma das extremidades do vagão, priorizando a não ocorrência de falsos negativos em eventos iguais ou superiores a esse limiar.

De forma complementar, a Mogai também considera no escopo o suporte à estruturação do processo de coleta, armazenamento e análise de dados operacionais relacionados aos eventos de rechego, de forma a viabilizar reavaliação periódica do desempenho, melhoria contínua dos modelos de detecção, controle de versões e aplicação segura de atualizações.

8.1. Atividades contempladas no escopo

- levantamento técnico para detalhamento executivo da implantação;
- definição e especificação do arranjo de sensoriamento e captura de imagens;
- implantação da arquitetura de processamento local;
- configuração da lógica de detecção automática de rechego;
- parametrização de alarmes, eventos e evidências operacionais;
- instalação e configuração dos componentes da solução;
- testes funcionais e testes de validação em campo;
- operação assistida durante a etapa de homologação;
- apoio à aferição dos indicadores de desempenho da solução;
- documentação técnica da solução implantada, inclusive da integração de dados;
- suporte inicial à estabilização da solução em produção;
- desenvolvimento e execução de experimentos técnicos;
- registro das hipóteses, parâmetros, resultados e conclusões dos testes;
- elaboração de relatórios de desenvolvimento, integração, calibração e validação;
- registro da evolução das versões de hardware, software e algoritmos;
- preparação de documentação de transferência de conhecimento;
- manutenção de evidências técnicas e financeiras associadas às entregas.

8.2. Estruturação e documentação RDT

A Mogai apoiará a MRS na preparação do conteúdo técnico necessário à estruturação do projeto como iniciativa de Recursos para Desenvolvimento Tecnológico — RDT.

Estão contempladas as seguintes atividades:

- apoio à elaboração do conteúdo técnico do Plano de Trabalho nos modelos vigentes disponibilizados

pela ANTT;

- descrição do problema, do contexto, do estado atual e do desafio tecnológico;
- identificação das incertezas técnicas e das hipóteses a serem validadas;
- definição da linha de inovação e dos temas prioritários associados ao projeto;
- definição dos objetivos geral e específicos;
- identificação da maturidade tecnológica inicial e pretendida;
- estruturação das macroentregas, entregáveis, atividades e critérios de conclusão;
- elaboração da matriz de indicadores técnicos e de desempenho;
- preparação do plano de testes e validação em ambiente operacional relevante;
- elaboração da matriz de riscos técnicos, operacionais, regulatórios e de execução;
- apoio à construção do cronograma físico-financeiro;
- elaboração da memória técnica de estimativas de esforço, perfis e horas;
- preparação dos registros de qualificação e experiência da equipe técnica;
- manutenção de repositório versionado de documentos e evidências;
- emissão de relatórios técnicos periódicos;
- suporte técnico à MRS na preparação do RADT e no atendimento a solicitações de esclarecimentos relacionadas às entregas executadas pela Mogai.

O protocolo, a comunicação formal, a assinatura das declarações, o relacionamento institucional e a prestação de contas perante a ANTT permanecerão sob responsabilidade da MRS.

9. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO E HOMOLOGAÇÃO

A Mogai adotará uma metodologia estruturada, orientada por fases, com o objetivo de reduzir riscos de implantação, garantir rastreabilidade das decisões técnicas e conduzir a entrada em operação de forma segura e progressiva. Essa abordagem está alinhada à própria especificação, que exige testes em campo, medição de desempenho, melhoria contínua e período de homologação entre 3 e 6 meses com operação assistida em conjunto com o fator humano.

9.1. Fase 0 — Estruturação do projeto RDT

Antes do início da execução técnico-financeira, será realizada uma etapa de estruturação do projeto RDT, contemplando:

- confirmação do enquadramento e dos temas prioritários pela MRS;
- validação do título, objeto, objetivos e resultados pretendidos;
- definição das empresas, entidades e equipes participantes;
- consolidação das macroentregas e dos entregáveis;
- elaboração do cronograma físico-financeiro;

- definição das categorias de custo e das formas de comprovação;
- preparação da matriz de responsabilidades;
- identificação da propriedade intelectual preexistente;
- definição das regras de tratamento dos produtos desenvolvidos, dados, documentos e informações;
- preparação da documentação técnica necessária à comunicação do projeto à ANTT.

