

**ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES
RDT – RECURSOS PARA DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

PLANO DE TRABALHO

**ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO
STARLINK**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS E TECNOLOGIAS PARA
MELHORIA DA OPERAÇÃO FERROVIÁRIA.**

RUMO MALHA PAULISTA S.A.

15/05/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	3
1.1. TÍTULO DO PROJETO	3
ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO STARLINK.	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	6
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	6
3.2. ETAPAS	8
3.2.1. ETAPA 1 – PLANEJAMENTO TÉCNICO E ESTUDOS PRELIMINARES	8
3.2.2. ETAPA 2 – COMPRA DE EQUIPAMENTOS STARLINK E INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS	10
3.2.3. ETAPA 3 – IMPLANTAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL E INSTALAÇÃO EMBARCADA.....	12
3.2.4. ETAPA 4 – TESTES OPERACIONAIS, MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS 13	
3.2.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS, VALIDAÇÃO E DIVULGAÇÃO TÉCNICA15	
4. PREVISÃO DE INICIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL	16
5. LOCAL DE EXECUÇÃO	16
6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA.....	17
6.1. IDENTIFICAÇÃO DA ENTIDADE	17
6.2. IDENTIFICAÇÃO DA EQUIPE EXECUTORA.....	18
7. PRODUTOS E RESULTADOS	19
7.1. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO OPERACIONAL VIA SATÉLITE INTEGRADO À OPERAÇÃO FERROVIÁRIA.....	19
7.2. ARQUITETURA TÉCNICO-OPERACIONAL DE INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS ...	19
7.3. RELATÓRIOS TÉCNICOS DE TESTES, RESULTADOS E VALIDAÇÃO.....	19
7.4. BASE DE DADOS OPERACIONAIS E INDICADORES DE DESEMPENHO	19
7.5. PUBLICAÇÕES TÉCNICAS E CIENTÍFICAS	20
8. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO	20

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. TÍTULO DO PROJETO

ESTUDO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO STARLINK.

1.1.1. LINHA DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

Conforme o art. 3º da resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, o presente projeto enquadra-se nas seguintes diretrizes:

- Modernização da infraestrutura integrante do subsistema ferroviário federal;

Conforme o art. 4º da resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, o projeto atende aos seguintes objetivos:

- Tecnologia básica e aplicada;

1.1.2. TEMAS

Conforme a deliberação nº28 de 30 de janeiro de 2026, o projeto se enquadra no seguinte tema prioritário:

- Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver, implantar e validar, em caráter experimental e escalável, uma arquitetura de comunicação ferroviária híbrida baseada em tecnologia via satélite starlink, integrada aos sistemas embarcados das locomotivas es43bbi que operam na serra de paranaguá, com o objetivo de aumentar a confiabilidade, disponibilidade, segurança e eficiência da comunicação operacional, mediante avaliação técnica e operacional em ambiente real.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a aplicação da comunicação via satélite em locomotivas es43bbi operando em trecho ferroviário de elevada complexidade topográfica e operacional.
- Desenvolver e implementar uma arquitetura de comunicação híbrida e redundante, integrando o sistema satelital aos sistemas de freio pneumático (aplicação de

serviço e emergência) e ao centro de controle operacional (cco).

- Definir e monitorar indicadores técnicos de desempenho da comunicação, incluindo disponibilidade, latência, estabilidade e cobertura ao longo do trecho experimental e áreas de sombra.
- Avaliar o impacto da solução sobre os processos de licenciamento e despacho ferroviário, mensurando a variação dos tempos operacionais no trecho da serra de paranaguá.
- Quantificar os impactos operacionais indiretos decorrentes da melhoria da comunicação, incluindo redução de tempos de parada e aumento da regularidade da circulação.
- Avaliar os efeitos da solução sobre a eficiência energética da operação ferroviária, considerando a redução de ciclos improdutivos e a melhoria da fluidez operacional.
- Analisar a contribuição da arquitetura proposta para a mitigação de falhas de comunicação associadas ao sistema atc, reforçando a segurança e a confiabilidade operacional.
- Validar técnica e operacionalmente a solução implantada, consolidando evidências para eventual replicação em outros trechos da malha ferroviária.

2. JUSTIFICATIVA

A operação ferroviária na serra de Paranaguá caracteriza-se por elevada complexidade técnica e operacional, em razão de sua topografia acidentada, curvas de pequeno raio, rampas acentuadas e da elevada densidade de tráfego ferroviário direcionado ao porto de Paranaguá, um dos principais corredores logísticos de exportação do país.



Figura 1: traçado ferroviário da serra de paranaguá.

