

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres.

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**INCREMENTO DA SEGURANÇA E QUALIDADE DA VIA FERREA - FOCO
NA GEOMETRIA**

**PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES PARA AUMENTO DA
SEGURANÇA FERROVIÁRIA**

RUMO MALHA CENTRAL S.A.

06/11/2025

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. MOTIVAÇÃO	3
3. DESCRIÇÃO DO PROJETO	6
1.1. Título do Projeto:	6
1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento	6
1.1.2. Temas	6
1.2. OBJETIVOS	7
1.2.1. Objetivo Geral	7
1.2.2. Objetivos Específicos	7
4. JUSTIFICATIVA.....	7
5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	8
1.1. Métodos e técnicas utilizadas	8
1.2. Trechos e Medições	9
1.3. Materiais e Equipamentos.....	10
1.4. Etapas.....	10
1.5. Atividades	10
6. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL	11
7. LOCAL DE EXECUÇÃO	12
8. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA.....	12
8.1. Identificação da entidade	12
8.2. Identificação da Equipe Executora.....	12
8.3. Justificativa de contratação direta.....	13
9. LISTA DE PRODUTOS ADQUIRIDOS	13
10. PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS.....	13
11. PRODUTOS GERADOS	14
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS	14
13. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO.....	15

1. INTRODUÇÃO

A Rumo Logística é a maior operadora de logística ferroviária independente do Brasil, com cerca de 13.500 km de linhas férreas, mais de 1.200 locomotivas, 33.000 vagões e atuação em 9 estados, conectando os principais pólos produtivos do agronegócio brasileiro aos maiores portos do país. Com foco contínuo em inovação, sustentabilidade e segurança operacional, a empresa movimenta mais de 80 bilhões de TKUs ao ano, sendo responsável por uma parcela expressiva da matriz de transporte nacional.

A segurança e qualidade da via férrea são inquestionavelmente fator relevante na operação eficaz dos sistemas ferroviários. Um descarrilamento num trem longo pode causar prejuízos de elevada monta com custos diretos do material rodante e infraestrutura além de custos indiretos pela interrupção do tráfego. Tudo isso sem considerar os custos ambientais e eventual prejuízo humano. (<https://www.avantetech.com/atgms-autonomous-rail-track-geometry-measurement-system>).

Nos últimos anos, a Rumo tem investido de forma estratégica no aumento da eficiência energética e na ampliação da capacidade de transporte, com destaque para projetos de composições ferroviárias mais longas e pesadas, tração distribuída, e automatização operacional por meio de tecnologias como o *Trip Optimizer* e *Locotrol* aplicados a trens longos. Tem investido também na renovação e manutenção da via férrea com intenção de melhorar a qualidade da malha viária. Contudo, essas evoluções operacionais trazem desafios tecnológicos relacionados ao tamanho dos trens, carga dos vagões e efeitos dinâmicos pela interação veículo-via. O aumento de carga também sobrecarrega toda a estrutura da via férrea (trilhos, dormentes, lastro e sublastro).

Neste sentido, a presente proposta visa consolidar um programa de pesquisa tecnológica que permita, por meio de modelagens físicas e digitais, técnicas experimentais, mapear as solicitações associadas, avaliar a geometria de forma ampla considerando os efeitos do material rodante e condição operacional destas novas configurações. A iniciativa se alinha às frentes de atuação científica da Universidade de São Paulo – Escola Politécnica (USP), em particular do Laboratório de Dinâmica e Simulação Veicular (LDSV) especialmente nas linhas de análise da geometria e irregularidades da via férrea, modelagem de sistemas mecânicos, análise de vibrações, em cooperação direta com a equipe de engenharia da Rumo.