A data de início da execução deverá observar a comunicação formal realizada pela MRS à ANTT com a antecedência regulamentar aplicável. Somente serão considerados como pertencentes ao projeto os serviços, aquisições e gastos realizados dentro do período formalmente definido.

Solicitações de alteração que impactem objeto, entregáveis, cronograma ou orçamento deverão ser formalmente avaliadas quanto aos impactos técnicos, financeiros e regulatórios antes de sua execução.

9.2. Fase 1 – Levantamento e detalhamento executivo

Nesta etapa será realizado o refinamento das informações de campo e o detalhamento executivo da solução, abrangendo posicionamento dos sensores, preparação do Hammerhead LiDAR, definição da infraestrutura local de processamento, avaliação dos pontos de energia e conectividade, além da consolidação dos requisitos operacionais para alarme, registro e rastreabilidade dos eventos. Também serão considerados os requisitos normativos e operacionais aplicáveis ao ambiente da MRS, inclusive no que se refere a lançamento de cabos, segurança, calibração e qualificação dos recursos utilizados.

9.3. Fase 2 – Implantação e configuração da solução

Após a etapa de detalhamento, será realizada a implantação física e lógica da solução, incluindo instalação dos sensores, componentes auxiliares, unidade de processamento local e mecanismos de comunicação. Nessa fase serão executadas as configurações iniciais da lógica de detecção, dos critérios de geração de alarmes, do armazenamento local de eventos e da estrutura de operação degradada em caso de indisponibilidade de comunicação com a infraestrutura central.

A Mogai contempla no escopo a instalação eletromecânica completa da solução — suportações mecânicas dos sensores e da unidade de borda, adequações eletromecânicas, cabeamento de sinal e energia a partir dos pontos disponibilizados e fixação dos gabinetes. Obras civis estruturais (fundações, novas plataformas, postes de grande porte, novas linhas de alimentação elétrica além da existente) permanecem sob responsabilidade da contratante, salvo inclusão expressa em versão revisada da proposta comercial.

9.4. Fase 3 – Testes funcionais e calibração inicial

Concluída a implantação, serão realizados testes funcionais e ajustes de calibração, com foco em verificar o correto funcionamento do sensoriamento, do processamento em tempo real, da emissão de alarmes e da captura de evidências associadas ao vagão. Esta etapa tem como objetivo preparar a solução para os testes em campo e garantir que o sistema esteja apto a operar de forma contínua, autônoma e aderente ao fluxo operacional.

9.5. Fase 4 – Operação assistida e homologação

A homologação será conduzida em ambiente real de operação, com acompanhamento assistido e comparação controlada com a prática atual, conforme previsto na especificação. Nessa etapa, o desempenho da

solução será avaliado com base em testes com vagões sem rechego e com rechego controlado, observando-se falsos positivos, falsos negativos, tempo de resposta e aderência aos critérios de sucesso do projeto. O período de homologação deverá ocorrer entre 3 e 6 meses, com geração de evidências suficientes para validação técnica e operacional da solução.

9.6. Fase 5 – Estabilização e transição para operação

Após a homologação, a Mogai apoiará a consolidação da solução em produção, promovendo os ajustes finais necessários, a formalização da documentação técnica e a transferência estruturada de conhecimento para as equipes responsáveis pela operação e acompanhamento da solução. Também será consolidada a base de governança para evolução controlada do software e dos modelos de detecção, com versionamento e possibilidade de rollback, conforme requerido pela especificação.

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, evitando a dependência tecnológica e respeitando o sigilo dos itens considerados “ativos preexistentes”, conforme especificado neste documento e nos anexos fornecidos.

10. PREMISSAS E RESPONSABILIDADES

Para a adequada execução dos serviços e cumprimento dos objetivos da proposta, considera-se como premissa a disponibilização, pela contratante, das condições mínimas de acesso ao local de implantação, liberação operacional para realização das atividades, modelos de vagões adotados com as respectivas numerações, informações complementares necessárias ao detalhamento executivo e apoio das equipes envolvidas na operação local. A especificação já informa que a passarela de Docas possui ponto de energia e internet, o que constitui base importante para a arquitetura da solução proposta. Para o caso de novas obras civis ou de infraestrutura identificadas após a elaboração desta, será de responsabilidade da contratante o serviço.