A relevância desse trecho ferroviário é reforçada pela importância estratégica do porto de

paranaguá no sistema logístico nacional, constituindo-se em um dos principais corredores de escoamento de commodities agrícolas, insumos industriais e cargas a granel e líquidas do país. O porto apresenta elevada participação na matriz logística brasileira, especialmente durante os períodos de safra, concentrando fluxos significativos de transporte ferroviário provenientes do interior do paraná e de outras regiões produtoras. Nesse contexto, a eficiência, a confiabilidade e a continuidade operacional do sistema ferroviário de acesso ao porto são fatores críticos para a garantia da prestação adequada do serviço público de transporte ferroviário, para a competitividade logística nacional e para a previsibilidade das cadeias produtivas atendidas.

A operação ferroviária depende diretamente da comunicação entre os sistemas embarcados das locomotivas e o centro de controle operacional (cco). Essa comunicação garante o envio de dados do sistema de bordo, a transmissão de informações de rastreabilidade, suporte técnico remoto e atualização de softwares embarcados.

Na rumo, essa conectividade é sustentada pelo sistema autotrac e pelo sistema de controle automático de trens (atc). Embora eficazes, esses meios apresentam limitações em trechos de sombra de cobertura, regiões montanhosas e áreas remotas, como é o caso da serra de paranaguá. Além de apresentarem instabilidade em determinados horários ou condições climáticas.

Atualmente, as limitações dos meios de comunicação disponíveis impactam diretamente os processos de licenciamento operacional, resultando em tempos médios de liberação de 5,47 minutos no sentido de descida (curitiba–morretes) e de 5,41 minutos no sentido de subida (morretes–curitiba). Esses tempos elevados contribuem para o aumento do tempo de trânsito na serra, especialmente em períodos de safra, quando se intensificam os fluxos de trens destinados ao porto de paranaguá.

Diante desse cenário, a implantação experimental de um sistema de comunicação via satélite baseado na tecnologia starlink apresenta-se como uma solução tecnológica viável e inovadora para ampliar a cobertura, a estabilidade e a disponibilidade da comunicação operacional ao longo do trecho, inclusive em áreas críticas, como regiões de túneis e/ou montanhosas, zonas de sombra de sinal e áreas remotas, podendo ser replicado para demais malhas que tenham o mesmo cenário ou um parecido.

A tecnologia será aplicada como um terceiro link de comunicação nas locomotivas es43bbi. Essa solução não visa substituir os links existentes, mas sim agregar robustez, continuidade e escalabilidade à arquitetura de comunicação ferroviária, melhorando a área de cobertura, reduzindo o tempo médio de licenciamento.

Estudos preliminares, com base nas especificações técnicas e nas informações fornecidas

pelo fabricante do sistema, indicaram a possibilidade de cobertura de aproximadamente 95% do trajeto, evidenciando o potencial de aplicação da tecnologia em ambiente ferroviário de alta complexidade. Adicionalmente, estima-se que a adoção da solução possa reduzir o tempo médio de licenciamento em aproximadamente 50% em ambos os sentidos de circulação, quando houver parada do trem. Tais ganhos operacionais tendem a refletir positivamente no tempo de trânsito e consequentemente na eficiência energética da operação ferroviária, como efeito indireto da melhoria da fluidez operacional, da redução de paradas e do menor tempo de permanência dos trens no trecho.

O projeto está alinhado às diretrizes e aos objetivos estabelecidos na resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, ao propor o desenvolvimento e a aplicação de tecnologia básica e aplicada, bem como soluções técnicas para problemas operacionais específicos do sistema ferroviário. Trata-se, portanto, de iniciativa de caráter tecnológico e experimental, voltada à modernização da infraestrutura ferroviária.

Dessa forma, o projeto contribui simultaneamente para o aprimoramento da segurança e da eficiência do sistema ferroviário, para a melhoria da qualidade do serviço público concedido, para o fortalecimento da logística nacional e para a promoção de práticas operacionais mais sustentáveis, em consonância com os objetivos regulatórios da agência nacional de transportes terrestres.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

O projeto tem como objetivo a implantação experimental, a integração técnica e a validação técnica e operacional de um sistema de comunicação via satélite starlink aplicado à operação ferroviária em trecho de elevada complexidade, utilizando métodos de pesquisa aplicada, ensaios em ambiente real de operação e análise comparativa de desempenho.

