

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**SISTEMA DE ALERTAS METEOROLÓGICOS COM *NOWCASTING* PARA
SEGURANÇA OPERACIONAL NAS FERROVIAS**

**TEMA PRIORITÁRIO: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS E
TECNOLOGIAS PARA MELHORIA DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA**

VALE S.A. – ESTRADA DE FERRO VITÓRIA A MINAS

27/03/2026

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.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo Geral.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
2. JUSTIFICATIVA	4
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	7
3.1. Métodos e técnicas utilizadas	7
3.2. Etapas	11
4. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL	21
5. LOCAL DE EXECUÇÃO.....	22
6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA.....	22
6.1. Identificação de entidade.....	22
6.2. Identificação da equipe executora.....	22
7. PRODUTOS	23
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	24
9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO.....	24

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Sistema de alertas meteorológicos com *nowcasting* para segurança operacional nas ferrovias.

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

Em consonância com a Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, este projeto se enquadra prioritariamente nas diretrizes e objetivos previstos nos artigos 3º e 4º, conforme descrito a seguir.

Nos termos do artigo 3º, o projeto alinha-se à diretriz ***“II – Melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, inclusive relacionada aos atributos de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas”***, uma vez que permitirá o aumento significativo da segurança operacional através do monitoramento meteorológico de alta precisão das ferrovias, com a antecipação de eventos severos que podem comprometer a infraestrutura e operação ferroviária.

Adicionalmente, em conformidade com o artigo 4º, o projeto enquadra-se no objetivo de inovação por meio do desenvolvimento de ***“III - Soluções Técnicas para Problemas Específicos”*** relacionados ao monitoramento e previsão meteorológica de alta precisão para ferrovias.

1.1.2. Temas

O presente projeto está alinhado prioritariamente ao tema da Deliberação ANTT nº 28/2026 ***“10. Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária”***, ao propor o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à segurança operacional e à melhoria da gestão da operação ferroviária.

O projeto também se relaciona ao tema ***“4. Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária, com foco principal em passagens de nível e locais críticos”***, visto que contribui para a mitigação de riscos operacionais associados a condições adversas que afetam a infraestrutura e a circulação ferroviária.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O projeto possui como principal objetivo o desenvolvimento e implementação de um sistema automatizado de alertas meteorológicos aplicável ao contexto ferroviário, tendo a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) como aplicação inicial. O sistema é baseado em dados de radar meteorológico e técnicas de *nowcasting*, voltado à antecipação de eventos meteorológicos extremos por trecho ferroviário, com vistas ao aumento da segurança operacional e à redução de riscos à infraestrutura e à operação ferroviária.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver sistema de *nowcasting* dos campos de precipitação com horizonte de até 2 horas, utilizando arquiteturas de inteligência artificial adequadas às características da região;

- Implementar módulo de cálculo de acumulados de precipitação por trecho em janelas temporais compatíveis com as curvas ED (*Empirical Duration*), integrando estimativas em tempo real e projeções de *nowcasting*;
- Desenvolver sistema automatizado de alertas meteorológicos com critérios diferenciados por intensidade instantânea e por curvas ED, com níveis progressivos de severidade por trecho;
- Implementar mecanismos de disseminação automatizada de alertas por múltiplos canais de comunicação, como e-mail, SMS e WhatsApp, segmentados por trecho ferroviário e perfil de destinatário;
- Desenvolver interface WebGIS para a visualização em tempo real dos campos de precipitação, status dos trechos, limiares atingidos e histórico de alertas emitidos.

2. JUSTIFICATIVA

Relevância do tema

Embora o projeto seja desenvolvido na Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) como aplicação inicial e ambiente de validação operacional, sua relevância e metodologia extrapolam este corredor e se aplicam ao conjunto das ferrovias do território nacional.

A Estrada de Ferro Vitória a Minas constitui uma infraestrutura importante para a economia brasileira, sendo responsável pelo escoamento da produção mineral ao Porto de Tubarão, além de ser importante via para o transporte de passageiros. O percurso interliga a Região Metropolitana de Vitória, no Espírito Santo, a Belo Horizonte, em Minas Gerais. Os traçados atravessam regiões com características meteorológicas peculiares, onde sistemas atmosféricos transientes e convectivos podem ocasionar eventos de chuva prolongada e/ou intensa, capazes de desencadear movimentos de massa, alagamentos e instabilidades de talude com impacto direto nas operações ferroviárias.

Eventos meteorológicos extremos representam uma das principais causas de interrupções e acidentes na operação ferroviária em todo o mundo. Diante dos cenários de mudança do clima e das projeções de aumento da frequência de eventos extremos (IPCC, 2023), cresce a importância de sistemas de monitoramento e alerta desenvolvidos sob medida para a realidade das ferrovias brasileiras, para que tomadas de decisão sejam baseadas em dados mais precisos, possibilitando uma postura proativa em vez de reativa na gestão de riscos e evitando aplicação de restrições desnecessárias em trechos não afetados.

O projeto proposto representa inovação significativa ao implementar o primeiro sistema integrado de alertas meteorológicos baseado em curvas ED e *nowcasting* desenvolvido especificamente para uma ferrovia brasileira, combinando dados de radar de alta resolução com algoritmos de inteligência artificial aplicados às características topográficas e climáticas específicas da região.

Enquadramento na Resolução nº 6.021 de 2023

O presente projeto de pesquisa e desenvolvimento atende às diretrizes da Resolução nº 6.021, de 2023, conforme detalhado no item 1.1.1. A proposta promove a melhoria da qualidade dos serviços ferroviários através do aumento da segurança operacional em ferrovias e desenvolve soluções técnicas para problemas específicos da operação ferroviária relacionados a condições meteorológicas adversas.

As inovações propostas pelo projeto consistem no desenvolvimento de um sistema de alertas meteorológicos concebido especificamente para a operação ferroviária, integrando técnicas de nowcasting de precipitação, curvas empíricas de limiar de chuva acumulada (curvas ED) e algoritmos de inteligência artificial calibrados às condições locais. Destaca-se ainda a segmentação dos alertas por trecho ferroviário e integração em ambiente WebGIS, ampliando a capacidade de suporte à tomada de decisão operacional.

O projeto respeita o prazo máximo de vigência estabelecido no inciso III do artigo 7º da Resolução nº 6.021, de 2023, sendo executado em 48 meses.

O projeto foi elaborado em consonância com o disposto no inciso I, do artigo 8º, da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, não se destinando ao cumprimento das obrigações contratuais regulares atribuídas à concessionária. O objetivo primordial reside no desenvolvimento e implementação de soluções tecnológicas e inovadoras, direcionadas para atender às demandas do setor ferroviário.

