

## II - PLANO DE TRABALHO DO TERMO DE EXECUÇÃO DESCENTRALIZADA

### 1. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADORA

#### a) Unidade Descentralizadora e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizadora (a): Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

Nome da autoridade competente: Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

Número do CPF: 765.████.72

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pelo acompanhamento da execução do objeto do TED: Diretoria de Planejamento e Pesquisa - DPP

#### 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 - DPP

### 2. DADOS CADASTRAIS DA UNIDADE DESCENTRALIZADA

#### a) Unidade Descentralizada e Responsável

Nome do órgão ou entidade descentralizada: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Nome da autoridade competente: Márcia Cristina Bernardes Barbosa

Número do CPF: 366.████.34

Nome da Secretaria/Departamento/Unidade Responsável pela execução do objeto do TED: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

#### b) UG SIAFI

Número e Nome da Unidade Gestora - UG que receberá o crédito: 153114 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Número e Nome da Unidade Gestora - UG Responsável pela execução do objeto do TED: 153114 – UFRGS

### 3. OBJETO:

O presente plano de trabalho tem como objeto o desenvolvimento de cooperação técnico-científica, capacitação, treinamento e 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 do Rio Grande do Sul (UFRGS). Esta cooperação focará na consideração de carregamentos veiculares na avaliação de pavimentos rodoviários, utilizando novas ferramentas de ciência de dados, com o objetivo de promover avanços para os novos métodos de avaliação e dimensionamento de pavimentos.

#### 3.1. Objeto Resumido

Atualização dos parâmetros de carregamento da frota de veículos nacional para fins de dimensionamento e avaliação estrutural e funcional de pavimentos, permitindo a quantificação do impacto das cargas nos pavimentos e a elaboração de espectro referenciais em rodovias federais.

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

A evolução das frotas rodoviárias acompanha o avanço da tecnologia. O dimensionamento de pavimento rodoviários, no entanto, ainda é fortemente dependente de hipóteses simplificadoras, como Número N, pressões de contato pneu-pavimento e muitas vezes também sobre a carga rodante que é pouco conhecida. A monitoração do tráfego através do uso do espectro de cargas permite uma avaliação mais detalhada, bem como constitui, através do uso de ferramentas de pesagem em movimento, fonte de avaliação contínua do perfil de cargas rodoviário. Para isto, no entanto, é necessário a constituição de bancos de dados de pesagem que permitam tal discretização, tornando o tráfego único para cada via. Este projeto visa contribuir para os diversos projetos de pesquisa em andamento no contexto nacional da infraestrutura rodoviária associando quatro principais metas vinculadas ao perfil de tráfego rodoviário, vez que os avanços nos métodos de análise dos pavimentos também são fortemente dependentes dos perfis de carga, em adição a uma primeira etapa de cunho administrativo. A primeira meta (A) visa ampliar a discussão sobre as premissas do estudo feito com a Agência Nacional de Transportes Terrestres sobre o impacto da sobrecarga gerada pelas alterações das legislações nacionais, na pesquisa de RDT intitulada “Definição de uma Metodologia para Avaliar os Impactos do Aumento da Tolerância nas Cargas por Eixo nos Custos de Manutenção de Pavimentos de Rodovias Concedidas”, buscando prioritariamente avançar na aplicação financeira dos impactos de sobrecarga sobre o pavimento. A segunda meta (B) tem por objetivo investigar e propor ações que facilitem a interpretação de dados de pesagem para aplicação de métodos de dimensionamento empírico mecanísticos. Essas avaliações serão realizadas através do uso de ferramentas de ciência de dados incluindo algoritmos de aprendizado de máquina aplicados a grandes volumes de dados. Ferramentas estatísticas como histogramas, hierarquização, mapas de calor, dashboards de *Business Intelligence* (BI) serão utilizados para transformar os lagos de dados em visualizações gerenciais e gráficas, facilitando a interpretação cognitiva. O uso de aprendizado de máquina permitirá a identificação de padrões e a criação de modelos preditivos que ajudarão a entender o impacto do tráfego sobre os pavimentos, aprimorando a capacidade de previsão da degradação e demandas futuras com base no comportamento real do tráfego monitorado. Dados de pesagem em movimento e coleta de dados de perfis de impressão de contato pneu-pavimento permitirão identificar o real tráfego associado à infraestrutura viária nacional, possibilitando melhores análises tensão-deformação e aferição das funções de transferência dependentes do tráfego realizado. Espera-se ainda ser capaz de colaborar com os trechos inseridos no Pro-Medina através das avaliações do tráfego – estimado ou aferido – para compatibilização dos defeitos monitorados às cargas solicitantes. A terceira meta (C), visa explorar e implementar ferramentas avançadas de avaliação de gêmeos digitais, vinculadas ao perfil de tráfego, através de tecnologias inovadoras usadas para criar modelos digitais representativos do comportamento veicular nas vias. Espera-se nesta fase auxiliar na interpretação de dados estruturais e funcionais coletados e presentes no lago de dados do DNIT, como forma de complementar a construção da camada de tráfego, para montagem de uma proposta de um gêmeo digital que forneça as bases de avaliação integrada da condição do pavimento com o tráfego atuante. Essa abordagem inovadora busca fortalecer as bases da pesquisa, proporcionando uma compreensão mais completa e dinâmica das demandas impostas pelos diferentes tipos de veículos à infraestrutura rodoviária nacional. Finalmente a meta (D) estabelece treinamentos e capacitações técnicas a serem realizadas pela equipe da UFRGS à equipe do DNIT-IPR nas dependências da UFRGS.

Abaixo estão detalhadas as metas do projeto, suas ações e forma de acompanhamento; as metas estão vinculadas posteriormente aos produtos previstos neste termo.

##### **4.1. Meta A - Avaliação das Premissas do Estudo RDT LAPAV/Ecoponte/ANTT & Aplicação Financeira do Impacto da Sobrecarga Sobre o Pavimento gerado pelas Leis 13.103/2015 e 14.229/2021**

#### Ações:

- Realizar reuniões para detalhamento das ações e premissas do estudo, recebimento de dados e ações iniciais de aquisições necessárias à realização do projeto.
- Identificar, com suporte do DNIT, os parâmetros financeiros de entrada a serem considerados no desenvolvimento do framework de avaliação do impacto da sobrecarga necessários para liberação das premissas contidas no RDT LEA, tais como: Taxa interna de retorno, elementos da via sujeitos a degradação pelo excesso de carga (diferenciação entre faixas da via; tipo de obra; etc.), método para determinação do valor presente líquido e outros que se façam necessários.
- Desenvolver uma ferramenta/aplicação que permita ao DNIT/ANTT acoplar as degradações determinadas pela metodologia RDT LEA com liberação das premissas financeiras anteriormente congeladas e acopladas às temporalidades de lei nos contratos de concessão gerados pelas Leis 13.103/2015 e 14.229/2021.
- Aplicar a metodologia proposta para dois novos trechos de rodovia (a serem definidos), a fim de analisar a consistência da metodologia, sua aplicabilidade bem como validar as novas premissas adotadas, caso necessário, como forma de aprimoramento da metodologia.
- Propor um framework de Valorização de Ativos (*Asset Valuation*) do pavimento, para quantificar a depreciação monetária do ativo ao longo de sua vida útil devido ao impacto do excesso de cargas.
- Propor um framework de Análise do Custo do Ciclo de Vida do pavimento, para quantificar a redução da sua vida útil em função do excesso de carga, considerando que os parâmetros econômico-financeiros serão orientados pela equipe do IPR/DNIT, tais como taxa interna de retorno para determinação do valor presente líquido e demais custos gerenciais de manutenção necessários.

