PLANO DE TRABALHO DO TERMO DE EXECUÇÃO DESCENTRALIZADA N.º 756/2025

1. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADORA

a) Unidade Descentralizadora e Responsável
Nome do órgão ou entidade descentralizador(a): Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
Nome da autoridade competente: Luiz Guilherme Rodrigues de Mello.
Número do CPF: **.579.601-**
Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: Diretoria de Planejamento e Pesquisa - DPP
Identificação do Ato que confere poderes para assinatura: Regimento Interno do DNIT, aprovado pela Resolução nº 39, de/11/2020, e a Portaria nº 3.079, de 20/06/2024.

b) UG SIAFI
Número e Nome da Unidade Gestora - UG que descentralizará o crédito: 393003 - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
Número e Nome da Unidade Gestora responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: 393005 - Diretoria de Planejamento e Pesquisa

2. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADA

a) Unidade Descentralizada e Responsável
Nome do órgão ou entidade descentralizada: Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF.
Nome da autoridade competente: Girlene Alves da Silva.
Número do CPF: ***.650.743-**
Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pela execução do objeto do TED: Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional / Faculdade de Engenharia / Universidade Federal de Juiz de Fora.
Identificação do Ato que confere poderes para assinatura: Decreto de 1º de abril de 2024. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 2/04/2024, Edição: 65, Seção: 2, Página: 1.

b) UG SIAFI
Número e Nome da Unidade Gestora - UG que receberá o crédito: 153061 - UFJF.
Número e Nome da Unidade Gestora responsável pela execução do objeto do TED: 153061 – UFJF.

3. OBJETO

O presente termo de execução tem como objeto a celebração de cooperação técnico-científica, intercâmbio de conhecimentos e experiências entre a Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com apoio de especialistas da Universidade de Brasília (UnB) e do Instituto Militar de Engenharia (IME), no contexto de análise e de monitoramento de ferrovias, visando o desenvolvimento e a validação de tecnologias embarcadas e de controle fixo para o monitoramento de parâmetros de pavimentos ferroviários que subsidiem decisões sobre manutenção e velocidades operacionais da via, e que fomentem métodos de dimensionamento mecanístico-empírico.

3.1. Objetivo Principal:

Desenvolver e validar tecnologias embarcadas e de controle fixo para o monitoramento de parâmetros de pavimentos ferroviários que subsidiem decisões sobre manutenção e velocidades operacionais da via, e que fomentem métodos de dimensionamento mecanístico-empírico.

3.2 Objetivos específicos:

O objetivo será alcançado por meio de análises combinadas dos resultados dos monitoramentos em movimento e fixos de seções de controle e de ensaios de campo e laboratório realizados nestas seções:

i. Implementar uma tecnologia embarcada com acelerômetros para avaliar deflexões dinâmicas no pavimento ferroviário durante a passagem do trem.

ii. Definir Seções de Controle, com base no desempenho do pavimento sobre subleito e obra de arte especial, com diferentes respostas à ação do tráfego.

iii. Aplicar métodos de medição das deflexões no trilho e deslocamentos nos dormentes e lastro sem contato (monitoramento por câmeras), como realizado pelas técnicas que usam LVDT, para medir as deflexões e deslocamentos.

iv. Integrar as medições dinâmicas da tecnologia embarcada com monitoramentos deflectométricos das Seções de Controle realizados por meio do monitoramento por câmeras.

v. Monitorar o comportamento geotécnico de trechos críticos da plataforma ferroviária por meio de instrumentação in loco, visando também calibrar e validar a capacidade de sensores embarcados em locomotivas para a detecção de situações de risco.

vi. Implementar métodos de retroanálise para calcular os Módulos de Resiliência (MR) das camadas do pavimento com base nas deflexões medidas pela técnica sem contato (monitoramento por câmeras).

vii. Instrumentar algumas das Seções de Controle, Seções Instrumentadas, para medir parâmetros de interesse para análises elásticas e modelagens numéricas, tais como tensões verticais e horizontais, deformações e variáveis que influenciam nestas, sendo teor de umidade e sucção nas camadas de sublastro e subleito.

viii. Caracterizar e definir os parâmetros mecânicos e hidráulicos dos materiais que compõem as camadas dos pavimentos das seções instrumentadas, por meio de ensaios tradicionais e àqueles que levem em consideração a Mecânica dos Pavimentos, como os triaxiais de carga repetida.

ix. Realizar Ensaios em Caixa de Lastro, com dimensões iguais ou superiores a 1 x 1 x 1 m, para avaliar, de forma realista, a resposta mecânica do material e sua degradação ao longo do tempo em condições que reproduzam o efeito dinâmico do tráfego ferroviário, incluindo a passagem de trens com diferentes pesos e frequências.

x. Avaliar o impacto no desempenho da estrutura devido à evolução da deformação permanente (acomodação) e a quebra do lastro relativa ao atrito entre partículas, por meio dos ensaios em caixa.

xi. Realizar ensaios triaxiais de carga repetida em material de lastro em corpos de prova (CP) construídos por meio de decalagem granulométrica.

xii. Determinar parâmetros de entrada para modelos numéricos e simulações computacionais a partir dos dados obtidos nos monitoramentos e ensaios, visando prever o desempenho do pavimento em diferentes cenários de carregamento.

xiii. Validar a relação entre os dados de acelerometria, os parâmetros geotécnicos das camadas e o comportamento tensão-deformação.

xiv. Definir parâmetros de interesse para a Gerência de Pavimentos Ferroviários, voltada para políticas de manutenção e operação.

xv. Definir parâmetros e métodos para previsão de velocidades operacionais seguras para diferentes condições de pavimento.

xvi. Capacitar recursos humanos de instituições de ensino, órgãos e empresas públicas e privadas, por meio de cursos.

xvii. Propor um coeficiente dinâmico variável, que também seja função da deflexão do pavimento.

xviii. Avaliar o uso do coeficiente de impacto para o dimensionamento de ferrovias, confrontando seus resultados com aqueles atrelados à velocidade da composição e as condições de via.

xix. Fomentar métodos de dimensionamento de pavimento ferroviário, tendo como referência o programa computacional Systrain, de desenvolvimento nacional.

4. DESCRIÇÃO DAS AÇÕES E METAS A SEREM DESENVOLVIDAS NO ÂMBITO DO TED

O presente projeto visa estabelecer uma abordagem abrangente e integrada para analisar e aprimorar os desempenhos estrutural e operacional de pavimentos ferroviários, com foco em tecnologia, monitoramento e modelagem avançada. As metas incluem o desenvolvimento e a implementação de tecnologias inovadoras e de métodos de análise que permitam caracterizar, monitorar e prever o comportamento dos pavimentos em diferentes cenários de tráfego e de condições operacionais.

As ações propostas abrangem desde a implementação de tecnologias embarcadas (utilizando acelerômetros) para mensurar deflexões dinâmicas do pavimento durante a passagem de trens, até a instrumentação de seções específicas da ferrovia (Seções de Controle) para a coleta de dados detalhados sobre tensões, deformações e condições geotécnicas. Além disso, serão priorizadas soluções inovadoras, como o uso de monitoramento por câmeras para medições sem contato e a integração com levantamentos por georadar para identificar as propriedades e condições das camadas do pavimento.

A pesquisa também visa aprofundar a compreensão dos mecanismos de degradação do lastro por meio de ensaios realísticos em escala, desenvolvendo modelos físicos e computacionais que reproduzam o comportamento dinâmico das estruturas. Isso permitirá a avaliação da deformação permanente, da quebra do lastro e dos impactos sobre a condição estrutural da via. Paralelamente, serão definidos parâmetros essenciais para a gerência de pavimentos ferroviários, auxiliando na tomada de decisões relacionadas à manutenção, operação e segurança.

Um destaque do projeto é o avanço no cálculo do coeficiente dinâmico, incorporando variáveis como deflexões da via e dados de acelerometria, propondo um modelo mais sofisticado e dependente das condições reais da ferrovia. Por fim, a pesquisa busca não apenas gerar conhecimento técnico e científico, mas também capacitar profissionais e fomentar o uso de ferramentas de dimensionamento, como o programa computacional Systrain.

Tendo em vista as especialidades envolvidas, três instituições (UFJF, IME e UnB) trabalharão em conjunto, constituindo não só o primeiro TED com o DNIT totalmente focado em ferrovia, mas também o ineditismo de um consórcio entre instituições para desenvolver uma pesquisa de relevância estratégica para o setor ferroviário brasileiro.

M1. Revisão Bibliográfica.

Ações:

- Revisão bibliográfica compreendendo o Estado da Arte sobre: (i) medições e análises de deflexões do trilho e deslocamentos nos dormentes e lastro; (ii) comportamento tensão deformação de pavimentos ferroviários; (iii) uso de tecnologias embarcadas para o monitoramento dinâmico do pavimento voltadas para a Gerência de Pavimentos Ferrovia; (iv) técnicas de instrumentação e monitoramento de pavimento e de pontes de ferrovias; (v) retroanálises para a definição de Módulos de Resiliência (MR) das camadas; (vi) ensaios especiais para a definição dos parâmetros de deformabilidade dos materiais geotécnicos; (vii) modelos físicos de ferrovia (caixas de ensaio com pavimento submetido a carregamento dinâmico); (viii) métodos mecanístico-empíricos de pavimentos ferroviários; (ix) deformação permanente e quebra de lastro; e (x) métodos para definição de velocidade operacional de ferrovias.

Prazo: 12 meses - mês 5 ao 16.

Acompanhamento/Produto: Relatório Parcial (6 meses) e Relatório Final contendo a Revisão Bibliográfica (12 meses).

Entrega: mês 17.

M2. Tecnologia embarcada para monitorar indicadores de desempenho.

Objetiva-se implementar uma tecnologia embarcada com acelerômetros instalados em vagão ou locomotiva para medir deflexões dinâmicas mobilizadas no pavimento ferroviário durante a passagem dos eixos do veículo instrumentado.