O desenvolvimento do projeto será conduzido por meio das seguintes abordagens metodológicas:

- Estudos técnicos e análises operacionais e de integração sistêmica;
- Implantação de trecho experimental em ambiente real de operação ferroviária (serra de paranaguá - de curitiba a paranaguá);
- Execução de testes operacionais embarcados em locomotivas es43bbi;
- Coleta, monitoramento e análise de dados operacionais em tempo real;

- Comparação de indicadores de desempenho entre o cenário atual e o cenário com a solução implantada;
- Validação técnica e operacional dos resultados obtidos.

Os procedimentos técnicos adotados incluem:

- Configuração e instalação do sistema de comunicação via satélite nas locomotivas selecionadas;
- Integração do sistema starlink com os sistemas de freio pneumático (aplicação de serviço e emergência) e com o centro de controle operacional (cco);
- Monitoramento contínuo da qualidade do sinal, latência, disponibilidade e cobertura da comunicação;
- Avaliação dos tempos de licenciamento operacional, ocorrências operacionais e indicadores de segurança;
- Análise do impacto operacional e energético decorrente da redução de tempos de parada e de licenciamento.

Serão utilizados, adquiridos ou configurados, conforme aplicável:

- Antenas flat high performance;
- Infraestrutura elétrica e de fixação necessária à instalação dos equipamentos;
- Sistemas embarcados existentes nas locomotivas es43bbi;
- Sistemas de monitoramento e registro de dados operacionais;
- Ferramentas e instrumentos de apoio à instalação, testes e medições.

Tais elementos são essenciais para a consecução dos resultados do projeto, uma vez que viabilizam a comunicação contínua, segura e integrada em trecho crítico da operação ferroviária.

O projeto contará com a participação da universidade federal do paraná, responsável por atividades de pesquisa aplicada, análise técnica dos dados e apoio científico   validação técnica e operacional dos resultados.

As atividades acad micas previstas incluem:

- Desenvolvimento de estudos técnicos e científicos relacionados à aplicação de comunicação via s t lite em operações ferroviárias;
- Levantar a capacidade de fornecimento de energia elétrica das baterias das locomotivas es43bbi, qual a demanda atual e como ficará com a implantação do

sistema starlink.

- Desenhar a arquitetura do sistema de comunicação das locomotivas es43bbi, diagrama de contexto e interfaces com a implantação do starlink.
- Propor uma forma de gestão dos links de comunicação (satélite bgan, sistema atc e satélite starlink), visando identificar ausência (falha) de um dos links para correção de forma proativa.
- Projetar um suporte para fixação da antena starlink nas locomotivas es43bbi.
- Criar um manual de troubleshooting do sistema de comunicação com a implantação do starlink.
- Participação de estudantes em atividades de análise de dados e elaboração de relatórios técnicos;
- Capacitação e formação de pessoal especializado no nível de mestrado e engenharia;
- Produção de artigos técnicos e científicos com base nos resultados do projeto.

A definição nominal dos participantes, carga horária e forma de capacitação será realizada conforme cronograma e formalização da parceria institucional.

3.2. ETAPAS

O projeto será desenvolvido em etapas sequenciais e complementares, conforme descrito a seguir:

3.2.1. ETAPA 1 – PLANEJAMENTO TÉCNICO E ESTUDOS PRELIMINARES

A etapa 1 contempla a realização de estudos internos, definição da arquitetura técnica da solução, análise de riscos, requisitos operacionais e critérios de desempenho. Além disso, a etapa 1 contará com a participação ativa da equipe da universidade federal do paraná (UFPR), composta por docentes pesquisadores com expertise nas áreas de telecomunicações, engenharia de sistemas e eficiência energética, além de discentes de graduação e p s-graduação. Essa atuação tem como objetivo contribuir para estruturação técnica do projeto, redução de incertezas, caracterização de riscos tecnológicos e definição de critérios objetivos de desempenho, em consonância com os princípios de desenvolvimento tecnológico estabelecidos na resolução antt n  6.021/2023.

Atividades previstas:

- Aquisição dos notebooks para utilização pela equipe da universidade federal do paraná (ufpr).
- Planejamento e arquitetura técnico-operacional da comunicação: análise da arquitetura atual de comunicação ferroviária empregada no trecho da serra de paranaguá, incluindo os sistemas autotrac, atc e fluxos de dados operacionais; definição da arquitetura de comunicação híbrida e redundante, incorporando o link via satélite como terceiro elo de comunicação, com foco em confiabilidade, continuidade e segurança operacional; estudo dos requisitos técnicos mínimos de latência, jitter, disponibilidade e estabilidade necessários para suportar os processos de licenciamento e despacho ferroviário; e avaliação preliminar dos riscos técnicos e operacionais associados à integração do sistema satelital com sistemas críticos de controle ferroviário, incluindo aspectos de segregação funcional e segurança cibernética.
- Estudos técnicos e de risco tecnológico: avaliação da comunicação via satélite em cenário ferroviário com mobilidade, topografia severa, túneis e zonas de sombra; análise de cenários de falha, degradação de sinal e transições entre enlaces, com identificação de limites operacionais aceitáveis; definição de hipóteses técnicas e critérios de validação, que são testados nas etapas subsequentes do projeto; e levantamento do estado da arte técnico-científico sobre comunicação satelital aplicada a sistemas ferroviários, identificando lacunas de conhecimento que o projeto pretende endereçar.
- Definição de indicadores técnicos, operacionais e energéticos: definição de indicadores técnicos de desempenho da comunicação, tais como disponibilidade do enlace, latência média, taxa de perda de pacotes e estabilidade ao longo do trajeto e áreas de sombra; estruturação de indicadores operacionais, incluindo tempos de licenciamento e impacto sobre a fluidez operacional; desenvolvimento da metodologia de avaliação dos impactos indiretos sobre a eficiência energética, considerando redução de paradas, diminuição de tempos de espera e melhoria da regularidade da circulação ferroviária; e estabelecimento de métricas comparativas para análise pré e p s-implantação, assegurando mensurabilidade dos resultados.
- Planejamento metodológico dos testes e do piloto operacional: planejamento dos testes operacionais embarcados, critérios de amostragem e períodos de coleta de dados; definição dos procedimentos de monitoramento e registro de dados em tempo real; estruturação do método de análise estatística e comparativa dos resultados; planejamento da participação de mestrandos e graduandos em

atividades de apoio à coleta, organização e análise de dados, sob supervisão direta dos docentes.

Materiais e equipamentos envolvidos:

- Notebooks.
- Resultados e produtos esperados:
- Documento técnico de arquitetura da solução de comunicação híbrida;
- Relatório técnico e caracterização do risco tecnológico;
- Conjunto de indicadores técnicos, operacionais e energéticos e respectivas metodologias de avaliação; e
- Plano metodológico detalhado para execução dos testes operacionais e validação técnica e operacional dos resultados.

Prazo estimados:

- 3 (três) meses de desenvolvimento da etapa 1.

3.2.2. ETAPA 2 – COMPRA DE EQUIPAMENTOS STARLINK E INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

Aquisição dos kits de comunicação via satélite starlink destinados à instalação embarcada nas locomotivas es43bbi, conforme especificações técnicas definidas nas etapas de planejamento e integração do projeto e configuração dos sistemas para operacionalização.

Esta etapa é fundamental para viabilizar a implantação do trecho experimental, garantindo a disponibilidade e funcionamento dos equipamentos necessários à execução do projeto.

Na etapa 2, a equipe da universidade federal do paraná (ufpr) atuará de forma complementar e estratégica às atividades da concessionária, com foco na especificação técnica, integração sist mica, validação técnica e operacional e mitigação de riscos tecnológicos associados à incorporação do sistema de comunicação via s t lite   operação ferroviária.

Atividades previstas:

- Aquisição dos kits starlink: formalização do processo de compra; aquisição dos kits starlink; e recebimento, conferência e armazenamento dos equipamentos adquiridos.
- Apoio técnico   especificação e adequação dos equipamentos: análise crítica das

especificações técnicas dos kits starlink selecionados, verificando sua adequação ao ambiente ferroviário embarcado; avaliação de requisitos de robustez mecânica, tolerância a vibração, variação térmica e interferência eletromagnética; apoio técnico à definição de requisitos complementares de instalação (posicionamento de antenas, alimentação elétrica, proteção e fixação); e avaliação de compatibilidade do equipamento com os requisitos operacionais e regulatórios do sistema ferroviário.

- Implantação dos kits starlink: apoio à configuração do sistema de comunicação via satélite; integração com os sistemas embarcados e com o cco; e disponibilização dos kits para a etapa de instalação embarcada.
- Planejamento da integração do sistema satelital aos sistemas ferroviários existentes: definição da arquitetura lógica de integração entre o sistema starlink, os sistemas embarcados das locomotivas es43bbi e o centro de controle operacional (cco); estudo e proposição de estratégias de redundância e priorização de tráfego, distinguindo comunicações críticas (licenciamento, controle) e não críticas; avaliação dos impactos da nova camada de comunicação sobre os fluxos de dados existentes; definição de interfaces, protocolos e parâmetros operacionais a serem utilizados durante os testes.
- Planejamento energético e impactos da integração: avaliação preliminar do consumo energético adicional associado à operação do sistema satelital embarcado; análise da integração elétrica do equipamento à locomotiva, considerando confiabilidade e segurança; definição da metodologia para avaliação dos impactos energéticos indiretos, decorrentes da melhoria da fluidez operacional e redução de paradas; e apoio à definição de indicadores energéticos que serão monitorados nas etapas subsequentes.