Considerando a interação necessária entre IPR/DNIT, ANTT e UFRGS e a necessidade de tomadas de decisão acerca de parâmetros financeiros e técnicos para desenvolvimento do projeto, o Anexo III traz um melhor detalhamento das interações previstas em cada uma das atividades.

#### Acompanhamento:

- Relatório gerencial semestral no período da meta indicando o andamento dos trabalhos desenvolvidos, bem como planilha com macros contendo a metodologia proposta.

## 4.2. Meta B - Atualização da Descrição do Carregamento Rodoviário Nacional para Fins de Avaliação de Pavimentos

#### Ações:

- Gerar espectros de cargas das rodovias federais com dados existentes na base de dados do DNIT – tanto através do PNCT (Plano Nacional de Contagem de Tráfego) quanto outras campanhas disponíveis – a partir de agrupamentos hierárquicos das características de tráfego. Para tanto, os dados deverão ser recebidos prioritariamente em banco de dados estruturados (ex.: SQL, *Structured query language*) e deverão conter pelo menos as seguintes variáveis:
  - i. Dados da rodovia;
  - ii. data/hora da pesagem;
  - iii. faixa;
  - iv. classe do veículo (conforme classificação DNIT, preferencialmente); nos bancos de dados em que não conste a classificação DNIT, essa tarefa será realizada pela equipe de projeto.
  - v. peso por eixo ou por grupo de eixos;
  - vi. peso bruto total.
- Com os dados recebidos será realizado o pré-processamento de dados e realização das seguintes atividades: padronização, correção de erros, tratamento de dados, normalização, criação de variáveis e data frames. Essas atividades serão realizadas toda vez que novos dados sejam recebidos para montagem de um banco de dados consolidado incremental.
- Concepção e implementação de códigos em Python para análise estatística, tratamento dos data frames, geração de métricas, histogramas, hierarquização, mapas de calor, dashboards de Business

Intelligence; isto visa facilitar a interpretação dos dados recebidos, auxiliando na integração de outros projetos de análise de pavimentos com a extração de informações de carga de forma facilitada para o IPR/DNIT e permitindo o estudo de séries históricas, padrões de carregamento, distribuição de cargas por classes, etc.

- Geração de *Axle Load Factors* (ALF) e Números N para diferentes cenários de carregamento; os alf são matrizes de agrupamento de carga por meses do ano e tipo de eixo necessários para uso em softwares que considerem o espectro de cargas de forma mecanicista; a geração dos ALF e também número N aqui propostos, serão realizadas considerando diferentes cenários de carga (por exemplo: carga real e limitado à carga máxima legal) para dar disponibilidade às avaliações instantâneas e futuras com diferentes cenários de fiscalização.
- Propor um método para utilização dos espectros de carga em ferramentas de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimento, como o MeDiNa.
- Realizar ensaios de verdadeira grandeza no Simulador de Tráfego LAPAV/UFRGS para determinação dos padrões de pressões de contato pneu/pavimento.
- Propor, a partir dos perfis de pressões medidas, um modelo representativo da área de contato pneu-pavimento, considerando diferentes tipos de pneu e pressões de inflações atuais, para ser incorporado em softwares de análise tensão-deformação elástico ou viscoelásticos.
- Propor uma ferramenta ou instruções de aplicação que permitam ao DNIT fornecer e manter dados de tráfego associados à sua malha rodoviária para projetos e análises de pavimentos, tomando por base os estudos gerados pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) e sistemas de pesagem em movimento (*weigh-in-motion* – WIM) instalados.
- Propor, a partir de dados coletados no PNCT, uma classificação e agrupamento das frotas de veículos comerciais brasileiras com características e comportamentos de carga similares, de modo a permitir a extração de dados de pesagem coletados em determinados pontos para regiões sem monitoramento de carga.
- Propor um modelo de níveis de carregamento referenciais da frota brasileira para serem utilizados em projetos de pavimentos e sistemas de gerenciamento de pavimentos nas diferentes regiões do país.
- Propor um modelo probabilístico para estimar espectros de carga.
- Propor atualizações ao manual de estudos de tráfego, nos aspectos vinculados à pesagem veicular e sua consideração para projetos de pavimentação.
- Propor atualizações para o manual de gerência de pavimentos, nos aspectos vinculados à presente pesquisa (orientação sobre ciclos de manutenção devido à sobrecarga viária).

Acompanhamento:

- Relatórios de pesquisa anuais no período da meta indicando o andamento da coleta de dados em banco e geração de painéis online (*dashboards*) para acompanhamento via website do processamento dos dados.

#### **4.3. Meta C - Aplicação de Ciência de Dados na Geração de Gêmeos Digitais para Construção de um Framework Analítico de Pavimentos**

Ações:

- Desenvolver algoritmos de aprendizado de máquina para a geração de indicadores de parâmetros estruturais do pavimento a partir de dados de deflexão como os dados coletados pela ferramenta iPave.
- Deverão ser recebidos das campanhas de coleta de dados do iPave realizadas para o DNIT juntamente com os dados das estruturas dos pavimentos ensaiados, ou ainda campanhas já realizadas previamente.
- Desenvolver algoritmos de aprendizado de máquina para a geração de indicadores de parâmetros funcionais do pavimento a partir de dados como scanners de avaliação de superfície.
- Propor modelos de dashboards com algoritmos de aprendizagem de máquina para prever a

degradação do pavimento devido às evoluções de tráfego monitoradas/previstas.

- Propor modelos de confiabilidade estatística sobre degradações funcionais e estruturais do pavimento para serem inseridos nos métodos de dimensionamento em avaliação pelo DNIT.
- Implementar uma ferramenta com a tecnologia gêmeos digitais para avaliar o tráfego e a degradação através de um recorte do banco de dados existente para acompanhamento das funções de transferência e aprimoramento do espelhamento entre a infraestrutura física e virtualizada de forma piloto.

Acompanhamento:

- Relatórios de pesquisa anuais no período da meta indicando o andamento dos trabalhos, as metodologias propostas e os resultados; serão também propostos painéis de acompanhamento online dos dados recebidos e tratados para acompanhamento do projeto.

#### **4.4. Meta D - Treinamentos e Capacitação Técnica**

Ações:

- Proposta preliminar de cursos em formato de cursos de aperfeiçoamento ou minicursos a serem desenvolvidos durante a vigência do TED:
  - a. Avaliação do impacto de sobrecarga devido às Leis 13.103/2015 e 14.229/2021, segundo a metodologia proposta na Meta B.
  - b. *Framework* de Valorização de Ativos (*Asset Valuation*) do pavimento.
  - c. *Framework* de Análise do Custo do Ciclo de Vida do pavimento.
  - d. Introdução à ciência de dados na avaliação de vias (definições da ciência de dados, modelos de hierarquização e clusterização).
  - e. Determinação dos parâmetros de frota para fins de avaliação de pavimentos.
  - f. Uso do simulador de tráfego como ferramenta de avaliação da degradação de pavimentos.
  - g. Ferramenta desenvolvida para utilizar os dados do PNCT e do sistema WIM em projetos e análises de pavimentos.
  - h. Atualizações do manual de estudo de tráfego.
  - i. Atualizações do manual de gerência de pavimentos.
  - j. Modelos de *dashboard* e algoritmos de aprendizagem de máquinas.
  - k. Gêmeos Digitais na infraestrutura rodoviária.

