PLANO DE TRABALHO PARA UTILIZAÇÃO DE RDT

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

PLANO DE TRABALHO

PROPOSTA PARA ELABORAÇÃO DE METODOLOGIA INTEGRADA E CONJUNTA DE ANÁLISE DE RISCOS NO ENTORNO DAS FERROVIAS E DEFINIÇÃO DA LARGURA SEGURA DA FAIXA DE DOMÍNIO

TEMA 06 - TECNOLOGIAS PARA ACOMPANHAMENTO E DEFINIÇÃO DA FAIXA DE DOMÍNIO

RUMO MALHA CENTRAL S.A.

19/10/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO 3
1.1 Título do Projeto 3
1.1.1 Linha de inovação e desenvolvimento 3
1.1.2 Temas 5
1.2 Objetivos 5
1.2.1 Objetivo Geral 5
1.2.2 Objetivos Específicos 6
2. JUSTIFICATIVA 7
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 9
3.1 Métodos e técnicas utilizadas 9
3.1.1 Eixo 1 – Análise Técnico-Operacional e Geométrica 9
3.1.2 Eixo 2 – Modelagem Multicritério 10
3.1.3 Eixo 3 – Representação Geoespacial e SIG 11
3.1.4 Capacitação e divulgação de resultados 11
3.2 Justificativas e descrição dos equipamentos, instalações e materiais necessários 12
3.3 Projetos científicos e acadêmicos 18
3.4 Etapas 20
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 da entidade 22
6.2 Identificação da equipe executora 23
7 PRODUTOS 23
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS 25
9 ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO 27

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 Título do Projeto

Proposta para elaboração de metodologia integrada e conjunta de análise de riscos no entorno das ferrovias e definição da largura segura da faixa de domínio

1.1.1 Linha de inovação e desenvolvimento

Conforme a **Resolução ANTT nº 6.021, de 20 de julho de 2023**, este projeto enquadra-se diretamente em diversas das diretrizes estabelecidas no **artigo 3º**, em razão de seu caráter inovador, da forte integração entre pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico, capacitação de recursos humanos e geração de ferramentas voltadas ao aprimoramento da segurança e da gestão da infraestrutura ferroviária brasileira.

O projeto atende, em primeiro lugar, à diretriz prevista no inciso I do artigo 3º, referente à **modernização da infraestrutura integrante do Subsistema Ferroviário Federal**. A pesquisa propõe o desenvolvimento de uma proposta de metodologia inédita e integrada para avaliação da segurança operacional e territorial das ferrovias, incorporando análises técnico-operacionais, geotécnicas, multicritério e geoespaciais em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Como resultado, será possível estabelecer uma proposta, baseada em critérios técnicos para definição da largura segura da faixa de domínio, identificar trechos críticos e subsidiar intervenções voltadas ao aumento da segurança e da confiabilidade da infraestrutura ferroviária. Trata-se, portanto, de uma contribuição direta para a modernização dos processos de planejamento, gestão patrimonial e operação da infraestrutura concedida.

O enquadramento também é plenamente justificado pela diretriz constante do inciso II do artigo 3º, relativa à **melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal**. Os resultados esperados permitirão reduzir riscos operacionais associados a descarrilamentos, ocupações irregulares, instabilidades geotécnicas e conflitos entre a ferrovia e o uso do solo adjacente, contribuindo para o aumento da segurança operacional, da regularidade e da continuidade dos serviços prestados pelas concessionárias. Além disso, a ferramenta multicritério proposta permitirá priorizar investimentos e intervenções de forma objetiva, aumentando a eficiência da gestão dos ativos ferroviários e proporcionando melhor utilização dos recursos destinados à manutenção e expansão da infraestrutura.

A proposta enquadra-se ainda na diretriz prevista no inciso IV, referente ao **desenvolvimento de novos centros de pesquisas tecnológicos na área ferroviária**. O projeto promove a consolidação de competências científicas multidisciplinares envolvendo engenharia ferroviária, geotecnia, geoprocessamento, análise multicritério, ciência de dados e planejamento territorial, fortalecendo a capacidade nacional de pesquisa aplicada ao setor ferroviário. A interação permanente entre a equipe técnica, formada por profissionais de diferentes universidades, a concessionária ferroviária e a Agência Nacional de Transportes Terrestres favorece a criação de um ambiente de inovação capaz de produzir metodologias, bases de dados, modelos computacionais e ferramentas que poderão ser continuamente aprimorados em projetos futuros, consolidando uma estrutura permanente de pesquisa tecnológica voltada às necessidades do setor ferroviário brasileiro.

Da mesma forma, o projeto atende ao inciso V do artigo 3º, referente à **melhoria da infraestrutura laboratorial das instituições de ensino técnico e superior com foco ferroviário**. Durante sua execução serão estruturadas bases de dados georreferenciadas, procedimentos de coleta e processamento de informações, protocolos de inspeção de campo, ambientes computacionais para análise espacial e multicritério, além de ferramentas de visualização e apoio à decisão. Os equipamentos eventualmente adquiridos, assim como os softwares, metodologias e

infraestrutura computacional desenvolvidos, fortalecerão os laboratórios envolvidos na pesquisa e permanecerão como legado para novos projetos científicos, atividades de ensino, pesquisa e prestação de serviços tecnológicos ao setor ferroviário nacional.

A proposta também contempla integralmente a diretriz prevista no inciso VI do artigo 3º, relacionada ao **desenvolvimento de cursos de formação em diversos níveis acadêmicos e ao aperfeiçoamento de profissionais do setor público e privado**. Entre seus objetivos específicos estão a elaboração de manuais técnicos, propostas de diretrizes normativas, capacitação de tomadores de decisão e ampla divulgação dos resultados obtidos. Além da formação direta de profissionais das concessionárias e dos órgãos reguladores, o projeto proporcionará ambiente favorável à formação de recursos humanos altamente qualificados por meio do desenvolvimento de trabalhos de graduação, iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado, ampliando a capacidade técnica nacional em temas estratégicos para a engenharia ferroviária.

Em consonância com o **artigo 4º da Resolução nº 6.021/2023**, o projeto enquadra-se prioritariamente no inciso III, referente ao **desenvolvimento de soluções técnicas para problemas específicos**. A proposição de uma metodologia técnica para a definição da largura segura da faixa de domínio, atualmente um dos principais desafios regulatórios e operacionais do setor ferroviário brasileiro, demanda critérios objetivos que considerem simultaneamente aspectos geométricos, operacionais, geotécnicos, ambientais, territoriais e de risco. A metodologia proposta responde diretamente a essa necessidade, fornecendo uma ferramenta técnica robusta para avaliação de riscos, classificação de trechos, apoio ao licenciamento, planejamento de intervenções e definição de prioridades de investimento. Os estudos de caso previstos nas cidades de Santa Maria, Ponta Grossa, Curitiba, Santos e Campinas permitirão validar a metodologia em diferentes condições operacionais e territoriais, assegurando sua aplicabilidade em toda a malha ferroviária nacional.

O projeto também se enquadra no inciso VII do artigo 4º, relativo à **estruturação de centros de pesquisas tecnológicos na área ferroviária**. A integração entre pesquisadores de diferentes universidades e áreas do conhecimento, concessionária e órgão regulador proporcionará a consolidação de uma plataforma permanente de pesquisa aplicada em segurança ferroviária, capaz de produzir conhecimento científico, ferramentas computacionais, metodologias de avaliação e bases de dados que poderão apoiar futuras pesquisas e atualizações normativas.

Finalmente, a proposta atende ao inciso VIII do artigo 4º, referente à **formação e aperfeiçoamento profissional**. Além da capacitação prevista para técnicos da ANTT, concessionárias e demais instituições públicas, o projeto contribuirá significativamente para a formação de especialistas em engenharia ferroviária, geotecnia, geoprocessamento, análise multicritério e gestão de riscos, áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento do setor ferroviário brasileiro. O conhecimento gerado será incorporado às atividades de ensino, pesquisa e extensão das universidades, permitindo sua disseminação para futuras gerações de profissionais e fortalecendo a capacidade técnica nacional.

Como benefício adicional, os produtos desenvolvidos — incluindo metodologias de avaliação, modelos multicritério, bases georreferenciadas, sistemas de informação geográfica, dashboards, protocolos de inspeção, manuais técnicos e propostas de diretrizes normativas — constituirão instrumentos permanentes de apoio à tomada de decisão tanto pela ANTT quanto pelas concessionárias ferroviárias. Embora os estudos de caso sejam conduzidos em trechos específicos da malha operada pela Rumo S.A., as metodologias desenvolvidas possuirão caráter genérico e escalável, permitindo sua aplicação em outras concessões ferroviárias brasileiras. Dessa forma, os resultados extrapolam o contexto do projeto, contribuindo para a padronização de procedimentos, o fortalecimento da regulação técnica, a melhoria da segurança operacional e territorial e o avanço da inovação tecnológica no setor ferroviário nacional.