Também se considera como premissa que os critérios formais de homologação, o período de retenção local dos eventos, os fluxos de comunicação com a Central de Monitoramento/CCO e os parâmetros finais de operação degradada sejam confirmados e pactuados durante a fase de detalhamento executivo, respeitando as diretrizes da especificação e os requisitos contratuais.

Adicionalmente, considera-se que a contratante disponibilizará os acessos, permissões, janelas operacionais e interlocutores necessários para realização das atividades de instalação, testes, operação assistida e homologação. Também será importante o apoio da contratante no acompanhamento dos testes em campo e na validação dos critérios de aceite operacional da solução.

Considera-se ainda como premissa que a densidade aparente do minério a ser adotada na conversão entre volume medido e massa estimada será informada e/ou validada pela contratante, uma vez que constitui parâmetro de entrada da lógica de detecção do limiar de 2 toneladas. Eventuais variações significativas de densidade decorrentes de mudança de produto, umidade ou granulometria poderão exigir reparametrização da solução.

10.1. Responsabilidades da Mogai

Compete à Mogai:

- detalhar, implantar, configurar e validar tecnicamente a solução proposta;
- executar a parametrização da lógica de detecção e da estrutura de alarmes;

- apoiar tecnicamente a homologação em campo;
- documentar a solução implantada;
- orientar a operação inicial e apoiar a estabilização da solução;
- conduzir a evolução controlada da solução durante a fase assistida, quando aplicável;
- indicar um responsável pela governança técnica e documental do projeto RDT;
- disponibilizar informações sobre sua experiência em desenvolvimento tecnológico e no setor ferroviário;
- apresentar a qualificação dos profissionais alocados;
- elaborar e manter atualizados os documentos técnicos sob sua responsabilidade;
- manter rastreabilidade entre horas, atividades, entregáveis e evidências;
- registrar formalmente reuniões, decisões técnicas, riscos, desvios e alterações;
- fornecer à MRS relatórios e evidências necessários à elaboração do RADT;
- comunicar tempestivamente situações que possam impactar entregáveis, prazo ou orçamento;
- preservar os documentos e registros do projeto pelo período definido contratualmente;
- apoiar tecnicamente eventuais esclarecimentos solicitados pela MRS ou pela ANTT relacionados às suas entregas.

10.2. Responsabilidades da Contratante

Compete à contratante:

- disponibilizar acessos e condições para execução dos serviços em campo;
- viabilizar energia, conectividade e interface com a infraestrutura local já existente;
- apoiar a definição dos fluxos operacionais de tratamento do alarme;
- disponibilizar interlocução com as áreas operacionais e técnicas envolvidas;
- participar do processo de homologação e aceite da solução;
- confirmar formalmente o enquadramento do projeto para utilização de RDT;
- definir os temas prioritários, o exercício anual e os recursos destinados ao projeto;
- validar a estrutura contratual e a participação das entidades envolvidas;
- conduzir a comunicação e o relacionamento formal com a ANTT;
- observar o prazo regulamentar para comunicação do início e das alterações do projeto;
- aprovar o Plano de Trabalho, o cronograma físico-financeiro e suas revisões;
- disponibilizar os modelos, procedimentos e orientações internas vigentes;
- definir a classificação dos gastos e a documentação financeira necessária;
- elaborar, assinar e encaminhar as declarações e os relatórios regulatórios;

- consolidar e apresentar o RADT;
- validar as condições de divulgação, confidencialidade, segurança da informação e proteção de dados;
- comunicar à Mogai solicitações ou determinações da ANTT que impactem as atividades contratadas.

11. DIFERENCIAIS DA MOGAI

A Mogai apresenta como diferencial o domínio de soluções tecnológicas aplicadas a ambientes operacionais críticos, com especial capacidade de integração entre sensoriamento, processamento local, inteligência computacional e suporte à tomada de decisão. No contexto desta proposta, isso se traduz na capacidade de entregar uma solução aderente não apenas à tecnologia Hammerhead LiDAR, mas à realidade operacional ferroviária em que a detecção precisa ocorrer com confiabilidade, rastreabilidade e tempo de resposta compatível com a mobilização da operação.

Outro diferencial importante é o fato de a Mogai possuir ativos tecnológicos, conhecimento e experiências preexistentes que podem ser utilizados como ponto de partida para o desenvolvimento proposto.