Benefícios esperados

- **Para as concessionárias:** o projeto proporcionará a melhoria do serviço prestado e aumento da segurança nas operações ferroviárias. Permitirá uma melhor programação de manutenções em ferrovias, uma vez que as atividades realizadas a céu aberto, como manutenções de trilhos e taludes, por exemplo, serão executadas em condições atmosféricas favoráveis, isto é, sem a ocorrência de chuvas e sem a probabilidade de chuva iminente. Haverá aumento da eficiência pela aplicação de medidas restritivas apenas onde e quando necessário, gestão de risco aprimorada com previsão de eventos meteorológicos antecipada, proteção de ativos reduzindo danos a locomotivas, vagões e infraestrutura, além de melhoria da regularidade com menor número de interrupções não programadas.
- **Para a União:** O sistema representa segurança de infraestrutura crítica protegendo corredores logísticos estratégicos responsáveis por significativa parcela das exportações brasileiras.

O projeto também está alinhado ao **Plano Setorial de Transportes do Plano Clima Adaptação**, onde consta como um dos objetivos: “*Adaptação dos sistemas de transportes à mudança do clima*”, e as metas de adaptação para Infraestrutura Ferroviária: “**M32. Firmar até 2027, pelo menos uma parceria com instituição que opere sistemas de monitoramento/alertas para eventos climáticos**” e “**M29. Promover, até 2027, o uso de tecnologias de adaptação climática para modernizar a operação ferroviária, com a integração de soluções desenvolvidas por meio de Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT)**”.

Nesse contexto, o projeto contribui diretamente para o eixo de adaptação climática do setor de transportes, conforme estabelecido no Plano Setorial de Transportes do Plano Clima Adaptação. Ao desenvolver um sistema preditivo de monitoramento e alerta para eventos meteorológicos extremos, o projeto amplia a capacidade adaptativa da infraestrutura ferroviária frente aos impactos da

mudança do clima, reduzindo vulnerabilidades operacionais, aumentando a resiliência dos corredores logísticos e fortalecendo a gestão preventiva de riscos climáticos no setor de transportes.

- **Para o setor ferroviário:** O projeto estabelecerá metodologia transferível para outras ferrovias. A disponibilização do código-fonte sob licença de código aberto garantirá que a tecnologia desenvolvida possa ser replicada e aprimorada por outras ferrovias, gerando capital tecnológico público a partir do investimento realizado. A metodologia de integração entre dados de radar, curvas de limiar empíricas e *nowcasting* por inteligência artificial é agnóstica ao corredor ferroviário e pode ser calibrada para as particularidades climáticas e morfológicas de qualquer trecho, ampliando significativamente o impacto do projeto além da EFVM.
- **Para as comunidades locais:** Haverá benefícios através do fornecimento de dados meteorológicos brutos para a defesa civil dos municípios em condição vulnerável ao longo da ferrovia, ampliando sua capacidade de resposta preventiva. Importa destacar que o sistema não gerará alertas direcionados à população ou às comunidades locais; os alertas operacionais serão destinados exclusivamente à equipe de operação e segurança da ferrovia. A disponibilização de dados brutos de radar poderá subsidiar, de forma complementar, os sistemas de alerta das defesas civis municipais, que mantêm suas próprias cadeias de disseminação à comunidade. Há, ainda, redução do risco de acidentes ferroviários relacionados a eventos atmosféricos, com impacto positivo na segurança pública.
- **Para os usuários:** A EFVM opera um dos poucos serviços de transporte ferroviário de passageiros ainda ativos no Brasil, conectando Belo Horizonte e municípios do interior de Minas Gerais à Região Metropolitana de Vitória ao longo de aproximadamente 900 km de ferrovia. Esse serviço atende populações de baixa renda em municípios com limitada oferta de transporte alternativo, sendo, em muitos casos, a única opção viável de deslocamento regional. Recentemente, a operação foi ampliada com a introdução de um trem noturno no período de férias escolares, que reforça a relevância social da ferrovia e amplia a exposição de passageiros a eventos meteorológicos adversos durante o período de maior atividade convectiva na região. Os alertas emitidos com antecedência de até 2 horas permitirão que a operação ferroviária adote medidas preventivas antes que condições críticas se materializem ao longo do trajeto, reduzindo o risco de paralisações não planejadas, atrasos prolongados e, sobretudo, situações de risco à integridade física dos passageiros em trechos suscetíveis a movimentos de massa e alagamentos. O trem noturno, por operar em horário de menor visibilidade e maior dificuldade de resposta a emergências, se beneficia de forma particular da capacidade preditiva do sistema, uma vez que os alertas podem antecipar restrições operacionais antes da entrada dos compostos nos trechos de maior risco.

Participação em eventos, congressos e publicações científicas

Considerando o caráter inovador do projeto, está prevista a submissão de artigos científicos e publicações em periódicos indexados, bem como a participação em eventos e congressos para a divulgação do trabalho realizado. Essas atividades contribuirão para o intercâmbio de conhecimento com a comunidade científica e técnica, além de ampliar a visibilidade e o potencial de replicação da metodologia desenvolvida.

Estão previstas, em especial, submissões a periódicos científicos de reconhecida relevância na área, tais como *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS)* e *Atmospheric Research (Elsevier)*.

A participação em eventos científicos está condicionada à aceitação dos trabalhos submetidos, sendo que as chamadas para esses eventos geralmente ocorrem entre seis meses e um ano antes de sua realização, o que impossibilita a definição exata e antecipada da agenda de participação.

Como estimativa inicial, considerando a aderência temática do projeto, são indicados os seguintes eventos:

- 1- EGU General Assembly (Viena, Áustria): maior congresso europeu de geociências, com sessões específicas de *nowcasting* e sistemas de alerta hidrometeorológico. Participação prevista de dois membros da equipe.
- 2- AMS Annual Meeting – American Meteorological Society: principal fórum mundial de meteorologia, com sessões dedicadas a sistemas de previsão de precipitação e alertas operacionais. Participação prevista de dois membros da equipe.
- 3- AGU Annual Meeting (dezembro, EUA) – American Geophysical Union: principal congresso mundial de ciências da Terra, com sessões consolidadas de hidrometeorologia, precipitação e sistemas de alerta. Participação prevista de dois membros da equipe.

Ressalta-se que os periódicos científicos e os eventos listados constituem uma estimativa inicial, podendo ser ajustados ao longo da execução do projeto, de acordo com a aderência temática das chamadas e a aceitação dos trabalhos submetidos, sem prejuízo aos objetivos e resultados esperados.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

O projeto organiza-se em três frentes complementares e interdependentes. A primeira trata do fornecimento contínuo de dados de radar meteorológico como serviço. A segunda trata do desenvolvimento do sistema de alertas, que consome esses dados para realizar o *nowcasting* e emitir os alertas operacionais. A terceira trata do provisionamento da infraestrutura de nuvem em ambiente Microsoft Azure, responsável pelo armazenamento, processamento e disponibilização dos dados e modelos desenvolvidos. As três frentes serão gerenciadas diretamente pela Vale, com supervisão técnica da equipe interna responsável pelo projeto.