1.1.2 Temas

O projeto atende diretamente o tema prioritário "Tecnologias para acompanhamento e definição da faixa de domínio", definido pela Deliberação nº 28, de 30 de janeiro de 2026 da ANTT, pois os produtos propostos visam a definição de larguras mínimas para a faixa de domínio, assim como a priorização de trechos e ações relacionadas à mitigação de impactos nas áreas adjacentes, com ênfase na faixa de domínio e área não edificável

Além disso, o projeto também contribui com outros temas prioritários:

- "Qualidade no serviço de transporte ferroviário, com foco principal na atualidade", pois as metodologias colaboram na sistematização da análise dos impactos derivados da operação ferroviária sobre os solos lindeiros aos trilhos, assim como a melhora da relação entre a infraestrutura ferroviária e o entorno, fundamentalmente urbano.
- "Formação e aperfeiçoamento profissional, com foco principal nos servidores em exercício na ANTT", já que o projeto propõe a capacitação de profissionais da ANTT, DNIT, SPU e outros órgãos com responsabilidades na gestão da infraestrutura, operação e bens imóveis ferroviários, assim como concessionárias, nas metodologias desenvolvidas e conceitos relacionados.
- "Pesquisas e desenvolvimento de soluções para aumento da segurança ferroviária, com foco principal em passagens de nível e locais críticos", já que um dos impactos a serem considerados nas metodologias e, portanto, avaliados, são decorrentes das situações de risco para os usos do solo lindeiro aos trilhos, desses usos para a infraestrutura e operação ferroviárias, assim como especialmente nos pontos críticos de cruzamento dos tráfegos rodoviário e ferroviário, nas passagens em nível.
- "Automação e aprimoramento da fiscalização da ANTT", já que o uso das metodologias desenvolvidas facilitará a priorização de trechos que devem ser monitorados e ações planejadas, assim como a definição de prioridades para delimitação da faixa de domínio ferroviário.
- "Estruturação das informações relativas a bens ferroviários", a partir da definição e delimitação dos terrenos pertencentes à faixa de domínio ferroviário.
- "Aprimoramento da manutenção ferroviária, inclusive com a integração de diferentes tecnologias e a automação industrial", particularmente pela definição de prioridades de atuação obtida a partir da aplicação das metodologias propostas, a partir da análise ponderada e agregada dos impactos medidos.
- "Desenvolvimento de estudos e tecnologias para melhoria da operação ferroviária", a partir da comparação entre o valor de faixa de domínio segura, obtido da aplicação das metodologias propostas, e o valor real, pois podem subsidiar a tomada de decisão sobre restrições ou melhorias nas atividades de operação, como velocidade ou carregamento das composições ferroviárias.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e validar uma proposta de metodologia integrada para avaliação e gestão da segurança operacional e territorial das ferrovias brasileiras, abrangendo análise técnico-operacional e geotécnica, modelagem multicritério de riscos e representação geoespacial em ambiente SIG, de modo a desenvolver uma ferramenta para subsidiar a definição da largura segura da faixa de domínio, a priorização de trechos críticos, a elaboração de diretrizes normativas e o fortalecimento da capacidade técnica dos órgãos responsáveis e concessionárias.

A metodologia será testada e validada com dados coletados e analisados procedentes de vários trechos concedidos à empresa Rumo S.A., podendo subsidiar na tomada de decisões não só para ela como para outras concessionárias ferroviárias e a própria ANTT e outros órgãos federais envolvidos, como DNIT e SPU.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto estão distribuídos de acordo com três eixos metodológicos que serão apresentados na sequência, antecedidos de uma etapa de planejamento de atividades e complementados pelas ações de divulgação e capacitação:

Eixo 1 – Análise Técnico-Operacional e Geométrica

1) Mapear e caracterizar os fatores críticos que influenciam a segurança da via férrea e dos terrenos adjacentes, considerando geometria da via, estado de conservação, características do solo, tráfego, drenagem e variáveis operacionais.
2) Diagnosticar a situação real da faixa de domínio e da faixa não edificável nos trechos estudados, avaliando ocupações, edificações e possíveis interferências no desempenho operacional da ferrovia.
3) Modelar cenários de acidentes ferroviários com base no diagnóstico realizado, incluindo descarrilamento, tombamentos, empilhamentos, falhas de velocidade, interações com taludes e efeitos sobre edificações e outros usos do solo adjacente.
4) Definir parâmetros técnicos e desenvolver metodologia de cálculo para determinação da largura segura da faixa de domínio, a partir da modelagem anterior.
5) Comparar a largura segura calculada com a largura real existente, identificando trechos críticos e lacunas de segurança territorial.

Eixo 2 – Modelagem Multicritério

6) Selecionar, organizar e complementar o conjunto de variáveis e indicadores necessários à análise multicritério, baseados em referências internacionais, nacionais e contribuições de especialistas do setor ferroviário.
7) Aplicar métodos de ponderação multicritério, estabelecendo a importância relativa dos fatores que influenciam nos impactos elencados.
8) Desenvolver e estruturar procedimentos técnicos de medição de indicadores de impacto, contemplando análises geológicas, geotécnicas, estruturais e operacionais.
9) Desenvolver e testar diferentes métodos de agregação e ranqueamento multicritério.
10) Estruturar ferramenta multicritério híbrida robusta para classificação e priorização de trechos, integrando indicadores, pesos e resultados das análises para identificar áreas críticas e orientar intervenções.
11) Validar a metodologia multicritério por meio de estudos de caso, testes de sensibilidade, análises de consistência e verificação da estabilidade dos resultados.

Eixo 3 – Representação Geoespacial e SIG

12) Construir a base georreferenciada dos dados coletados e produzidos, integrando informações cartográficas, imagens aéreas/orbitais e resultados dos eixos anteriores.
13) Criar um modelo geoespacial para representação dos riscos e dos impactos identificados, possibilitando análises espaciais comparativas entre a situação atual e a faixa de domínio

segura calculada.

14) Desenvolver análises geoestatísticas, dashboards e módulos de visualização, que permitam ao poder público e às concessionárias avaliar cenários, monitorar trechos e apoiar o processo decisório.

15) Aplicar e validar as ferramentas geoespaciais nos estudos de caso indicados pela ANTT (Santa Maria, Ponta Grossa, Curitiba, Santos e Campinas), incluindo inspeções técnicas, coleta de dados e entrevistas com responsáveis pela infraestrutura.

Finalmente, o projeto contempla ações de divulgação e capacitação, relacionadas aos seguintes objetivos específicos:

16) Desenvolver manuais de aplicação das ferramentas desenvolvidas e propostas de minutas normativas para sua aplicação por parte dos órgãos responsáveis e concessionárias.

17) Capacitar tomadores de decisão relacionados na aplicação da metodologia proposta.

18) Divulgar os resultados obtidos ao público alvo e comunidade em geral.

2. JUSTIFICATIVA

O setor de transportes encontra-se inteiramente ligado ao desenvolvimento de uma nação, proporcionando acessibilidade e mobilidade entre pessoas e mercadorias, afirmando o seu grau de importância na economia, viabilizando o progresso nos diversos setores de um país. Em relação ao transporte de cargas, um país torna-se competitivo na medida em que sua infraestrutura de transporte atende as necessidades e demandas para escoamento de sua produção.

O Brasil enfrenta desafios históricos na gestão de faixas de domínio ferroviárias, incluindo ocupações irregulares, variações significativas na largura das faixas existentes, dificuldades de fiscalização, conflitos urbanos e ausência de metodologias consolidadas que permitam análises territorializadas, sistemáticas e replicáveis.

A relevância deste projeto reside na necessidade urgente de fornecer ao DNIT, ANTT, SPU, concessionárias e órgãos municipais uma ferramenta padronizada capaz de orientar decisões relativas à segurança, ordenamento territorial, mitigação de riscos e modernização da infraestrutura. A abordagem proposta integra dimensões técnicas (engenharia ferroviária, geotecnia e geologia, geoprocessamento), ambientais, urbanísticas e operacionais, fornecendo uma visão holística dos impactos.

A delimitação segura da faixa de domínio ferroviária é historicamente marcada por lacunas normativas e metodológicas. Ao longo de décadas, diferentes modelos de gestão territorial aplicaram critérios divergentes, muitas vezes sem respaldo técnico consistente. O avanço urbano, a ocupação irregular, a instabilidade de taludes, a drenagem deficiente, a deterioração da superestrutura e os cenários de descarrilamento são fatores que aumentam substancialmente a necessidade de uma metodologia nacional estruturada, técnica e auditável. O Brasil carece de referências normativas claras e padronizadas que orientem a definição da largura segura da faixa de domínio ferroviária, e a metodologia aqui apresentada supre essa lacuna estratégica.

Por outro lado, destaca-se que a operação ferroviária envolve riscos relacionados a externalidades produzidas para o meio ambiente (e.g., poluição, ruído, impacto na fauna e flora, degradação do solo e dos recursos hídricos etc.) e para as comunidades humanas próximas (e.g., acidentes de trânsito, desapropriações, deslizamentos de terras e alagamentos, impactos na saúde, limitações ao uso do solo e às atividades humanas, perda de tempo e produtividade, segregação social etc.). Portanto, são várias as áreas de conhecimento envolvidas na análise e no gerenciamento dos impactos relacionados aos usos do solo adjacente às ferrovias. Tudo isso faz mais complexa ainda

a tomada de decisões para alcançar soluções adequadas a cada caso e, diante da extensa malha ferroviária nacional, também a priorização dos pontos ou lugares onde tais medidas devem ser adotadas em primeiro lugar.

O presente projeto se enquadra na Resolução nº 6.021, de 2023, ao propor um método integrado que articula engenharia ferroviária, geotecnia, análise de risco, sensoriamento remoto, geoprocessamento e métodos multicritério como solução técnica ao problema de priorização e classificação de trechos críticos de ferrovias. Sua aplicação permitirá ao DNIT e demais órgãos públicos estabelecer padrões uniformes e tecnicamente embasados para dimensionamento da faixa de domínio e ações mitigadoras de riscos, subsidiando decisões regulatórias, operacionais e de ordenamento territorial.