Esses ativos reduzem riscos elementares de engenharia, mas não eliminam as incertezas tecnológicas relacionadas à adaptação da solução ao ambiente da MRS. O projeto continuará envolvendo investigação, desenvolvimento incremental, calibração, integração, experimentação e validação em condições ferroviárias reais.

A Mogai também possui experiência na conexão entre necessidades operacionais e soluções tecnológicas, fator relevante para garantir que o desenvolvimento gere conhecimento aplicável, produtos documentados e resultados mensuráveis para o setor ferroviário.

A proposta da Mogai também se diferencia por privilegiar arquitetura com processamento local em borda, mecanismo essencial para garantir continuidade da detecção, geração de alarmes em tempo real e registro de eventos mesmo em situações de indisponibilidade do link principal. Essa aderência é especialmente relevante diante da exigência da especificação quanto à manutenção da operação local, ao armazenamento dos dados essenciais e ao uso de comunicação redundante sempre que tecnicamente viável.

Além disso, a Mogai adota abordagem de implantação baseada em engenharia aplicada, testes em campo, operação assistida, reavaliação periódica de desempenho e evolução controlada de software e modelos. Isso garante uma transição mais segura entre implantação e operação estável, ao mesmo tempo em que cria base para melhoria contínua da solução ao longo do tempo.

12. FORA DO ESCOPO

Para adequado entendimento dos limites desta proposta, não fazem parte do escopo, salvo quando explicitamente incluídos em versão revisada da proposta comercial ou técnica:

- obras civis, estruturais ou adaptações de infraestrutura não diretamente previstas para instalação da solução;
- fornecimento ou implantação de infraestrutura elétrica adicional além da existente;
- fornecimento ou contratação de links de dados externos permanentes, operadoras de telecomunicação ou planos de contingência de terceiros;
- integrações sistêmicas não previstas no escopo funcional desta proposta;
- desenvolvimento de sistemas corporativos adicionais além dos necessários ao funcionamento da

solução proposta;

- adequações amplas de rede, servidores centrais ou ambientes corporativos da contratante;
- operação assistida além do período contratualmente definido;
- manutenção corretiva, evolutiva ou suporte continuado após o período inicial previsto em contrato;
- fornecimento de equipes terceirizadas para atuação física no rechego identificado;
- calibrações, inspeções ou certificações de itens não fornecidos pela Mogai;
- custos relacionados a licenças, acessos, credenciamentos, liberações operacionais ou exigências específicas da contratante que não estejam expressamente previstas nesta proposta.

Também não estão incluídas, nesta etapa, eventuais customizações futuras decorrentes de mudanças de processo, ampliação para novos pontos de inspeção, novas linhas, novas tipologias de vagão ou novos critérios operacionais que extrapolem o cenário inicialmente considerado para a passarela de Docas.

Não estão contemplados, salvo inclusão expressa na proposta comercial:

- representação jurídica ou institucional da MRS perante a ANTT;
- protocolo ou assinatura de documentos regulatórios em nome da MRS;
- elaboração integral da prestação de contas financeira da concessionária;
- auditoria contábil ou regulatória independente;
- parecer jurídico formal sobre o enquadramento do projeto;
- alterações de objeto, entregáveis ou cronograma solicitadas após aprovação do Plano de Trabalho;
- adequações decorrentes de mudanças regulatórias posteriores à data-base da proposta;
- retrabalho originado por mudança de premissa ou de escopo não atribuível à Mogai;
- rodadas adicionais de esclarecimento além da quantidade definida na proposta comercial;
- produção de documentos financeiros ou comprovações que sejam de responsabilidade exclusiva da MRS ou de terceiros.

A proposta comercial deverá definir a quantidade de rodadas de revisão da documentação RDT incluídas no preço. Recomenda-se considerar, no mínimo, uma elaboração inicial e duas rodadas consolidadas de ajustes.