Ações:

- Reconhecimento de vagões e locomotivas visando a instalação de acelerômetros.
- Projeto de tecnologia embarcada em veículo ferroviário.
- Especificações dos instrumentos (acelerômetros) e equipamentos acessórios (fonte de energia, cabeamentos, conexões e sistemas de aquisição de dados).
- Termo de Referência (TR) para aquisição dos instrumentos e equipamentos acessórios.
- Edital de aquisição com Termo de Referência (TR) consolidado.
- Aquisição dos instrumentos e equipamentos da tecnologia embarcada.

- Calibração dos acelerômetros no sistema de aquisição de dados a ser usado no veículo ferroviário instrumentado.
- Instalação de equipamentos, instrumentos e sistema no veículo ferroviário instrumentado.
- Testes da tecnologia embarcada no trecho de ferrovia no qual serão implantados as Seções de Controle.

Prazo: 10 meses - mês 5 ao 14.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo o projeto de instrumentação, calibração dos instrumentos, sistema de aquisição de dados e programação para tratamento, processamento e apresentação de resultados da tecnologia embarcada para monitoramento de pavimento ferroviário.

Entrega: mês 15.

M3. Definição de Seções de Controle.

Nesta meta serão definidas as Seções de Controle (SC), tendo como referência os dados de acelerometria que seriam os indicativos das condições de desempenho do pavimento sobre subleito e obra de arte especial (OAE), com diferentes respostas à ação do tráfego.

Inicialmente, será definido um trecho de ferrovia como objeto principal da pesquisa, onde serão implantadas as Seções de Controle (SC). Viagens do veículo equipado com tecnologia embarcada serão realizadas nesse trecho, capturando dados de acelerometria. Esses dados serão processados e tratados para identificar padrões de desempenho e, com base nisso, definir segmentos homogêneos com características distintas. Com base na Segmentação Homogênea serão definidos possíveis SC. Inspeções de campo serão realizadas para verificar se as condições in loco das SC são adequadas para a realização das demais atividades previstas (medidas de deflexões, ensaios, instrumentação e monitoramento).

Por fim, serão definidas 10 SC, consideradas representativas, que refletirão diferentes condições de desempenho da ferrovia. Essas seções desempenharão um papel crucial nas análises subsequentes, possibilitando uma correlação robusta entre os dados coletados pela tecnologia embarcada e aqueles obtidos nos ensaios e monitoramentos específicos.

Ações:

- Definição de trecho de ferrovia objeto de avaliação integrada dos resultados da tecnologia embarcada com aqueles obtidos em ensaios e monitoramento de Seções de Controle.
- Viagens do veículo com tecnologia embarcada no trecho de ferrovia no qual serão implantados as Seções de Controle.
- Tratamento e processamento do levantamento do trecho de ferrovia com uso de tecnologia embarcada.
- Definição de segmentos homogêneos de ferrovia com base em diferentes condições de desempenho.
- Inspeção de campo para reconhecimento das Seções de Controle.
- Definição de 10 Seções de Controle (SC) com diferentes condições de desempenho, que auxiliarão nas análises.

Prazo: 7 meses - mês 14 ao 20.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo a segmentação homogênea do trecho ferroviário e as Seções de Controle (SC), incluindo os critérios para definição das SC.

Entrega: mês 21.

M4. Medição de Deflexões e Deslocamentos no Pavimento por Vídeomonitoramento.

O monitoramento das deflexões e dos deslocamentos por câmeras em pavimentos ferroviários permitirá uma melhor compreensão da resposta estrutural da via frente às solicitações dinâmicas do tráfego. Nesse contexto, a aplicação da técnica de monitoramento por câmeras como alternativa sem contato surge como uma abordagem inovadora e eficaz. Inspirada em métodos que usam equipamentos de medição, como o LVDT (Linear Variable Differential Transformer) e a Viga Benkelman. Essa técnica permite a medição acurada das deflexões no trilho e dos deslocamentos nos dormentes e no lastro durante a passagem do trem, contendo o veículo ferroviário instrumentado.

O método será aplicado nas 10 Seções de Controle (SC), com diferentes condições de desempenho. Posteriormente, os dados obtidos serão processados e tratados, permitindo a extração de informações sobre as deflexões e deslocamentos medidos. Os resultados serão apresentados de forma organizada em gráficos e tabelas, proporcionando uma base sólida para análises subsequentes sobre o desempenho do pavimento ferroviário.

Ações:

- Aplicação da técnica de monitoramento das deflexões do trilho e deslocamentos dos dormentes e lastro por meio de vídeos nas 10 seções de controle, quando da passagem do veículo ferroviário instrumentado.
- Processamento e tratamento dos dados obtidos a partir do monitoramento por câmeras para obtenção das deflexões dos trilhos e deslocamentos dos dormentes e lastro.
- Elaboração de gráficos e tabelas com os resultados das deflexões e deslocamentos medidos, visando a utilização nas análises subsequentes.

Prazo: 6 meses - mês 20 ao 26.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo a descrição da técnica de monitoramento por câmeras e os resultados numéricos e gráficos das medidas de deflexões no trilho e de deslocamentos nos dormentes e lastro.

Entrega: mês 27.

M5. Integração de Tecnologias de Monitoramento em Movimento e Fixo.

A integração de tecnologias de monitoramento em movimento, como a instrumentação embarcada e monitoramento fixo, e o monitoramento por câmeras, representa um avanço significativo na análise de pavimentos ferroviários. Essa combinação permite correlacionar as respostas dinâmicas medidas em tempo real pelo veículo ferroviário instrumentado com as deflexões e deslocamentos registrados de maneira fixa nas Seções de Controle.

Os dados de acelerometria fornecidos pela tecnologia embarcada capturam as variações dinâmicas ao longo do trecho monitorado, enquanto o

monitoramento por câmeras fornece medições acuradas de deflexões e deslocamentos específicos, possibilitando uma interpretação do comportamento estrutural da via. A integração dessas informações é fundamental para atribuir significado físico aos dados de acelerometria, permitindo interpretar os picos e amplitudes observados em termos de rigidez estrutural, deformações e condições geotécnicas das camadas do pavimento. Essa abordagem integrada também contribui para o desenvolvimento de modelos matemáticos/numéricos mais robustos, retroanálises e estratégias de manutenção preditiva.

Ações:

- Identificação de eventos por meio da correlação entre os dados captados pela tecnologia embarcada (como picos de acelerometria), com as deflexões e deslocamentos registrados pelo monitoramento por câmeras em pontos específicos das Seções de Controle.
- Normalização e alinhamento temporal dos dados, com o objetivo de sincronizar as medições obtidas por ambas as tecnologias para garantir que os registros correspondam ao mesmo intervalo de tempo durante a passagem do veículo ferroviário.
- Cálculo de parâmetros derivados, como velocidades, frequências naturais e amplitudes de vibração a partir de dados de acelerometria e compará-los com as medidas de deflexões e deslocamentos das seções monitoradas.
- Validação cruzada dos resultados, visando a comparação dos resultados obtidos pelas diferentes técnicas de medição para validar a consistência e a confiabilidade dos dados.

Prazo: 9 meses - mês 23 ao 31.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo os resultados da validação cruzada dos resultados obtidos pelas diferentes técnicas de medição.

Entrega: mês 32.

M6. Instrumentação Geotécnica para Calibração de Sensores Embarcados na Detecção de Riscos Ferroviários.

Considerando os riscos associados à instabilidade de aterros ferroviários e cabeceiras de pontes, propõe-se a implantação de sistema de instrumentação geotécnica em trechos críticos da via férrea, com o objetivo de monitorar o comportamento do maciço e das interfaces com estruturas de transição. O foco é subsidiar ações preventivas de manutenção e contribuir para a segurança operacional da ferrovia.

A instrumentação in loco será composta por sensores sísmicos, tiltmeters e inclinômetros in-place, integrados a um sistema automatizado de aquisição de dados, com alimentação solar e transmissão contínua via gateway para plataforma em nuvem. Esses dados de campo servirão como referência para a correlação com os sinais captados por sensores embarcados em locomotivas, que também percorrerão os mesmos trechos monitorados.

A proposta tem como diferencial estratégico o uso da instrumentação fixa como ferramenta de calibração e validação da tecnologia embarcada, permitindo verificar se os sinais provenientes dos sensores da locomotiva são capazes de indicar alterações geotécnicas relevantes. Essa abordagem poderá viabilizar, no futuro, o monitoramento contínuo da ferrovia com menor dependência de sensores distribuídos ao longo da via, reduzindo custos e ampliando a capacidade de detecção de anomalias de forma integrada à operação ferroviária.

A execução da meta envolverá, além da aquisição de equipamentos e do envolvimento da equipe de pesquisadores, a contratação de empresa especializada para serviços de apoio técnico e executivo, como perfuração de furos para instalação de tubos inclinométricos, execução de caixas de proteção em concreto, serralheria, carpintaria e outras atividades auxiliares típicas da engenharia civil. Estima se que essa terceirização representará entre 10% e 15% do valor total previsto para esta etapa.

Ações:

- Termos de Referência (TR) para: (i) aquisição dos equipamentos; (ii) contratação de empresa de apoio para atividades de campo.
- Edital de contratação com TR consolidados.
- Aquisição e Calibração dos Instrumentos, incluindo testes de leitura no Sistema de Aquisição de Dados e acessórios.
- Contratação da empresa de apoio para suporte das demandas civis de campo (perfuração, confecção de caixas, serviços de serralheria e carpintaria e outros).
- Mobilização para instalações e monitoramento.
- Coleta, tratamento, processamento e análise dos dados monitorados.

Prazo: 36 meses - mês 5 ao 40.

Acompanhamento/Produto: Relatório técnico consolidado com resultados do monitoramento, análise de comportamento dos segmentos instrumentados e diretrizes para replicação da metodologia em outros pontos da malha ferroviária nacional.