2. MOTIVAÇÃO

A qualidade do sistema ferroviário está associada com o conforto dos passageiros, com a segurança do trem e vagões no tráfego e com a capacidade/durabilidade da via férrea. A segurança no tráfego de veículos sobre a via é quantificada objetivamente pelo limite de segurança proposto por Nadal (1908). As rodas do veículo produzem as forças verticais de suporte do peso próprio e forças laterais de guiagem. As forças laterais em geral produzem a mudança da trajetória no plano. Quando as forças não são suficientes para acompanhar a trajetória imposta pela geometria da via, há perda de trajetória, ou seja, o veículo não acompanha os trilhos e há descarrilamento. Neste sentido, o conhecimento das forças de direcionamento, são de fundamental importância para identificar a capacidade de acompanhamento da trajetória imposta e, portanto manter a

segurança no tráfego. A possibilidade de passagem da roda por sobre o trilho também depende da carga vertical. A inclusão deste efeito pode ser quantificada pela relação das forças de contato (lateral e vertical) conhecida como a relação de segurança L/V ou limite de Nadal (1908).

Existem vários índices que buscam quantificar a qualidade da via: “Índice de qualidade da via” (*Track Quality Index – TQI*) que nada mais são que um somatório ponderado das diversas variáveis geométricas mensuráveis da via (Li e Xiao, 2014). Outro índice normalizado é o “Alívio da carga vertical na roda” (*Wheel Load Relief – WLR*) cuja recomendação normativa é não ser inferior a 10% do peso próprio. Note, entretanto que esses índices não guardam relação direta nenhuma com a segurança.

Portanto a quantificação da segurança do tráfego na via depende do comportamento dinâmico do veículo, da geometria da via férrea e velocidade de tráfego do trem. O método tradicional mais preciso de identificação da segurança é a medição das forças lateral e vertical para determinar o índice de segurança (L/V) utilizando rodeiro instrumentado (*Instrumented wheelset – IWS*). Método inercial moderno de identificação de forças e estimativa da relação de segurança foi proposto e desenvolvido na USP (Barbosa, 2015), conforme ilustrado no diagrama de blocos da Figura 1. Essa metodologia é denominada de “ÍNDICE DINÂMICO DA SEGURANÇA DA VIA” (*Track Dynamic Safety Index – TDSI*) e deve ser utilizada para quantificar experimentalmente a relação entre a dinâmica veicular e as irregularidades da geometria da via férrea.

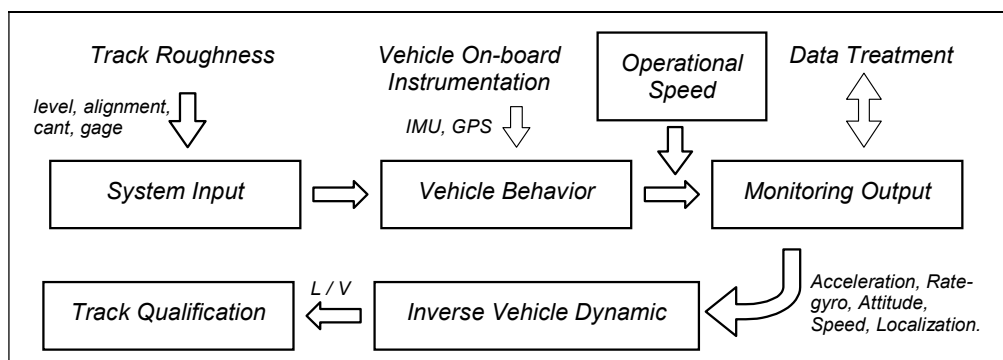


Figura 1 - Diagrama de Blocos do Índice Segurança (TDSI)

O método tradicional de “Medição da Geometria” de via utilizando veículo especializado de medição (carro controle) é realizado utilizando a técnica de medida em três pontos, que mede a flecha da curvatura no meio da corda, numa determinada seção da via. A magnitude da flecha depende do comprimento da corda da medição (distância entre os pontos de apoio do carro de medição) para uma determinada irregularidade. Note, entretanto que a definição do tamanho da corda (típico de 62 pés) não guarda relação direta com o comprimento do vagão. Os valores medidos são confrontados com limites propostos em normas, quantificadas tão somente pela experiência dos operadores. Note também que a medição geométrica não contém nenhuma informação sobre a segurança do veículo que por ela trafega, nem sobre a velocidade operacional do trem.