Materiais e equipamentos envolvidos:

- Kits starlink (antenas flat high performance, modem, cabos, fontes e acessórios);

Resultados e produtos esperados:

- Equipamentos disponíveis para a instalação.
- Relatório técnico de adequação e especificação dos equipamentos ao ambiente ferroviário;
- Documento de arquitetura de integração dos sistemas de comunicação;
- Definição dos indicadores técnicos e energéticos a serem monitorados.

Importância para os resultados do projeto:

A aquisição dos kits starlink é uma condição essencial para a implantação do sistema de comunicação via satélite nas locomotivas es43bbi, permitindo a execução operacional, a coleta de dados e a validação técnica e operacional dos ganhos de confiabilidade, segurança e eficiência da comunicação ferroviária.

Prazo estimados:

- 5 (cinco) meses de desenvolvimento da etapa 2.

3.2.3. ETAPA 3 – IMPLANTAÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL E INSTALAÇÃO EMBARCADA

A etapa 3 compreende a implantação do trecho experimental e a instalação embarcada do sistema de comunicação via satélite nas locomotivas es43bbi que operam na serra de paranaguá. Nessa fase, a equipe da universidade federal do paraná (UFPR) atuará de forma integrada à concessionária, com foco na engenharia de implantação, validação técnica e operacional, segurança operacional, cibersegurança e preparação metodológica dos testes em ambiente real, caracterizando desenvolvimento tecnológico aplicado em cenário ferroviário de elevada complexidade.

Métodos e técnicas:

- Implantação do trecho experimental e instalação embarcada: homologação do sistema; instalação física dos equipamentos; testes de funcionamento; e liberação para operação.
- Acompanhamento técnico da instalação embarcada e integração física: acompanhamento técnico da instalação física dos equipamentos de comunicação via satélite nas locomotivas es43bbi; avaliação da adequação do posicionamento das antenas, fixação mecânica, roteamento de cabos e integração elétrica; verificação das condições de instalação frente a vibração, variação térmica e interferências eletromagnéticas típicas do ambiente ferroviário; e apoio à validação inicial da integração física com os sistemas embarcados existentes.
- Avaliação de segurança operacional e cibersegurança: avaliação da segregação funcional e lógica entre o sistema de comunicação via satélite e os sistemas críticos de controle ferroviário, especialmente o sistema de controle automático de trens (atc); análise de riscos de interferência, latência excessiva ou falhas de comunicação que possam impactar a segurança da circulação ferroviária;

avaliação preliminar de vulnerabilidades cibernéticas, integridade e disponibilidade das comunicações embarcadas; e proposição de medidas técnicas mitigadoras e critérios de operação segura do sistema.

- Validação técnica e operacional inicial do sistema em ambiente real: testes de conectividade, latência, estabilidade e disponibilidade do enlace via satélite; verificação do correto funcionamento do sistema durante a movimentação das locomotivas; avaliação preliminar do comportamento da comunicação em trechos críticos, como áreas de sombra, túneis e regiões de topografia severa; e registro técnico de não conformidades, limitações e ajustes necessários.
- Preparação metodológica dos testes operacionais e da coleta de dados: definição dos procedimentos detalhados de testes operacionais a serem executados nas etapas subsequentes; estruturação dos mecanismos de coleta, armazenamento e organização dos dados operacionais e energéticos; definição de critérios de amostragem, períodos de observação e parâmetros de comparação; e planejamento da participação de mestrandos e graduandos nas atividades de campo e análise de dados, sob supervisão dos docentes.

Resultados esperados:

- Locomotivas equipadas e operacionais;
- Relatório técnico de implantação embarcada e validação técnica e operacional inicial;
- Relatório de avaliação de segurança operacional e cibersegurança;
- Procedimentos técnicos de testes operacionais e coleta de dados;
- Registro técnico de ajustes, limitações e recomendações para operação experimental;
- Plano consolidado de testes e validação para as etapas seguintes do projeto.

Prazo estimados:

- 4 (quatro) meses de desenvolvimento da etapa 3.