Fornecimento de dados de radar como serviço

Será contratada empresa especializada no fornecimento contínuo de dados de radar meteorológico, na modalidade de serviço, para duas coberturas estratégicas ao longo da

EFVM por 48 meses, incluindo o prazo de instalação. As coberturas deverão abranger os principais trechos operacionais, maximizando o monitoramento das regiões com maior histórico de eventos induzidos por chuva.

Os requisitos mínimos para o serviço são: fornecimento de dados brutos e processados com frequência de atualização de até 5 minutos; resolução espacial compatível com a identificação e o acompanhamento de células convectivas; disponibilidade mínima de 95% do serviço; entrega dos dados em formato aberto e de fácil integração com sistemas de processamento externos; e cobertura das regiões operacionais prioritárias da EFVM. O tipo e a tecnologia do radar serão avaliados durante o processo de contratação, para obtenção da melhor relação entre cobertura, resolução e custo-benefício para as condições locais.

Localização dos Radares Meteorológicos

Conforme ilustrado na Figura 1, está prevista a instalação de dois radares meteorológicos em locais estratégicos próximos à EFVM, com o objetivo de maximizar a cobertura meteorológica dos principais trechos operacionais, além da possibilidade da implementação de um mosaico que contemple a área de abrangência de ambos os radares. Assim, a área de monitoramento atmosférico e previsão pluviométrica serão potencializadas. Ressalta-se que a definição final dos locais de instalação estará condicionada à realização de levantamento técnico específico para identificação dos sítios mais adequados.

Na configuração preliminar, os radares estão localizados na Serra do Caraça e a nordeste do município de Ipatinga, no estado de Minas Gerais. A adoção de dois radares meteorológicos justifica-se pelo fato de que as regiões a serem monitoradas apresentam geomorfologia e gênese atmosférica distintas. A porção serrana próxima à Serra do Caraça é caracterizada por relevo acidentado e elevações que favorecem a convecção orográfica, com chuvas de alta intensidade e rápida formação local. Em contraste, a região do Vale do Rio Doce, a nordeste de Ipatinga, apresenta topografia mais suave e eventos de precipitação predominantemente estratiformes associados a sistemas frontais e linhas de instabilidade de maior escala.

Essas diferenças de gênese e morfologia criam padrões de eco de radar distintos e impactam de forma diferente a infraestrutura ferroviária, justificando a necessidade de cobertura radar independente para cada região. Além disso, a instalação de dois radares permite cobertura sobreposta para garantia da precisão na leitura de chuva em toda a área operacional alvo do projeto.

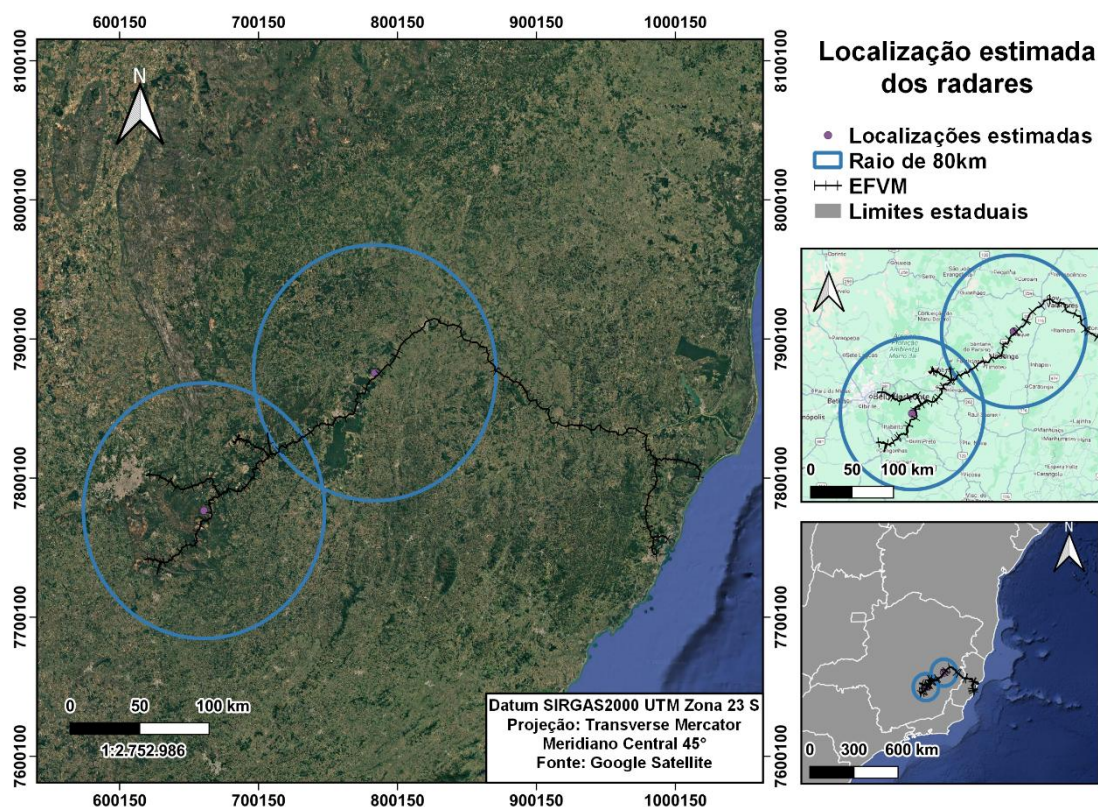


Figura 1: Localização preliminar dos radares na EFVM

Os radares meteorológicos associados à execução do projeto integram a infraestrutura operacional da empresa contratada para o fornecimento de dados, sendo disponibilizados no âmbito de prestação de serviço continuado.

Dessa forma, tais equipamentos não constituem bens adquiridos, incorporados ou desenvolvidos no âmbito do projeto, não integrando o patrimônio da concessionária nem estando sujeitos à transferência ao final de sua execução.

O objeto da contratação restringe-se ao fornecimento de dados meteorológicos processados e brutos, em conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos, não incluindo a aquisição ou domínio de ativos físicos por parte do projeto.

Infraestrutura de nuvem para armazenamento e processamento

Será contratada infraestrutura de computação em nuvem dedicada ao armazenamento, processamento e disponibilização dos dados e modelos desenvolvidos no âmbito do projeto. O provedor será selecionado com base em critérios de custo-benefício, disponibilidade regional, capacidade de processamento com GPU e compatibilidade com os requisitos técnicos do sistema. Para fins de estimativa orçamentária, adotou-se a cotação da Azure, por apresentar o menor valor entre as alternativas avaliadas, sem prejuízo da seleção formal na contratação. A infraestrutura será provisionada com planos de reserva de longo prazo para os componentes de uso contínuo, garantindo previsibilidade de custos e disponibilidade ao longo de toda a vigência do projeto.