Ainda, cabe destacar a carência de uma metodologia específica tanto na literatura técnica específica como nos procedimentos estabelecidos pelos órgãos competentes no Brasil (ANTT, DNIT), que permita a definição segura da largura da faixa de domínio e a avaliação completa e objetiva dos impactos relacionados aos usos das áreas adjacentes às ferrovias, o que justifica a pertinência do presente projeto. A metodologia proposta poderá ser utilizada tanto pelos órgãos responsáveis pela infraestrutura e operação das ferrovias, como pelas empresas concessionárias e consultoras do ramo em relação à priorização de definição da faixa de domínio e/ou à análise de risco no entorno das ferrovias. Cabe destacar que o projeto também prevê o desenvolvimento de cursos de formação e capacitação a serem oferecidos para o setor público e privado, com vistas ao aperfeiçoamento profissional de pessoal tanto dos órgãos federais como das concessionárias na aplicação das ferramentas propostas.

Os estudos de caso previstos, localizados em Santa Maria/RS, Curitiba/PR, Ponta Grossa/PR, Santos/SP e Campinas/SP, permitirão validar a metodologia e demonstrar sua eficácia em contextos variados. Além disso, o projeto fortalece centros universitários e contribui para a formação de recursos humanos especializados, beneficiando diretamente os setores público e privado envolvidos na operação ferroviária, assim como o desenvolvimento e estruturação de novos centros de pesquisa tecnológicos na área ferroviária, especialmente neste tema específico, de alta complexidade e especialização, e a melhoria das infraestruturas laboratoriais relacionadas nas universidades da equipe executora.

Por essas razões, o desenvolvimento do projeto exige a participação em congressos e eventos científicos da área para discussão e qualificação dos resultados obtidos junto aos pares, assim como visitas técnicas não só nos locais dos estudos de caso contemplados como também a instalações das concessionárias ferroviárias, entorno das ferrovias e órgãos relacionados na esfera federal, para facilitar a participação como especialistas na metodologia proposta. Tais ações se mostram imprescindíveis para a qualidade dos produtos desenvolvidos e para a ampla divulgação de resultados parciais à comunidade acadêmica e científica sobre as ferrovias no contexto nacional e internacional. Foi programada a participação em 4 eventos nacionais (ANPET) e 4 eventos internacionais (PANAM e Pluris) durante o período de desenvolvimento do projeto, ou seja, 1 evento nacional e 1 evento internacional por cada ano da pesquisa

Entre os eventos científicos nacionais, destaca-se o Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, promovido pela ANPET, que constitui o maior evento acadêmico anual da área de transportes no Brasil. Em relação aos eventos científicos internacionais, espera-se apresentar os resultados do projeto no *Pan-American Congress in Transportation and Logistics Research* (PANAM), celebrado a cada dois anos e que constitui o congresso mais importante na área no âmbito da América Latina, assim como no Congresso bienal Luso-brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS), que reúne pesquisadores de ambos os lados do oceano Atlântico sobre aspectos multidisciplinares do transporte e do ambiente construído também cada dois anos.

As próximas sedes do congresso de ANPET são decididas e divulgadas durante a cada uma das edições, de forma que ainda não são conhecidas as cidades brasileiras que o acolherão para o período de 2027 a 2030. O próximo congresso PANAM 2028 será celebrado na cidade do Rio de Janeiro / RJ, onde será divulgada a sede da edição de 2030. O congresso Pluris será celebrado em 2026 em Joinville / SC, de forma que a edição de 2028 será em Portugal, em cidade a ser divulgada, e em 2030 voltará para o Brasil.

Espera-se que a equipe de participantes se distribua em cada ano entre os diferentes eventos, de forma a disseminar os resultados obtidos e obter feedback qualificado dos pares. Assim, estima-se a participação de 4 integrantes nos Congressos da ANPET e 2 integrantes em cada evento internacional.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

O desenvolvimento do projeto será estruturado em três eixos principais:

Eixo 1 – Análise Técnico-Operacional e Geométrica. Inclui caracterização geométrica da via, análise geológica e geotécnica, modelagem de cenários de acidentes ferroviários e análise da relação com o entorno. Essa etapa consolida os parâmetros fundamentais que influenciam a segurança operacional e territorial da ferrovia.

Eixo 2 – Modelagem Multicritério. Envolve seleção e aplicação de métodos multicritério (tais como AHP, SMART, TOPSIS, MAUT, VIKOR) mediante a construção de matriz de indicadores de impacto, ponderação de critérios, testes de sensibilidade e classificação final dos trechos conforme seu nível de criticidade.

Eixo 3 – Representação Geoespacial e SIG. Abrange a construção da base georreferenciada, integração dos resultados em ambiente SIG, cálculo territorial da largura segura e desenvolvimento de dashboards e módulos de visualização geoespacial.

Cada eixo integra procedimentos específicos para consolidação de uma metodologia robusta, conforme descrito a seguir.

3.1.1. Eixo 1 – Análise Técnico-Operacional e Geométrica

Para o desenvolvimento das atividades previstas neste eixo metodológico, será necessário atuar em duas linhas principais. Em primeiro lugar, deve ser delimitada a faixa de domínio dos trechos que serão estudados e, como segundo ponto, tem-se propriamente a caracterização geométrica da via e do entorno, como base para o desenvolvimento do seguinte eixo na avaliação dos impactos nos usos do solo lindeiro à ferrovia.

Para a elaboração da ferramenta para definição da largura da faixa de domínio, primeiramente serão elencadas as principais variáveis que possam influir na largura mínima necessária da faixa de domínio para manter a segurança da população e das edificações no entorno da ferrovia, a partir das quais será possível avaliar a dinâmica do trem quando em um acidente ferroviário. Para esta avaliação, diversos cenários de possíveis acidentes serão elaborados, como diferentes tipos de descarrilamento e tombamento. Para cada cenário elencado, uma metodologia de cálculo para a largura da faixa de domínio de segurança será proposta.

Apesar da possibilidade de poder calcular para qualquer trecho da ferrovia, acredita-se que este estudo seja mais aplicado às áreas urbanas que possuem mais pessoas e edificações no entorno da linha férrea. Vale ressaltar que a faixa de domínio calculada como mínima não excluirá a faixa

já definida em lei como faixa não edificável que deverá ser mantida. O desenvolvimento da ferramenta proposta será acompanhado por manual explicativo do processo para aplicação prática, além de ser apresentado como produto à ANTT e demais órgãos envolvidos.

Uma vez definida a largura de faixa de domínio necessária, esta será comparada com os dados reais em cada trecho ou ponto avaliado, que podem proceder de informações secundárias existentes que já constem nos órgãos oficiais envolvidos (DNIT, ANTT), ou nas empresas concessionárias. Dessa forma, tais dados serão incorporados àqueles obtidos diretamente da caracterização geométrica da linha férrea, incluindo parâmetros planialtimétricos e características técnicas, e o georreferenciamento dos mesmos.

Por outro lado, a avaliação dos impactos será baseada na definição e medição de indicadores que caracterizam tais impactos.

3.1.2. Eixo 2 – Modelagem Multicritério

Em relação ao desenvolvimento da ferramenta de priorização de trechos para ações derivadas dos impactos relacionados à interação da ferrovia (tanto infraestrutura como operação) com o ambiente construído próximo, propõe-se a utilização de técnicas de análise multicritério a partir de métodos de ponderação, avaliação e classificação ou ranqueamento, configurando um método híbrido de apoio à tomada de decisão. Primeiramente, será necessário complementar o conjunto de variáveis que formarão parte da metodologia, a partir de referências internacionais e nacionais sobre o tema, e entrevistas a técnicos responsáveis pela infraestrutura e operação das ferrovias. Na sequência, serão identificados ou propostos indicadores mensuráveis (em caráter quantitativo e/ou qualitativo) para as variáveis selecionadas, assim como as características de escala e sentido da influência de cada um no objetivo marcado.

Uma vez definidas as variáveis, a primeira fase da elaboração da ferramenta abordará a ponderação dos critérios selecionados, como medida da importância relativa de cada um deles no objetivo principal. Inicialmente, serão analisadas as relações entre as variáveis, identificando uma estrutura hierárquica e possíveis interdependências nos aspectos avaliados, e uma vez preparado o modelo será aplicada a técnica de ponderação multicritério. Nesta etapa de pesquisa bibliográfica e coleta e análise de dados será necessária a aquisição dos equipamentos previstos no projeto, que são detalhados nos seguintes itens deste plano de trabalho. Entre tais técnicas, destaca-se a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP), podendo ser complementada pela técnica *Simple Multi-attribute Rating Technique* (SMART) ou, ainda, ser utilizada uma outra técnica que se mostre mais adequada para o problema tratado. Nesse ponto será necessário ter acesso e/ou colaboração de especialistas das concessionárias, empresas e órgãos públicos envolvidos na infraestrutura e operação ferroviária para subsidiar a coleta de dados que facilite um resultado holístico, consistente e representativo da realidade analisada.

Seguidamente, a construção da ferramenta de priorização de trechos passará pela aplicação da técnica de avaliação multicritério de alternativas (trechos a serem ordenados dentre um conjunto específico). Para isso, será necessária a medição dos indicadores propostos a partir da colaboração de especialistas, o acesso à documentação técnica relativa aos trechos avaliados, assim como a visita aos mesmos para coleta de dados e entrevistas com os responsáveis das concessionárias. Ainda, serão realizadas ainda inspeções técnicas para a caracterização tátil e visual dos condicionantes geotécnicos e geológicos de cada trecho em estudo e suas interações com a infraestrutura ferroviária e urbana. Dessa forma, a etapa de coleta de dados prevê a realização destas visitas técnicas aos locais de estudo, que serão detalhadas seguidamente. A partir dos resultados dessas avaliações dos indicadores, será realizada a agregação dos mesmos junto aos pesos das variáveis de risco obtidos anteriormente. Para isso, serão testadas várias

técnicas multicritério, como ELECTRE, TOPSIS, VIKOR, MAUT, PROMETHEE, entre outras, para escolha da mais adequada aos objetivos propostos.