Técnicas modernas como a “Análise espectral do conteúdo em comprimento de onda da irregularidade da via” (*Track Spectral Wave-Length Roughness – TSWR*) que permite identificar trechos com propensão a produzir vibrações persistentes que, a

depende da velocidade de tráfego do trem, pode resultar no fenômeno de ressonância do veículo. Esse fenômeno magnifica as forças de contato (L/V) podendo gerar condição de insegurança. O espectro em comprimento de onda das irregularidades permite visualizar os comprimentos de onda e locais críticos da via férrea para eventual intervenção. Outra técnica é a “Identificação do alívio da carga vertical na roda” (*Wheel Load Relief - WLR*) que verifica o alívio da força vertical de contato roda/trilho.

A nova metodologia desenvolvida pela Universidade de São Paulo (POLI-USP) para quantificar a **EFETIVA SEGURANÇA DO TRÁFEGO** na via sob o ponto de vista da influência dos parâmetros da sua geometria é denominada de “Índice geométrico de segurança da via” (*Track Geometric Safety Index – TGSI*) e leva em consideração as propriedades geométricas da via, propriedades do veículo e velocidade efetiva de tráfego dos trens, conforme ilustrado na Figura 2.

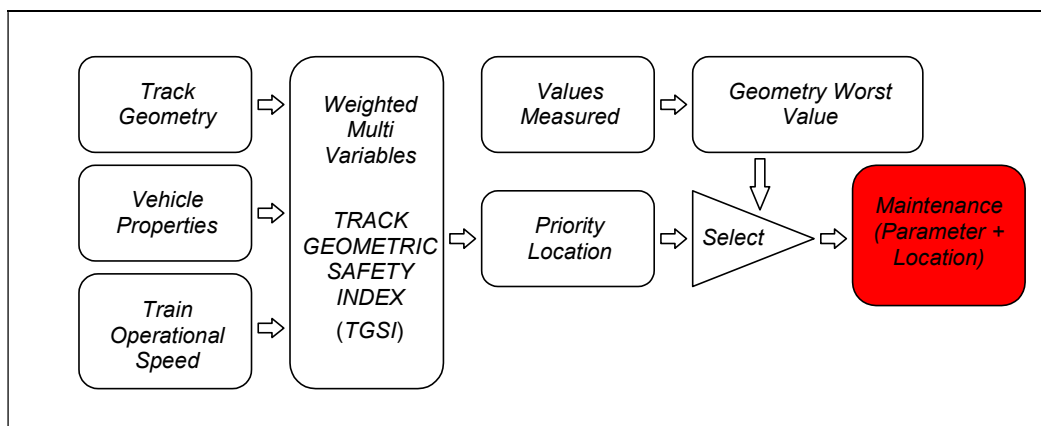


Figura 2 – Nova Técnica Ponderada Objetiva de Avaliação da Segurança da Via (TGSI)

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto:

INCREMENTO DA SEGURANÇA E QUALIDADE DA VIA FERREA - FOCO NA GEOMETRIA

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

A aderência da presente proposta de projeto às diretrizes de aplicação dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico (RDT) definidas conforme a Resolução 6.021 de 2023, determinada pela ANTT se enquadra em:

- Artigo 3º item II - melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, relacionada aos atributos de SEGURANÇA e EFICIÊNCIA.
- Artigo 4º item II - Tecnologia básica e APLICADA e
- Artigo 4º item III - Soluções técnicas para PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

De acordo com os temas de desenvolvimento tecnológico (RDT) descritos no ANEXO I da Deliberação Nº 169 de 2024, verifica-se as seguintes aderências dos temas:

- Item 1 - Qualidade no serviço de transporte ferroviário, com foco principal na atualidade.
- Item 4 - Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária, com foco principal em passagens de nível e locais críticos.
- Item 10 - Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária.