Entrega: mês 40.

M7. Método de Retroanálise dos Módulos de Resiliência das Camadas do Pavimento.

Implementar um método de retroanálise para calcular os Módulos de Resiliência (MR) das camadas do pavimento com base nas deflexões medidas pela técnica sem contato (monitoramento por câmeras).

Ações:

- Preparação e organização dos dados de deflexões dos trilhos e deslocamentos de dormentes e lastros obtidos pelo monitoramento por câmeras das Seções de Controle.
- Definição da estrutura dos pavimentos de cada Seção de Controle: elementos estruturais (trilhos e acessórios) e camadas geotécnicas (espessuras e tipos de materiais do subleito, sublastro e lastro), que permita entrada no método de análise.
- Selecionar ou desenvolver um método de retroanálise adequado para pavimentos ferroviários, considerando o comportamento dos materiais geotécnicos.
- Estimativa dos módulos de resiliência dos materiais geotécnicos, até que se tenha os resultados dos ensaios triaxiais de carga repetida.
- Validação do método proposto por meio de análises comparativas dos módulos de resiliência retroanalisados com os encontrados nos ensaios triaxiais de cargas repetidas. Essa atividade será realizada em três etapas: (I) comparação com os módulos de resiliência obtidos com valores esperados ou

conhecidos de estudos prévios; (II) comparação com resultados de ensaios laboratoriais, como os triaxiais de carga repetida; e (III) comparação com medições complementares realizadas nas Seções Instrumentadas.

Prazo: 10 meses - mês 21 ao 31.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo os procedimentos utilizados na retroanálise, incluindo dados de entrada, modelo, resultados obtidos e validação do método.

Entregas:
da **Etapa I** no mês 33.
das **Etapas II e III**, após as entregas dos dados de ensaios e dos monitoramentos das Seções Instrumentadas.

M8. Instrumentação e Monitoramento de Pontes e Seções de Controle.

Esta meta abrange o desenvolvimento de uma metodologia estruturada para instrumentar e monitorar algumas das Seções de Controle (Seções Instrumentadas), pontes e cabeceiras de pontes para medir parâmetros de interesse para análises elásticas e modelagens numéricas, tais como tensões verticais e horizontais, deformações e variáveis que influenciam nestas, como teor de umidade e sucção nas camadas de sublastro e subleito.

As ações planejadas abrangem desde a definição das condições de contorno e níveis esperados de tensão e deformação até a especificação e calibração dos instrumentos necessários. Após a instalação, o monitoramento permitirá o processamento e a análise dos dados coletados, contribuindo para uma melhor compreensão do comportamento estrutural das pontes e Seções de Controle. Esses resultados fornecerão subsídios para as análises da pesquisa.

Ações:

- Projeto de instrumentação de trecho ferroviário.
- Projeto de instrumentação de ponte. - Projeto de instrumentação de cabeceira de ponte.
- Análises de tensões e deformações para definição dos níveis de tensão e deformação esperados.
- Definição e especificação dos instrumentos.
- Projeto de calibração dos instrumentos.
- Programa de monitoramento.
- Termo de Referência para aquisição dos instrumentos.
- Publicação do edital de aquisição de instrumentos.
- Aquisição dos instrumentos.
- Calibração dos instrumentos nos níveis e condições de contorno esperados.
- Instrumentação e monitoramento de ponte e cabeceira de ponte (3 Pontes).
- Instrumentação e monitoramento de pavimento ferroviário (5 Seções de Controle).
- Processamento e tratamento dos dados de monitoramento das tensões e deformações medidas nas pontes e Seções de Controle.

Prazo: 24 meses - mês 24 ao 47.

Acompanhamento/Produto:

- Relatório contendo projetos e os resultados de instrumentação e monitoramento das pontes e seções de controle.
- Proposta de Procedimento (PRO) a ser adotado pelo DNIT para orientação de instrumentação e monitoramento de pontes e seções de controle.

Entregas semestrais: meses 31, 37, 43 (relatório) e 49 (proposta de procedimento).

M9. Caracterização e Comportamentos Mecânico e Hidráulicos do Materiais Geotécnicos das Seções Instrumentadas.

Esta meta tem como objetivo realizar uma caracterização detalhada dos materiais geotécnicos que compõem as camadas dos pavimentos nas Seções Instrumentadas (5 Seções de Controle e 1 Seção de Cabeceira de Ponte), para definir os parâmetros mecânicos e hidráulicos importantes ao desenvolvimento das análises. Essa caracterização é fundamental para embasar os cálculos de dimensionamento de pavimentos ferroviários com base nos métodos mecanístico-empíricos, uma vez que esses parâmetros influenciam diretamente a resposta estrutural do pavimento sob as condições dinâmicas do tráfego ferroviário.

Os ensaios laboratoriais previstos incluem tanto testes tradicionais quanto aqueles que consideram a mecânica dos pavimentos, como os ensaios triaxiais de carga repetida. Serão coletadas amostras de subleito, sublastro e lastro nas cinco seções de controle e na cabeceira de ponte. Embora o lastro não seja objeto de ensaio da presente meta, já que está previsto em outra meta, o sublastro e o subleito serão submetidos a uma bateria de ensaios em corpos de prova que representem as condições das camadas em campo.

Além dos ensaios triaxiais de carga repetida, serão realizados ensaios de caracterização física, compactação, MCT (Máxima Densidade de Compactação) e cisalhamento direto, visando uma avaliação completa das propriedades dos materiais. A análise das curvas características dos solos será feita por meio de ensaios específicos, como Papel Filtro e WP4, que determinam a sucção dos solos.

Por fim, a elaboração de análises comparativas entre os módulos de resiliência obtidos em laboratório com aqueles retroanalisados, proporcionará uma validação dos Métodos de Retroanálise.

Ações:

- Recursos financeiros para aquisição de equipamento triaxial de cargas repetidas e modernização/manutenção em equipamentos triaxiais existentes.
- Coleta e transporte de materiais de 5 Seções de Controle e de 1 Cabeceira de Ponte para realização de ensaios triaxiais de carga repetida (subleito, sublastro e lastro, esse último não é objeto de ensaio dessa meta, pois há uma específica para lastro).
- Preparação de amostras e corpos de prova para realização de ensaios nos materiais de subleito e sub lastro.

- Realização de ensaios de caracterização física, compactação, MCT e cisalhamento direto.
- Realização de ensaios de papel filtro e WP4 para definição das curvas características dos solos (sucção).
- Realização de ensaios triaxiais de carga repetida para determinação dos módulos de resiliência e deformação permanente.
- Definição dos modelos matemáticos dos módulos de resiliência e deformação permanente (parâmetros para dimensionamento empírico-mecanístico).
- Análise comparativa dos módulos de resiliência retroanalisados com aqueles encontrados nos ensaios triaxiais de carga repetida.

Prazo: 11 meses - mês 21 ao 31.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo os procedimentos e resultados dos ensaios de laboratório voltados para métodos mecanístico-empíricos.

Entregas semestrais: meses 26 e 33.

M10. Modelo Físico para Avaliação da Resposta Mecânica do Lastro sob Efeito do Carregamento Dinâmico.

Objetiva-se realizar ensaios em caixa de lastro com dimensões iguais ou superiores a 1 x 1 x 1 m para avaliar, de forma realista, a resposta mecânica do material e a sua degradação ao longo do tempo em condições que reproduzam o efeito dinâmico do tráfego ferroviário. Essas dimensões levam em consideração as características e as propriedades físicas das britas que compõem o lastro, sendo estas determinantes na performance do material sob carga. Quando a brita é comprimida sob a carga do trem, as partículas podem se mover, se rearranjar ou até mesmo se quebrar, gerando degradação. O uso de uma caixa de grandes dimensões permite simular adequadamente essas interações e observar o comportamento do lastro em condições mais próximas às reais. A avaliação do comportamento do lastro sob repetidos ciclos de carregamento, incluindo diferentes pesos e frequências dos trens, é essencial para entender as tensões, deformações e degradação do material ao longo do tempo.

Ações:

- Recursos financeiros para complementação e modernização da caixa de ensaios.
- Instalação de um modelo físico em caixa (com dimensões de 1 x 1 x 1 m ou superiores), utilizando lastro real ou similar, para simular as condições de carregamento dinâmico. O objetivo é reproduzir o efeito do tráfego ferroviário sobre o material, considerando diferentes tipos de trens e condições de carga.
- Simulação do carregamento dinâmico por meio de aplicação de ciclos de carregamento, reproduzindo o impacto das passagens dos trens, ajustando as variáveis como peso e frequência para reproduzir a diversidade de condições de tráfego.
- Avaliação da resposta mecânica do lastro, medindo as tensões e deformações da(s) camada(s) montada(s) na Caixa de Ensaio ao longo do tempo.
- Análise comparativa entre as granulometrias do lastro antes e depois do ensaio de caixa, para avaliar a quebra de grãos.

Prazo: 18 meses - mês 24 ao 41.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo procedimentos e resultados dos ensaios em lastros por meio de modelo físico de ferrovia.

Entregas semestrais: meses 31, 37 e 42.

M11. Avaliação da Deformação Permanente e Quebra do Lastro.

A deformação permanente e a quebra das partículas de lastro são ocorrências que impactam diretamente o desempenho e a durabilidade dos pavimentos ferroviários. Esses processos estão associados à acomodação granular e atrito entre as partículas resultantes da ação dinâmica repetitiva do tráfego ferroviário. A evolução da deformação e a fragmentação do material podem comprometer a estabilidade da via, gerando aumento na necessidade de manutenção e redução na velocidade operacional.

Nesta meta, busca-se avaliar a resposta mecânica do lastro em relação à deformação permanente e à quebra das partículas, utilizando ensaios em caixa que simulam condições reais de carregamento dinâmico. A abordagem permitirá quantificar como o material se acomoda ao longo do tempo, bem como entender os mecanismos que levam à degradação das partículas devido ao atrito e ao impacto entre elas.