Finalmente, um documento explicativo da metodologia desenvolvida e da sua aplicação prática será entregue, assim como a apresentação formal do produto final para a ANTT e demais interessados, no intuito de poder replicar a metodologia por toda e qualquer concessionária.

3.1.3. Eixo 3 – Representação Geoespacial e SIG

A terceira fase da metodologia proposta contempla a representação georreferenciada dos aspectos avaliados nas ferramentas anteriores, dos indicadores desenvolvidos sobre impactos e riscos, assim como os resultados agregados sobre cartografia oficial e/ou imagens aéreas ou orbitais, que permitam mapear espacialmente os impactos e analisar em relação à faixas de segurança reais e calculadas, de forma clara e acessível para a tomada de decisões relacionada. Para isso, será necessária a utilização de técnicas geoestatísticas e de representação e análise espacial, desenvolvidas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Para ambas ferramentas propostas, espera-se aplicar a casos de estudo para verificar a conveniência da abordagem realizada e a qualidade dos resultados obtidos, a partir dos valores dos indicadores previamente definidos. Nesse sentido, poderão ser realizados testes de sensibilidade para identificar a melhor opção e simular efeitos marginais das possíveis atuações propostas ou evolução temporal dos trechos avaliados.

3.1.4. Capacitação e divulgação de resultados

De forma transversal aos eixos metodológicos e conjuntamente com eles, são previstas ações de capacitação e divulgação sobre os produtos gerados. Em primeiro lugar, cabe destacar que as ferramentas desenvolvidas serão testadas em estudos de caso em locais amostrais previamente indicados pela ANTT, localizados em trechos concedidos à empresa Rumo S.A. em Santa Maria (RS), Ponta Grossa (PR), Curitiba (PR), Santos (SP) e Campinas (SP). Assim, serão entregues relatórios técnicos derivados das aplicações das ferramentas a esses casos de estudo, como resultados da aplicação prática e testes desenvolvidos nos trechos avaliados.

Também será entregue dentro do formato a ser estabelecido pela ANTT de minutas de resolução (propostas normativas) sobre as ferramentas, para sua consideração. Estas propostas serão discutidas junto à ANTT e DNIT para que complementem, no que couber, a Instrução Normativa nº 75/DNIT SEDE, de 30 de novembro de 2021, evitando que a futura metodologia conflite com as ações da autarquia.

Finalmente, cabe destacar que os produtos obtidos serão apresentados formalmente à ANTT, DNIT e SPU, assim como em eventos científicos nacionais e internacionais de relevância na área. Igualmente, serão propostas ações de capacitação dos profissionais dos órgãos envolvidos e concessionárias interessadas, para sua aplicação prática. Tais capacitações serão ministradas pela equipe executora do projeto (docentes e alunos das universidades envolvidas) no seguinte formato:

- 4 cursos com aulas em formato online, para apresentação das ferramentas, detalhamento do passo a passo delas, exemplificação dos cálculos relacionados e explicação de conceitos relacionados aos temas e técnicas envolvidas. Os critérios de escolha dos profissionais capacitados serão definidos de acordo com os órgãos federais, assim como as atividades e carga horária específicas. A proposta de capacitação foi detalhada em documento apartado contemplando público, formato, conteúdo, carga horária, periodicidade, responsáveis e forma de comprovação.

- tutoriais em vídeo para aplicação prática das ferramentas desenvolvidas, disponibilizados em formato aberto em plataformas como o YouTube ou outras de treinamento específico definidas pela ANTT. Dessa forma, os treinamentos ficarão acessíveis não apenas pelas ações de capacitação durante o período de execução do projeto, mas de forma permanente para futura consulta pelos profissionais envolvidos atualmente e no futuro.
- manuais interativos de explicação das ferramentas, com relação direta aos tutoriais anteriores, para consulta detalhada em qualquer momento e de forma acessível para qualquer profissional da ANTT, DNIT, SPU e concessionárias interessado.

3.2. Justificativas e descrição dos equipamentos, serviços e materiais necessários

- Equipamento automatizado para ensaio de cisalhamento direto (1).

A aquisição de um equipamento para ensaio de cisalhamento direto em materiais geotécnicos justifica-se pela necessidade de disponibilizar uma infraestrutura laboratorial própria para a caracterização de resistência ao cisalhamento das diferentes camadas do subsolo local, permitindo a obtenção de parâmetros fundamentais para as análises de estabilidade e avaliação de riscos geotécnicos associados à infraestrutura ferroviária.

O projeto contempla a avaliação das condições geotécnicas dos terrenos adjacentes à ferrovia, incluindo análises de estabilidade de taludes, cortes, aterros ferroviários e áreas sujeitas a processos erosivos ou movimentos de massa. Para essas avaliações, torna-se necessária a determinação de parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais, especialmente a coesão e o ângulo de atrito interno, que somados ao peso específico natural, constituem dados essenciais para a realização de análises de estabilidade, modelagens numéricas e definição de indicadores de segurança geotécnicos empregados na metodologia multicritério proposta.

A disponibilidade de um equipamento próprio para ensaios de cisalhamento direto permitirá maior controle sobre o planejamento experimental, desde a definição dos pontos e quantidades de coleta em campo, seleção e preparação das amostras até a execução dos ensaios, interpretação dos resultados e integração dos parâmetros obtidos. Essa autonomia é especialmente relevante considerando a diversidade de materiais e condições geotécnicas existentes nos diferentes estudos de caso, que demandam ensaios específicos e compatíveis com as características locais.

A aquisição do equipamento também proporcionará maior agilidade na execução das atividades, evitando a necessidade de contratação contínua de laboratórios externos, reduzindo prazos associados ao envio de amostras, realização dos ensaios e recebimento dos resultados. Além disso, permitirá a repetição de ensaios, a realização de análises complementares e a verificação da variabilidade dos parâmetros geotécnicos quando necessário, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos e reduzindo a dependência de serviços terceirizados.

O equipamento possibilitará ainda a realização de ensaios adicionais ao longo do desenvolvimento do projeto, caso sejam identificadas novas necessidades durante as etapas de investigação de campo e modelagem geotécnica, sem a necessidade de novos processos de contratação. Essa flexibilidade é fundamental para projetos de pesquisa aplicada, nos quais a evolução das análises pode demandar investigações complementares para validação e aprimoramento das metodologias desenvolvidas.

Cabe ressaltar que além dos ensaios de resistência ao cisalhamento, serão realizados ensaios de caracterização completa dos diferentes horizontes de solos coletados e julgados representativos das condições dos locais investigados e, sendo necessário, poderão ser realizados outros ensaios específicos, como ensaios de adensamento oedométrico e permeabilidade. O laboratório de Engenharia Geotécnica da UFSM possui estrutura para a realização destes ensaios, não havendo

custos extras ao projeto. Assim a aquisição do equipamento automatizado para a realização dos ensaios de cisalhamento direto, complementa e completa a estrutura laboratorial que será utilizada no desenvolvimento das diferentes atividades do projeto, evitando a necessidade de contratar serviços externos em outras localidades.

- Licença do pacote de softwares Rocscience.

A aquisição de licença do pacote de softwares Rocscience (Education Program 2026 - 5 year subscription) para o período de desenvolvimento do projeto justifica-se pela necessidade de utilização de ferramentas computacionais especializadas para modelagem geotécnica, análise de estabilidade e avaliação quantitativa de riscos associados aos terrenos adjacentes à infraestrutura ferroviária, atividades essenciais para o desenvolvimento das metodologias propostas neste projeto. O software permitirá a realização de análises numéricas capazes de representar o comportamento dos maciços naturais e dos aterros ferroviários sob diferentes condições de carregamento, drenagem, geometria e propriedades dos materiais, permitindo identificar situações potenciais de instabilidade que possam comprometer a segurança da operação ferroviária e das áreas adjacentes.

O conjunto de softwares Rocscience, comercializado pela empresa L3 Software Ltda., única distribuidora ou representante no Brasil, constitui uma das principais plataformas internacionais para análises geotécnicas aplicadas à engenharia, reunindo ferramentas para modelagem bidimensional e tridimensional de estabilidade de taludes, análises de equilíbrio limite, elementos finitos, fluxo de água subterrânea, tensões, deformações e avaliações probabilísticas de risco. Essas funcionalidades permitem reproduzir cenários compatíveis com aqueles previstos neste projeto, incluindo taludes naturais, cortes ferroviários, aterros, sistemas de drenagem, processos erosivos, escorregamentos e demais condições geotécnicas que influenciam diretamente a segurança da infraestrutura ferroviária.

Os resultados produzidos por essas análises constituirão informações fundamentais para a construção dos indicadores técnicos empregados na metodologia multicritério proposta. Os fatores de segurança, probabilidades de ruptura, mecanismos potenciais de instabilidade, zonas críticas de deformação e demais parâmetros obtidos alimentarão o processo de classificação e priorização dos trechos ferroviários, permitindo que as avaliações sejam baseadas em critérios quantitativos e cientificamente fundamentados. Dessa forma, o pacote Rocscience representa um componente essencial para a integração entre os estudos geotécnicos, a modelagem multicritério e a representação geoespacial prevista no projeto.

As ferramentas também serão utilizadas para avaliar diferentes cenários de intervenção, permitindo simular alternativas de estabilização, modificações geométricas, melhorias de drenagem e outras medidas mitigadoras, contribuindo para a elaboração de diretrizes técnicas e recomendações voltadas ao gerenciamento da faixa de domínio ferroviária. Essa capacidade de simulação é particularmente importante para subsidiar a tomada de decisão por parte da ANTT e das concessionárias, permitindo comparar diferentes soluções sob os aspectos de segurança, viabilidade técnica e priorização de investimentos.