3.2.4. ETAPA 4 – TESTES OPERACIONAIS, MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS

A etapa 4 compreende a execução dos testes operacionais em ambiente real, o monitoramento contínuo do sistema de comunicação via satélite implantado e a coleta

estruturada de dados técnicos, operacionais e energéticos. Nessa fase, a equipe da universidade federal do paraná (ufpr) atuará de forma central na avaliação científica e técnica do desempenho da solução, contribuindo para caracterização das atividades de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, conforme a resolução antt n  6.021/2023. Métodos e técnicas:

- Execução e acompanhamento dos testes operacionais em ambiente real: acompanhamento técnico dos testes operacionais embarcados nas locomotivas es43bbi durante a circulação no trecho da serra de paranaguá; monitoramento do desempenho do sistema de comunicação via satélite sob condições reais de operação, incluindo variações de velocidade, topografia, condições climáticas e densidade de tráfego; observação do comportamento do sistema em trechos críticos, como túneis, regiões de sombra e áreas de elevada interferência; registro técnico de eventos, falhas, degradações de desempenho e situações operacionais relevantes.
- Monitoramento contínuo dos indicadores de comunicação e operação: avaliação de indicadores técnicos de comunicação, tais como disponibilidade do enlace, latência, jitter, perda de pacotes e estabilidade ao longo do trajeto; avaliação de indicadores operacionais, incluindo tempos de licenciamento, tempos de parada, ocorrências relacionadas a falhas de comunicação e regularidade da circulação ferroviária; análise do comportamento comparativo entre o cenário atual e o cenário com a solução implantada; e verificação da aderência do sistema aos cr terios técnicos mínimos definidos no planejamento.
- Coleta, organização e qualificação dos dados operacionais: coleta estruturada e sistemática dos dados gerados pelos sistemas embarcados, pelo centro de controle operacional (cco) e pelos sistemas de monitoramento; organização, qualificação e tratamento inicial dos dados, garantindo consistência, rastreabilidade e confiabilidade; identificação de outliers, falhas de registro e lacunas de dados; preparação das bases de dados para análise estatística e comparativa.

Resultados esperados:

- Bases de dados organizadas e qualificadas de desempenho técnico, operacional e energético;
- Relatórios técnicos preliminares de testes operacionais e monitoramento;
- Registro técnico de eventos, falhas, limitações e recomendações.

Prazo estimados:

- 5 (cinco) meses de desenvolvimento da etapa 4.

3.2.5. ETAPA 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS, VALIDAÇÃO E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

A etapa 5 corresponde à fase de consolidação dos resultados do projeto, envolvendo a análise crítica dos dados coletados, a validação técnica e operacional da solução implantada e a divulgação técnica e científica dos resultados. Nessa etapa, a equipe da universidade federal do paraná (ufpr) contribuir  diretamente na interpretação dos resultados, na geração de evidências mensuráveis e na produção de conhecimento técnico-científico, caracterizando as atividades de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico, conforme a resolução antt n  6.021/2023. Métodos e técnicas:

- Análise técnica dos resultados de comunicação e operação: análise estruturada dos dados técnicos de desempenho da comunicação, incluindo disponibilidade, latência, jitter, estabilidade e cobertura ao longo do trecho experimental; avaliação do comportamento do sistema em cenários críticos, como túneis, zonas de sombra, alta mobilidade e condições operacionais adversas; verificação da aderência do sistema aos critérios técnicos mínimos definidos na etapa de planejamento; identificação de limitações técnicas, gargalos e oportunidades de aprimoramento da solução.
- Avaliação dos impactos operacionais e energéticos: avaliação quantitativa dos impactos da solução sobre os processos de licenciamento operacional, tempos de parada e fluidez da circulação ferroviária; análise comparativa entre os cenários pr  e p s-implantação, com base nos dados consolidados da operação; quantificação dos impactos indiretos sobre a eficiência energética, considerando redução de tempos improdutivos, menor número de ciclos de aceleração/frenagem e maior regularidade operacional; avaliação dos potenciais ganhos em eficiência energética e sustentabilidade associados à melhoria da comunicação operacional; e consolidação de indicadores energéticos e operacionais com base metodológica clara e reprodu  vel.
- Análise crítica e retroalimentação do projeto: análise crítica integrada dos resultados técnicos, operacionais e energéticos; identificação de lições aprendidas, limitações do estudo e riscos residuais; propostas de ajustes técnicos, recomendações operacionais e diretrizes para futuras aplicações da tecnologia; e

retroalimentação da concessionária e os órgãos reguladores com subsídios técnicos para tomada de decisão.

- Produção de publicações científicas.

Resultados esperados:

- Relatórios técnicos consolidados de desempenho da comunicação;
- Análise final dos impactos operacionais e energéticos;
- Relatório técnico de validação técnica e operacional da solução;
- Conjunto de recomendações técnicas e operacionais; e
- Publicações técnicas e científicas decorrentes do projeto.