Acompanhamento:

- Relatórios gerenciais anuais durante no período da meta apresentando o andamento das atividades voltadas à preparação de material didático e à realização de cursos teóricos e práticos com temas relacionados aos carregamentos veiculares na avaliação de pavimentos rodoviários.

### **5. JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO PARA CELEBRAÇÃO DO TED:**

O tráfego rodoviário é um dos principais parâmetros de entrada para diversas análises que envolvem a estrutura viária, entre elas: o dimensionamento dos pavimentos, pontes e viadutos; na avaliação do potencial de risco de acidentes; para análise da potencialidade de receita nas modelagens econômicas de concessões; no desenho da malha para envolver novos projetos; para estimar a degradação futura na infraestrutura como um todo; entre outros. Determinar suas condições volumétricas e classificatórias, envolve conhecer a distribuição horária dos veículos, os tipos e características dos veículos e seus pesos.

A coleta de dados de tráfego em vias ocorre hoje por diversos mecanismos, desde os mais simples como as contagens manuais e culminam em avançados sistemas de detecção de imagem via satélite, monitoramento de ondas de rádio de aparelhos móveis ou scanners digitais de rodovias capazes de

identificar diversas características dos elementos rodantes e culminando na formação de um vasto lago de dados (*data lake*). No âmbito da engenharia rodoviária, são os chamados analisadores de tráfego e balanças de pesagem que constituem grandes fontes de informação para análise das condições do pavimento e somam milhares de entradas diariamente para órgãos rodoviários – sejam estes, municipais, estaduais ou nacionais. Este enorme volume de dados, ao mesmo tempo que permite uma grande consistência de informações, impõe o desafio de sua correta interpretação. Nesse contexto, ferramentas de ciência de dados, como algoritmos de aprendizado de máquina e análise estatística avançada, são essenciais para transformar esses dados brutos em informações acionáveis, permitindo uma compreensão mais detalhada e preditiva sobre o comportamento do tráfego e suas implicações nas condições dos pavimentos.

Diversos autores no Brasil (Albano, 2005; Albano & Lindau, 2006; Peterlini, 2006; Fontenele, 2011; Brito et al, 2013; Bock, 2016; Bosso, 2018; Engelke, 2019; Bosso et al, 2020; Otto et al, 2020; Romeiro Júnior et al, 2020; Vallejo, 2021) e no mundo (Jacob et al, 2002; Jasim et al, 2019; Kawakatsu et al, 2019; Macea et al, 2015; Pais et al, 2019) dedicaram estudos à caracterização de frotas através das cargas rodantes, na maior parte dos estudos pós anos 2010 com uso de ferramentas tipos pesagem em movimento (*Weigh in motion*), capaz de monitorar as cargas veiculares na velocidade operacional da via, sem necessidade de deslocar os veículos para uma área restrita de pesagem.

A partir dos anos 2010, este tema passou a ter sobrelevada importância no Brasil devido a sucessivas alterações de lei. Com a Lei n.º 13.103, conhecida como ‘Lei dos Caminhoneiros’, algumas concessionárias pleitearam reequilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão, com base em estudos individuais, na intenção de repor a aumento no custo de manutenção dos pavimentos devido à mudança do excesso de sobrecarga por eixo limite para não aplicação de multa que mudara de 7,5% para 10%. Com base em um estudo realizado pelo LabTrans da UFSC, a ANTT propôs em 2016 a adoção do resultado do trabalho (aumento de 10,5% sobre o custo de manutenção) para a revisão tarifária do trecho BR-101/BA/ES, administrada pela ECO101. O TCU entendeu necessário um estudo que viabilizasse discretizar as diferentes concessões, face suas diferentes características, ao invés de viabilizar a ampla adoção do resultado.

Com isto, a ANTT buscou através de uma interação acadêmica com o LAPAV/UFRGS trazer amparo na quantificação do efeito da dita ‘sobrecarga legal’ gerada pelo aumento do peso dos veículos decorrido da Lei 13.103/2015. Ressalta-se que a referida Lei estabeleceu o aumento da margem de tolerância do peso bruto por eixo dos veículos para 10%, porém mantendo-se a tolerância máxima de 5% sobre os limites de peso bruto total (PBT). Esta última consideração é extremamente relevante, pois o peso total do caminhão – de acordo com a lei – não pode ter se alterado, apenas o desequilíbrio da carga dentro do caminhão que leve a uma alteração na distribuição entre os eixos.

Deste então, os trabalhos focados na caracterização e tráfego tem sido cada vez maiores por parte da equipe do LAPAV UFRGS. Diversos estudos têm sido focados em estimar o dano causado pelo tráfego ao pavimento. Para estes, não apenas a carga tem importância, mas também a forma como ela é distribuída ao pavimento. Dessa forma, é de interesse entender os diferentes tipos de eixo utilizados nos veículos de carga, como eles impactam o pavimento e como eles podem ser agrupados de forma a classificar os vários veículos que compõe uma frota. Apesar do esforço, os bancos de dados ainda são limitados às rodovias concessionadas, necessitando ampliação conforme proposto neste TED.

O tópico da sobrecarga viária é de extrema importância no âmbito de projetos de rodovias, pois além de causarem a degradação prematura do pavimento, veículos sobrecarregados são uma ameaça à segurança nas estradas, sendo responsáveis por grande parte dos acidentes envolvendo veículos de carga (ALBANO, 2005). Um estudo de 2015 realizado pelo Departamento de Transportes do Estado de Nova York (*New York State Department of Transportation – NYSDOT*) analisou dados de 21 postos de pesagem em

movimento, e concluiu que cerca de 18% dos veículos de carga que trafegam na rede do estado apresentam algum nível de sobrecarga (GHOSN et al., 2015). Os autores estimam que esses veículos sejam responsáveis por um acréscimo de US\$ 195 milhões por ano nos custos da rede viária do estado – com 26.320 km e cerca de 15.000 pontes –, sendo US\$ 145 milhões referentes aos custos de pavimentos e US\$ 50 milhões aos custos de pontes.

No Brasil, ao analisarem dados de pesagens veiculares em diferentes rodovias, Brito et al. (2013) e Bosso et al. (2019) também observaram algum nível de sobrecarga em 10% e 29% dos veículos, respectivamente. Em outro estudo brasileiro, Romeiro Júnior et al. (2020) estimaram um impacto de 6% nos custos de manutenção de uma rodovia devido à sobrecarga rodante.

O que este projeto vislumbra é o de trazer profundidade à discussão acima e avançar adicionalmente na modelagem conhecida como “Gêmeos Digitais” ou do inglês *Digital Twins* para à área de infraestrutura viária focada na detecção de características do tráfego viário através de modelos de máquina que sejam capazes de parametrizar frotas. Ao ser capaz de identificarmos parâmetros chaves do comportamento das frotas, esperamos ser capazes, por exemplo, de estimar o peso de veículos a partir de dados como: classe da via, característica econômica da região, época do ano, configuração geométrica dos veículos da via e contagem apenas volumétrica. Isto permitirá ampliar grandemente a acurácia de projetos de pavimentos que não contam com quaisquer dados de pesagem – apenas grosseiras estimativas de uma percentagem da frota na chamada carga máxima legal.