Outro aspecto relevante refere-se à validação da metodologia desenvolvida. As análises geotécnicas baseadas nas normativas vigentes e executadas por meio do pacote Rocscience permitirão confrontar os resultados obtidos com dados de campo, inspeções técnicas e estudos de caso realizados nas áreas selecionadas, aumentando a robustez científica da metodologia e a confiabilidade dos modelos propostos. A possibilidade de realizar análises determinísticas e probabilísticas também contribuirá para estudos de sensibilidade e avaliação das incertezas, aspectos fundamentais para a construção da metodologia proposta.

- Serviço especializado de mapeamento aéreo com drones e sensores LiDAR.

A proposta comercial para a realização dos trabalhos em campo contempla a execução de levantamentos aerofotogramétricos e de perfilamento a laser (LiDAR), utilizando drones equipados com sensores LiDAR e câmeras RGB de alta resolução, em áreas urbanas ao longo de corredores ferroviários nos municípios de Curitiba/PR, Ponta Grossa/PR, Santa Maria/RS, Santos/SP e Campinas/SP. Os levantamentos abrangem faixas de 200 metros de largura, sendo 100 metros para cada lado do eixo ferroviário, com extensão total estimada no orçamento de 30 km, que serão divididos entre os 5 locais de estudo. Os serviços incluem a aquisição, o processamento e o georreferenciamento dos dados, com geração e entrega de nuvens de pontos tridimensionais (formatos LAS/LAZ), Modelos Digitais do Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação e de Superfície (DEM e DSM), curvas de nível, fotografias aéreas e ortomosaicos RGB georreferenciados (GeoTIFF), com resolução espacial de 4 cm/pixel para as imagens RGB e precisão indicada como melhor que 10 cm para os produtos topográficos, condicionada às características do levantamento. Os produtos serão referenciados ao sistema SIRGAS 2000 e disponibilizados em formato digital, constituindo uma base de informações geoespaciais para análises topográficas, geométricas, ambientais e de engenharia ao longo das faixas ferroviárias.

A realização destes levantamentos justifica-se pela necessidade de obtenção de dados geoespaciais de elevada precisão e resolução, indispensáveis ao desenvolvimento das atividades previstas neste projeto, permitindo representar fielmente tanto a geometria da ferrovia quanto as características do entorno. O sistema LiDAR (*Light Detection And Ranging*) embarcado possibilita a aquisição de nuvens de pontos tridimensionais de alta densidade, capazes de representar com precisão a plataforma ferroviária, taludes de corte e aterro, sistemas de drenagem, obras de arte, vegetação, edificações e demais elementos presentes na faixa de domínio e em suas áreas adjacentes. Diferentemente de levantamentos convencionais, a tecnologia LiDAR permite obter modelos digitais do terreno mesmo em regiões parcialmente cobertas por vegetação, característica particularmente importante para avaliações geotécnicas, análises de estabilidade de encostas, identificação de processos erosivos, mapeamento de drenagens e caracterização morfológica do terreno.

Com essa tecnologia avançada, é possível obter precisões milimétricas, o que permite realizar análises detalhadas de características como taludes, raios de curvatura, invasões na faixa de domínio, sistemas de drenagens, pontos de travessias e áreas com vegetação densa. Além disso, é possível gerar Modelos Digitais de Terreno (MDT) de alta resolução, proporcionando dados valiosos para a tomada de decisões e o planejamento de projetos futuros. O uso desse sistema de escaneamento a laser e levantamento aerofotogramétrico aumenta a eficiência e a qualidade do trabalho, oferecendo resultados precisos para diversas aplicações.

Estes levantamentos em campo constituem a principal base de dados geoespaciais para os três eixos metodológicos da pesquisa. No eixo técnico-operacional, subsidiarão a caracterização geométrica da infraestrutura ferroviária, a identificação de ocupações na faixa de domínio e a modelagem dos diferentes cenários e possíveis acidentes. No eixo de modelagem multicritério, fornecerão informações espaciais necessárias à construção dos indicadores de risco e à classificação dos trechos prioritários. No eixo de representação geoespacial, servirão como base para a construção do Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo integrar dados geológicos, geotécnicos, operacionais, territoriais e ambientais em uma única plataforma de apoio à decisão.

O valor global do serviço prodede de uma proposta de uma empresa especializada que permite os levantamentos de campo, o processamento dos dados e a entrega dos produtos técnicos em todos os locais dos estudos de caso. Esse valor, como mostrado no Anexo III deste plano de trabalho, inclui todos os serviços anteriores, aos que como devem ser somados os custos de deslocamento das equipes, passagens aéreas e diárias, totalizando R$ 217.000,00.

- Tablets (6).

A aquisição de seis tablets, com especificações mínimas equivalentes a tela de aproximadamente 11 polegadas, conectividade móvel 4G, capacidade de armazenamento interno de, no mínimo, 64 GB, conectividade Wi-Fi, receptor GNSS integrado e sistema operacional compatível com aplicativos de georreferenciamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), justifica-se pela necessidade de apoiar as atividades de coleta de dados de campo previstas nos estudos de caso do projeto, proporcionando maior agilidade, segurança e padronização dos procedimentos de levantamento das informações técnicas. As campanhas de campo envolverão inspeções da infraestrutura ferroviária, da faixa de domínio e das áreas adjacentes, contemplando o registro de informações georreferenciadas, fotografias, formulários eletrônicos, mapas, imagens de satélite, plantas, checklists de inspeção e demais documentos necessários à caracterização dos trechos estudados. A utilização de tablets permitirá o acesso em tempo real às bases cartográficas e aos sistemas de informação geográfica (SIG), reduzindo o uso de documentos impressos, minimizando erros de transcrição e facilitando a integração imediata dos dados coletados às bases do projeto.

O quantitativo de seis equipamentos é compatível com a estrutura da equipe de pesquisa, facilitando o registro e gerenciamento das informações durante as atividades, especialmente nas visitas técnicas, em que vários participantes aproveitarão para coletar dados de forma independente, mas integrados em tempo real mediante o uso simultâneo dos equipamentos. Essa configuração possibilita a realização simultânea de diferentes frentes de trabalho, otimiza o uso dos recursos disponíveis e assegura maior eficiência operacional durante as campanhas de levantamento. Além disso, os tablets poderão ser empregados na validação de dados, acompanhamento de inspeções técnicas, visualização de produtos cartográficos e apoio às ações de capacitação previstas no projeto.

- Desktops (2).

A aquisição de dois computadores do tipo desktop, com processador de alto desempenho de, no mínimo, 20 núcleos e 28 threads, memória RAM DDR5 de, no mínimo, 16 GB, unidade de armazenamento SSD NVMe de, no mínimo, 512 GB, sistema operacional compatível com os softwares previstos no projeto, recursos de expansão para futuras atualizações, certificações de eficiência energética, monitor e demais acessórios, justifica-se pela necessidade de disponibilizar infraestrutura computacional adequada para o desenvolvimento das atividades técnicas, científicas e analíticas previstas no projeto nos dois ambientes laboratoriais previstos no Departamento de Transportes da UFSM.

Esses computadores serão utilizados nas atividades rotineiras de pesquisa, incluindo organização e gerenciamento de bases de dados, processamento de planilhas e informações técnicas, elaboração de documentos, relatórios e artigos científicos, desenvolvimento de procedimentos metodológicos, programação, análises estatísticas, modelagem multicritério, execução de softwares de engenharia e geotecnia, bem como na preparação dos produtos técnicos previstos, como manuais de aplicação, propostas de diretrizes normativas, apresentações e materiais de capacitação. As especificações propostas garantem desempenho suficiente para a execução simultânea dessas aplicações, proporcionando maior produtividade e confiabilidade às atividades desenvolvidas pela equipe, além de reduzir os tempos de processamento, aumentar a confiabilidade das análises e proporcionar maior eficiência na execução das atividades técnicas.

O quantitativo de duas estações de trabalho é compatível com a necessidade de alocar um equipamento para cada ambiente em que a equipe de pesquisa da instituição executora ficará organizada, permitindo a organização equipes integrantes em grupos de trabalho associados aos principais eixos do projeto. Esses computadores terão uso específico para este projeto, não podendo ser empregados para o uso com outros projetos com outras empresas, sejam RDT ou

não, uma vez que há dados da empresa envolvida e resultados que podem não ser passíveis de compartilhamentos.

- Workstations (2).

A aquisição de duas estações de trabalho de alto desempenho (workstations), com processador multicore de última geração, memória RAM de elevada capacidade (mínimo de 64 GB), unidade de armazenamento SSD NVMe de alta velocidade, placa gráfica dedicada com capacidade de processamento paralelo e recursos adequados para execução de aplicações de computação gráfica e processamento espacial, justifica-se pela necessidade de disponibilizar infraestrutura computacional específica para o processamento dos dados geoespaciais de elevada complexidade produzidos no âmbito deste projeto.

O projeto prevê a aquisição e geração de grandes volumes de dados provenientes de levantamentos LiDAR aerotransportados, imagens de alta resolução, ortofotos, modelos digitais de terreno e superfície, nuvens de pontos tridimensionais e demais produtos cartográficos necessários à caracterização detalhada da infraestrutura ferroviária e das áreas adjacentes. O processamento, classificação, filtragem, visualização e análise desses dados demandam elevada capacidade computacional, especialmente em função do grande volume de informações tridimensionais e da necessidade de execução de algoritmos complexos em softwares de geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem espacial.