Ações:

- Avaliação da distribuição granulométrica do lastro antes da realização do ensaio em caixa.
- Avaliação da distribuição granulométrica do lastro após realização do ensaio em caixa.
- Análise comparativa das distribuições granulométricas do lastro antes e após o ensaio para identificar mudanças na estrutura do material causadas pela quebra do material britado.

Prazo: 18 meses - mês 24 ao 41.

Acompanhamento/Produto: Relatório sobre a avaliação da deformação permanente e quebra das britas do lastro.

Entregas semestrais: meses 31, 37 e 42.

M12. Ensaios Triaxiais de Carga Repetida em CP de Lastro por meio de Decalagem Granulométrica.

Realizar ensaios triaxiais de carga repetida em material de lastro em corpos de prova (CP) construídos por meio de decalagem granulométrica, quando a granulometria da faixa de referência for incompatível com os moldes cilíndricos de dimensões de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Caso contrário, como na faixa 4 da AREMA, os CP serão preparados sem decalagem.

Os ensaios triaxiais de carga repetida são amplamente utilizados para avaliar o comportamento mecânico de materiais granulares, como o lastro ferroviário, sob condições de carregamento dinâmico. No entanto, devido à grande dimensão das partículas de lastro, torna-se desafiador realizar esses ensaios diretamente, exigindo o uso de técnicas de decalagem granulométrica. A presente meta visa avaliar a resposta mecânica do lastro ferroviário por meio de ensaios triaxiais em CP preparados com granulometria ajustada, proporcionando informações sobre os módulos de resiliência e deformação permanente do material. A viabilização da técnica é importante para facilitar a execução de ensaios triaxiais de carga repetida.

Serão preparados CP a partir da utilização de tensão de sucção e capeamento com gesso, de forma a garantir sua estabilidade, sendo mantida da densidade média de camada de lastro no campo. Adotar-se- á ciclos de 150.000 repetições de cargas e frequência de 5Hz, e pelo menos 9 estados de tensões distintas por

tipo de material.

Ações:

- Recursos financeiros para aquisição de equipamento triaxial de carga repetida especial para o material do lastro.
- Preparação de amostras e corpos de prova (CP) para a realização dos ensaios no material do lastro (decalagem).
- Realização dos ensaios de caracterização física e mecânica dos agregados.
- Realização de ensaios triaxiais de carga repetida (Módulo de Resiliência e Deformação Permanente) no material do lastro por meio de CP com dimensões de 15 cm x 30 cm (diâmetro x altura), considerando-se 9 pares de tensões, frequência de 5Hz e 150.000 ciclos de aplicação de carga.
- Análise da quebra de lastro para cada CP ensaiado a partir de parâmetros granulométricos.
- Definição dos modelos matemáticos dos Módulo de Resiliência, Deformação Permanente do material do lastro e tensões admissíveis para obtenção dos parâmetros de dimensionamento empírico-mecanístico, utilizando-se o software SysTrain.
- Análise comparativa dos Módulos de Resiliência retroanalisados com os encontrados em ensaios.

Prazo: 10 meses - mês 36 ao 45.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo procedimentos e resultados dos ensaios de laboratório do material do lastro para inserção nos métodos mecanístico-empíricos.

Entrega: mês 45.

M13. Determinação dos Parâmetros de Entrada de Modelos Numéricos.

Com base nas informações e dados obtidos nas metas anteriores (M1 a M12), a determinação dos parâmetros de entrada para os modelos numéricos será realizada de maneira sistemática, integrando os seguintes passos principais: (1) compilação dos dados de ensaios e monitoramento; (2) associação dos dados de acelerometria; (3) integração de dados geotécnicos e estruturais; (4) processamento de dados para calibração de modelos; (5) definição de parâmetros-chave; (6) validação inicial dos modelos; (7) produção do banco de dados para modelagem. Esses passos integrados serão importantes para o desenvolvimento de modelos numéricos capazes de representar com maior acurácia o comportamento do pavimento ferroviário em condições reais de operação, fornecendo subsídios confiáveis para a avaliação da velocidade operacional da via. Desses passos resultam as ações listadas a seguir.

Ações:

- Consolidação dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e de campo, incluindo as propriedades mecânicas e físicas dos materiais utilizados no pavimento ferroviário.
- Reunir os dados dos sistemas de monitoramento instalados, especialmente aqueles relacionados a deflexões, deslocamentos, tensões e acelerações medidas nas seções de controle.
- Analisar os dados de acelerometria registrados e correlacioná-los com as características do pavimento e das condições de operação, considerando os resultados dos ensaios dinâmicos.
- Determinação dos parâmetros dinâmicos como frequência natural, amortecimento e rigidez dinâmica, fundamentais para a modelagem de resposta da via.
- Estabelecimento de limites e condições de contorno para o modelo numérico, com base em dados experimentais e medidas de campo.
- Selecionar os parâmetros de entrada críticos para a modelagem numérica, tais como: (i) propriedades dos materiais do pavimento (equação de módulo resiliente das camadas ensaiadas; determinação dos parâmetros de deformabilidade permanente ψ e, a partir deste, determinar a tensão vertical admissível nas camadas do pavimento, em substituição da equação de Heuquelom); (ii) características geométricas e estruturais da via; (iii) condições de carregamento dinâmico e estático; (iv) influência do acoplamento veículo-via em função das acelerações medidas.
- Utilização dos parâmetros definidos para rodar simulações preliminares no modelo numérico, comparando os resultados com os dados reais.
- Identificação de discrepâncias e ajustar os parâmetros conforme necessário para garantir a confiabilidade do modelo.
- Consolidação de todos os parâmetros validados em um banco de dados estruturado, de fácil acesso para futuras iterações e atualizações do modelo.

Esses parâmetros são essenciais para ajustar e validar a modelagem computacional. A integração de experimentos laboratoriais, monitoramento em campo e simulações numéricas permite comparar os resultados e assegurar que o modelo represente mais fielmente o comportamento do sistema trem ferrovia.

Prazo: 18 meses - mês 36 ao 54.

Acompanhamento/Produto: Relatórios contendo os Procedimentos obtenção e consolidação dos Parâmetros de Entrada de Modelos Numéricos.

Entregas semestrais: meses 43, 49 e 55.

M14. Validação do Método de Avaliação da Condição do Pavimento com uso da Tecnologia Embarcada.

Validar a relação entre os dados de acelerometria, os parâmetros geotécnicos das camadas e o comportamento tensão-deformação.

A tecnologia embarcada, baseada em sensores de acelerometria, proporcionará o monitoramento em movimento de pavimentos ferroviários, possibilitando avaliar suas condições estruturais em tempo real. No entanto, para garantir a confiabilidade e aplicabilidade desses dados, é necessário validar as relações entre as informações obtidas por essa tecnologia, as deflexões dos trilhos e deslocamentos dos dormentes e lastro, os parâmetros geotécnicos das camadas e o comportamento tensão deformação do pavimento. Assim, a presente meta estabelece essa validação, integrando os dados de acelerometria, com as deflexões medidas, os ensaios laboratoriais e os monitoramentos de pavimentos instrumentados. Essa integração permitirá interpretar os dados de acelerometria captados em movimento, atribuindo-lhes um significado físico e associando-os às características mecânicas e
geotécnicas do pavimento.

A validação será realizada por meio do tratamento e processamento dos dados coletados, seguido de análises numéricas que combinem os resultados das instrumentações (embarcada e no pavimento), deflexões e deslocamentos medidos nas Seções de Controle e parâmetros obtidos em ensaios laboratoriais. Essa abordagem integrativa permitirá uma compreensão mais robusta do comportamento estrutural do pavimento ferroviário, oferecendo subsídios para a

aplicação prática da tecnologia embarcada nas decisões de gestão, manutenção e velocidades operacionais dos segmentos de uma ferrovia.

Ações:

- Construção de banco de dados com os resultados das instrumentações (tecnologia embarcada e no pavimento), do monitoramento por câmeras (deflexões e deslocamentos) e ensaios de laboratório.
- Integração de resultados, visando análises comparativas entre os diferentes conjuntos de dados para identificar padrões e relações significativas.
- Mapeamento das variações espaciais dos dados de acelerometria e correlacioná-los às condições do pavimento detectadas nas Seções de Controle.
- Utilização de modelos numéricos para interpretar os resultados obtidos e validar a correlação entre acelerometria e indicadores de desempenho do pavimento.
- Desenvolvimento de modelos matemáticos e empíricos que relacionem as amplitudes de acelerometria com as deflexões, deslocamentos, tensões e deformações medidas, considerando fatores como rigidez das camadas do pavimento e interação veículo-via.
- Validação cruzada dos dados das medições independentes para validar a consistência dos dados obtidos pelas diferentes técnicas.
- Definição de indicadores de desempenho que combinem as informações das técnicas de medição para avaliar a integridade estrutural do pavimento.

Prazo: 13 meses - mês 42 ao 54.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo o método de avaliação da condição do pavimento com uso da tecnologia embarcada e sua validação.

Entregas semestrais: meses 49 e 55.

M15. Definição de Parâmetros para Gerência de Pavimentos Ferroviários.

O objetivo desta meta é subsidiar atividades de Gerência de Pavimentos Ferroviários com base nos dados de acelerometria coletados por tecnologia embarcada. Esses dados servirão para avaliar as condições dos pavimentos, visando auxiliar nas Políticas de Manutenção e Operação da Via.

Ações:

- Identificar os principais indicadores de condição do pavimento baseado em dados de acelerometria.
- Estabelecer correlações quantitativas entre os dados dinâmicos (frequências, amplitudes, e picos de aceleração) e os parâmetros físicos de campo (deflexões, tensões e deslocamentos).
- Propor limites e faixas de desempenho para classificação das condições do pavimento ferroviário.
- Desenvolver uma matriz de decisão para hierarquização de ações de manutenção e operação da via com base na classificação obtida .