13. CRONOGRAMA MACRO DE IMPLANTAÇÃO

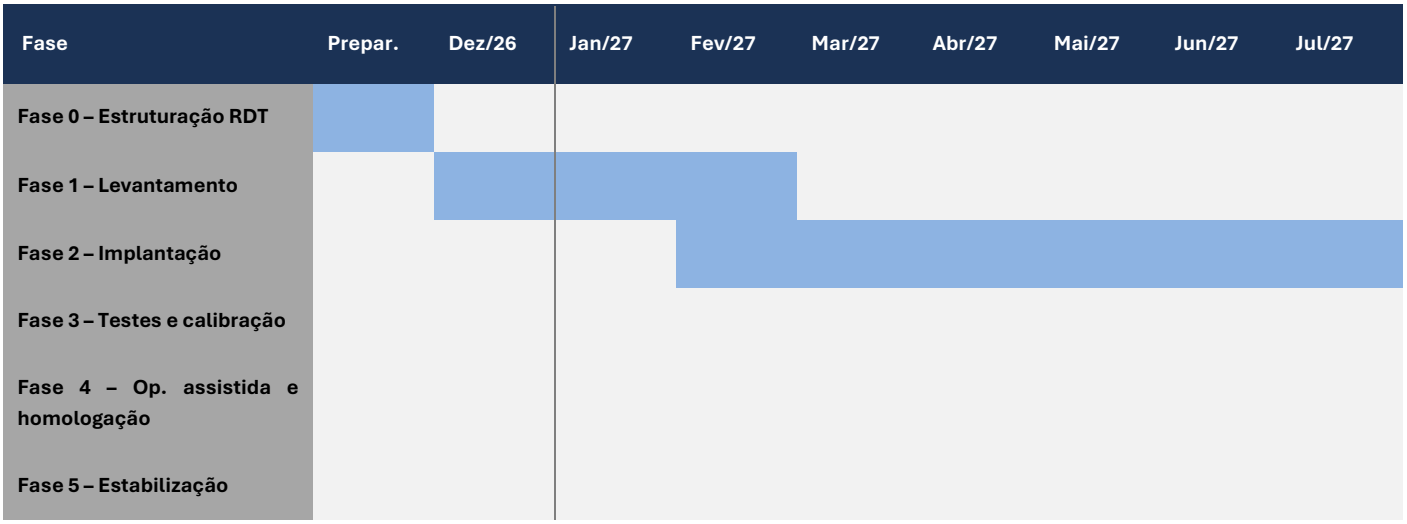
O cronograma técnico terá como marco inicial a data formal de início do projeto RDT, definida pela MRS após o cumprimento dos procedimentos regulatórios aplicáveis.

Antes do Mês 1 será considerada uma etapa preparatória de estruturação documental e comunicação do projeto, contemplando a elaboração e aprovação do Plano de Trabalho, dos anexos, do cronograma físico-financeiro e da matriz de responsabilidades.

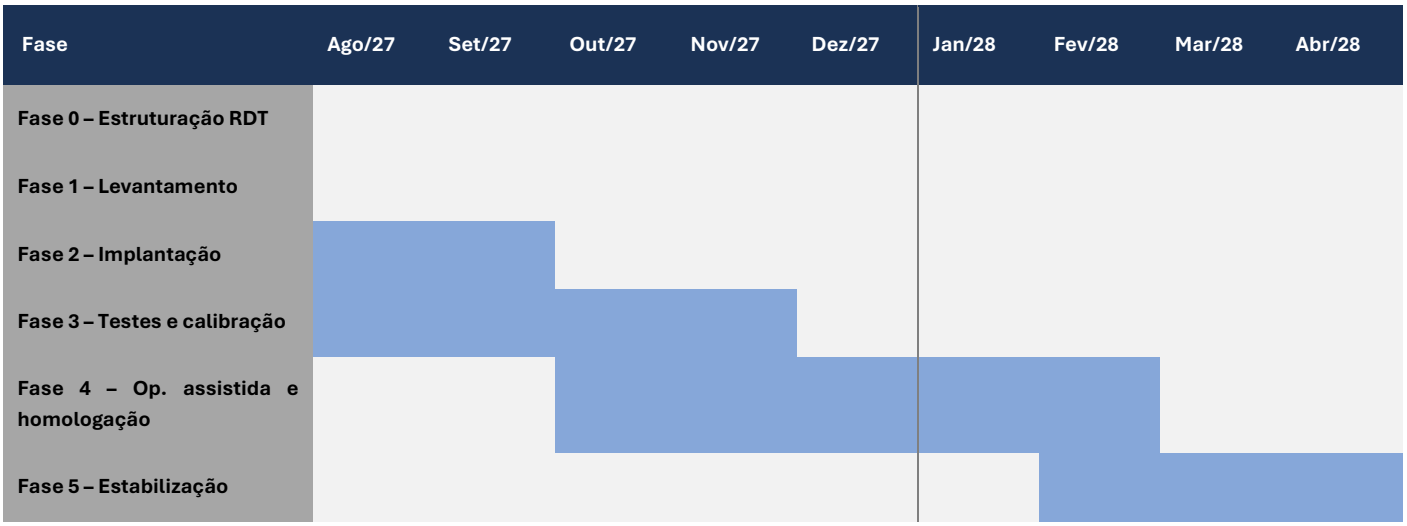
Os marcos técnicos deverão ser vinculados a produtos e critérios de aceite objetivos. As entregas que ultrapassarem o exercício anual da concessão deverão ser identificadas separadamente no cronograma físico-financeiro.