Prazo estimados:

- 3 (três) meses de desenvolvimento da etapa 5.

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

O projeto tem previsão de início em 01 de agosto de 2026, com a execução da fase de estudos internos e definição das soluções técnicas previstas. A execução dos testes operacionais está estimada para ocorrer em 2027, condicionada à aprovação do projeto e à instalação dos equipamentos, com previsão de consolidação dos resultados e avaliação da eficiência operacional até março de 2028.

O prazo total estimado para o desenvolvimento do projeto é de 20 (vinte) meses.

O custo total estimado do projeto é de R\$ 1.725.948,75, conforme detalhamento apresentado no cronograma físico-financeiro, elaborado de acordo com o modelo definido no anexo II e integrante deste plano de trabalho. O custo total será distribuído nos anos contratuais de acordo com a tabela abaixo.

Ano contratual de projeto	Ano contratual de debito	Custo Previstos
Ano contratual 7	Ano contratual 4	R\$ 1.168.170,00
Ano contratual 8	Ano contratual 8	R\$ 557.778,75
Total		R\$ 1.725.948,75

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O projeto será desenvolvido de forma distribuída, contemplando atividades de estudo, integração técnica, instalação, testes operacionais e coleta de dados, realizadas tanto em ambientes administrativos e acadêmicos quanto ao longo do trecho ferroviário concedido.

As etapas de estudo, análise técnica e desenvolvimento das soluções previstas serão conduzidas nas dependências da concessionária Rumo, localizada na rua Emílio Bertolini, nº100, no bairro Cajuru, em Curitiba - PR, CEP 82920-030, bem como em instituição universitária parceira.

As atividades de instalação de equipamentos, testes operacionais, observação de desempenho e coleta de dados ocorrerão em locomotivas da série ES43BBI, operando no trecho da Serra de Paranaguá, compreendido entre Curitiba e Morretes, no Estado do Paraná.

Os testes e a avaliação da solução abrangerão trechos críticos da operação, incluindo áreas com túneis, rampas acentuadas e curvas de pequeno raio.

O monitoramento, a análise dos dados e a validação dos resultados serão realizados de forma integrada ao Centro de Controle Operacional (CCO), permitindo o acompanhamento em tempo real do desempenho da comunicação e de seus reflexos sobre a segurança e a eficiência da operação ferroviária.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. IDENTIFICAÇÃO DA ENTIDADE

O desenvolvimento do presente projeto será realizado de forma integrada por entidades com atuação complementar nas áreas de operação ferroviária, engenharia, tecnologia e pesquisa aplicada, de forma conjunta entre a concessionária e a instituição de ensino.

A concessionária Rumo Malha Paulista será a entidade responsável pela coordenação e execução do projeto, atuando no planejamento técnico, na integração dos sistemas embarcados, na instalação dos equipamentos, na condução dos testes operacionais e na avaliação dos resultados obtidos ao longo do trecho ferroviário concedido. A Rumo possui ampla experiência na operação ferroviária em trechos de elevada complexidade, incluindo a Serra de Paranaguá, bem como histórico de implementação e gestão de sistemas críticos de controle, sinalização e comunicação ferroviária.

A Universidade Federal do Paraná, atuará no apoio às atividades de pesquisa aplicada, análise técnica dos dados coletados, avaliação de desempenho da solução e desenvolvimento de estudos correlatos. A participação acadêmica tem como objetivo fortalecer a base técnica do projeto e contribuir para a validação científica dos resultados.

As demais atividades relacionadas ao fornecimento de equipamentos e serviços especializados de conectividade via satélite serão realizadas por empresas fornecedoras habilitadas, responsáveis pelo fornecimento dos sistemas de comunicação, sem prejuízo da coordenação técnica e operacional exercida pela concessionária.

As informações detalhadas serão apresentadas a seguir, sendo que eventuais complementações poderão ocorrer após a formalização das parcerias institucionais e da definição final da equipe envolvida, sem prejuízo à execução do projeto.