Prazo: 15 meses - mês 43 ao 57.

Acompanhamento/Produto: Relatórios contendo os parâmetros definidos, as correlações estabelecidas e a matriz de decisão para gerência de pavimentos ferroviários.

Entregas: meses 49 e 60.

M16. Previsão da Velocidade Operacional com uso da Tecnologia Embarcada.

Propor a utilização de dados de acelerometria embarcada, validados em correlação com monitoramentos de campo, para previsão de Velocidades Operacionais seguras a cada trecho ferroviário, com base nas diferentes condições dos pavimentos. Além da questão de segurança do tráfego ferroviário, busca-se a otimizar o desempenho operacional e auxiliar na gestão de manutenção de maneira preditiva. Nesse sentido, a presente meta se associará com a M15.

Ações:

- Ensaio Estático para obtenção do módulo de via (U), em Trechos de Referência.
- Tratamento dos dados do monitoramento embarcado no local de realização do ensaio estático.
- Análise comparativa entre os módulos de via obtidos de forma dinâmica e estática.
- Proposição de determinação do módulo de via em movimento, por meio da tecnologia embarcada.
- Identificação de padrões dinâmicos que caracterizem as condições do pavimento ferroviário em função das velocidades praticadas.
- Definição de relações entre picos e amplitudes de aceleração e limites operacionais seguros para diferentes condições do pavimento.
- Desenvolvimento de modelos de previsão para recomendar velocidades operacionais baseadas nas condições avaliada por acelerometria.
- Estimativa de velocidade da composição de trens a partir dos dados de monitoramento dinâmico (Tecnologia Embarcada).

Prazo: 24 meses - mês 35 ao 58.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo a determinação dos módulos de via estático e dinâmico e a metodologia para estimativa de velocidade operacional por meio de tecnologia embarcada.

Entregas: meses 49 e 60.

M17. Coeficiente Dinâmico em Função da Deflexão da Via.

A carga dinâmica aplicada pelo trem ao pavimento ferroviário é comumente estimada por meio de equações que consideram parâmetros como o diâmetro das rodas e a velocidade do trem. Contudo, é relevante incluir a deflexão da via como uma variável adicional. A deflexão está diretamente relacionada à condição estrutural do pavimento, que, ao longo do tempo, sofre degradação devido às deformações elásticas e plásticas, além da fragmentação das partículas do lastro. Assim, pode-se propor uma equação que inclua a deflexão como um fator determinante no comportamento dinâmico do pavimento.

Valores mais elevados de deflexão resultariam em um aumento do efeito dinâmico sobre a estrutura, intensificando o carregamento aplicado. Associada à

perda progressiva da capacidade estrutural do pavimento, essa intensificação acelera o processo de degradação, reduzindo sua vida útil.

Ações:

- Identificação das variáveis independentes e dependentes, como deflexão, velocidade, geometria da via, e propriedades estruturais.
- Seleção dos parâmetros mais relevantes para o modelo, como rigidez do lastro, coeficientes de amortecimento, e módulos de elasticidade do subleito.
- Implementação do modelo matemático em software de análise numérica.
- Realização de simulações considerando diferentes cenários de condições do pavimento, deflexão e velocidades para avaliar o comportamento dinâmico.
- Ajustes do modelo numérico com base nos dados experimentais disponíveis.
- Desenvolvimento de uma Equação para levar em consideração a deflexão para determinação do Coeficiente Dinâmico a ser aplicado para determinação do carregamento do trem sobre o pavimento.

Prazo: 15 meses - mês 45 ao 59.

Acompanhamento/Produto: Relatório contendo um resumo das análises estáticas e dinâmicas realizadas durante o projeto que permitiram o cálculo do coeficiente dinâmico sugerido (coeficiente de impacto).

Entrega: mês 60.

M18. Análise Mecanística-Empírica para Dimensionamento de Pavimentos Ferroviários.

Promover a aplicação do Método de Dimensionamento de Pavimento Ferroviário com base no programa computacional Systrain 2.0 (https://systrain.com.br/), uma ferramenta nacionalmente desenvolvida. O Systrain é resultado da colaboração entre profissionais da indústria e do meio acadêmico, consolidando modelos sofisticados com base em estudos de modelagem e publicações científicas, e se estabelecendo como uma solução técnica voltada ao aprimoramento da metodologia de dimensionamento de pavimentos ferroviários.

Um estudo comparativo entre modelagem numérica e metodologia clássica, publicado em 2016 na Reunião Anual de Pavimentação, fundamentou a primeira versão do software, lançada em 2017 no International Heavy Haul Association Congress. Desde então, o Systrain tem sido amplamente utilizado em trabalhos acadêmicos de doutorado, mestrado e graduação, com seus resultados sendo progressivamente validados por diferentes estudos.

A ferramenta contribui para o dimensionamento adequado dos trilhos, dormentes e camadas dos pavimentos ferroviários, utilizando o Método dos Elementos Finitos para estimar deslocamentos, tensões e esforços. O software permite definir a geometria do pavimento, os materiais constituintes (aço, concreto/ madeira, solo), e as características dos veículos ferroviários para aplicação das cargas. Os resultados são apresentados por meio de gráficos XY e representações tridimensionais que mostram o comportamento estrutural dos componentes do pavimento.

Destaca-se no Systrain a robustez das análises via Método dos Elementos Finitos (MEF), com capacidade de representar simultaneamente os diversos componentes e suas propriedades mecânicas. A interface do programa é amigável, com saídas gráficas que facilitam a interpretação da propagação de tensões – horizontais, verticais e transversais – com base nos parâmetros fornecidos.

O software já foi validado anteriormente por meio de comparações com ferramentas consagradas e dados de campo. No presente trabalho, a utilização do Systrain será ampliada, com ênfase na validação de seus resultados a partir de novos dados de instrumentação de campo e ensaios laboratoriais dos materiais constituintes dos pavimentos.

A partir das contribuições de todos os itens que constam do presente TED será possível apresentar uma proposta de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimento ferroviário, a qual utilizará como ferramenta de cálculo o software SysTrain, devidamente calibrado a partir de dados de ensaios de laboratório e instrumentação de campo e o software IVFlow, de uso livre, para análise da infiltração da água da chuva na plataforma ferroviária.

Tal método será associado a novos critérios de selecionamento de materiais de lastro, sublastro, reforço de subleito e subleito, os quais serão desenvolvidos a partir de critérios existentes no presente, e aprimorados com os resultados das pesquisas desenvolvidas no referido projeto.

A base científica do método incluirá tanto a consideração do pavimento ferroviário como um problema da mecânica dos pavimentos, quanto o pavimento como um problema de solos não saturados.

Para a análise mecanística-empírica do pavimento ferroviários serão considerados os seguintes aspectos:

Em termos de Dados de Entrada:

- Geometria da via, incluindo espessuras das camadas, parâmetros das camadas de lastro e dos solos, tais como módulo de resiliência e coeficiente de Poisson (MR e ν).
- Parâmetros dos dormentes, trilhos e grampos, como módulo de elasticidade e coeficiente de mola.
- Solicitações de projeto, como a carga de roda dos veículos de via críticos e a geometria dos truques destes veículos.

Em termos de Dados de Saída:

- Parâmetros estruturais da via: tensões, deformações e deslocamentos.
- Apresentação gráficas dos resultados a partir da divisão do pavimento em elementos finitos.
- Cálculo do Módulo de Via.

Em termos de Critérios de Ruptura, ou de Projeto:

- Definição da deflexão máxima admissível da estrutura.
- Definição da tensão máxima admissível no topo das camadas de lastro e sublastro.
- Cálculo das tensões admissíveis no topo do subleito pela equação de Heukelon e Klomp (1961) e de Folly (2025).

Para a análise do pavimento ferroviário como um problema de mecânica dos solos não saturados serão considerados os seguintes aspectos:

Em termos de Dados de Entrada:

- Parâmetros das camadas de solo (modelos hidráulicos), curva característica do solo e permeabilidade não saturada.
- Condições e contorno (precipitação, evaporação e nível d'água).

Em termos de Dados de Saída:

- Umidade de cada elemento da malha do pavimento comparativa à umidade ótima.

Ações:

- Realização de simulações numéricas do comportamento estrutural do pavimento, considerando-se os dados das camadas de pavimento obtidos em laboratório.
- Realização de estudos comparativos entre os dados obtidos através de instrumentação em campo e aqueles obtidos através de simulação numérica, identificando-se eventuais pontos de incongruência.
- Realização de ajustes nas variadas rotinas para convergência entre os dados de campo e de simulação numérica, relativos aos eventuais pontos de incongruência ou não convergência.

Prazo: 24 meses - mês 35 ao 58.

Acompanhamento/Produto:

- Relatório contendo um resumo das análises de dimensionamento com base nos dados de ensaios e monitoramento do pavimento.
- Proposta de Procedimento (PRO) a ser adotado pelo DNIT para orientação do dimensionamento de pavimento ferroviário, a qual incluirá também proposta de normativo para seleção e realização de ensaios de materiais de lastro, além de outros materiais relacionados, que não possuem normativo em vigor no presente, ou que precisem ser atualizados.

Entregas: meses 49 e 60.

M19. Capacitação Técnica.

Objetiva-se capacitar recursos humanos de instituições de ensino, órgãos e empresas públicas e privadas, por meio de cursos. São propostos 5 minicursos presenciais de 4 a 8 horas de duração, com possibilidade de transmissão pelo Canal de YouTube do DNIT.

Ações:

- Minicurso 1: Ensaios Básicos para Pavimentação Ferroviária.
- Minicurso 2: Ensaios Triaxiais de Carga Repetida e obtenção do Módulo de Resiliência e Deformação Permanente dos materiais geotécnicos de Pavimentos Ferroviários.
- Minicurso 3: Comportamento dos Pavimentos Ferroviários.
- Minicurso 4: Dimensionamento de Pavimentos Ferroviários: Método Clássico e SysTrain.
- Minicurso 5: Monitoramento de Pavimentos Ferroviários.