A arquitetura provisionada compreende os seguintes componentes: (i) máquina virtual de orquestração de uso geral, operando continuamente, responsável pelo controle dos fluxos de consumo, pré-processamento e agendamento de rotinas; (ii) nó de inferência com GPU dedicada, também em operação contínua, responsável pela execução dos modelos de

nowcasting em produção; (iii) nó de treinamento com GPU de alto desempenho; (iv) repositórios de dados estruturados com namespace hierárquico: uma camada de acesso frequente, e uma camada de acesso eventual para o histórico de longo prazo utilizado em retreinamentos, ambas com redundância local.

Desenvolvimento do sistema de alertas

Será contratada empresa especializada no desenvolvimento do sistema de alertas meteorológicos. Essa empresa será responsável por consumir os dados de radar, realizar o *nowcasting* e entregar um sistema operacional completo. Os requisitos técnicos do sistema a ser desenvolvido são detalhados a seguir.

- Estruturação da base de dados

O sistema deverá receber, processar e armazenar os dados de radar de forma contínua, construindo a base histórica necessária para o ajuste dos limiares de alerta e o treinamento dos modelos de *nowcasting*. Isso envolve a configuração do processamento do consumo dos dados, controle de qualidade, interpolação para grade cartesiana e armazenamento estruturado com indexação temporal e espacial.

- Definição dos trechos e curvas de limiar

Em articulação com a equipe operacional da EFVM, a empresa contratada deverá participar da definição dos trechos ferroviários para fins de monitoramento e alerta. Para cada trecho, serão ajustadas curvas de limiar do tipo antecedente-evento (curvas ED), relacionando acumulados de chuva em duas janelas temporais. O ajuste será realizado com base em dados históricos de precipitação e registros de eventos de movimentos de massa, alagamentos e instabilidades, definindo zonas de probabilidade elevada de ocorrência por trecho. Adicionalmente, serão definidos limiares de intensidade instantânea e acumulados de curta duração para alertas de chuva intensa.

- Nowcasting por inteligência artificial

O sistema deverá extrapolar os campos de precipitação radar com horizonte de até 2 horas, permitindo que os alertas sejam emitidos de forma preditiva, antes do atingimento efetivo dos limiares. A empresa contratada deverá avaliar e comparar arquiteturas de aprendizado profundo adequadas ao problema, incluindo, mas não se limitando a, ConvLSTM com mecanismos de atenção, U-Net com módulos Transformer, Vision Transformers (ViT) para análise espacial e modelos de difusão para *nowcasting* probabilístico. A seleção da arquitetura final deverá considerar métricas de verificação padrão (CSI, ETS, FAR) para diferentes horizontes de previsão.

- Motor de alertas

O motor de alertas integrará as estimativas de precipitação em tempo real com as projeções de *nowcasting* para calcular continuamente os acumulados por trecho nas janelas temporais das curvas ED. Quando os acumulados observados ou projetados cruzarem os limiares definidos, alertas serão emitidos automaticamente. O sistema adotará níveis progressivos de severidade:

- Verde: condições normais de operação; nenhum limiar atingido ou projetado.
- Amarelo: limiares de atenção atingidos ou com elevada probabilidade de atingimento dentro do horizonte de *nowcasting*.
- Laranja: limiares de alerta atingidos ou com alta probabilidade de atingimento iminente.

- Vermelho: limiares críticos atingidos ou iminentes.

Os critérios de transição entre níveis serão definidos trecho a trecho, com base nas curvas ED ajustadas e nos limiares de intensidade instantânea.

- Disseminação de alertas

Os alertas gerados serão disseminados automaticamente por múltiplos canais de comunicação, incluindo e-mail, SMS e WhatsApp, com segmentação por trecho ferroviário e por perfil de destinatário. O módulo de disseminação deverá ser configurável para permitir atualização das listas de destinatários e dos limiares de notificação sem necessidade de recompilação do sistema.

- Interface WebGIS

A empresa contratada deverá entregar uma interface WebGIS que apresente em tempo real os campos de precipitação estimada por radar, o status atual de cada trecho (nível de alerta), os acumulados calculados em relação às curvas ED e o histórico de alertas emitidos. A interface deverá ser responsiva e acessível por navegador, sem necessidade de instalação de software adicional pelos usuários operacionais.

- Disponibilização do código

Todo o código-fonte, algoritmos, modelos treinados e documentação técnica desenvolvidos deverão ser disponibilizados pela empresa contratada em repositório, garantindo acesso das partes interessadas e possibilidade de replicação por outras ferrovias e instituições.

- Treinamento e manuais

A empresa contratada deverá realizar capacitação da equipe técnica para operação, monitoramento e manutenção do sistema. O treinamento deverá cobrir os componentes de ingestão de dados, execução dos modelos de *nowcasting*, configuração de limiares e alertas, uso da interface WebGIS e procedimentos de retreinamento dos modelos. Os manuais técnicos e de usuários serão disponibilizados.

3.2. Etapas

O projeto está organizado em três etapas ao longo de 48 meses, cada uma com objetivos específicos e entregas definidas.

As Etapas 1 e 2 envolvem três contratações externas complementares, acompanhadas pela equipe interna de recursos hídricos, geotecnia e ferrovias da Vale.

A Etapa 3 é conduzida em paralelo ao desenvolvimento, pela equipe Vale, com custos restritos a taxas de publicação e participação em eventos.

Etapa 1 – Fornecimento de dados de radar meteorológico

Duração: meses 1 a 48

Descrição: Esta etapa contempla a mobilização, fabricação, instalação e operação contínua dos dois radares meteorológicos ao longo da EFVM, nos seis primeiros meses do projeto, bem como o fornecimento contínuo de dados meteorológicos ao longo dos 42 meses subsequentes, assegurando a disponibilidade operacional dos dados necessários ao desenvolvimento e à operação do sistema de alertas meteorológicos.

- **Atividade 1.1 – Mobilização, fabricação e instalação dos radares meteorológicos**

Duração: meses 1 a 6.

Esta atividade abrange todas as ações necessárias à disponibilização operacional dos radares meteorológicos, desde a mobilização inicial da empresa contratada até a instalação física e o comissionamento dos equipamentos.

Inclui-se, inicialmente, a mobilização da empresa contratada e o início formal das atividades de planejamento logístico relacionadas à fabricação, transporte e instalação dos radares. Na sequência, será realizada a fabricação dos dois radares meteorológicos, conforme as especificações técnicas definidas em contrato, com acompanhamento da equipe da Vale ao longo do processo produtivo.