Além disso, conforme a Seção V - Dos Investimentos em Inovação, da Lei nº 14.273, de 2021, versa, no Art. 18 que:

§ 1º Os recursos referidos no inciso I do caput deste artigo devem ser utilizados para a realização de pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor ferroviário,..., em parceria com:

I - Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação...

1.1.2. Temas

Tema 04 - Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente projeto é o desenvolvimento e aplicação de técnicas modernas e eficientes de quantificar a SEGURANÇA e a QUALIDADE da ferrovia com ferramenta de aplicação de qualificação e análise da via férrea, para fornecer suporte à tomada de decisão em ações de manutenção eficaz da ferrovia.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente projeto de INCREMENTO SEGURANÇA E QUALIDADE DA VIA FERREA com FOCO NA GEOMETRIA são:

- Desenvolver método de tratamento e medição experimental da geometria e irregularidade da via férrea consistente com as características do material rodante.
- Realizar um programa com três baterias de medições de geometria de via em locais pré-estabelecidos em condições controladas.
- Análise das medições das irregularidades da via férrea utilizando técnicas modernas de tratamento numérico e interpretação.
- Realizar a validação do processo de identificação e qualificação das condições da via férrea.
- Identificar as condições de qualidade e segurança da via férrea a partir do programa de medições experimentais de campo.
- Proposição de método complementar de quantificação da qualidade e segurança da via férrea.

4. JUSTIFICATIVA

Os métodos tradicionais de “Medição da Geometria” de via utilizando topografia ou veículo especializado de medição (carro controle) é realizado utilizando a técnica de medida em três pontos, que mede a flecha da curvatura no meio da corda, numa determinada seção da via. A magnitude da flecha depende do comprimento da corda da medição (distância entre os pontos de apoio do carro de medição) para uma determinada irregularidade. Note, entretanto que a definição do tamanho da corda (típico de 62 pés) não guarda relação direta com o comprimento do vagão. Os valores medidos são confrontados com limites propostos em normas. Note também que a medição geométrica não contém nenhuma informação sobre a segurança do veículo que por ela trafega, nem sobre a velocidade operacional do trem.

Neste sentido o presente projeto propõe agregar informações relevantes do comportamento dinâmico do material rodante e de procedimentos operacionais de movimentação dos trens, num único índice de segurança que possa de maneira conceitualmente fundamentada e eficiente que possa auxiliar a tomada de decisão dos investimentos em manutenção da via férrea.

A aderência do presente proposta de projeto com base tecnologia aplicada para solucionar problemas específicos, às diretrizes de aplicação dos Recursos para Desenvolvimento Tecnológico (RDT) definidas conforme a Resolução 6.021 de 2023,

determinada pela ANTT se enquadra no campo da melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, relacionada aos atributos de segurança e eficiência.

O presente projeto tem integração direta com outro projeto de RDT da RUMO que atende aos problemas de “Segurança Vibracional do Material Rodante” criando uma sinergia construtiva no desenvolvimento da qualidade e aprimoramento da segurança operacionais.

Os ganhos do presente projeto consistem na identificação de um Índice de Segurança que pode complementar os atuais indicadores geométricos de qualidade da via férrea, tornando a priorização dos locais de intervenção na via férrea efetivamente ligadas ao aumento da segurança do material rodante em tráfego.

Os benefícios do presente projeto são o incremento na qualidade e segurança da operação ferroviária o que acarreta na redução de custos operacionais, aumento da eficiência na aplicação de recursos de manutenção e redução do consumo de energia. Naturalmente a redução de custos e aumento da qualidade auxilia na sustentabilidade do modal ferroviário com benefícios sociais evidentes na redução do custo do transporte em geral, redução de riscos na faixa lindeira da ferrovia devido ao aumento de segurança beneficiando as comunidades e municípios no entorno do faixa da ferrovia e usuários do produto final de transporte ferroviário.