Prazo: 48 meses - mês 13 ao 60.

Acompanhamento/Produto: Minicursos de Aperfeiçoamento e de Treinamento.

Entregas: meses 17, 25, 37, 49 e 60.

5. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO PARA CELEBRAÇÃO DO TED

A crescente demanda por sistemas de transporte ferroviário eficientes e sustentáveis destaca a importância de estudos voltados para a avaliação e o aprimoramento do desempenho de pavimentos ferroviários. O transporte ferroviário desempenha um papel fundamental na logística brasileira, mas enfrenta desafios significativos relacionados à baixa velocidade operacional média, atualmente em torno de 25 km/h, muito inferior ao potencial previsto de 80 km/h; média esta que reflete a predominância de transporte de graneis como minério de ferro e produtos agrícolas. Esse desempenho insuficiente é frequentemente associado às deflexões e às deformações resultantes da solicitação do tráfego ao conjunto de elementos estruturais (trilhos, dormentes e sistema de ligação destes) e camadas (lastro, sublastro e subleito) que compõem o pavimento.

No contexto do Plano Nacional de Logística Integrada (PNLI), a modernização e ampliação das ferrovias são fundamentais para melhorar a produtividade e reduzir custos operacionais. A implementação de estratégias que permitam avaliar a condição das vias ferroviárias de forma contínua, sistemática e criteriosa é uma alternativa para aumentar a eficiência do transporte, garantir a segurança das operações e possibilitar intervenções de manutenção mais precisas. Além disso, parâmetros indicadores de deformações elásticas e plásticas, além da rigidez da estrutura, são fundamentais para estabelecer limites seguros de velocidade e para subsidiar decisões gerenciais.

A necessidade de soluções inovadoras é reforçada pela crescente utilização de tecnologias de monitoramento de integridade estrutural (SHM, do inglês Structural Health Monitoring), que permitem diagnósticos mais precisos do estado de conservação das vias permanentes. O uso de sensores avançados, processamento de dados com inteligência artificial (IA) e modelagem computacional são ferramentas promissoras para melhorar a gestão de pavimentos ferroviários, proporcionando maior eficiência nas políticas de manutenção e definição de limites seguros de velocidade.

Esta pesquisa se justifica pela necessidade de compreender melhor o comportamento do pavimento ferroviário sob diferentes condições de carregamento dinâmico e dos elementos estruturais e materiais geotécnicos, com vistas a subsidiar o gerenciamento das vias permanentes, o dimensionamento de pavimentos ferroviários e a definição de velocidades operacionais adequadas. A aplicação de metodologias avançadas baseadas em monitoramento contínuo e análise de grandes volumes de dados permitirá a identificação de padrões de comportamento mecânico e a previsão de falhas, orientando estratégias de manutenção e operação mais eficazes. Como resultado da pesquisa, espera se fornecer dados e ferramentas que não apenas melhorem a eficiência das operações ferroviárias, mas também contribuam para o avanço das práticas de engenharia ferroviária no Brasil. Além disso, os resultados poderão subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas e normas técnicas voltadas para o setor, fortalecendo a infraestrutura ferroviária do país.

6. SUBDESCENTRALIZAÇÃO

A Unidade Descentralizadora autoriza a subdescentralização para outro órgão ou entidade da administração pública federal?

( ) Sim
(X) Não

7. FORMAS POSSÍVEIS DE EXECUÇÃO DOS CRÉDITOS ORÇAMENTÁRIOS:

A forma de execução dos créditos orçamentários descentralizados poderá ser:

( ) Direta, por meio da utilização capacidade organizacional da Unidade Descentralizada.

( ) Contratação de particulares, observadas as normas para contratos da administração pública.

(X) Descentralizada, por meio da celebração de convênios, acordos, ajustes ou outros instrumentos congêneres, com entes federativos, entidades privadas sem fins lucrativos, organismos internacionais ou fundações de apoio regidas pela Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994.

8. CUSTOS INDIRETOS (ART. 8, §2°)

A Unidade Descentralizadora autoriza a realização de despesas com custos operacionais necessários à consecução do objeto do TED?

(X)Sim
( ) Não

O pagamento será destinado aos seguintes custos indiretos, até o **limite de 12% do valor global** pactuado:

1. Custos indiretos destinados para a Fundação de Apoio (FADEPE), no limite máximo de 10% (dez por cento) do total arrecadado no projeto, referentes ao ressarcimento de custos operacionais e administrativos.
2. Ressarcimento de custos indiretos à Universidade, de, no máximo, 2% (dois por cento) do total arrecadado no projeto.

9. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

METAS	DESCRIÇÃO	Valor Total (R$)	Início (Mês)	Fim (Mês)
META 1	Revisão Bibliográfica			
PRODUTO	Relatório Parcial (6 meses) e Relatório Final (12 meses) da Revisão Bibliográfica.	R$323.605,28	5	16
META 2	Tecnologia Embarcada para Monitorar Indicadores de Desempenho			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Projeto de Instrumentação, Calibração dos Instrumentos, Sistema de Aquisição de Dados e Programação para Tratamento, Processamento e Apresentação de Resultados da Tecnologia Embarcada para Monitoramento de Pavimento Ferroviário.	R$269.671,07	5	14
META 3	Definição de Trechos de Ferrovia com Diferentes Condições Funcionais e Estruturais			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Segmentação Homogênea do Trecho Ferroviário e as Seções de Controle (SC), incluindo os critérios para definição das SC.	R$188.769,75	14	20
META 4	Medição de Deflexões e Deslocamentos no Pavimento por Vídeo Monitoramento			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Descrição da Técnica de Vídeo Monitoramento e os resultados numéricos e gráficos das medidas de Deflexões no Trilho e de Deslocamentos nos Dormentes e Lastro.	R$188.769,75	20	26
META 5	Integração de Tecnologias de Monitoramento em Movimento e Fixo			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Resultados da Validação Cruzada dos resultados obtidos pelas diferentes técnicas de medição.	R$202.703,96	23	31
META 6	Instrumentação Geotécnica para Calibração de Sensores Embarcados na Detecção de Riscos Ferroviários			

PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Instrumentação Geotécnica para Calibração de Sensores Embarcados na Detecção de Riscos Ferroviários.	R$241.802,64	5	40
META 7	Método de Retroanálise, dos Módulos de Resiliência das Camadas do Pavimento			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Procedimentos utilizados na Retroanálise, incluindo dados de entrada, modelo, resultados obtidos e Validação do Método.	R$256.638,18	21	31
META 8	Instrumentação e Monitoramento de Pontes e Seções de Controle			
PRODUTO	Projetos e os Resultados de Instrumentação e Monitoramento das Pontes e Seções de Controle. **Relatório de Pesquisa** e **Proposta de Procedimento** (PRO) de instrumentação e monitoramento de pontes e seções de controle.	R$647.210,57	24	47
META 9	Caracterização e Comportamentos Mecânico e Hidráulicos dos Materiais Geotécnicos das Seções Instrumentadas			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Procedimentos e Resultados dos Ensaios de Laboratório voltados para Métodos Mecanístico-Empíricos.	R$296.638,18	21	31
META 10	Modelo Físico para Avaliação da Resposta Mecânica do Lastro sob Efeito do Carregamento Dinâmico			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Procedimentos e resultados dos Ensaios em Lastros por meio de Modelo Físico de Ferrovia.	R$485.407,93	24	41
META 11	Avaliação da Deformação Permanente e Quebra do Lastro			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Avaliação da Deformação Permanente e Quebra das Britas do Lastro.	R$485.407,93	24	41
META 12	Ensaios Triaxiais de Carga Repetida em CP de Lastro por meio de Decalagem Granulométrica			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Procedimentos e resultados dos ensaios de laboratório do material do lastro para inserção nos métodos mecanístico-empíricos.	R$269.671,07	36	45
META 13	Determinação dos Parâmetros de Entrada de Modelos Numéricos			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Procedimentos para obtenção e consolidação dos Parâmetros de Entrada de Modelos Numéricos.	R$512.375,03	36	54
META 14	Validação do Método de Avaliação da Condição do Pavimento com uso da Tecnologia Embarcada			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Método de Avaliação da Condição do Pavimento com uso da Tecnologia Embarcada e sua Validação.	R$350.572,39	42	54
META 15	Definição de Parâmetros para Gerência de Pavimentos Ferroviários			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Parâmetros definidos, as correlações estabelecidas e a matriz de decisão para gerência de pavimentos ferroviários.	R$404.506,60	43	57

META 16	Previsão da Velocidade Operacional com uso da Tecnologia Embarcada			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Determinação dos Módulos de Via Estático e Dinâmico e a metodologia para Estimativa de Velocidade Operacional por meio de Tecnologia Embarcada.	R$647.210,57	35	58
META 17	Coeficiente Dinâmico em Função da Deflexão da Via			
PRODUTO	**Relatório de Pesquisa:** Análises estáticas e dinâmicas realizadas durante o projeto que permitiram o cálculo do coeficiente dinâmico sugerido (coeficiente de impacto).	R$404.506,60	45	59
META 18	Análise Mecanística-Empírica para Dimensionamento de Pavimentos Ferroviários			
PRODUTO	Metodologia de ajustes do Dimensionamento com base nos dados de ensaios e monitoramento do pavimento. **Relatório de Pesquisa** e **Proposta de procedimento** (PRO) para Orientação do dimensionamento de pavimento ferroviário.	R$647.210,57	35	58
META 19	Capacitação Técnica			
PRODUTO	Minicursos de Aperfeiçoamento e de Treinamento	R$1.294.421,13	13	60

10. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

MÊS/ANO	Valor (R$)
1º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	R$ 2.192.883,84
13º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	R$ 1.879.843,84
25º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	R$ 1.372.763,84
37º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	R$ 1.372.763,84
49º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	R$ 1.298.843,84
Total	**R$ 8.117.099,20**