As estações de trabalho serão utilizadas especificamente nas etapas de processamento dos dados LiDAR e desenvolvimento das análises em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), incluindo tratamento de nuvens de pontos, geração de modelos digitais do terreno, integração de diferentes camadas georreferenciadas, processamento de imagens aéreas e orbitais, análises espaciais, elaboração de mapas temáticos e desenvolvimento das representações geoespaciais dos riscos e impactos identificados. A presença de placa gráfica dedicada e elevada capacidade de memória permitirá maior eficiência na manipulação de grandes conjuntos de dados espaciais, reduzindo significativamente os tempos de processamento e possibilitando a visualização e análise de modelos tridimensionais de forma mais fluida.

A utilização de equipamentos convencionais como os desktops anteriores apresenta limitações para esse tipo de aplicação, especialmente em tarefas envolvendo milhões de pontos LiDAR, modelos tridimensionais detalhados e análises espaciais integradas. Dessa forma, as workstations são necessárias para garantir a qualidade, a agilidade e a confiabilidade dos produtos geoespaciais que serão utilizados como base para a avaliação da segurança territorial e operacional das ferrovias estudadas.

O quantitativo de duas estações de trabalho é adequado à estrutura da equipe envolvida e à natureza das atividades previstas, permitindo a criação de uma infraestrutura dedicada para as etapas de maior demanda computacional do projeto, de forma coordenada entre a UFSM (em Santa Maria) e a UFRGS (em Porto Alegre), onde esses dados serão tratados de forma simultânea. Esses equipamentos possibilitarão o desenvolvimento paralelo das atividades de processamento dos dados coletados, validação dos produtos cartográficos e integração das informações ao ambiente SIG, atendendo às necessidades dos pesquisadores responsáveis pelas análises geoespaciais e dos estudantes envolvidos na execução das atividades em ambas as instituições.

- Notebooks (2).

A aquisição de dois notebooks com especificações mínimas equivalentes a processador de alto desempenho com múltiplos núcleos, memória RAM DDR5 de, no mínimo, 8 GB, unidade de armazenamento SSD de, no mínimo, 512 GB, tela de aproximadamente 15,6 polegadas com resolução Full HD, placa gráfica dedicada com capacidade de processamento compatível com

aplicações técnicas e conectividade sem fio, câmera integrada para chamadas de vídeo e sistema operacional compatível com os softwares utilizados no projeto, justifica-se pela necessidade de proporcionar maior mobilidade, flexibilidade e autonomia aos pesquisadores durante o desenvolvimento das atividades previstas.

Os notebooks serão utilizados pelos integrantes da equipe de pesquisa para elaboração de relatórios técnicos, organização e análise de dados, preparação de apresentações, desenvolvimento de materiais de capacitação, acompanhamento de visitas, reuniões técnicas, comunicação entre os grupos de trabalho e execução de tarefas computacionais que demandem mobilidade dentro do ambiente laboratorial. A disponibilidade desses equipamentos permitirá que, junto com os desktops indicados anteriormente, os pesquisadores possam trabalhar de forma simultânea e coordenada nas etapas do projeto nos diferentes ambientes laboratoriais da instituição executora, aumentando a eficiência da equipe e facilitando a integração entre os diferentes eixos metodológicos.

- Visitas às instalações da concessionária e para levantamentos de campo.

A previsão de recursos para viagens e diárias para visitas justifica-se pela necessidade de realização das atividades de campo, reuniões técnicas, acompanhamento metodológico e integração entre os pesquisadores envolvidos no desenvolvimento do projeto.

Serão realizadas visitas técnicas aos locais de estudo definidos no projeto, contemplando os municípios de Curitiba e Ponta Grossa/PR, Santos e Campinas/SP, com a participação de sete pesquisadores da equipe em cada campanha. Essas atividades são fundamentais para a realização de inspeções técnicas, coleta de informações da infraestrutura ferroviária e áreas adjacentes, levantamento de dados para caracterização geotécnica e territorial, validação dos modelos desenvolvidos e interação com equipes locais da concessionária. Para cada visita, está prevista a permanência dos pesquisadores por quatro dias, incluindo os custos de deslocamento e diárias necessárias para viabilizar a execução das atividades de campo.

Além das campanhas técnicas, serão realizadas uma reunião presencial anual de integração da equipe em Santa Maria/RS, além da coleta de dados específicos nos trechos da cidade, com a participação de dois pesquisadores externos à instituição local. Essas reuniões têm como objetivo promover o acompanhamento das atividades, integração entre os diferentes eixos metodológicos, avaliação dos resultados parciais, planejamento das etapas seguintes e alinhamento das atividades.

Os valores previstos para as viagens podem variar significativamente em função do período e pela própria volatidade dos preços de passagens aéreas. Os valores previstos para as diárias foram estabelecidos considerando como referência os valores praticados para diárias de servidores públicos federais no país (R$380,00 em capitais de estados –Curitiba– e R$325,00 em outras cidades –Santa Maria, Campinas, Ponta Grossa e Santos), conforme tabela disponibilizada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), garantindo compatibilidade com os critérios usualmente adotados para financiamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. A adoção desses valores busca assegurar condições adequadas de permanência dos pesquisadores durante as atividades presenciais, contemplando despesas de hospedagem, alimentação e deslocamentos locais necessários à execução do projeto. O valor total de diárias é, portanto, de 8 pesquisadores * 4 visitas * 5 dias + 4 pesquisadores * 2 visitas * 4 dias = 200 diárias. O valor total para diárias para visitas é de R$ 67.200,00

- Participação em congressos.

Para a participação em Congressos, foram selecionados os eventos já apresentados no item 2, com as justificavas pertinentes. Foram previstos 1 congresso nacional e 1 congresso internacional por cada ano de desenvolvimento do projeto, totalizando 4 eventos nacionais e 4 eventos

internacionais. Os eventos e o número de pesquisadores participantes em cada um estão descritos no mesmo item. Para essas atividades, foram feitas cotações baseadas nas informações disponíveis atualmente. O cálculo para cada uma das viagens está descrito no mesmo ANEXO IV.

As passagens foram cotadas para viagens com ao menos 30 dias de antecedência e as cotações estão no anexo. As diárias foram definidas de forma similar às visitas descritas anteriormente, de acordo com a tabela do CNPq, tanto em âmbito nacional como internacional. Os congressos da ANPET duram 5 dias, os congressos PANAM 4 dias e os congressos Pluris 3 dias, sendo solicitadas diárias para cada participante em número equivalente a essas durações para os nacionais, e até duas diárias adicionais para os internacionais devido aos deslocamentos.

3.3. Projetos científicos e acadêmicos

As linhas principais de trabalho vão gerar Projetos Acadêmicos ou trabalhos de pesquisa ligados a cada um dos membros da equipe. A lista dos projetos de cada pesquisador é a seguinte:

I. Pesquisador Líder (48 meses): As atividades de modelagem multicritério e produção dos manuais de aplicação das ferramentas serão de responsabilidade do Pesquisador Líder, com apoio dos alunos e demais pesquisadores associados aos temas correlatos. Também terá como responsabilidade a coordenação científica e operacional do projeto e da redação de relatórios e artigos científicos.

II. Pesquisador Equipe Técnica 1 (48 meses): Será o principal responsável pelo desenvolvimento das análises geotécnicas e geração de relatórios de resultados parciais e apoiará as análises de risco, com apoio dos alunos e em coordenação com os demais pesquisadores. Como decorrência dos resultados obtidos, poderá conduzir estudos de simulação dos efeitos dos riscos. Coordenador Associado do projeto.

III. Pesquisador Equipe Técnica 2 (48 meses): Coordenará as atividades relacionadas à análise operacional e geométrica da ferrovia. Desenvolverá a metodologia de determinação da largura mínima de faixa de domínio. Concentrará o conhecimento desenvolvido e o transmitirá através de treinamentos para o pessoal técnico da ferrovia.

IV. Pesquisador Equipe Técnica 3 (48 meses): Terá como responsabilidade principal as atividades relacionadas à representação geoespacial e SIG. Além disso, coordenará as análises geoestatísticas e de visualização. Junto com os alunos e demais pesquisadores, colaborará na elaboração dos manuais e dos produtos científicos para divulgação e capacitação.

V. Pesquisador Equipe Técnica 4 (12 meses): Colaborará nas simulações computacionais desde o ponto de vista físico para determinação da faixa de domínio segura em decorrência de possíveis tombamentos e descarrilamentos. Auxiliará os demais pesquisadores na integração dos resultados das simulações na metodologia multicritério e análise geoespacial, assim como nas ações de capacitação e divulgação científica.

VI. Doutorando 1 (48 meses): A análise de condicionantes e riscos para a definição da faixa de domínio será o objeto fundamental desta pesquisa (Eixo 1). O trabalho inclui a comparação de dados reais dos diagnósticos com os cenários modelados e simulados para obter valores de largura mínima segura. O doutorando trabalhará de forma coordenada com os pesquisadores 2 e 4, assim como em colaboração direta com a concessionária, para que as avaliações sejam realistas e condizentes com a experiência técnica.

VII. Doutorando 2 (48 meses): A integração dos dados e análises na modelagem multicritério será o principal tema desta pesquisa (Eixo 2). A proposta inclui mapear, definir, caracterizar

e medir os fatores críticos que influenciam a segurança da via férrea e dos terrenos adjacentes e sua integração no modelo multicritério, sob orientação do pesquisador líder. O doutorando, sob orientação do pesquisador líder, deverá trabalhar em colaboração intensa com a Rumo, para que seus critérios possam ser efetivamente empregados, atendendo às expectativas da empresa e criando manuais útieis para a aplicação real em escala nacional.

VIII. Doutorando 3 (48 meses): Este doutorando focará na caracterização e análise geotécnica das áreas dos estudos de caso e a influência destes aspectos nos riscos globais, tanto para a definição da faixa de domínio como para a classificação e priorização de trechos. A pesquisa, sob orientação direta do pesquisador da equipe técnica 1, focará nos procedimentos técnicos de avaliação do risco geotécnico e sua relação com os demais indicadores, tanto do ponto de vista analítico como geoespacial, colaborando com os demais pós-graduandos e pesquisadores.