5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

1.1. Métodos e técnicas utilizadas

A metodologia tecnológica adotada consiste no desenvolvimento e aplicação de técnicas modernas como a “Análise espectral do conteúdo em comprimento de onda das irregularidade da via” (*Track Spectral Wave-Length Roughness - TSWR*) que permite identificar trechos com propensão a produzir vibrações persistentes que, a depender da velocidade de tráfego do trem, pode resultar no fenômeno de ressonância do veículo. Esse fenômeno magnifica as forças de contato (L/V) podendo gerar condição de insegurança. O espectro em comprimento de onda das irregularidades permite visualizar os comprimentos de onda e locais críticos da via férrea para eventual intervenção. Outra técnica a ser desenvolvida e aplicada é a “Identificação do alívio da carga vertical na roda” (*Wheel Load Relief - WLR*) que verifica o alívio da força vertical de contato roda/trilho. Este aspecto afeta diretamente o comportamento do material rodante sendo um balizador da segurança.

A metodologia em realizar medidas de geometria com o carro controle ou sistema equivalente de medição, num trecho selecionado da malha ferroviária e analisar a segurança no tráfego utilizando a técnica de análise espectral (*Track Spectral Wave-Length Roughness – TSWR*), identificação do Alívio da Carga Vertical na Roda (*Wheel Load Relief - WLR*) e a metodologia de índice de segurança no tráfego (*Track Geometric Safety Index – TGSi*). Os locais identificados com menor segurança tornam-se prioritários para intervenção de manutenção dentre os locais já selecionados pelos critérios geométricos medidos e identificados pelas técnicas convencionais.

As variáveis geométricas medidas na via férrea e utilizadas no método Índice geométrico de segurança da via (*Track Geometric Safety Index – TGSi*) são:

- Superelevação da seção da via férrea;
- Nivelamento Vertical do eixo central da via férrea;
- Alinhamento Lateral do eixo central da via férrea;
- Curvatura da via férrea;
- Torção da via férrea;

As características do **VEÍCULO** utilizadas na metodologia **TGSI** são:

- Propriedades Inerciais (massa e momentos de inércia);
- Propriedades Geométricas (dimensões e altura do centro de massa);
- Elasticidade da suspensão;
- Rigidez torcional do truque e do vagão;
- Condição de Carregamento (vazio ou carregado).

As características do **OPERAÇÃO** do trem utilizadas metodologia **TGSI** são:

- Velocidade Efetiva de Tráfego por trecho (VET);
- Velocidade Máxima Autorizada (VMA);
- Sentido de Tráfego.

Estes dados devem ser medidos/identificados pela **RUMO** e fornecido para a equipe de projeto para a aplicação do método de Índice geométrico de segurança da via (*Track Geometric Safety Index – TGSI*) que é o objeto deste desenvolvimento tecnológico.

1.2. Trechos e Medições

Os trechos indicados pela **RUMO** para avaliação da SEGURANÇA e QUALIDADE da via férrea são:

- Trecho Norte SP – Bitola Larga na região de São Roque à Embu das Artes;
- Trecho Sul Paraná – Bitola Métrica na região de Apucarana à Reserva.

A avaliação será realizada num trecho de 10 km nas duas regiões selecionadas e as medidas de geometria serão realizadas pela RUMO com os sistemas ATGMS (Automated Track Geometry Measurement System) da Ensco e sistema V/TI (autonomous Vehicle/Track Interaction Monitor) da Ensco. A RUMO deve fornecer a planta plani-altimétrica da via nos trechos selecionados e indicar o vagão típico e fornecer suas propriedades e condições operacionais do trem na região.