11. PLANO DE APLICAÇÃO CONSOLIDADO – PAD

Despesas		Sub-Total	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano
Bolsas	Auxílio Financeiro a Pesquisadores	**R$ 1.980.000,00**	R$ 396.000,00	R$ 396.000,00	R$ 396.000,00	R$ 396.000,00	R$ 396.000,00
	Auxílio Financeiro a Estudantes	**R$ 2.077.410,00**	R$ 415.482,00	R$ 415.482,00	R$ 415.482,00	R$ 415.482,00	R$ 415.482,00
	Auxílio Financeiro a Técnicos	**R$ 192.000,00**	R$ 38.400,00	R$ 38.400,00	R$ 38.400,00	R$ 38.400,00	R$ 38.400,00
Custeio	Passagens, Diárias e Eventos	**R$ 330.000,00**	R$ 33.000,00	R$ 66.000,00	R$ 99.000,00	R$ 99.000,00	R$ 33.000,00
	Serviços de Terceiros	**R$ 625.000,00**	R$ 375.000,00	R$ 62.500,00	R$ 62.500,00	R$ 62.500,00	R$ 62.500,00
	Material de Consumo	**R$ 100.000,00**	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00
Capital	Equipamentos e Material Permanente	**R$ 1.943.000,00**	R$ 680.050,00	R$ 680.050,00	R$ 194.300,00	R$ 194.300,00	R$ 194.300,00
	SUB-TOTAL	**R$ 7.247.410,00**	**R$ 1.957.932,00**	**R$ 1.678.432,00**	**R$ 1.225.682,00**	**R$ 1.225.682,00**	**R$ 1.159.682,00**
	FADEPE: 10%	R$ 724.741,00	R$ 195.793,20	R$ 167.843,20	R$ 122.568,20	R$ 122.568,20	R$ 115.968,20
	UFJF: 2%	R$ 144.948,20	R$ 39.158,64	R$ 33.568,64	R$ 24.513,64	R$ 24.513,64	R$ 23.193,64
	Total	**R$ 8.117.099,20**	**R$ 2.192.883,84**	**R$ 1.879.843,84**	**R$ 1.372.763,84**	**R$ 1.372.763,84**	**R$ 1.298.843,84**

Código da Natureza da Despesa	Custo Indireto	Valor Previsto
33.90.39 - Serviços de Terceiros - Pessoa Jurídica	*não*	R$ 7.247.410,00
33.90.39 (FADEPE - 10%)	*sim*	R$ 724.741,00
33.90.39 (UFJF - 2%)	*sim*	R$ 144.948,20
	TOTAL	**R$ 8.117.099,20**

12. PROPOSIÇÃO

Juiz de Fora - MG, *(na data da assinatura eletrônica).*

GIRLENE ALVES DA SILVA
Reitora da Universidade Federal de Juiz de Fora
Unidade Descentralizada

13. APROVAÇÃO

Brasília - DF, *(na data da assinatura eletronica)*

LUIZ GUILHERME RODRIGUES DE MELLO
Diretor de Planejamento e Pesquisa
Unidade Descentralizadora

ANEXOS

ANEXO I - EQUIPE TÉCNICA

Tendo em vista a dimensão deste projeto de pesquisa, o qual abrangerá um conjunto complexo de ações técnicas, operacionais e administrativas, torna-se necessária a constituição de uma equipe própria ao TED que trabalhará em parceria estreita com o corpo técnico do Instituto de Pesquisas Rodoviárias e do DNIT para que os objetivos elencados sejam plenamente alcançados.

Dessa forma, são listados abaixo os membros constituintes da referida equipe técnica, funções de cada um no projeto, além dos links para os respectivos currículos lattes.

Corpo técnico

NOME	FUNÇÃO	CURRÍCULO LATTES
Flávio de Souza Barbosa, Prof. Dr., UFJF	Coordenador do TED e Professor Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/3967943593612229
Alexandre Abrahão Cury, Prof. Dr., UFJF	Professor Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/1092810690505352
Geraldo Luciano de Oliveira Marques, Prof. Dr., UFJF	Professor Pesquisador	https://lattes.cnpq.br/4503245454189660
Rafael Cerqueira Silva, Prof. Dr., UnB	Professor Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/7644774454862879
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, Prof. Dr., IME	Professor Pesquisador	http://lattes.cnpq.br/8890983301899546
Rharã de Almeida Cardoso	Pesquisador Doutor	http://lattes.cnpq.br/349712529839

Corpo técnico auxiliar

Profissionais:

· 4 (quatro) Técnicos.

Bolsistas:

· Estudantes de Mestrado: 5 bolsas entre 16 e 24 meses, cada;

· Estudantes de Doutorado: 7 bolsas entre 15 e 48 meses, cada;

· Estudantes de Pós-Doutorado: 2 bolsas de 24 meses e 1 bolsa de 12 meses;

· Estudantes de Iniciação Científica: 5 bolsas de 12 meses e 1 bolsa de 7 meses.

Prof. Flávio de Souza Barbosa – PQ Nível B

Professor Titular da UFJF, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e colaborador do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFJF entre 2019 e 2023. Atua principalmente nos seguintes temas: Modelagem Computacional; Monitoramento Estrutural e de Ferrovias - SHM ; Inteligência Artificial e Processamento de Imagens aplicados a SHM. Graduação em Engenharia Civil pela UFJF (1994), Mestrado (1996) e Doutorado (2000) em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. Entre 2001 e 2002 fez Pós-Doutorado no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC, atual Université Gustave Eiffel) de Paris com o tema: Identificação Dinâmica Estrutural. Professor convidado das seguintes universidades: Université de Cergy-Pontoise (França) 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013; Politecno di Milano (Itália) 2016; Université Paris Nanterre (França) 2017. Universidad Nacional de Cuyo (Argentina) 2023. Editor da Revista: Structural Engineering International (SEI) desde 2015. Editor convidado da revista Infrastrucrures para a edição especial Structural Health Monitoring in Bridge (2024). Membro do IABSE (nternational Association For Bridge And Structural Engineering) desde 2015. Membro Permanente do Comitê Científico do EVACES (Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures) desde sua criação em 2005. Membro do Comitê Científico do LATAM-SHM (Latin-American Workshop on Structural Health Monitoring). Organizador do EVACES 2013. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2010. Pesquisador Mineiro entre 2009 e 2023 (Programa extinto pela FAPEMIG).

Prof. Alexandre Abrahão Cury – PQ Nível 1D
Professor associado no Departamento de Mecânica Aplicada e Computacional da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Graduado em Engenharia Civil (2006) e mestre em Modelagem Computacional, ambos pela UFJF, e doutor em Engenharia Civil pela Universidade Paris-Est (École Nationale des Ponts et Chaussées) em 2010. Atua, principalmente, nos seguintes temas: monitoramento de integridade estrutural (SHM), detecção de danos em estruturas, análise modal, machine learning e confiabilidade estrutural. Foi coordenador da APCN e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora (2016-2019). Entre 2014 e 2016, foi membro da CA-TEC (Câmara de Assessoramento de Arquitetura e Engenharias) da FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais). Pesquisador Mineiro entre 2013 e 2023 (Programa extinto pela FAPEMIG). Recebeu menção honrosa no Prêmio CAPES de Tese 2017. Participou da Comissão de Avaliação das Engenharias I da CAPES durante a Quadrienal 2017-2021. É Pesquisador de Produtividade do CNPq desde 2013. Membro do Comitê de Assessoramento do CNPq (Engenharia Civil). Membro do corpo editorial dos periódicos: Structural Engineering International (IABSE) e Frontiers: Build Engineering. Membro da IABSE (International Association For Bridge And Structural Engineering). Membro Permanente do Comitê Científico do EVACES (Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures). Líder do CIDENG (Grupo de Pesquisa em Ciência de Dados aplicada à Engenharia).

Prof. Geraldo Luciano de Oliveira Marques
Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1988), mestrado em Geotecnia pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (1993) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE (2004). Atualmente é Professor Titular do Departamento de Transportes e Geotecnia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Pavimentação e Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes linhas de pesquisa: pavimentação, Infraestrutura de transportes, geotecnia rodoviária, mecânica dos pavimentos, materiais para pavimentos e misturas asfálticas.

Prof. Rafael Cerqueira Silva
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com mestrado e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), ambos na área de Geotecnia. Especialização em Análise Ambiental (UFJF). Atualmente é Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB/FT/ENC/Geotecnia), sendo Sub-Chefe do Dep. Eng. Civil e Ambiental ENC ((2025/2027) e Coordenador do Laboratório de Geotecnia da UnB (2020/2021 e 2024/2026). Foi Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia (Programa de Excelência Acadêmica - PROEX), entre 2022 e 2024. Presidente da Comissão Técnica de Pavimentação (CTP) da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), Gestão 2024-2025. Publicações em periódicos científicos, capítulos de livros e anais de eventos. Orientações de trabalhos científicos. Coordenador e integrante de Projetos de Pesquisa em parceria com a Instituições Acadêmicas e Setores Públicos e Privados. Desenvolvimento de tecnologias, metodologias e manuais técnicos. Fundador da ENGGEOTECH (2002), sendo Diretor Técnico até 05/2019. Consultor na área de engenharia geotécnica, com mais de 25 anos de experiência, atuando em drenagem, estabilidade de taludes/encostas, estruturas de contenção, análises de risco de deslizamentos, ensaios de campo e laboratoriais, instrumentação, monitorações e pavimentação - rodoviária e ferroviária.