IX. Mestrando 1 (24 meses) e Mestrando 2 (24 meses): Esta linha de pesquisa focará no Eixo 3, de análise geoestatística dos indicadores de risco em primeiro lugar e de representação e visualização do risco agregado derivado da análise multicritério em segundo lugar. Os mestrandos trabalharão de forma coordenada com os o pesquisador líder e com os doutorandos para viabilizar as análises georreferenciadas dos resultados obtidos e facilitar a interface espacial da metodologia desenvolvida, especialmente sob a orientação da pesquisadora da equipe técnica 3.

X. Mestrando 3 (24 meses) e Mestrando 4 (24 meses): Trabalharão na análise pormenorizada dos estudos de caso segundo os indicadores de risco e a comparação entre eles, assim como na produção dos documentos técnicos da aplicação da metodologia desenvolvida. Sendo assim, deverão realizar uma colaboração intensa com os doutorandos para fornecer uma base sólida de dados que possibilite a modelagem geotécnica e a agregação multicritério, e junto aos pesquisadores responsáveis, especialmente o pesquisador líder e pesquisadores da equipe técnica 1 e 2.

XI. Mestrando 5 (24 meses) e Mestrando 6 (24 meses): A responsabilidade desta linha de pesquisa será o desenvolvimento dos modelos de definição da faixa de domínio e modelagem de cenários que possibilitem a comparação de resultados objeto dos trabalhos do Doutorando 1. Igualmente colaborarão nos eventos de divulgação e treinamento previstos. Portanto, deverá estar coordenado com os demais pós-graduandos, assim como especialmente com os pesquisadores 2 e 4.

XII. Iniciação Científica 1 (48 meses): Alunos de graduação envolvidos em projetos de iniciação científica normalmente trabalham em subtemas das pesquisas em andamento, desenvolvendo partes de trabalhos de pós-graduação, como forma de se aprender a pesquisar. Assim, o projeto de pesquisa desta IC envolve o desenvolvimento das bases de dados para posterior agregação multicritério. O aluno colaborará na obtenção de pesos e avaliações dos diferentes aspectos de risco para classificação e priorização de trechos e no desenvolvimento dos dashboards de apoio do processo decisório. Seu trabalho servirá de apoio ao Pesquisador líder, doutorando 2 e mestrandos 5 e 6.

XIII. Iniciação Científica 2 (48 meses): O projeto de pesquisa desta IC envolve a realização de ensaios geotécnicos a partir das amostras coletadas nos estudos de caso, assim como a preparação dos dados obtidos para análise posterior. O aluno colaborará na caracterização geotécnica das áreas de estudo e fornecerá informações necessárias para os indicadores específicos nos modelos multicritério. O projeto fica em estreita colaboração com o pesquisador da equipe técnica 1, o doutorando 3 e mestrandos 3 e 4.

XIV. Iniciação Científica 3 (48 meses): O tema desta IC é a definição de parâmetros técnicos e métricas de avaliação dos riscos envolvidos na definição da faixa de domínio que serão objeto dos estudos deste projeto. O aluno facilitará os procedimentos para introdução desses parâmetros nos modelos multicritério e computacionais, em colaboração direta com os demais alunos de graduação, o pesquisador da equipe técnica 2, doutorando 1.

XV. Iniciação Científica 4 (48 meses): Esta proposta de IC tem como objetivo apoiar no uso das técnicas de geoprocessamento e análise espacial dos dados. As informações obtidas das imagens aéreas e fontes de dados secundárias devem ser adequadamente depuradas e processadas no software SIG, tarefas que ficarão sob responsabilidade deste aluno. Seu trabalho, portanto, será base fundamental para os mestrandos 1 e 2, sob orientação da pesquisadora da equipe técnica 3, e de forma coordenada com os demais integrantes da equipe.

XVI. Iniciação Científica 5 (48 meses): O aluno colaborará na modelagem computacional dos cenários de acidentes ferroviários, essenciais para a definição dos modelos de cálculo da faixa de domínio, assim como para a operacionalização e visualização da metodologia desenvolvida. Com isso, contribuirá para o desenvolvimento global do projeto, nos tópicos nos quais trabalham o pesquisador da equipe técnica 4 e os mestrandos 5 e 6, junto aos demais graduandos.

3.4. Etapas

O prazo para a execução do projeto será de 48 meses. As etapas principais do projeto são listadas a seguir, bem como as atividades previstas dentro de cada etapa. As entregas ocorrerão ao término de cada ano definido pela data da concessão, de acordo com o período definido no RDT. As entregas serão apresentadas através de relatórios que conterão em anexo qualquer produto adicional que tenha sido desenvolvido, como resultados parciais e material de divulgação. O ANEXO II – "Cronograma de físico-financeiro" detalha a execução das etapas.

Meta	Etapa	Descrição e Indicadores Esperados
Meta 1	Planejamento de atividades	Mobilização da equipe (professores, profissionais pós-graduandos, graduandos), detalhamento e organização das ações, e entrega do plano de trabalho consolidado.
Meta 2	Pesquisa bibliográfica	Contextualização do problema (Referencial teórico), definição de variáveis e indicadores, definição de ferramentas de coleta/análise de dados (Fluxograma metodológico). Os equipamentos previstos para aquisição são atrelados a esta etapa para viabilizar a contextualização e análise do problema, assim como a coleta e análise dos dados necessários para a caracterização e quantificação das variáveis e desenvolvimento do projeto em conjunto
Meta 3	Coleta de dados	Desenvolvimento de instrumentos de consulta a especialistas (Painel de especialistas), reconhecimento das áreas de estudo (Plano de investigação), obtenção de dados primários (medições e ensaios in loco) e coleta de informações secundárias (consulta a fontes oficiais e operacionais). As visitas técnicas previstas no projeto e a contratação do serviço especializado de levantamentos aéreos são atreladas a esta etapa, para viabilizar a coleta de dados primários nos locais de estudo

		assim como o relacionamento com os profissionais da concessionária, ANTT e demais órgãos envolvidos, fundamental para a conformação dos painéis de especialistas e coleta dos dados relacionados para confirmação e ponderação das variáveis
Meta 4	Desenvolvimento e aplicação de ferramentas multicritério georreferenciadas para definição de largura segura de faixa de domínio e de avaliação de riscos nos usos do solo lindeiro	Ponderação, avaliação e agregação de variáveis (técnicas de análise multicritério), testes de sensibilidade e análise de efeitos marginais. Geração e simulação de cenários. Georreferenciamento e análise geoestatística de indicadores de risco (ambiente SIG). Elaboração de manuais de aplicação prática. Aplicação em estudos de caso
Meta 5	Normatização de resultados	Elaboração e discussão de propostas de minutas normativas sobre a aplicação das ferramentas desenvolvidas
Meta 6	Capacitação de profissionais e divulgação de resultados	Workshops e cursos de aperfeiçoamento de pessoal sobre as ferramentas e resultados obtidos. Elaboração de relatórios de andamento da pesquisa, preparação, submissão e apresentação de trabalhos em eventos científicos e produção de artigos para publicação em revistas especializadas. Elaboração de relatórios sobre resultados dos estudos de caso. Apresentação de resultados parciais e consolidados nos órgãos públicos envolvidos. Eventos de divulgação à comunidade

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

As atividades previstas neste projeto serão desenvolvidas em um prazo total de execução de 48 meses, a partir da conclusão da tramitação do projeto na instituição de pesquisa e da disponibilização dos recursos iniciais previsto. O projeto tem previsão de início em 01/03/2027, quando os trabalhos da equipe do projeto se iniciam. O custo total deste projeto será de R$ 3.965.115,18 (três milhões, novecentos e setenta e cinco mil, cento e quinze reais e dezoito centavos).
O custo total do projeto está alocado nos anos contratuais, conforme tabela abaixo.

Ano de débito	Ano de Projeto	Custo Previstos
Ano contratual 08	Ano contratual 08	R$ 709.685,67
Ano contratual 04	Ano contratual 09	R$ 20.000,00
Ano contratual 09	Ano contratual 09	R$ 1.017.284,63
Ano contratual 10	Ano contratual 10	R$ 958.418,75
Ano contratual 11	Ano contratual 11	R$ 763.283,73
Ano contratual 12	Ano contratual 12	R$ 496.442,41
Valor Total		R$ 3.965.115,18

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O projeto será desenvolvido de forma concomitante nas sedes das universidades federais envolvidas: Santa Maria (RS), Porto Alegre (RS) e Vitória (ES), assim como nos trechos objeto dos estudos de caso, pertencentes à malha ferroviária concedida à empresa Rumo S.A. nos municípios de Santa Maria (RS), Curitiba e Ponta Grossa (PR), e Santos e Campinas (SP), onde será necessário conduzir medições e ensaios in loco, além de reuniões de trabalho nas instalações da concessionária. Reuniões técnicas periódicas serão marcadas para serem realizadas online, em função da necessidade do projeto.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação da entidade

As entidades que desenvolverão o projeto são centros de pesquisa e laboratórios de referência na área de transportes no Brasil, com ênfase no modo ferroviário, vinculados a universidades federais:

- UFSM: os professores Alejandro Ruiz Padillo e Magnos Baroni, professores adjuntos da UFSM, são engenheiros civis com pós-graduação na área de transportes, com ênfase em avaliação de impactos dos modos de transporte e em geotecnia, respectivamente. Atuam no Curso de Engenharia Civil e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFSM (conceito CAPES 6), nas áreas relacionadas aos objetivos deste projeto, e desenvolvem pesquisas na área, com orientação de mestrado e doutorado sobre o modo ferroviário, com foco em infraestrutura, estabilidade e operação. São autores de livros, artigos publicados em periódicos científicos e trabalhos de congressos nacionais e internacionais sobre temas relacionados.