Esses parâmetros serão identificados, como a descrição acima indica, por meio de um processo que coleta e combina vários dados e tem algoritmos de aprendizado de máquina para analisar e correlacionar os elementos. Em primeiro lugar, usaremos dados volumétricos e de geometria dos veículos, como disposição de eixos e dimensões, em conjunto com a classe da via e as características econômicas da região, que terão um impacto sobre o tipo de carga. Além disso, a época do ano será um fator, dado que a sazonalidade econômica ou agrícola também pode afetar o tráfego e, por sua vez, o peso das frotas na região. Algoritmos serão treinados para correlacionar essas variáveis com o próprio peso estimado dos veículos, usando dados históricos de padrões de rodovias onde sistemas de pesagem estão disponíveis para criar modelos que possam ser aplicados a rodovias sem tais sistemas. Dessa forma, o peso dos veículos pode ser estimado com mais precisão, mesmo em locais onde há apenas contagens volumétricas e informações básicas de tráfego, diminuindo a necessidade de suposições e aumentando a precisão das análises e projeções de pavimentação. Como resultado, é possível ter uma modelagem mais detalhada e contextualizada da carga, sugerindo como ajustar o peso previsto como se torna mais reflexiva dos desafios dados pela infraestrutura.

Um gêmeo digital na infraestrutura rodoviária refere-se a uma réplica virtual do sistema de infraestrutura rodoviária física. Ele ajuda a entender e analisar o desempenho da infraestrutura física, incluindo dados sobre seu uso, condições e requisitos de manutenção, integrando dados e informações em tempo real de várias fontes, como sensores, sistemas GPS e simulações para criar uma representação virtual abrangente da infraestrutura rodoviária física.

Os chamados gêmeos digitais também permitem o monitoramento em tempo real e a manutenção preditiva, reduzindo a necessidade de inspeções manuais caras e demoradas, uma vez que os modelos sejam validados. Eles são capazes de fornecer um ambiente de simulação para testar e avaliar diferentes cenários de projeto e manutenção, ajudando a otimizar a infraestrutura rodoviária física. O novo conceito de gêmeos digitais tornou-se recentemente uma área de pesquisa popular em arquitetura, engenharia e gerenciamento de construção e mostrou grande potencial para apoiar a tomada de decisão automatizada inteligente completa como uma ferramenta de auxílio visual para o gerenciamento de todo o ciclo de vida dos ativos e, portanto, para otimizar as estratégias de operação e manutenção (Macchi et al., 2018).

Várias aplicações do conceito de gêmeos digitais foram investigadas para diferentes ativos em diferentes níveis. Por exemplo, no nível da cidade para edifícios, Lu et al. (2020) demonstraram a implementação bem-sucedida de um gêmeo digital de edifício que integra fontes de dados heterogêneas e suporta processos de tomada de decisão na gestão operacional e de manutenção.

Em nível de obras de arte e outros ativos viários, Ye et al. (2019) criaram um modelo de gêmeos digitais para monitoramento da saúde estrutural de pontes que proporcionou vários benefícios, incluindo consulta eficiente de dados relevantes, capacidades integradas de processamento e interpretação de dados e um ambiente colaborativo para várias etapas de um projeto de ponte. Yu et al. (2020) apresentaram um modelo de previsão de desempenho de túnel rodoviário baseado no mesmo conceito e na técnica de aprendizagem de máquina, que ilustrou um método de gerenciamento confiável orientado por dados para manutenção preventiva. Compreensivelmente, sendo as estradas um dos ativos fundamentais de qualquer sistema nacional de infraestrutura, os gêmeos digitais de estradas melhorariam a precisão da previsão e, através disso, a eficácia de qualquer tomada de decisão associada. No entanto, nenhuma pesquisa anterior investigou minuciosamente as aplicações potenciais dos gêmeos digitais e suas capacidades envolvidas para estradas, particularmente com foco na previsão da condição da estrada.

Embora vários algoritmos usados na aprendizagem de máquina tenham sido desenvolvidos para modelar a deterioração de uma estrada e para prever sua condição, nenhum deles foi desenvolvido, adaptado ou aplicado a um gêmeo digital e suas necessidades. Portanto, é necessário analisar detalhadamente a literatura relacionada aos algoritmos de aprendizagem de máquina como base fundamental para o gêmeo digital rodoviário, a fim de mapear os seus requisitos em relação às capacidades e aplicações. Os algoritmos de aprendizagem de máquina podem ter o potencial de ajudar e cobrir uma ampla gama de funcionalidades de gêmeos digitais rodoviários, dependendo dos requisitos do usuário, como gerenciamento de tráfego e garantia de segurança. No entanto, identificar o ferramental hoje disponível e estabelecer a racional de correspondência entre o tráfego de projeto e os novos métodos de dimensionamento, também é chave. Para tanto, este TED propõe diversas ações centradas no tema da avaliação de frotas como forma de colaborar no avanço sobre o tema.

O LAPAV/UFRGS, proponente deste projeto, é vinculado ao Departamento de Engenharia Civil da centenária Escola de Engenharia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI), está instalado no Campus do Vale sito à Av. Bento Gonçalves 9500 no Prédio número 43.816 na chamada Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos, onde inicialmente se instalou, em 1996. Foi um dos primeiros centros de pesquisa no sul do Brasil a atuar nos estudos sobre materiais de pavimentação. Até hoje, já formou mais de uma centena de engenheiros mestres e doutores além de capacitar diversos alunos de graduação durante sua formação. Hoje, o laboratório conta com cerca de 30 colaboradores diretamente envolvidos nas atividades de pesquisa do laboratório, entre pesquisadores, técnicos e alunos. O LAPAV abriga um laboratório de misturas asfálticas (setor 1), um de ensaios reológicos e dinâmicos (setor 2) além de um setor administrativo (setor 3) e outro de simulação de tráfego (setor 4). O LAPAV conta com 18 pistas experimentais em uma área de 1.400 m<sup>2</sup> para ensaios acelerados em verdadeira grandeza, realizados por meio de seu Simulador de Tráfego Linear – um dos principais equipamentos para ensaios de pavimentos em verdadeira grandeza do Brasil –, em funcionamento desde 1994. Desde 2022 o LAPAV é acreditado pela norma ISO17025:2017 para realização de ensaios em ligantes asfálticos conforme Escopo de Acreditação CRL 1649 da CGCRE – INMETRO.

Contando com uma ampla rede de parceiros, as pesquisas desenvolvidas compreendem as temáticas de estabilização de solos, mecânica dos pavimentos, materiais para pavimentação, gerencia de pavimentos, controle de qualidade na pavimentação, comportamento mecânico dos solos, emprego de resíduo em pavimentação, condutividade hidráulica de solos, entre outras linhas. Dentre as parcerias mais recentes, destacam-se a ANP e Petrobrás, no âmbito da Rede de Tecnologia em Asfalto, a ANTT, com diversos projetos de pesquisa desenvolvidos com Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), e o Ministério

da Infraestrutura, na discussão dos impactos dos aumentos de tolerância na pesagem veicular sobre os custos de manutenção dos pavimentos brasileiros.