Os professores disponibilizam sua experiência através do currículo lattes:

- Alexandre Rasi Aoki Cv Lattes [Http://Lattes.Cnpq.Br/0566385360819334](http://Lattes.Cnpq.Br/0566385360819334)
- André Augusto Mariano Cv Lattes [Http://Lattes.Cnpq.Br/2247619809331876](http://Lattes.Cnpq.Br/2247619809331876)
- Ândrei Camponogara Cv Lattes [Http://Lattes.Cnpq.Br/6929200500721452](http://Lattes.Cnpq.Br/6929200500721452)
- Evelio Martín García Fernández Cv Lattes

[Http://Lattes.Cnpq.Br/7967117433538910](http://Lattes.Cnpq.Br/7967117433538910)

- Pablo Deivid Valle Cv Lattes [Http://Lattes.Cnpq.Br/4218832368263637](http://Lattes.Cnpq.Br/4218832368263637)

Os mestrandos e graduandos serão definidos quando o projeto iniciar a execução da etapa 1 com a contratação da UFPR via FUNPAR, de acordo com as normativas internas e perfis necessários para execução das atividades previstas.

7. PRODUTOS E RESULTADOS

O projeto resultará no desenvolvimento, implantação e validação de produtos técnicos e operacionais voltados à modernização da comunicação ferroviária, ao aumento da segurança operacional e à melhoria da eficiência do sistema ferroviário na serra de paranaguá, conforme descrito a seguir.

7.1. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO OPERACIONAL VIA SATÉLITE INTEGRADO À OPERAÇÃO FERROVIÁRIA

Implantação e validação de sistema de comunicação via satélite starlink integrado aos sistemas embarcados das locomotivas es43bbi e ao centro de controle operacional (cco), assegurando comunicação contínua e confiável ao longo do trecho da serra de paranaguá.

7.2. ARQUITETURA TÉCNICO-OPERACIONAL DE INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS

Desenvolvimento de modelo técnico-operacional de integração entre o sistema de comunicação via satélite, os sistemas embarcados existentes, o sistema de despacho e o atc, incluindo soluções de segregação segura das comunicações críticas.

7.3. RELATÓRIOS TÉCNICOS DE TESTES, RESULTADOS E VALIDAÇÃO

Produção de relatórios técnicos detalhando metodologia de testes, indicadores de desempenho, resultados obtidos, análises comparativas (cenário atual x cenário futuro) e conclusões do projeto.

7.4. BASE DE DADOS OPERACIONAIS E INDICADORES DE DESEMPENHO

Consolidação dos dados operacionais coletados durante os testes, incluindo tempos de licenciamento, cobertura de comunicação, ocorrências operacionais e indicadores de

eficiência.

7.5. PUBLICAÇÕES TÉCNICAS E CIENTÍFICAS

Desenvolvimento de publicações técnicas e científicas em parceria com a instituição universitária, com base nos resultados e aprendizados obtidos ao longo do projeto.

A participação em eventos técnico-científicos é fundamental para promover a troca de experiências entre profissionais e acadêmicos, possibilitando o compartilhamento de conhecimentos, resultados e boas práticas, além da identificação de oportunidades de cooperação, inovação e melhorias contínuas.

A IEEE Power & Energy Society General Meeting é um dos principais eventos internacionais voltados à engenharia de energia elétrica, reunindo especialistas, pesquisadores, profissionais da indústria e acadêmicos de diversos países para discussão de tendências, inovações tecnológicas e desafios do setor elétrico.

O evento proporciona um ambiente estratégico para troca de conhecimentos, networking e desenvolvimento de parcerias técnicas e científicas, promovendo debates sobre confiabilidade operacional, sustentabilidade, modernização de sistemas elétricos e integração de novas tecnologias aplicadas à infraestrutura crítica.

A participação no evento contribuirá para a disseminação dos resultados obtidos no projeto, fortalecendo o intercâmbio entre academia e setor produtivo, além de ampliar oportunidades de cooperação e desenvolvimento tecnológico.

Publicações previstas:

- Artigos técnicos e científicos sobre aplicação de comunicação via satélite em operações ferroviárias de alta complexidade;
- Trabalhos acadêmicos relacionados à eficiência operacional, segurança ferroviária e sustentabilidade;

8. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

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

I - RESUMO DO PLANO DE TRABALHO;

II - CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DO PROJETO;

III - PROPOSTAS TÉCNICAS E COMERCIAIS DOS TERCEIRIZADOS QUE IRÃO PARTICIPAR DO PROJETO;

IV - COTAÇÕES COMERCIAIS;

V - CURRÍCULO DOS COORDENADORES EM FORMATO .PDF;

VI - ORÇAMENTO ANALÍTICO PREVISTO;

VII - LISTA DE BENS, PRODUTOS E ESTUDOS COM PREVISÃO DE TRANSFERÊNCIA; E

VIII - DECLARAÇÃO DE OBSERVÂNCIA AO DISPOSTO NA RESOLUÇÃO Nº 6.021, DE 2023, E NA PORTARIA Nº 17, DE 2023.