A implantação da solução será conduzida de forma faseada, com foco em segurança operacional, rastreabilidade técnica e redução de riscos durante a entrada em operação. Considerando a criticidade do ambiente ferroviário, a necessidade de calibração em campo e o período de homologação previsto na especificação, a Mogai propõe um cronograma macro estruturado em etapas sequenciais e complementares. O período de homologação deverá ocorrer entre 3 e 6 meses, com operação assistida e acompanhamento comparativo em relação ao processo atual.

Ano 05 (concessão ferroviária):



Ano 06 (concessão ferroviária):



As viagens técnicas previstas estão inicialmente definidas da seguinte forma:

- Jan/27;
- Mar/27;
- Jul/27;
- Out/27;
- Jan/28.

14. CONDIÇÕES GERAIS

A proposta da Mogai foi construída com base nas informações constantes da especificação técnica

disponibilizada, considerando o objetivo de implantação da tecnologia na passarela de Docas, em ambiente ferroviário operacional, com foco em detecção automática de rechego, emissão de alarmes e suporte à tomada de decisão pela Central de Monitoramento/CCO.

A solução será detalhada e parametrizada considerando as condições reais de campo, as limitações físicas dos sensores, as variáveis ambientais do local de instalação e os requisitos operacionais aplicáveis à rotina ferroviária. A Mogai entende que o desempenho da solução está diretamente associado não apenas à tecnologia adotada, mas também à correta implantação, calibração, validação em campo e integração com o fluxo operacional da contratante.

Sempre que aplicável, a solução observará os requisitos de segurança, saúde ocupacional, meio ambiente e segurança de dados previstos na especificação e nas diretrizes da contratante. Também serão observadas as exigências relativas à qualificação de equipe, aferição de equipamentos, controle de versões e tratamento adequado dos dados e imagens gerados no contexto da operação.

A garantia dos componentes e serviços fornecidos será tratada conforme condições contratuais específicas, em linha com o que está previsto na especificação técnica.

14.1. Governança de custos e evidências

Os custos do projeto deverão ser relacionados às atividades e aos entregáveis previstos no Plano de Trabalho.

A Mogai manterá, para os serviços sob sua responsabilidade:

- apontamentos de horas por profissional, período, atividade e entregável;
- documentos de aquisição e contratação relacionados ao projeto;
- registros de aceite das entregas;
- memória de cálculo das estimativas;
- registros de reuniões e decisões;
- controle de versões dos documentos e produtos;
- evidências de testes e validações;
- conciliação entre atividades realizadas e valores faturados.

A classificação final da elegibilidade dos gastos perante o RDT será de responsabilidade da MRS.

14.2. Propriedade intelectual, publicidade e dados

Os produtos, estudos, documentos e demais resultados especificamente desenvolvidos com os Recursos para Desenvolvimento Tecnológico serão tratados conforme a regulamentação da ANTT e as condições estabelecidas no Plano de Trabalho e no contrato.

Os conhecimentos, metodologias, bibliotecas, equipamentos, códigos, algoritmos, componentes, modelos, documentos e demais ativos comprovadamente preexistentes ao projeto permanecerão pertencentes aos seus respectivos titulares.

Antes do início do desenvolvimento será elaborado um inventário dos ativos preexistentes que possam ser utilizados. O contrato deverá definir as condições de utilização desses ativos na solução, preservando o cumprimento das obrigações aplicáveis aos resultados produzidos com RDT.

Considerando a possibilidade de divulgação pública dos produtos e estudos desenvolvidos, as partes deverão definir versões públicas dos documentos, observando a proteção de dados pessoais, a segurança operacional, a segurança cibernética, os segredos industriais legitimamente protegidos e as demais restrições legais aplicáveis.