Paralelamente à fabricação, serão conduzidas visitas de campo e levantamentos técnicos para validação e definição definitiva dos locais de instalação dos radares, considerando critérios como cobertura meteorológica adequada dos trechos operacionais da EFVM, acessibilidade, disponibilidade de energia elétrica e conectividade para transmissão de dados. Os locais preliminarmente previstos incluem a região da Serra do Caraça e a área a nordeste do município de Ipatinga, no estado de Minas Gerais, podendo ser ajustados conforme os resultados dos levantamentos de campo, com validação pela Vale.

Após a definição dos locais e fabricação dos equipamentos, será realizada a instalação física dos radares, incluindo montagem das estruturas, integração dos sistemas de transmissão de dados e configuração operacional dos equipamentos. A atividade contempla, por fim, o comissionamento dos radares, com a execução dos testes de aceitação, verificação da cobertura espacial, da frequência de atualização e da qualidade dos dados entregues, assegurando o atendimento aos requisitos técnicos e contratuais estabelecidos.

Ressalta-se que os referidos radares permanecerão integralmente sob titularidade, operação e responsabilidade do fornecedor, sendo utilizados exclusivamente como meio instrumental para geração dos dados contratados.

Entregas: (serão incorporadas ao relatório final do projeto)

- Especificação técnica dos radares.
- Relatório de seleção do local para instalação.
- Relatório dos testes de aceitação.

Marco:

- Radares instalados e comissionados.

- **Atividade 1.2 – Fornecimento contínuo de dados dos radares meteorológicos**

Duração: meses 7 a 48 (42 meses).

Esta atividade contempla o fornecimento contínuo dos dados brutos e processados de ambos os radares, com frequência de atualização de até 5 minutos e disponibilidade mínima de 95%, conforme os requisitos contratuais.

Inclui-se, no escopo desta atividade, a operação contínua dos equipamentos, a execução de manutenções preventivas e corretivas, o suporte técnico

especializado e a emissão periódica de relatórios mensais de disponibilidade e qualidade do serviço.

Adicionalmente, os dados brutos de radar meteorológico produzidos no âmbito desta atividade poderão ser disponibilizados, de forma complementar, às Defesas Civas estaduais e municipais localizadas ao longo do corredor ferroviário. Essa disponibilização tem caráter técnico e informacional, com o objetivo de subsidiar, de maneira indireta, as ações de monitoramento meteorológico e de gestão preventiva de riscos dessas instituições.

Ressalta-se que o projeto não contempla a emissão de alertas à população nem atribui à concessionária responsabilidades relacionadas às cadeias formais de alerta público, que permanecem sob competência exclusiva dos órgãos de Defesa Civil. Os dados eventualmente compartilhados consistirão em informações meteorológicas brutas, cabendo às Defesas Civas a análise, interpretação e eventual integração dessas informações aos seus próprios sistemas e protocolos de alerta.

Entregas:

- Base de dados do radar completa e atualizada em tempo real durante todo o projeto.
- Relatórios mensais de disponibilidade e qualidade do serviço prestado.

Etapa 2 – Desenvolvimento do sistema de alertas com *nowcasting*

Duração: meses 4 a 48 (45 meses).

Descrição: Esta etapa contempla o desenvolvimento, a integração, os testes e a operação do sistema de alertas meteorológicos com *nowcasting*, bem como o provisionamento e a operação contínua da infraestrutura de computação em nuvem necessária ao processamento e à disponibilização dos dados.

- **Atividade 2.1 – Provisionamento e operação da infraestrutura em nuvem**

Duração: meses 4 a 48 (45 meses)

Provisionamento e operação contínua da infraestrutura de computação em nuvem dedicada ao armazenamento, processamento e disponibilização dos dados e modelos desenvolvidos no projeto.

A arquitetura compreende:

- uma máquina virtual de orquestração de uso geral para controle dos fluxos de consumo e agendamento de rotinas;
- um nó de inferência com GPU dedicada para execução dos modelos de *nowcasting* em produção;
- um nó de treinamento com GPU de alto desempenho;
- dois repositórios de dados estruturados com namespace hierárquico, sendo uma camada de acesso frequente e uma camada de acesso eventual para o histórico de longo prazo, ambas com redundância local.

Entregas:

- Arquitetura da nuvem (incorporado ao relatório final do projeto)

Marco:

- Infraestrutura em operação contínua durante toda a vigência do projeto.

- **Atividade 2.2 – Desenvolvimento do sistema de alertas**

Duração: meses 4 a 48 (45 meses)

- **Subatividade 2.2.1 - Revisão bibliográfica e avaliação de arquiteturas de *nowcasting***

Duração: 3 meses.

Levantamento sistemático do estado da arte em *nowcasting* de precipitação por radar com aprendizado profundo, cobrindo arquiteturas como ConvLSTM com mecanismos de atenção, U-Net com módulos Transformer, Vision Transformers (ViT) e modelos de difusão para *nowcasting* probabilístico.

A revisão subsidia a seleção das arquiteturas candidatas a serem avaliadas experimentalmente e contribui para a redação do artigo científico sobre o módulo de *nowcasting*.

Entregas: (serão incorporadas ao relatório final do projeto)

- Revisão bibliográfica documentada.
- Lista de arquiteturas do sistema candidatas com justificativa técnica.

- **Subatividade 2.2.2 - Consumo dos dados de radar**

Duração: 1 mês.

Configuração e implantação do processo de consumo dos dados de radar provenientes da Etapa 1, incluindo a definição dos protocolos de transferência, configuração do armazenamento estruturado com indexação temporal e espacial, e validação do fluxo contínuo de dados na infraestrutura em nuvem.

- **Subatividade 2.2.3 – Controle de qualidade dos dados**

Duração: 1 mês.

Desenvolvimento e implantação dos algoritmos de controle de qualidade dos dados de radar, incluindo detecção e filtragem de ecos não meteorológicos, correção de atenuação, identificação de falhas de transmissão e geração de indicadores automáticos de qualidade por varredura. Os dados aprovados alimentarão diretamente a base histórica.

- **Subatividade 2.2.4 – Construção da base histórica por trecho ferroviário**

Duração: 1 mês.

Estruturação e população da base histórica de precipitação estimada por radar, organizada por trecho ferroviário e indexada temporalmente. Inclui a interpolação dos campos de reflectividade para grade cartesiana, a conversão para estimativa de precipitação e a associação espacial com os trechos operacionais da EFVM. A base histórica será constantemente atualizada ao longo do projeto.

Entregas:

- Base inicial de dados, já disponibilizada em repositório, com documentação da estrutura de dados e da metodologia de processamento.