Além da cooperação com o setor público, o atendimento do LAPAV/UFRGS à sociedade se estende ao setor privado, com a prestação de consultoria técnica especializada a diversas empresas, com grande atuação junto às concessionárias de rodovias do país. Nessa linha, entre os trabalhos pioneiros desenvolvidos pelo LAPAV estão os estudos de asfalto borracha e misturas mornas, além de ter sido precursor no suporte às pesquisas com uso da ferramenta WIM (Weigh-in-motion) no Rio Grande do Sul e parceiro da Ecoponte e ANTT no estabelecimento de uma metodologia para avaliação do impacto de sobrecargas em pavimentos. As aplicações foram baseadas, entre outros, no processamento de dados em massa (big data) de pesagem veicular nos postos das diferentes concessões em estudo. Além disto, o LAPAV/UFRGS ainda tem sido ativo em pesquisas de materiais asfálticos, uso de simulador de tráfego, instrumentação de pavimento, técnicas de estabilização de solos, ensaios resilientes para materiais de pavimentação, entre outros.

Ao realizar a análise das pesquisas desenvolvidas pela UFSC por meio de TED com o DNIT e a ANTT, percebe-se que elas não se relacionam de forma direta com as metas propostas no presente projeto. Os estudos já realizados acerca da pesagem em movimento contribuíram para o melhor entendimento, de modo a fornecer informações técnicas de grande valia para que esses sistemas pudessem ser implementados também como ferramenta de fiscalização, com dados mais precisos e de qualidade. Esses, por sua vez, serão importantes para que o objetivo de investigar e propor ações que facilitem a interpretação de dados de pesagem em movimento para aplicação no dimensionamento mecânico empírico de pavimentos. Um diferencial do presente projeto é a coleta de dados de perfis de impressão de contato pneu-pavimento, de modo a analisar fielmente as tensões e deformações decorrente dos carregamentos, e então aferição das funções de transferência dependentes do tráfego realizado.

Da mesma forma, os estudos desenvolvidos sobre tráfego e sobrepeso pela UFSC evidenciam a necessidade de tornar mais eficiente a fiscalização de peso nas rodovias, de modo que os danos gerados pela sobrecarga viária sejam quantificados, bem como o seu impacto nos ciclos de manutenção. Destaca-se que, enquanto os estudos realizados pela UFSC estão mais voltados à segurança viária e a trecho experimental específico, como o da BR101Sul, parte deste estudo está voltado ao impacto no pavimento e utilizará dados coletados pelo DNIT em diversas rodovias federais, de modo a abranger regiões com diferentes características de tráfego. Com isso, será possível propor uma classificação e o agrupamento das frotas de veículos comerciais brasileiras com características e comportamentos de cargas similares, o que permitirá a extração de dados de pesagem coletados em pontos sem monitoramento de carga. Ainda, será possível elaborar um modelo de níveis de carregamento referenciais da frota brasileira para serem utilizados em projetos de pavimentos e sistemas de gerenciamento de pavimentos nas diferentes regiões do país.

Destaca-se que foram citadas algumas das diversas contribuições deste projeto, para endossar que há diferenças significativas entre o trabalho já desenvolvido pela UFSC e pelo que pretende ser realizado no presente TED. Ressalvando-se que o trabalho busca alcançar conhecimentos e desenvolver propostas sobre o tráfego presente e futuro, visando inovações no cômputo do tráfego para efeito de projetos de pavimentos. A iniciativa contempla características atuais e futuras da frota nacional, culminando na proposição de conceitos associados à formação de gêmeos digitais para tráfego no Brasil.

Diante desse cenário desafiador e como forma de colaborar com o IPR/DNIT, o presente projeto de pesquisa foi concebido como forma de maximizar a expertise dos pesquisadores do LAPAV/UFRGS visando o avanço conjugado dos esforços do DNIT na melhoria dos sistemas de avaliação de tráfego, e, portanto intrinsecamente vinculado ao comportamento do pavimento, dando o suporte necessários a outros órgãos e visando a atualização das normativas nacionais do próprio departamento.

Por fim, importante notar que a pesquisa prevê analisar aspectos econômicos relacionados aos custos de manutenção e operação de pavimentos, bem como o desenvolvimento de ferramentas que poderão auxiliar de forma ampla os diversos setores da infraestrutura viária, trazendo discussões técnicas objetivas e fomentando conhecimento para as novas alterações de frota ainda por vir, a exemplo dos veículos elétricos e autônomos que possivelmente desenvolvem características particulares distintas da frota atual.

## 6. SUBDESCENTRALIZAÇÃO

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

- (  ) Sim  
(  ) 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.  
(  ) 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, §2º)

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

- (  ) Sim  
(  ) Não

O pagamento será destinado aos seguintes custos indiretos:

- 1) Custos indiretos destinados para Fundação de apoio, no valor de 5,6%, referentes ao ressarcimento de custos operacionais e administrativos, conforme Portaria 9085 de 2016 da UFRGS que dispõem sobre o custo de ressarcimento operacional através da Planilha de Custos Operacionais referentes aos projetos executados com o apoio das fundações de apoio.
- 2) Ressarcimento de custos indiretos à Unidade, conforme decisão UFRGS CONSUN 193/2011, Art 13. (redação dada pela Decisão nº 083/2017) – a parcela destinada diretamente às Unidades Acadêmicas ou Unidades Regionais envolvidas será de, no mínimo, 5% (cinco por cento) do total arrecadado nos projetos, excluído o valor referente a investimento em infraestrutura.
- 3) Ressarcimento de custos indiretos à Universidade, conforme decisão UFRGS CONSUN 193/2011, Art 14. (redação dada pela Decisão nº 083/2017) – da contribuição total arrecadada haverá, além da parcela destinada à Unidade Acadêmica ou Unidade Regional, um mínimo de 5% (cinco por cento), excluído o valor referente a investimento em infraestrutura, que será administrado pela Pró-Reitoria de Planejamento e Administração.

## 9. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

Metas e Produtos	Unidade de Medida	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Início (Mês)	Fim (Mês)
<b>Meta A - Avaliação das Premissas do Estudo RDT LAPAV/Ecoponte/ANTT &amp; Aplicação Financeira do Impacto da Sobrecarga Sobre o Pavimento</b>			<b>Subtotal 1</b>	<b>1.171.209,41</b>	<b>1</b>	<b>12</b>
Produto A.1 - Desenvolvimento de uma ferramenta/aplicação para acoplamento das degradações determinadas pela metodologia RDT LEA	Planilha em Excel (com Macros)	1	212.454,31	212.454,31	1	7
Produto A.2 - Aplicação da metodologia proposta para dois novos trechos de rodovia (a serem definidos)	Relatório de Pesquisa	1	517.640,10	517.640,10	3	7
Produto A.3 - Proposição de framework de Valorização de Ativos (Asset Valuation) do pavimento	Metodologia	1	165.502,65	165.502,65	6	10
Produto A.4 - Proposição de framework de Análise do Custo do Ciclo de Vida do pavimento	Metodologia	1	275.612,35	275.612,35	8	12
<b>Meta B - Atualização da Descrição do Carregamento Rodoviário Nacional para Fins de Avaliação de Pavimentos</b>			<b>Subtotal 2</b>	<b>4.338.384,23</b>	<b>13</b>	<b>48</b>
Produto B.1 - Pré-processamento de dados: padronização, correção de erros, tratamento de dados, normalização, criação de variáveis e data frames	Banco de Dados Consolidado	1	585.911,44	585.911,44	13	42
Produto B.2 - Concepção e implementação de códigos em Python para análise estatística, tratamento dos data frames, geração de métricas, histogramas, hierarquização, mapas de calor, dashboards de <i>Business Intelligence</i>	Códigos e Relatório	1	277.993,01	277.993,01	19	45
Produto B.3 - Geração de <i>Axle Load Factors</i> (ALF) e Números N para diferentes cenários de carregamento	Arquivos. ALF e Relatório	1	231.832,57	231.832,57	25	48
Produto B.4 - Proposição de um método para utilização dos espectros de carga em ferramentas de dimensionamento mecânístico-empírico	Metodologia / Relatório	1	427.637,60	427.637,60	19	36
Produto B.5 - Criação de um modelo representativo da área de contato pneu-pavimento <sup>1</sup>	Relatório de Pesquisa	1	1.690.842,18	1.690.842,18	16	45
Produto B.6 - Propor uma ferramenta ou instruções de aplicação (associação de dados do PNCT a sistemas WIM)	Software ou Código	1	228.433,29	228.433,29	37	48
Produto B.7 - Propor uma classificação e agrupamento das frotas de veículos comerciais brasileiras	Metodologia / Relatório	1	286.262,91	286.262,91	19	30
Produto B.8 - Desenvolver um modelo integrado de níveis de carregamento referenciais da frota brasileira, incluindo um modelo probabilístico para estimar espectros de carga	Metodologia / Relatório	1	361.570,28	361.570,28	25	39