  O professor Alejandro Ruiz Padillo é Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível C, coordena o Laboratório de Mobilidade e Logística no Centro de Tecnologia da UFSM e forma parte da Sociedad Panamericana de Investigación en Transporte (PANAMSTR) como líder do Comitê *Sustainable Transport* e da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET) como coordenador da área temática de Modelos e Técnicas de Planejamento de Transportes. Tem experiência no desenvolvimento de projetos geométricos de infraestruturas, de avaliação de impactos dos modos de transportes e estudos de planejamento estratégico de transportes e logística.

  O professor Magnos Baroni coordena o Grupo Geotecnia e Meio Ambiente (GEOMA) e participa ativamente do Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV), e no ano de 2026 foi selecionado como bolsista de Produtividade em Pesquisa (PQ) do CNPq. Desenvolve projetos de pesquisa e inovação em parceria com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT/IPR) e com a Petrobras e possui experiência em obras de Infraestrutura Rodo e Ferroviária com mais de 15 anos de atuação como consultor geotécnico.. No âmbito associativo, é membro representativo da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), instituição na qual exerceu os cargos de tesoureiro do Núcleo Rio Grande do Sul (2018–2022) e vice-presidente (2022–2024). Atualmente, é consultor *ad hoc* da Direção Nacional da ABMS e presidente da Comissão Técnica de Pavimentos. Foi presidente do GEORS 2019, do GEORS 2022 e da 2ª edição do Workshop Nacional de Infraestrutura Rodoviária e Ferroviária, ocorrido em Brasília/DF no ano de 2026.

  UFES: o professor Rodrigo de Alvarenga Rosa, professor Associado IV da UFES, possui pós-doutorado em Transportes no Programa de Engenharia de Transportes (PET) da

COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisador CNPq de Produtividade 1D. Autor de diversos livros na área de ferrovia, professor de diversos cursos de pós-graduação para as ferrovias EFVM, EFC, FCA, FNS, RUMO, Moçambique, Caixa Econômica, dentre outros. Há quinze anos é professor da cadeira de Estradas de Ferro da graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Coordenou por quatro anos o projeto Planejamento da Operação Ferroviária em Ambiente Com Incertezas por meio de Modelos Matemáticos e Meta-heurísticas para a Vale S.A. (EFVM e EFC) em conjunto com a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) gerando diversas orientações de mestrado e artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, além de artigos em congressos nacionais e internacionais.

- UFRGS: a professora Bárbara Maria Giaccom Ribeiro é professora adjunta da UFRGS com pós-graduação em sensoriamento remoto e planejamento urbano e regional. Tem experiência na análise geoespacial sobre as relações das infraestruturas com o ambiente urbano construído, mapeamento de ocupações irregulares e urbanização de favelas. Desenvolve pesquisas relacionadas aos Sistemas Configuracionais Urbanos há treze anos.
- UFSM ou UFES: docente da área de Física, com experiência em modelagem computacional aplicada.

6.2. Identificação da equipe executora

A equipe inicial a ser alocada ao projeto será formada por 2 Engenheiros doutores com pós-doutorado em Transportes; 1 Engenheiro Civil com doutorado em Geotecnia; 1 Arquiteta e Urbanista com mestrado em Sensoriamento Remoto e doutorado em Planejamento Urbano e Regional; e 1 Físico(a) com experiência em modelagem computacional. A equipe poderá ser ajustada em função de demandas específicas que porventura aconteçam ao longo do projeto e aos prazos estabelecidos. Os cinco doutores que comporão a equipe são professores efetivos de universidades federais. São eles:

Nome Completo	Instituição	Função no Projeto	CPF	Currículo Lattes
Alejandro Ruiz Padillo	UFSM	Coordenador	704.615.331-03	http://lattes.cnpq.br/2242380948719423
Magnos Baroni	UFSM	Pesquisador	005.188.250-78	http://lattes.cnpq.br/4977419778481897
Rodrigo de Alvarenga Rosa	UFES	Pesquisador	872.762.677-68	https://lattes.cnpq.br/7706827408886021
Bárbara Maria Giaccom Ribeiro	UFRGS	Pesquisadora	325.233.598-04	http://lattes.cnpq.br/1560120900017947
A definir	UFSM ou UFES	Pesquisador(a)	A definir	A definir

Os demais membros da equipe, assim como os alunos de graduação e pós-graduação serão alocados no desenvolvimento do projeto.

7. PRODUTOS

Através da proposta apresentada, o projeto prevê os seguintes produtos:

1) Plano de trabalho consolidado no início dos trabalhos.
2) Relatórios de andamento anuais contendo as atividades listadas na proposta.
3) Ferramenta de cálculo de largura segura de faixa de domínio ferroviária.
4) Ferramenta multicritério de análise de riscos nos usos do solo lindeiro às ferrovias, para aplicação e representação em ambiente SIG.
5) Manuais descrevendo as ferramentas desenvolvidas, no intuito de que possam ser replicadas por todo e qualquer organismo que precisar.
6) Propostas de minutas normativas para aplicação das ferramentas desenvolvidas.
7) Documentos técnicos de resultados da aplicação prática da metodologia desenvolvida nos estudos piloto nas cidades de Ponta Grossa, Curitiba, Santos, Campinas e Santa Maria (RS).
8) Encontros de capacitação de tomadores de decisão interessados.
9) Eventos de divulgação e treinamento ao público alvo.
10) Formação de recursos humanos em nível de graduação e pós-graduação.
11) Produção científica em eventos e revistas especializadas.
12) Relatório final consolidado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

ABREU, V. H. S. **Atropelamentos ferroviários: uma revisão da literatura**. *Revista Brasileira de Estudos de Segurança Pública*, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2020.

EBRAHIMI, Hadiseh et al. **Analysis of train derailments and collisions to identify leading causes of loss incidents in rail transport of dangerous goods in Canada**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 72, 1 set. 2021.

FAYA JUNIOR, O.G.; MIYASAKI, R. M. **Avaliação dos estudos de inserção urbana das linhas e da infraestrutura ferroviária da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM**. 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - ANTP, 2018.

HUANG, Wencheng et al. **Railway dangerous goods transportation system risk analysis: An Interpretive Structural Modeling and Bayesian Network combining approach**. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 204, p. 107220, 2020.

LAI, Jun et al. **A failure probability assessment method for train derailments in railway yards based on IFFTA and NGBN**. *Engineering Failure Analysis*, v. 154, p. 107675, 2021.

LIANG, Ci et al. **Developing accident prediction model for railway level crossings**. *Safety Science*, v. 101, p. 48–59, jan. 2018.

LIU, Jintao et al. **Understanding railway operational accidents using network theory**. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 189, p. 218–231, 2019.

PODAWCA, Konrad; KARSZNIA, Krzysztof; JEWUŁA, Kamil. **Land development policy as related to real estate influenced by railway noise in the context of allowable indicators that have been recently modified in Poland**. *Miscellanea Geographica*, v. 25, n. 3, p. 155–168, 2021.

ROSA, R. A.; RIBEIRO, R. C. H. **Estradas de ferro: Projeto, Especificação e Construção**. 2. ed. (e-book). EDUFES, 2020. Acesso em: 15 fev. 2024. Disponível em: https://edufes.ufes.br/items/show/562.

RUSSO, B. J. et al. **Pedestrian and bicyclist behavior at Highway-Rail grade crossings: An observational study of factors associated with violations, distraction, and crossing speeds during train crossing events**. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 13, n. 11, p. 1263–1281, 2021.

SE, C. et al. **Analysis of factors influencing crash injury severities at highway-rail grade crossings accommodating for unobserved heterogeneity**. *Frontiers in Built Environment*, v. 9, 2023.

USAMAH, Muhibuddin et al. **Can the vulnerable be resilient? Co-existence of vulnerability and disaster resilience: Informal settlements in the Philippines**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 10, p. 178–189, 2014.

VARRA, Giada et al. **Flood susceptibility assessment for improving the resilience capacity of railway infrastructure networks**. *Water (Switzerland)*, v. 16, n. 18, 2024.

VIVEK, A. K.; MOHAPATRA, S. S. **An observational study on pedestrian and bicyclist violations at railroad grade crossings: Exploring the impact of geometrical and operational**

attributes. *Journal of Safety Research*, v. 87, p. 395–406, 2023.

WAN, Bingtong; BAO, Xueying; ZHAO, Jianchang. **Evaluation method and application of ecological sensitivity of intercity railway network planning**. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 2, 2022.

WU, L.; SHEN, Q.; LI, G. **Identifying Risk Factors for Autos and Trucks on Highway-Railroad Grade Crossings Based on Mixed Logit Model**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 22, 2022.

ZHANG, Z. P.; TURLA, T.; LIU, X. **Analysis of human-factor-caused freight train accidents in the United States**. *Journal of Transportation Safety & Security*, v. 13, n. 10, p. 1157–1186, 2021.

ZHAO, J. X.; DICK, C. T.; KANG, D. **Analysis of derailment severity comparing unit trains at transload terminals and manifest trains at railroad switching and hump classification yards**. *Transportation Research Record*, v. 2677, n. 5, p. 793–811, 2023.

XIE, Wei et al. **Landslide hazard assessment based on Bayesian optimization–support vector machine in Nanping City, China**. *Natural Hazards*, v. 109, n. 1, p. 931–948, 2021.

ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

Na proposta final serão apensados os anexos listados a seguir, e outros que se fizerem necessários:

I - Resumo do Plano de Trabalho;

II - Cronograma físico-financeiro do projeto;

III - 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.