▪ Subatividade 2.2.5 – Definição e ajuste dos limiares por trecho

Duração: 1 mês.

Ajuste das curvas de limiar do tipo antecedente-evento (curvas ED) por trecho ferroviário, relacionando acumulados de chuva em duas janelas temporais distintas com registros históricos de eventos de movimentos de massa, alagamentos e instabilidades ao longo da EFVM. São definidos também os limiares de intensidade instantânea e acumulados de curta duração para alertas de chuva intensa.

Entregas: (serão incorporadas ao relatório final do projeto)

- Nota técnica com curvas ED ajustadas e limiares de intensidade por trecho ferroviário.

▪ Subatividade 2.2.6 – Treinamento e comparação de arquiteturas de nowcasting

Duração: 4 meses.

Treinamento, avaliação e comparação experimental das arquiteturas selecionadas na subatividade 2.2.1, utilizando a base histórica disponível. A avaliação adota métricas de verificação padrão (CSI, ETS, FAR) para múltiplos horizontes de previsão (30, 60 e 120 minutos) e diferentes limiares de precipitação. A arquitetura com melhor desempenho global é selecionada para implantação em produção.

Entregas: (serão incorporadas ao relatório final)

- Estudo comparativo de arquiteturas com métricas de desempenho;
- Modelo selecionado e treinado, com documentação da arquitetura.

▪ Subatividade 2.2.7 – Desenvolvimento do motor de alertas

Duração: 2 meses.

Desenvolvimento do motor de alertas, que integra as estimativas de precipitação em tempo real com as projeções de nowcasting para calcular continuamente os acumulados por trecho nas janelas temporais das curvas ED. Quando os acumulados observados ou projetados cruzam os limiares definidos, alertas são emitidos automaticamente nos níveis verde, amarelo, laranja e vermelho, conforme os critérios definidos trecho a trecho.

Entregas: (serão incorporadas no código fonte disponibilizado no final do projeto)

- Fonte do motor de alertas em operação.

- **Subatividade 2.2.8 – Desenvolvimento do módulo de disseminação por e-mail**

Duração: 0,5 mês.

Desenvolvimento do módulo de envio automatizado de alertas por e-mail, com segmentação por trecho ferroviário e por perfil de destinatário. O módulo deve ser configurável para atualização das listas de destinatários e dos limiares de notificação sem necessidade de recompilação do sistema.

- **Subatividade 2.2.9 – Desenvolvimento do módulo de disseminação por aplicativos de mensagens**

Duração: 0,5 mês.

Desenvolvimento do módulo de envio automatizado de alertas por aplicativos de mensagens instantâneas, complementando o canal de e-mail. O módulo adota a mesma lógica de segmentação por trecho e perfil de destinatário, garantindo consistência das mensagens entre os canais.

Entregas: (serão incorporadas no código fonte disponibilizado no final do projeto)

- Fonte do módulo de disseminação multicanal em operação. (subatividades 2.2.8 e 2.2.9)

- **Subatividade 2.2.10 – Integração dos módulos de nowcasting, motor de alertas e disseminação**

Duração: 3 meses.

Integração dos módulos desenvolvidos nas atividades anteriores em ambiente de desenvolvimento, com execução de testes de integração end-to-end. Inclui a validação dos fluxos de dados entre o consumo dos dados, o modelo de nowcasting, o motor de alertas e os módulos de disseminação, assegurando consistência temporal e espacial das saídas.

Entregas: (serão incorporadas no código fonte disponibilizado no final do projeto)

- Fonte do sistema integrado em ambiente de desenvolvimento.

- **Subatividade 2.2.11 – Desenvolvimento do WebGIS: protótipo**

Duração: 2 meses.

Desenvolvimento do protótipo da interface WebGIS, contemplando a visualização em tempo real dos campos de precipitação estimada por radar e das projeções de nowcasting, o mapa de status dos trechos ferroviários por nível de alerta e o histórico de alertas emitidos. O protótipo é validado internamente com a equipe operacional da EFVM.

- **Subatividade 2.2.12 – Desenvolvimento do WebGIS: controle de usuários**

Duração: 1 mês.

Implementação do módulo de controle de acesso e gestão de usuários da interface WebGIS, incluindo autenticação, perfis de acesso diferenciados por função e segmentação das notificações por trecho ferroviário.

- **Subatividade 2.2.13 – Integração do WebGIS com o nowcasting e os alertas**

Duração: 2 meses.

Integração da interface WebGIS com os módulos de nowcasting e motor de alertas, garantindo atualização automática dos campos exibidos com a frequência de atualização dos dados de radar. Inclui testes de desempenho e responsividade da interface em diferentes condições de carga.

- **Subatividade 2.2.14 – Desenvolvimento do WebGIS: configurações**

Duração: 1 mês.

Desenvolvimento do módulo de configuração da interface WebGIS, permitindo que operadores autorizados ajustem os limiares de alerta por trecho, as listas de destinatários e os parâmetros de visualização sem necessidade de intervenção técnica na base de código.

Entregas: (serão incorporadas no código fonte disponibilizado no final do projeto)

- Fonte da interface WebGIS em operação, responsiva e acessível por navegador. (subatividades 2.2.11 a 2.2.14)

- **Subatividade 2.2.15 – Retreinamento dos modelos de nowcasting com série histórica ampliada**

Duração: 4 meses.

Com o incremento do volume de dados históricos disponíveis após os primeiros meses de operação, o modelo de nowcasting é retreinado utilizando a série completa acumulada. O retreinamento visa melhorar a generalização do modelo para diferentes regimes de precipitação e estações do ano, com reavaliação das métricas de desempenho.

Entregas:

- Modelo retreinado com série histórica ampliada;
- Relatório comparativo de desempenho antes e após o retreinamento (incorporado ao relatório final)

- **Subatividade 2.2.16 – Ajustes nas curvas ED e limiares com base no desempenho operacional**

Duração: 2 meses.

Revisão e ajuste das curvas ED e dos limiares de alerta com base no desempenho operacional observado durante o período de funcionamento do sistema, incorporando novos registros de eventos e o feedback da equipe operacional da ferrovia. Os ajustes visam reduzir taxas de falso alarme sem comprometer a sensibilidade do sistema.

Entregas: (serão incorporadas no código fonte e no relatório final do projeto)

- Revisão das curvas ED e limiares por trecho;
- Sistema atualizado com os novos parâmetros.

- **Subatividade 2.2.17 – Testes integrados em ambiente operacional**

Duração: 2 meses.

Execução de testes integrados do sistema completo em ambiente operacional real, com monitoramento contínuo do desempenho de todos os módulos em condições de produção. Os testes cobrem cenários de chuva de diferentes intensidades e durações, validando a cadeia completa desde a ingestão dos dados até a emissão e disseminação dos alertas.