Prof. Antônio Carlos Rodrigues Guimarães
Possui graduação em Engenharia de Fortificação e Construção pelo Instituto Militar de Engenharia (1996), especialização em Geologia do Quaternário e Ambiental pelo Museu Nacional da UFRJ (2007), mestrado (2001) e doutorado (2009) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ. Atualmente é chefe da Seção de Ensino de Engenharia de Fortificação e Construção do IME, sendo professor dos cursos de graduação em engenharia de fortificação e construção, pós-graduação em engenharia de transportes e pós-graduação em engenharia de defesa, todos do Instituto Militar de Engenharia (IME). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em rodovias, ferrovias e aeroportos, atuando principalmente nos seguintes temas: materiais de pavimentação, mecânica dos pavimentos, solos tropicais e metodologia MCT e pavimento ferroviário. Atua com apoio técnico ao Sistema de Obras de Cooperação do Exército Brasileiro. Orientador de mestrado e doutorado e supervisor de pós-doutorado, tendo orientado 50 dissertações de mestrado e 5 teses de doutorado. Foi diretor técnico da Associação brasileira de pavimentação (ABPv) entre 2019 e 2022 e bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq no mesmo período.

Doutor Rharã de Almeida Cardoso

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal de Juiz de Fora, com ênfase em Estruturas. Envolvido com pesquisa na área de dinâmica das estruturas. Programador avançado na linguagem MatLab. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto em temas relacionados ao Monitoramento da Integridade Estrutural. Atualmente, é membro do corpo técnico permanente de engenheiros civis da Universidade Federal de Juiz de Fora. Atua na elaboração de projetos e consultorias na área de estruturas.

ANEXO II - DETALHAMENTO DAS DESPESAS

Diária					
ITEM	**Beneficiário**	**Cidade**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	A definir - Nacional	A Definir	150	R$ 350,00	R$ 52.500,00
2	A definir - Nacional	A Definir	50	R$ 1.950,00	R$ 97.500,00
Subtotal					**R$ 150.000,00**

Passagem e despesa com locomoção em eventos					
ITEM	**Beneficiário**	**Trecho**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Passagem Nacional	A Definir	20	R$ 1.500,00	R$ 30.000,00
2	Passagem Internacional	A Definir	10	R$ 6.000,00	R$ 60.000,00
Subtotal					**R$ 90.000,00**

Material de consumo					
ITEM	**Descrição**	**Unidade de Medida**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Peças e materiais de consumo para ensaios, equipamentos.	n/a	1	R$ 70.000,00	R$ 70.000,00
Subtotal					**R$ 70.000,00**

Outros Serviços de Terceiros - Pessoa Física					
ITEM	**Descrição**	**Atividade no Projeto**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Serviços de terceiros (serralheiro, torneiro mecânico, técnico em eletrônica, técnico em eletricidade, motorista e táxi)	vide cronog. fisico-financ.	1	R$ 30.000,00	R$ 30.000,00
Subtotal					**R$ 30.000,00**

Serviços de Terceiros - Pessoa Física				
ITEM	**Descrição**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Taxas de inscrição de eventos	15	R$ 6.000,00	R$ 90.000,00
2	Reforma do Laboratório de Pavimentação/UFJF e manutenção de equipamentos	1	R$ 100.000,00	R$ 100.000,00
3	Reforma do Laboratório de Imagens e Sinais/UFJF e manutenção de equipamentos	1	R$ 230.000,00	R$ 230.000,00
4	Serviços de terceiros (Empresa especializada em geofísica para realização de controle por Georadar)	1	R$ 45.000,00	R$ 45.000,00
5	Serviço de terceiros (Serviços de melhoria na Caixa de Lastro (recuperação do atuador)	1	R$ 160.000,00	R$ 160.000,00
6	Locação de Automóveis e Transporte por Aplicativo (Uber, 99)	1	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00
7	Serviços de transportadora (Correios e logística)	1	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00
8	Licença de Software	5	R$ 6.000,00	R$ 30.000,00
9	Serviços de despachante aduaneiro (importação de equipamentos)	n/a	R$ 20.000,00	R$ 20.000,00
Subtotal				**R$ 715.000,00**

Serviços de Terceiros - Pessoa Física				
ITEM	**Descrição**	**Quant.**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Equipamento para a execução dos ensaios triaxiais dinâmicos de MR e DP para materiais geotécnicos (Subleito, sublastro, lastro).	1	R$ 400.000,00	R$ 400.000,00
2	Computador de alto desempenho para tratamento dos dados	4	R$ 11.000,00	R$ 44.000,00
3	Notebook de alto desempenho para tratamento de dados em campo	3	R$ 20.000,00	R$ 60.000,00
4	Componentes para desenvolvimento e montagem de sensores	n/a	R$ 25.000,00	R$ 25.000,00
5	No-break para computadores e ensaios de campo	3	R$ 5.000,00	R$ 15.000,00
6	Sensores sem fio de alta sensibilidade para aquisição de dados de aceleração e deformação	10	R$ 20.000,00	R$ 200.000,00
7	Acelerômetros sem fio para monitoramento embarcado	5	R$ 30.000,00	R$ 150.000,00
8	Sistema portátil de aquisição de dados de aceleração e deformação	3	R$ 26.000,00	R$ 78.000,00
9	Câmera de alta resolução e sensibilidade para monitoramento de deslocamentos	3	R$ 7.000,00	R$ 21.000,00
10	Sistema de instrumentação (fibra-ótica) + sensores de deslocamento, deformação e aceleração	1	R$ 300.000,00	R$ 300.000,00
11	Equipamentos para monitoramento geotécnico	1	R$ 200.000,00	R$ 200.000,00
12	Aquisição de equipamento para a execução dos ensaios triaxiais dinâmicos especiais em materiais de lastro (4ton)	1	R$ 400.000,00	R$ 400.000,00
13	Aquisição de instrumentação para caixa de lastro como células de pressão e de deslocamentos	1	R$ 50.000,00	R$ 50.000,00
Subtotal				**R$ 1.943.000,00**

Bolsa de Pesquisa TED					
ITEM	**Beneficiário**	**Modalidade**	**Período (meses)**	**Valor unit.**	**Valor total**
1	Flávio de Souza Barbosa	Coordenador do projeto	56	R$ 5.903,68	R$ 330.606,08
2	Alexandre Abrahão Cury	Coordenador Técnico	56	R$ 5.703,68	R$ 319.406,08
3	Antônio Carlos Rodrigues Guimarães	Professor Pesquisador	56	R$ 5.503,68	R$ 308.206,08
4	Geraldo Luciano de Oliveira Marques	Professor Pesquisador	56	R$ 5.503,68	R$ 308.206,08
5	Rafael Cerqueira Silva	Professor Pesquisador	56	R$ 5.503,68	R$ 308.206,08
6	Rharã de Almeida Cardoso	Pesquisador Doutor	56	R$ 5.503,68	R$ 308.206,08

7	A definir	Bolsista - pós-doutor	24	R$ 9.051,18	R$ 217.228,32
8	A definir	Bolsista - pós-doutor	24	R$ 9.051,18	R$ 217.228,32
9	A definir	Bolsista - pós-doutor	12	R$ 9.051,18	R$ 108.614,16
10	Kássio Fialho	Bolsista - doutorando	48	R$ 4.503,68	R$ 216.176,64
11	Bruno Gomes	Bolsista - doutorando	48	R$ 4.503,68	R$ 216.176,64
12	Daniel Cardoso	Bolsista - doutorando	15	R$ 4.503,68	R$ 67.555,20
13	Lucas Freire	Bolsista - doutorando	39	R$ 4.503,68	R$ 175.643,52
14	Ricardo Vidal	Bolsista - doutorando	39	R$ 4.503,68	R$ 175.643,52
15	Bruno Gaspar	Bolsista - doutorando	27	R$ 4.503,68	R$ 121.599,36
16	A definir	Bolsista - doutorando	48	R$ 4.504,68	R$ 216.224,64
17	Marcos Spínola	Bolsista - mestrando	16	R$ 3.003,68	R$ 48.058,88
18	A definir	Bolsista - mestrando	24	R$ 3.003,68	R$ 72.088,32
19	A definir	Bolsista - mestrando	24	R$ 3.003,68	R$ 72.088,32
20	A definir	Bolsista - mestrando	24	R$ 3.004,68	R$ 72.112,32
21	A definir	Bolsista - mestrando	24	R$ 3.003,68	R$ 72.088,32
22	Anna Clara Aredes	Bolsista - IC	12	R$ 853,68	R$ 10.244,16
23	João Arthur Pereira	Bolsista - IC	12	R$ 853,68	R$ 10.244,16
24	A definir	Bolsista - IC	12	R$ 853,68	R$ 10.244,16
25	A definir	Bolsista - IC	12	R$ 853,68	R$ 10.244,16
26	A definir	Bolsista - IC	12	R$ 853,68	R$ 10.244,16
27	A definir	Bolsista - IC	7	R$ 853,68	R$ 5.975,76
28	A definir	Convidado	1	R$ 330,16	R$ 330,16
29	Ciro Azevedo	Técnico de laboratório	52	R$ 1.939,68	R$ 100.863,36
30	André Cabral	Técnico de laboratório	12	R$ 1.939,68	R$ 23.276,16
31	Ricardo Carvalho	Técnico de laboratório	12	R$ 1.939,68	R$ 23.276,16
32	A definir	Técnico de laboratório	48	R$ 1.939,68	R$ 93.104,64
Subtotal					**R$ 4.429.410,00**

SUBTOTAL GERAL	**R$ 7.247.410,00**
Despesas FADEPE (10%)	**R$ 724.741,00**
Despesas UFJF (2%)	**R$ 144.948,20**
TOTAL GERAL	**R$ 8.117.009,20**

Documento assinado eletronicamente por **GIRLENE ALVES DA SILVA**, **Usuário Externo**, em 28/10/2026, às 12:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Luiz Guilherme Rodrigues de Mello**, **Diretor de Planejamento e Pesquisa**, em 05/11/2026, às 21:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.dnit.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **26149959** e o código CRC **C4F7F36B**.

DNIT MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

Setor de Autarquias Norte | Quadra 3 | Lote A
CEP 70040-902
Brasília/DF |

Criado por maio.balde, versão 4 por maio.balde em 01/10/2026 10:02:24.