<sup>1</sup> O valor da tarefa destaca-se dos demais por ter previsão da aquisição de um sistema para leitura de pressões de contato em alta resolução no valor estimado de USD95mil (R\$539mil) e uso de simulador de tráfego para realização de testes e ensaios usados na geração dos padrões de contato pneu-pavimento, contemplando despesas específicas para peças e manutenção do simulador de tráfego linear de verdadeira grandeza.

Produto B.9 - Propor atualizações ao manual de estudos de tráfego	Minuta de Atualização	1	117.982,48	117.982,48	40	45
Produto B.10 - Propor atualizações para o manual de gerência de pavimentos	Minuta de Atualização	1	129.918,49	129.918,49	43	48
<b>Meta C - Aplicação de Ciência de Dados na Geração de Gêmeos Digitais para Construção de um Framework Analítico de Pavimentos</b>			<b>Subtotal 3</b>	<b>2.252.517,28</b>	<b>25</b>	<b>60</b>
Produto C.1 - Desenvolver algoritmos de aprendizado de máquina para a geração de indicadores de parâmetros estruturais do pavimento	Relatório de Pesquisa	1	351.776,44	351.776,44	25	48
Produto C.2 - Desenvolver algoritmos de aprendizado de máquina para a geração de indicadores de parâmetros funcionais do pavimento	Relatório de Pesquisa	1	411.416,72	411.416,72	31	54
Produto C.3 - Propor modelos de dashboards com algoritmos de aprendizagem de máquina para prever a degradação do pavimento	Relatório de Pesquisa	1	414.936,88	414.936,88	49	60
Produto C.4 - Propor modelos de confiabilidade estatística sobre degradações funcionais e estruturais do pavimento	Relatório de Pesquisa	1	659.450,37	659.450,37	25	57
Produto C.5 - Implementar uma ferramenta com a tecnologia gêmeos digitais para avaliar o tráfego e a degradação do pavimento	Metodologia	1	414.936,88	414.936,88	49	60
<b>Meta D - Treinamentos e Capacitação Técnica</b>			<b>Subtotal 4</b>	<b>92.550,85</b>	<b>6</b>	<b>54</b>
Produto D.1 - Realizar treinamentos/capacitações e produzir manuais/apostilas sobre o conteúdo desenvolvido no projeto	Cursos	4	23.137,71	92.550,85	6	54
<b>TOTAL (R\$)</b>				<b>7.854.661,77</b>		

## 10. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

<b>MÊS/ANO</b>	<b>VALOR (R\$)</b>
1º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	1.783.181,02
13º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	1.513.649,70
25º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	1.582.662,42
37º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	1.568.906,22
49º mês após a publicação da Portaria no Diário Oficial da União	1.406.262,42

## 11. PLANO DE APLICAÇÃO CONSOLIDADO - PAD

Custeio	Total	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
	Subtotal de Custeio	1.203.464,17	1.513.649,70	1.582.662,42	1.568.906,22	1.406.262,42
	Equipe técnica - bolsas	3.739.450,40	417.872,00	812.950,80	861.594,60	847.838,40
						799.194,60

	Equipe técnica - CLT	1.102.000,00	190.000,00	228.000,00	228.000,00	228.000,00	228.000,00
	Equipe Técnica - RPA (Prof. Exterior)	342.000,00	-	114.000,00	114.000,00	114.000,00	-
	Serviços de terceiros	238.000,00	63.000,00	43.750,00	43.750,00	43.750,00	43.750,00
	Passagens, Diárias e Eventos	305.533,68	-	61.106,74	81.475,65	81.475,65	81.475,65
	Material de Consumo	385.000,00	300.000,00	21.250,00	21.250,00	21.250,00	21.250,00
	Custos operacionais fundação de apoio	435.466,35	87.093,27	87.093,27	87.093,27	87.093,27	87.093,27
	Ressarcimento pelo uso da infraestrutura Unidade	363.747,25	72.749,45	72.749,45	72.749,45	72.749,45	72.749,45
	Ressarcimento pelo uso da infraestrutura UFRGS	363.747,25	72.749,45	72.749,45	72.749,45	72.749,45	72.749,45
<b>Investimentos</b>	<b>Subtotal de Investimento</b>	<b>579.716,85</b>	<b>579.716,85</b>	-	-	-	-
	Equipamentos	579.716,85	579.716,85	-	-	-	-
<b>Total Geral</b>		<b>7.854.661,77</b>	<b>1.783.181,02</b>	<b>1.513.649,70</b>	<b>1.582.662,42</b>	<b>1.568.906,22</b>	<b>1.406.262,42</b>

## 12. PROPOSIÇÃO

Local e data

Márcia Cristina Bernardes Barbosa  
 Reitora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 Unidade Descentralizada

## 13. APROVAÇÃO

Local e data

Luiz Guilherme Rodrigues de Mello  
 Diretor de Planejamento e Pesquisa - DPP  
 Unidade Descentralizadora

## 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
Lélio Antônio Teixeira Brito	Coordenador do TED e Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/2156590638853724">http://lattes.cnpq.br/2156590638853724</a>
Washington Peres Núñez	Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/7562902035048269">http://lattes.cnpq.br/7562902035048269</a>
José Luis Duarte Ribeiro	Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/9343854177039951">http://lattes.cnpq.br/9343854177039951</a>
Jorge Augusto Pereira Ceratti	Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/6523502119714123">http://lattes.cnpq.br/6523502119714123</a>
Gracieli Bordin Colpo	Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/6454378952316357">http://lattes.cnpq.br/6454378952316357</a>
Thaís Radünz Kleinert	Pesquisador	<a href="https://lattes.cnpq.br/2506004809546014">https://lattes.cnpq.br/2506004809546014</a>
Inês Hexsel Grochau	Pesquisador	<a href="http://lattes.cnpq.br/7953751670582021">http://lattes.cnpq.br/7953751670582021</a>
Mehran Eskandari Torbaghan	Pesquisador Estrangeiro	----

### Corpo técnico auxiliar (a ser definido posteriormente)

Profissionais para o projeto:

- ✓ 1 (um) Técnico de Laboratório a ser contratado (CLT);
- ✓ 1 (um) Operador Simulador de Tráfego/Técnico de obras a ser contratado (CLT);
- ✓ 1 (um) Engenheiro de Projetos Júnior a ser contratado (CLT);
- ✓ 1 (um) Pesquisador Estrangeiro – Engenheiro Consultor Especial a ser pago com RPA.