- **Subatividade 2.2.18 – Validação dos alertas versus eventos reais**

Duração: 2 meses.

Validação sistemática dos alertas emitidos pelo sistema em comparação com eventos meteorológicos reais registrados ao longo da EFVM, utilizando dados de estações pluviométricas e registros operacionais da ferrovia. São calculadas as métricas de acerto, falso alarme e não detecção por trecho e por nível de severidade.

Entregas: (serão incorporadas ao relatório final do projeto)

- Validação do sistema com métricas de desempenho do nowcasting por horizonte de previsão e avaliação dos alertas por trecho (subatividades 2.2.17 e 2.2.18)

- **Subatividade 2.2.19 – Operação plena**

Duração: 4 meses.

Transição para operação plena do sistema, com monitoramento contínuo pela equipe interna da Vale e suporte técnico da empresa contratada. Os alertas são emitidos em ambiente real e incorporados à rotina operacional da EFVM.

- **Subatividade 2.2.20 – Ajustes finais**

Duração: 2 meses.

Realização dos ajustes finais no sistema com base no feedback acumulado durante a operação plena, corrigindo comportamentos não conformes, otimizando parâmetros e consolidando as configurações definitivas de produção.

- **Subatividade 2.2.21 – Manual operacional**

Duração: 0,5 mês.

Elaboração do manual operacional completo do sistema, cobrindo os procedimentos de monitoramento diário, interpretação dos alertas por nível de severidade, atualização de parâmetros e limiares, e protocolos de resposta a falhas.

Entregas:

- Manual operacional do sistema de alertas.

- **Subatividade 2.2.22 – Treinamento da equipe operacional**

Duração: 0,5 mês.

Capacitação da equipe técnica para operação autônoma do sistema, cobrindo os módulos de ingestão de dados, execução e monitoramento do nowcasting, configuração de limiares e alertas, uso da interface WebGIS e procedimentos de retreinamento dos modelos.

Entregas:

- Registro de treinamento.
- Equipe capacitada para operação autônoma.

▪ **Subatividade 2.2.23 – Operação assistida**

Duração: 4 meses.

Período de operação do sistema com suporte técnico ativo da empresa contratada, garantindo a transferência completa de conhecimento e a estabilidade do sistema antes do encerramento do contrato.

▪ **Subatividade 2.2.24 – Documentação técnica final do sistema**

Duração: 0,5 mês.

Elaboração da documentação técnica final do sistema, cobrindo a arquitetura dos modelos de nowcasting, os algoritmos do motor de alertas, a estrutura da base de dados, a arquitetura da infraestrutura em nuvem e os procedimentos de manutenção e atualização do sistema.

Entregas:

- Documentação técnica completa das arquiteturas e algoritmos desenvolvidos.

▪ **Subatividade 2.2.25 – Disponibilização dos modelos e código-fonte**

Duração: 0,5 mês.

Publicação do código-fonte, modelos treinados e documentação técnica em repositório aberto, garantindo acesso das partes interessadas e possibilidade de reuso por outras ferrovias e instituições.

Entregas:

- Repositório público com código-fonte, modelos treinados, base de dados e documentação técnica.

Etapa 3 – Participação em eventos, congressos e publicações científicas

Duração: meses 14 a 48.

Descrição: Esta etapa contempla a disseminação técnica e científica dos resultados do projeto por meio da submissão de artigos a periódicos científicos indexados e da participação em congressos de reconhecida relevância. A redação dos artigos científicos e a preparação dos trabalhos a serem submetidos a eventos serão conduzidas pela equipe interna da Vale, com apoio técnico da empresa responsável pelo desenvolvimento do sistema de alertas.

Os custos associados a esta etapa restringem-se às taxas de publicação de artigos científicos (Article Processing Charges – APC) e às despesas relacionadas à participação

nos eventos, tais como passagens, diárias e inscrições. Os periódicos científicos e os congressos indicados constituem uma estimativa inicial, podendo ser ajustados ao longo da execução do projeto, conforme a aderência temática das chamadas e a aceitação dos trabalhos submetidos pelas respectivas comissões científicas.

- **Atividade 3.1 – Submissão de artigos a periódicos científicos indexados**

Serão submetidos dois artigos científicos a periódicos indexados, abordando as duas principais dimensões técnicas do projeto.

O primeiro artigo terá foco no sistema de alertas meteorológicos e nas curvas ED ajustadas por trecho ferroviário, podendo ser submetido ao periódico *Natural Hazards and Earth System Sciences* (NHESS), de acesso aberto, vinculado à European Geosciences Union (EGU), com taxa de publicação (APC) estimada em aproximadamente EUR 1.800.

O segundo artigo abordará a arquitetura de nowcasting por inteligência artificial, incluindo a avaliação de desempenho dos modelos e a comparação entre diferentes arquiteturas, podendo ser submetido ao periódico *Atmospheric Research* (Elsevier), com taxa de publicação (APC) estimada em aproximadamente USD 3.500.

A redação de ambos os artigos será conduzida pela equipe interna da Vale ao longo do desenvolvimento do projeto, contando com contribuições técnicas da empresa desenvolvedora do sistema de alertas.

Entregas:

- Dois artigos científicos submetidos a periódicos indexados, preferencialmente classificados como Qualis A1 ou A2.

- **Atividade 3.2 – EGU General Assembly - European Geosciences Union**

O EGU General Assembly, realizado anualmente em Viena, Áustria, é o maior congresso europeu de geociências, com sessões específicas de *nowcasting* e sistemas de alerta hidrometeorológico.

Está prevista a participação de dois membros da equipe.

Entregas:

- Trabalhos submetidos e apresentados no evento
- Certificados de participação e publicação nos anais, quando aplicável.

- **Atividade 3.3 – AMS Annual Meeting – American Meteorological Society**

O AMS Annual Meeting, organizado pela American Meteorological Society (AMS), constitui o principal fórum internacional da área de meteorologia, com sessões dedicadas a sistemas de previsão de precipitação e alertas operacionais.

Está prevista a participação de dois membros da equipe.

Entregas:

- Trabalhos submetidos e apresentados no evento
- Certificados de participação e publicação nos anais, quando aplicável.

- **Atividade 3.4 – AGU Annual Meeting – American Geophysical Union**

O AGU Annual Meeting, realizado pela American Geophysical Union, é o principal congresso internacional de ciências da Terra, com sessões consolidadas de hidrometeorologia, precipitação e sistemas de alerta.

Está prevista a participação de dois membros da equipe.

Entregas:

- Trabalhos submetidos e apresentados no evento
- Certificados de participação e publicação nos anais, quando aplicável.