14.3. Arquitetura, retenção e governança de dados

Localização e camadas de dados:

- ***Borda (local):*** buffer de eventos e evidências junto à unidade de processamento, garantindo autonomia durante indisponibilidade de comunicação.
- ***Central:*** consolidação dos eventos, evidências e indicadores em repositório definido em conjunto com a MRS. Fica definido que será utilizado armazenamento em nuvem/infraestrutura responsabilidade Mogai até a disponibilização de nuvem/infraestrutura MRS, com data a ser definida durante o detalhamento executivo (prazo até os testes da solução devido a necessidade de já estar na infraestrutura destino).

Dimensionamento local: a capacidade de armazenamento local, a autonomia sem comunicação, a estimativa de volume diário e a estratégia de descarte/arquivamento serão consolidadas na Fase 1, a partir do volume por evento (nuvem de pontos + imagens) e da taxa de eventos esperada. O sistema adotará política de ring-buffer (sobrescrita dos dados mais antigos após sincronização), preservando eventos ainda não transmitidos.

15. CRITÉRIOS DE ACEITE E HOMOLOGAÇÃO

O aceite dos entregáveis será realizado em duas dimensões:

- *Aceite técnico e operacional:* verificação do atendimento aos requisitos, indicadores, resultados e critérios estabelecidos para cada macroentrega.
- *Aceite documental:* verificação da presença dos relatórios, registros, evidências, memória de custos e demais documentos previstos no Plano de Trabalho.

O aceite técnico e documental emitido pela MRS caracterizará o cumprimento da entrega contratual pela Mogai, sem prejuízo da avaliação regulatória posteriormente realizada pela ANTT.

Eventuais não conformidades decorrentes de falha comprovadamente atribuível à Mogai serão corrigidas sem custo adicional, dentro do escopo aprovado. Solicitações decorrentes de alteração de objeto, nova interpretação regulatória, mudança de premissas ou inclusão de documentos e atividades não previstos serão submetidas ao processo formal de gestão de mudanças e poderão gerar revisão de prazo, esforço e preço.

O aceite da solução deverá ocorrer de forma progressiva, com base na conclusão das etapas de implantação, testes, operação assistida e homologação em campo. A homologação será orientada por critérios objetivos, alinhados à especificação técnica, e deverá considerar o desempenho real da solução nas condições operacionais do ambiente de instalação.

Para fins de validação, serão observados, entre outros, os seguintes parâmetros:

- capacidade de identificação automática de variações de volume equivalentes a, no mínimo, 2 toneladas em uma das extremidades do vagão;
- desempenho medido em campo com vagões sem rechego e com rechego controlado;
- taxa de falsos negativos compatível com os critérios definidos na especificação;

- taxa de falsos positivos dentro da faixa acordada operacionalmente;
- geração tempestiva de alarmes e evidências;
- funcionamento da arquitetura de processamento local;
- capacidade de operação contínua e autônoma;
- registro e armazenamento local dos eventos em situações de indisponibilidade de comunicação;
- monitoramento do estado da solução e sinalização de falhas ou degradação operacional.

O processo de homologação será conduzido com acompanhamento conjunto entre as partes, permitindo ajustes controlados de parametrização e consolidação progressiva da solução até o atingimento das condições de aceite estabelecidas.

15.1 Indicadores, metas e metodologia de medição

Visto que as definições de metas e taxas ocorrerão durante a Fase 01 do projeto, **a Mogai sugere** adotar indicadores objetivos, medidos em campo, para comprovar a aderência aos critérios da especificação. A priorização da não ocorrência de falsos negativos para eventos iguais ou superiores a 2 toneladas será tratada por meio de:

(i) limiar de detecção calibrado com margem de segurança abaixo do limiar operacional de 2 t;

(ii) política de decisão assimétrica, na qual o custo de um falso negativo é ponderado acima do custo de um falso positivo;

(iii) e verificação cruzada entre a análise volumétrica do LiDAR e as evidências de imagem.

Os indicadores serão apurados da seguinte forma:

- **Taxa de falsos negativos (FN):** 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 (FP):** razão entre alarmes emitidos sem rechego real e o total de vagões sem rechego inspecionados.
- **Disponibilidade:** 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 no CCO.
- **Acurácia de identificação do vagão:** razão entre vagões corretamente identificados e o total de vagões válidos.