1.3. Materiais e Equipamentos

Os equipamentos utilizados são os sistemas de medição de geometria da via ATGMS da Ensco (<https://www.ensco.com/rail/track-geometry-measurement-system-tgms>) e sistema V/TI da Ensco (<https://www.ensco.com/rail/vehicle-track-interaction-vti-monitor>) que são instalados na locomotiva ou vagão com software próprio de fornecimento ENSCO. Estes equipamentos são de propriedade da RUMO e tem importância fundamental na realização do projeto, pois serão utilizados para coletar as medidas de geometria e irregularidade da via férrea nos trechos selecionados para análise.

1.4. Etapas

O projeto proposto está dividido em etapas para realização do escopo definido nos objetivos propostos:

- Etapa 1 - Desenvolver método de tratamento e medição experimental da geometria e irregularidade da via férrea consistente com as características do material rodante.
- Etapa 2 - Realizar um programa de medições de geometria de via em locais pré-estabelecidos em condições controladas.
- Etapa 3 - Análise das medições das irregularidades da via férrea utilizando técnicas modernas de tratamento numérico e interpretação.
- Etapa 4 - Realizar a validação do processo de identificação e qualificação das condições da via férrea.
- Etapa 5 - Identificar as condições de qualidade e segurança da via férrea a partir do programa de medições de campo.
- Etapa 6 - Proposição de método complementar de quantificação da qualidade e segurança da via férrea.

1.5. Atividades

Cada fase do projeto proposto está dividido em atividades para atingir os objetivos definidos no escopo proposto:

- Atividade 1.1 - Realizar o levantamento das características do material rodante.
- Atividade 1.2 - Desenvolver método consistente de tratamento e medição experimental da geometria e irregularidade da via férrea.
- Atividade 2.1 – Implementar nos equipamentos de medição da geometria da via o processo adequado de medição e os métodos de tratamento dos dados medidos.
- Atividade 2.2 - Realizar um programa com duas baterias de medições de geometria de via em locais pré-estabelecidos em condições controladas (Equipamento e realização RUMO).
- Atividade 3.1 – Realizar o tratamento das medições experimentais das irregularidades da via férrea.

- Atividade 3.2 - Realizar a análise e interpretação dos resultados das medições das irregularidades da via férrea utilizando técnicas modernas de tratamento numérico e interpretação.
- Atividade 4.1 - Elaborar um procedimento de medição experimental das condições da via férrea.
- Atividade 4.2 – Acompanhar a realização das duas baterias de medições experimentais das condições da via férrea (Serviço).
- Atividade 4.3 - Realizar a validação do processo de identificação e qualificação das condições da via férrea.
- Atividade 5.1 – Analisar as condições de geometria e irregularidade da via férrea nos trechos previamente mensurados (item 2.2)
- Atividade 5.2 - Identificar as condições de qualidade e segurança da via férrea a partir do resultados das medições de campo.
- Atividade 6.1 - Análise e interpretação de resultados para a quantificação da qualidade e segurança da via férrea.
- Atividade 6.2 - Proposição de método complementar de quantificação da qualidade e segurança da via férrea.

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

O projeto tem previsão de início para o dia 1 de fevereiro de 2026, com duração total de doze meses. O custo total previsto para a execução, sob responsabilidade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP), é de R\$: 1.722.051,67.

Informação	Ano contratual que será debitado o valor	Custo Previstos
Valor 2026	Ano contratual 7	R\$ 1.287.431,92
Valor 2027	Ano contratual 8	R\$ 434.619,75
Valor Total	R\$ 1.722.051,67	

7. LOCAL DE EXECUÇÃO

O local de execução do projeto é na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) em parceria/colaboração com a RUMO Logística.

O endereço da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) é na Avenida Professor Mello Moraes, nº 2231, Sala ES-11 cep.: 05508-970 - São Paulo - SP - Brasil

O local de execução de testes e medições de campo serão aquelas designadas pela RUMO no decorrer do projeto.

8. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

8.1. Identificação da entidade

A entidade executora será a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) em parceria/colaboração com a Rumo Malha Central.

O histórico de participação em projetos ou pesquisas na linha do que está sendo proposta pode ser apreciada diretamente no currículo Lattes da equipe técnica executora no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/6732555323294000>.

8.2. Identificação da Equipe Executora

A equipe técnica executora do projeto por parte da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) será:

- Coordenador: Prof Dr. ROBERTO SPINOLA BARBOSA, professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (CPF.: 010.437.118-80) com curriculum *Lattes* no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/6732555323294000>.
- Colaborador: Prof. Dr. WALTER JORGE AUGUSTO PONGE-FERREIRA, professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (CPF.: 060.777.028-70) com curriculum *Lattes* no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/0561481477352247>.
- Colaborador: Prof. Dr. LUCAS FRANCESCHINI, professor do Departamento de Matemática da USP (CPF.: 398.202.378-58), com curriculum *Lattes* no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/4921110587510112>
- Colaborador: Prof. Dr. JOSÉ AUGUSTO IGNACIO DA SILVA, professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (CPF.: 418.490.528-59) com curriculum *Lattes* no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/9060791928350739>

Os **engenheiros** que devem receber Bolsa Treinamento Técnico e Bolsa POSDOC com os recursos do RDT serão selecionados e definidos após o início o projeto

Os **estudantes** que devem receber bolsa remunerada com os recursos do RDT serão selecionados e definidos após o início do projeto.

A equipe técnica executora do projeto por parte da a RUMO Logística será:

- Coordenador RUMO: Engenheiro Jean Santos, (CPF.: 023.454.979-39) com curriculum *Lattes* no endereço eletrônico: <http://lattes.cnpq.br/6732555323294000>.
- Engenheiro Colaborador da RUMO: (a ser definido após o início do projeto e enviado posteriormente à ANTT).

8.3. Justificativa de contratação direta

Os serviços de instrumentação e medida de campo são realizados por empresa especializada não convencional no mercado, pois se utiliza de tecnologia específica para instrumentação com acelerômetros, girômetros e GPS além da medição e análise especializada dos dados que são fundamentais para o bom desempenho do projeto, caracterizando, portanto, a excepcionalidade no fornecimento de serviço. Este fato dificulta a possibilidade de obtenção de orçamentos equivalentes requeridos.

9. LISTA DE PRODUTOS ADQUIRIDOS

Descrição dos bens e produtos com previsão de aquisição e transferência para a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

- a) LIVROS DIVERSOS– JUSTIFICATIVA: utilização para estudo da teoria e elaboração dos métodos de identificação da segurança e qualidade da via férrea e posterior utilização acadêmica na Escola Politécnica.
- b) SOFTWARE – ADAMS – JUSTIFICATIVA: realizar a modelagem e a simulação numérica do comportamento dinâmico do sistema mecânico para a validação do método de identificação da segurança e qualidade da via férrea e posterior utilização acadêmica na Escola Politécnica.
- c) SOFTWARE DIVERSOS – JUSTIFICATIVA: software de apoio ao projeto como editor de texto, editor de planilhas, software de desenho, anti-virus e posterior utilização acadêmica na Escola Politécnica.

10. PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS

A equipe do projeto deverá atender à Conferência **CETRA 2026** - 9ª Conferência Internacional sobre Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária – que será realizada de 27 a 29 de maio de 2026 em Bol, Ilha de Brač, com voo direto de Zagreb, Croácia. A conferência **CETRA** se consolidou como uma plataforma líder para o intercâmbio de conhecimento científico e técnico nas áreas de Engenharia Civil, de Transportes, Geotécnica, Ambiental e de Tráfego, para enfrentar os desafios de fornecer infraestrutura de transporte segura, resiliente, sustentável e inteligente.