Bolsistas:

- ✓ Estudantes de Iniciação Científica: 2 bolsas de 58 meses;
- ✓ Estudantes de Doutorado: 1 bolsa de 58 meses; e 2 bolsas de 48 meses;
- ✓ Pesquisador Pós-doc (tempo integral): 1 bolsa de 48 meses;
- ✓ Pesquisador Pós-doc (tempo parcial): 1 bolsa de 58 meses; e 1 bolsa de 24 meses.

**Lélio Brito** é Engenheiro Civil (2003) e Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2005), PhD (2011) pela Universidade de Nottingham, Inglaterra e Professor Visitante da Universidade de Birmingham, Inglaterra (2023-24). Suas linhas de atuação envolvem projetos de pavimentos, misturas asfálticas, instrumentação de ensaios laboratoriais, aplicação de tecnologia na infraestrutura de transportes e ciência de dados aplicado à infraestrutura viária. Atuou como projetista, consultor, gerente de projetos, obras e manutenção viária. Atualmente é professor adjunto na UFRGS, coordenador do Laboratório de Pavimentação (LAPAV) e Diretor Técnico da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv); lidera projetos de transferência tecnológica e desenvolvimento científico de materiais aplicados à pavimentação; aplicação da tecnologia de pesagem em movimento de alta velocidade como ferramentas de fiscalização em rodovias; microgeração de energia a partir de pavimento flexíveis e formação de pessoal através do programa PETER - Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária no Laboratório de Pavimentação – LAPAV. É orientador de mestrado e doutorado, revisor de diversos periódicos nacionais e internacionais e editor associado da Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport.

**Washington Peres Núñez** é Engenheiro Civil (1981), tendo concluído cursos de Mestrado em Engenharia Civil (1991) e Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1997), onde é atualmente Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil. Tem experiência em Geotecnia, com ênfase em Pavimentação; atuando principalmente nos seguintes temas: dimensionamento e avaliação de pavimentos flexíveis e rígidos, estabilização de solos, misturas asfálticas, solos e agregados para pavimentação de rodovias de baixo volume de tráfego, aproveitamento de resíduos em pavimentos, gerência de pavimentos e controle de qualidade em pavimentação. Tem atuado como revisor de periódicos internacionais e participado de comitês científicos de congressos nacionais e internacionais. É autor de cerca de duzentos artigos técnico-científicos, publicados em revistas especializadas, anais de congressos nacionais e internacionais e em livros. Orientou 11 teses de Doutorado, 45 dissertações de mestrado e dezenas de trabalhos de Iniciação Científica e de Titulação em Engenharia Civil. Foi premiado em 5 congressos por autoria de melhor trabalho. É bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2003. Tem atuado como consultor de projetos de pavimentação em obras realizadas em rodovias de todas as regiões do país. Apresentou artigos científicos e palestrou nos Estados Unidos, França, Inglaterra, Itália, Espanha, Grécia e em vários países da América Latina. Estagiou no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées da França e foi membro do International Advisor Committee do Transportation Research Exchange Program da Australian Road Research Board. Realizou visitas técnicas ao Comité de Recherches Routières da Bélgica, à École Polytechnique de Lausanne na Suíça, à University of California, Berkeley, EUA, à University of Nottingham, Inglaterra e University of Pretoria, na República da África do Sul. Ministrou palestras e cursos na Universidad de la República, em Montevideu, Uruguai, na Universidad del Nordeste Argentino, em Resistencia, Argentina, na Universidad Federico Santamaría, em Valparaíso, Chile, na Universidad de Los Andes, na Universidad del Norte, na Universidad Nacional, na Universidad de Antioquia, na Universidad Mariana na Colômbia e na Universidad del Altiplano, no Perú, bem como em muitas universidades brasileiras. Atualmente é Professor Permanente do PPGCI/UFRGS e Professor visitante dos cursos de Maestría en Ingeniería Geotécnica e Ingeniería Vial da Universidad San Francisco Xavier de Sucre, Bolívia e do Programa de Postgrado en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), Paraguai. Foi coordenador do Laboratório de Pavimentação da UFRGS de março de 2018 a fevereiro de 2020.

**Jorge Augusto Pereira Ceratti** concluiu o doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1991. Atualmente é Professor Titular Aposentado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor Convidado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foi o fundador do Laboratório de Pavimentação da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e seu coordenador até março de 2017, Consultor Ad-Hoc do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Membro da Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis e Conselheiro Ad Hoc da Revista Pavimentação da Associação Brasileira de Pavimentação. Publicou 61 artigos em periódicos especializados e 260 trabalhos em anais de eventos. Possui 8 capítulos de livros e 4 livros publicados. Possui 3 produtos tecnológicos e outros 8 itens de produção técnica. Orientou 45 dissertações de mestrado e 11 teses de doutorado, além de ter orientado 17 trabalhos de iniciação científica na área de Engenharia Civil. Recebeu 8 prêmios e/ou homenagens. Participou como coordenador de 9 projetos de pesquisa. Atualmente participa de 5 projetos de pesquisa. Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em Pavimentos. Em suas atividades profissionais interagiu com 110 colaboradores em coautoria de trabalhos científicos. Em seu currículo Lattes os termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: Pavimentos, Comportamento Mecânico, Misturas Asfálticas, Materiais de Pavimentação, Desempenho, Avaliação, Asfalto-borracha, Comportamento Mecânico, Materiais de Pavimentos e Comportamento. (Texto informado pelo autor)

**José Luis Duarte Ribeiro** é Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, possui mestrado e doutorado em Engenharia pela UFRGS (1989) e pós-doutorado pela Rutgers - The State University of New Jersey (1993). Atualmente, coordena o Laboratório de Otimização de Produtos e Processos, o Núcleo de Inovação e Sustentabilidade do PPGEP/UFRGS e atua como assessor ad-hoc do CNPq e CAPES. Seu nome foi incluído na lista de pesquisadores mais influentes do mundo em 2021, compilada pela Stanford University. Em sua atuação passada, foi Secretário de Desenvolvimento Tecnológico da UFRGS (coordenador do NIT da UFRGS), Presidente do Conselho de Pós-Graduação da

Escola de Engenharia da UFRGS, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (2013-2016), Chefe do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da EE/UFRGS (2009-2012), Membro do Comitê Assessor do CNPq (2010-2012), Membro do Comitê Assessor da CAPES (2002-2005) e Presidente da Associação Brasileira de Engenharia de Produção em dois mandatos consecutivos (1998-2001). Tem experiência na área de Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento de Produto, Inovação, Desenvolvimento Sustentável, Engenharia da Qualidade, Confiabilidade, Gestão da Manutenção, Gestão de Riscos, Gestão de Serviços, Gestão da Tecnologia, Gestão de Competências. ORCID: 0000-0002-5795-4468

**Gracieli Bordin Colpo** é Doutora em Engenharia na área de Infraestrutura no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGCI/UFRGS). Possui Mestrado em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFRGS (2014), Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa (2011) e em Matemática pela Universidade da Região da Campanha (2008). Atuou como docente no Departamento de Engenharia Civil (DECIV) da UFRGS. Atualmente é Pós-Doutoranda do Departamento de Engenharia Civil - Escola de Engenharia da UFRGS, Gerente Técnica e Pesquisadora no Laboratório de Pavimentação (LAPAV/UFRGS) e docente do curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), onde ministra as disciplinas de Pavimentos Rodoviários, Estradas II e Transportes. Tem experiência na área de Infraestrutura, com ênfase em Pavimentação. Atua principalmente nos seguintes temas: projetos de pavimentos, misturas asfálticas, ensaios laboratoriais, gestão e manutenção de pavimentos, instrumentação e gestão da qualidade.