Metas propostas:

INDICADOR	META PROPOSTA	OBSERVAÇÃO
Falsos negativos (eventos ≥ 2 t)	0 no conjunto de homologação; FN ≤ 1% com 95% de confiança	Dimensionamento estatístico em 15.2
Falsos positivos	≤ 5% (faixa a pactuar)	Ajustável na operação assistida
Disponibilidade	≥ 99,5%	Conforme especificação
Tempo de resposta do alarme	≤ 30 s (a confirmar com a janela de desvio)	Compatível com a mobilização
Acurácia de identificação do vagão	≥ 98% de leitura correta, com rejeição automática de leituras de baixa confiança	Ver Seção de identificação de vagões

Os mesmos indicadores serão acompanhados nas duas fases: durante a homologação, como critério de aprovação; e durante a operação assistida, como monitoramento contínuo de manutenção de desempenho.

15.2 Plano de validação estatística

A validação de desempenho seguirá plano amostral com rastreabilidade estatística, contemplando:

- **Tamanho mínimo de amostra:** dimensionado por critério de confiança/confiabilidade compatível com a criticidade do evento. Para demonstrar taxa de falsos negativos ≤ 1% com 95% de confiança sem falha observada, aplica-se a aproximação de limite superior (regra de três: limite ≈ 3/n), o que implica um conjunto da ordem de 300 eventos controlados ≥ 2 t sem falso negativo. A meta e o tamanho de amostra finais serão pactuados com a MRS em função da criticidade e da viabilidade operacional de geração de eventos controlados.
- **Metodologia estatística:** estimativa por intervalos de confiança (binomial) para FN e FP; uso de planos de amostragem por atributos (referência ANSI/ASQ Z1.4) ou por variáveis/intervalos de tolerância (referência ANSI/ASQ Z1.9) para os critérios de aceite, conforme a natureza do indicador.
- **Critérios de aprovação:** limites definidos por indicador (tabela 15.1), verificados sobre a amostra de homologação.
- **Indicadores reportados:** FN, FP, disponibilidade, tempo de resposta e acurácia de identificação, com respectivos intervalos de confiança.

A geração de eventos ≥ 2 t para teste observará a estratégia de treinamento e validação descrita na Seção de Calibração e Inteligência Artificial, priorizando cenários controlados e dados sintéticos para reduzir a exposição operacional.

16. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta da Mogai foi concebida para atender a um desafio operacional crítico da ferrovia por meio de uma solução tecnológica robusta, aderente ao ambiente real de operação e orientada à segurança operacional. Mais do que automatizar uma atividade atualmente dependente de inspeção visual, a solução proposta busca elevar o nível de confiabilidade do processo, ampliar a rastreabilidade dos eventos e oferecer à operação uma base mais rápida,

objetiva e segura para tomada de decisão.

Ao combinar tecnologia Hammerhead LiDAR, captura de evidências, processamento local em tempo real, monitoramento da saúde da solução e metodologia estruturada de homologação, a Mogai se posiciona para entregar uma solução aplicável, escalável e alinhada à criticidade do processo ferroviário em questão. A aderência da arquitetura proposta aos requisitos de continuidade operacional, operação degradada, versionamento e melhoria contínua reforça a maturidade técnica da abordagem.

A Mogai permanece à disposição para aprofundar os aspectos técnicos e operacionais desta proposta, bem como para realizar os refinamentos necessários à consolidação da solução em aderência às premissas contratuais e às necessidades específicas da contratante.

A Mogai reconhece que a utilização de Recursos para Desenvolvimento Tecnológico exige, além do alcance dos resultados técnicos, disciplina de governança, rastreabilidade, documentação e comprovação das atividades e gastos.

A proposta foi estruturada para apoiar a MRS no desenvolvimento de uma solução inovadora, validada em ambiente ferroviário relevante e acompanhada dos registros necessários para demonstrar a evolução tecnológica, os produtos gerados, os resultados alcançados e a adequada aplicação dos recursos.

O enquadramento regulatório definitivo, o conteúdo do Plano de Trabalho e as condições de utilização dos RDT deverão ser validados pela MRS antes do início da execução.

Vitória, 23 de julho de 2026.

Franco Machado

Mogai Tecnologia de Informação S.A