Site do evento: <https://cetra.grad.hr/ocs/index.php/cetra9/cetra2026>

A equipe do projeto também atender à Conferência **ERTMS 2026** programada para ocorrer de 21 a 23 de abril de 2026 em Valenciennes, França. O evento reunirá especialistas da Agência Ferroviária da União Européia, da Comissão Européia, organizações ferroviárias, fornecedores e usuários para compartilhar informações sobre

os últimos desenvolvimentos e a implementação do **ERTMS** (*European Rail Traffic Management System*).

Site do evento: <https://www.era.europa.eu/content/ertms-2026-conference>

Para atender aos eventos programados passagens e hospedagens para as equipes técnicas do projeto serão previstas na planilha de orçamento.

11. PRODUTOS GERADOS

Os produtos gerados no âmbito do presente projeto de desenvolvimento tecnológico compreendem:

- I. **Relatório Técnico Final**, contendo a análise completa da segurança no tráfego ferroviário nos trechos avaliados, incluindo a aplicação integrada das metodologias de Análise Espectral das Irregularidades da Via (Track Spectral Wave-Length Roughness – TSWR), Alívio da Carga Vertical na Roda (Wheel Load Relief – WLR) e do Índice Geométrico de Segurança da Via (Track Geometric Safety Index – TGSI).
- II. Descrição detalhada e segregada dos métodos de cálculo, algoritmos e procedimentos técnicos utilizados na composição dos índices de segurança atuais e propostos, de forma a garantir a rastreabilidade, transparência e replicabilidade dos resultados obtidos.
- III. Manual técnico ou proposta de normativo técnico, contendo as diretrizes para aplicação continuada da metodologia desenvolvida, incluindo:
 - a. especificações técnicas dos dados de entrada;
 - b. requisitos mínimos de qualidade e frequência de medição;
 - c. procedimentos operacionais para coleta, tratamento e análise dos dados;
 - d. requisitos mínimos de equipamentos e sistemas de medição;
 - e. orientações para interpretação dos resultados e apoio à tomada de decisão em manutenção da via férrea.
- IV. Documentação dos softwares e ferramentas computacionais utilizados, quando aplicável, incluindo descrição funcional, fluxos de processamento e parâmetros relevantes à aplicação dos índices de segurança.

Os produtos acima descritos têm como finalidade assegurar a continuidade da aplicação da metodologia desenvolvida, bem como possibilitar sua utilização por outros agentes do setor ferroviário, em consonância com os princípios de inovação aberta e desenvolvimento tecnológico previstos na regulamentação vigente.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

Barbosa, R. S. (2015) New method for railway track quality identification through the safety dynamic performance of instrumented railway vehicle. Journal of the Brazilian

Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol.: 38, p. 1-11. DOI: 10.1007/s40430-015-0471-9.

Barbosa, R. S. (2023) Monitoring railway track quality and safety using dynamic inertial response of the carbody and truck. Proceedings of the 12th International Heavy Haul Association Conference 2023 (IHHA - Rio23). Paper 39, pp.: 365-372. ISBN: 978-0-7961-2342-8.

Hui Li and Tianyuan Xiao (2014) Improved Generalized Energy Index method for comprehensive evaluation and prediction of track irregularity. Journal of Statistical Computation and Simulation, Vol. 84, n° 6, pp. 1213–1231, DOI: 10.1080/00949655.2013.797420

EN 14363:2016+A2 (2022) Railway applications - Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Running Behaviour and stationary tests.

EN 13848-6 (2014) Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 6: Characterisation of track geometry quality.

NBR16387 (2020) Via férrea — Classificação de vias - Norma da ABNT.

NBR 16961 (2021) Via Permanente - Estudos e Projeto Geométrico - Requisitos Mínimos - Norma da ABNT.

NBR16810 (2023) Via férrea — Superelevação em curvas - Norma da ABNT.

NBR16995 (2021) Raio mínimo horizontal em curva de veículos acoplados - Método de cálculo - Norma da ABNT.

13. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

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.