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

Este projeto será desenvolvido em 48 meses, com previsão de início em 01/11/2026. O custo total será de R\$ 21.242.690,86 (vinte e um milhões, duzentos e quarenta e dois mil, seiscentos e noventa reais e oitenta e seis centavos), distribuídos anualmente conforme indicado:

- Valor de investimento 2026 (ano contratual 3): R\$ 1.764.000,00
- Valor de investimento 2027: R\$ 3.919.607,37, sendo
 - Ano contratual 3: R\$ 810.413,92
 - Ano contratual 4: R\$ 2.316.615,73
 - Ano contratual 7: R\$ 792.577,72
- Valor de investimento 2028: R\$ 5.499.300,18, sendo
 - Ano contratual 4: R\$ 1.138.702,65
 - Ano contratual 5: R\$ 373.221,77
 - Ano contratual 8: R\$ 3.987.375,76
- Valor de investimento 2029: R\$ 5.507.779,07
 - Ano contratual 5: R\$ 489.592,84
 - Ano contratual 9: R\$ 5.018.186,23
- Valor de investimento 2030 (ano contratual 10): R\$ 4.552.004,24

A tabela abaixo resume a distribuição do orçamento prevista para o projeto.

Ano contratual	Execução prevista (R\$)					Alocação por ano contratual
	2026	2027	2028	2029	2030	
3	1.764.000,00	810.413,92				2.574.413,92
4		2.316.615,73	1.138.702,65			3.455.318,38
5			373.221,77	489.592,84		862.814,61
7		792.577,72				792.577,72
8			3.987.375,76			3.987.375,76
9				5.018.186,23		5.018.186,23
10					4.552.004,24	4.552.004,24
Total	1.764.000,00	3.919.607,37	5.499.300,18	5.507.779,07	4.552.004,24	21.242.690,86

A distribuição dos valores nos anos de concessão respeita o limite de 50% dos recursos anuais que poderão ser aplicados em projetos com participação das concessionárias.

Os valores incluem provisionamento para despesas administrativas (1%) e reserva técnica (5%), conforme o § 5º do art. 10 da Resolução nº 6.021, de 2023, e o § 4º do art. 6º da Portaria nº 17, de 6 de dezembro de 2023.

O cronograma físico-financeiro detalhado e o orçamento analítico são apresentados nos Anexos II e VI, conforme Portaria ANTT nº 17/2023.

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O projeto será executado de forma distribuída. Os dados de radar serão oriundos das duas coberturas definidas contratualmente com o fornecedor do serviço, cobrindo os trechos operacionais prioritários da EFVM. O desenvolvimento do sistema será conduzido pela empresa contratada em suas instalações. A integração, validação e operação do sistema ocorrerão no Centro de Monitoramento de Ativos da EFVM, em Vitória (ES), com envolvimento das equipes Vale.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação de entidade

A entidade executora principal será a Vale S.A., por meio da equipe responsável pela Estrada de Ferro Vitória a Minas, atuando como gestora do projeto e responsável pelas contratações, pelo acompanhamento técnico do desenvolvimento, pela entrega de relatórios e pelo relacionamento com a ANTT.

As execuções técnicas serão realizadas pelas empresas contratadas mediante processo de concorrência interna. Este processo visa garantir a seleção da proposta que apresente a melhor relação entre capacidade técnica e razoabilidade de custos. Após a conclusão do processo, a documentação técnica e comercial da(s) parceira(s) será formalmente apresentada à ANTT.

Parceira 1: empresa especializada no fornecimento de dados de radar meteorológico como serviço, responsável pela coleta, processamento básico e entrega contínua de dados de alta qualidade, com disponibilidade mínima de 95%.

Parceira 2: empresa especializada no desenvolvimento do sistema de alertas meteorológicos, responsável pelo *nowcasting*, avaliação das curvas ED, pelo motor de alertas, pela disseminação multicanal, pela interface WebGIS e pela disponibilização do código aberto.

6.2. Identificação da equipe executora

- Gustavo Correa, Especialista em Recursos Hídricos – CPF 081.602.986-50, gustavo.correa@vale.com. Função no projeto: Coordenação e fiscalização do projeto
- Willyan Debastiani, Gerente de Recursos Hídricos – CPF 020.245.419-33, willyan.debastiani@vale.com. Função no projeto: Gestão Geral do projeto

- Hermando Brito, Engenheiro Geotécnico – CPF 043.689.827-62, hermando.brito@vale.com. Função no projeto: Acompanhamento e Especialista em Geotecnia
- Thaisa Goulart, Engenheira de Recursos Hídricos – CPF 093.842.846-29, thaisa.goulart@vale.com. Função no projeto: Acompanhamento e Especialista em Recursos Hídricos
- Renato Carvalho, Engenheiro de Infraestrutura de Via Permanente – CPF 058.035.187-43, renato.carvalho@vale.com. Função no projeto: Acompanhamento e Especialista em Ferrovias
- Equipe responsável pelo fornecimento dos dados do radar meteorológico e desenvolvedora do sistema de alertas meteorológicos serão definidas após contratação.

7. PRODUTOS

Ao término dos 48 meses de execução, serão entregues os seguintes produtos:

- Código-fonte aberto do sistema operacional de alertas meteorológicos, compreendendo o modelo de *nowcasting* de precipitação com horizonte de até 2 horas, o motor de alertas baseado em curvas ED e limiares de intensidade, a interface WebGIS e o módulo de disseminação automatizada por e-mail, SMS e WhatsApp.
- Base histórica de precipitação estimada por radar, com dados processados e brutos.
- Manual operacional e documentação técnica das arquiteturas e algoritmos desenvolvidos.
- Artigos científicos publicados em periódicos indexados e trabalhos apresentados em congressos internacionais.
- Relatório final do projeto contendo:
 - Especificação técnica dos radares.
 - Relatório de seleção do local para instalação dos radares.
 - Relatório dos testes de aceitação dos radares.
 - Documento de arquitetura da nuvem.
 - Revisão bibliográfica documentada.
 - Lista de arquiteturas do sistema candidatas com justificativa técnica.
 - Curvas de limiares dos alertas ajustados por trecho
 - Modelo selecionado e treinado, com documentação da arquitetura

- Comparativo de desempenho antes e depois do retreinamento com mais dados
- Validação do sistema.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35–115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023. Dispõe sobre a destinação dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico e dos Recursos para a Preservação da Memória Ferroviária, previstos nos contratos de concessão e subconcessão de ferrovias. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 21 jul. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Portaria nº 17, de 06 de dezembro de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Deliberação nº 28, de 2026.

BRASIL. Lei nº 14.273, de 23 de dezembro de 2021.

9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

I - Resumo do Plano de Trabalho;

II - Cronograma físico-financeiro;

III - Propostas técnicas e comerciais;

IV - Cotações comerciais;

V - Currículo do coordenador;

VI – Orçamento analítico;

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

VIII - Declaração de observância.