**Thaís Radünz Kleinert** é Doutora em Engenharia na área de Infraestrutura no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGCI/UFRGS). Possui Mestrado em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFRGS (2016) e Graduação em Engenharia Civil pela UNISC (2013). Apresenta experiência na área geotécnica, com ênfase em pavimentação, tendo desenvolvido trabalhos acerca da reciclagem profunda de pavimentos com adição de cimento Portland e da aplicação da metodologia de projeto de experimentos na dosagem de misturas recicladas com cimento; e sobre a obtenção de parâmetros para o dimensionamento mecanístico-empírico de camadas de solos tropicais estabilizados com cal. Atuou como docente no curso de Engenharia Civil nas seguintes instituições: UNISC, FTEC e UFRGS. Atualmente é gerente operacional e pesquisadora no Laboratório de Pavimentação (LAPAV/UFRGS)

**Inês Hexsel Grochau** é Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1982), possui mestrado em Engenharia de Produção com ênfase em Sistemas da Qualidade (UFRGS, 2011) e doutorado em Engenharia, na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais (UFRGS, 2017). Atualmente é pós-doutoranda no Programa de Pós-graduação de Engenharia de Produção da UFRGS com projeto na área de Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ). Atuou durante 14 anos nas Tintas Renner em PD. Avaliadora Líder nas áreas de Sistema de Gestão, Ensaios Químicos e Físico-Químicos (meio ambiente, alimentos, combustíveis, entre outros) da RMRS, na norma NBR ISO/IEC 17025. Consultora para a implantação de SGQ e auditora interna. Responsável pela implantação e pela gestão do SGQ nos laboratórios LACOR e LAPOL (2002-2017) do Departamento de Engenharia de Materiais e nos laboratórios LAPAV, LAMTAC e LEME (2020-2022) do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS. Atualmente atua como Gerente da Qualidade no LAPAV da UFRGS

**Mehran Eskandari Torbaghan** é professor de Gestão de Ativos de Infraestrutura no Departamento de Engenharia Civil com um Doutorado (PhD) focado em gestão de risco e sistemas de infraestrutura linear pela Universidade de Birmingham. Ele possui um Bacharelado em Engenharia Civil pela Universidade de Uromieh no Irã. Posteriormente, ingressou na indústria da construção e trabalhou como engenheiro geotécnico por quase cinco anos. Mehran cursou um mestrado em Gestão de Construção na Universidade de Birmingham, graduando-se com Distinção. Ele trabalhou como pesquisador na Universidade de Birmingham por cerca de cinco anos, antes de se tornar professor. Ele também foi pesquisador visitante na Universidade de Nottingham. Mehran tem se envolvido na supervisão de vários estudantes de doutorado. Seu portfólio de pesquisa e interesse reside no campo da gestão inteligente de sistemas de infraestrutura, investigando a aplicação de robótica e sistemas autônomos para monitoramento de condições e reparo de infraestrutura urbana. O principal interesse de pesquisa de Mehran está no campo da gestão inteligente de sistemas de infraestrutura, investigando a aplicação de robótica e sistemas autônomos para monitoramento de condições e reparo de infraestrutura urbana. Sua visão é explorar a aplicação de técnicas de automação, incluindo abordagens de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina para informar a tomada de decisões na gestão de ativos de infraestrutura, incluindo aquelas relacionadas a estradas, tipo de manutenção e momento de execução, como parte de uma abordagem proativa de gestão de ativos.

## ANEXO II - ORÇAMENTO DETALHADO

Item	Descrição	Vínculo	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Total
<b>1</b>	<b>Auxílio Financeiro a Pesquisador (Bolsa)</b>					<b>R\$ 871.657,20</b>
1.1	Professor Coordenador (Lélio Brito)	Bolsa	h	1.856	R\$ 132,15	R\$ 245.270,40
1.2	Professor(a) Pesquisador(a) (Washington Nunez)	Bolsa	h	1.624	R\$ 132,15	R\$ 214.611,60
1.3	Professor(a) Pesquisador(a) (José Ribeiro)	Bolsa	h	528	R\$ 132,15	R\$ 69.775,20
1.4	Professor(a) Pesquisador(a) Estrangeiro (Mehran Torbaghan)	RPA	h	720	R\$ 395,83	R\$ 285.000,00
1.4.1	<i>Encargos</i>	-	%	20,00	R\$ 285.000,00	R\$ 57.000,00
<b>2</b>	<b>Auxílio Financeiro a Estudante (Bolsa)</b>					<b>R\$ 3.209.793,20</b>
2.1	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Integral (1 pesquisador)	Bolsa	mês	48	R\$ 8.380,00	R\$ 402.240,00
2.2	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Parcial (2 pesquisadores)	Bolsa	mês	82	R\$ 5.200,00	R\$ 426.400,00
2.3	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Parcial (1- Gerencia técnica - Gracieli Colpo)	Bolsa	h	3.480	R\$ 132,15	R\$ 459.882,00
2.4	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Parcial (1- Gerencia operacional - Thais Kleine)	Bolsa	h	3.480	R\$ 132,15	R\$ 459.882,00
2.5	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Parcial	Bolsa	h	1.624	R\$ 132,15	R\$ 214.611,60
2.6	Pesquisador(a) Pós-Doutorado Parcial	Bolsa	h	864	R\$ 132,15	R\$ 114.177,60
2.7	Estudante de Doutorado (3 alunos)	Bolsa	mês	154	R\$ 6.300,00	R\$ 970.200,00
2.8	Estudante de Iniciação Científica (2 alunos)	Bolsa	mês	116	R\$ 1.400,00	R\$ 162.400,00
<b>3</b>	<b>Vencimentos e Salários</b>					<b>R\$ 1.102.000,00</b>
3.1	Engenheiro de Projetos Júnior	CLT	h	4.640,00	R\$ 73,06	R\$ 339.011,36
3.1.1	<i>Encargos</i>	-	%	79,64	R\$ 339.011,36	R\$ 269.988,64
3.2	Operador Simulador de Tráfego	CLT	h	9.280,00	R\$ 19,07	R\$ 177.015,70
3.2.1	<i>Encargos</i>	-	%	80,21	R\$ 177.015,70	R\$ 141.984,30
3.3	Técnico de Laboratório	CLT	h	9.280,00	R\$ 10,39	R\$ 96.425,60
3.3.1	<i>Encargos</i>	-	%	80,45	R\$ 96.425,60	R\$ 77.574,40
<b>4</b>	<b>Serviços de Terceiros</b>					<b>R\$ 238.000,00</b>
4.1	Consultoria para Estudos Econômicos		vb	1,00	R\$ 63.000,00	R\$ 63.000,00
4.2	Manutenção do Simulador de Tráfego		vb	1,00	R\$ 175.000,00	R\$ 175.000,00
<b>5</b>	<b>Participação em Congressos</b>					<b>R\$ 305.533,68</b>
5.1	Passagens aéreas para o exterior		un.	15,00	R\$ 4.420,00	R\$ 66.300,00
5.2	Diárias no exterior		un.	75,00	R\$ 2.007,18	R\$ 150.538,20
5.3	Taxa de inscrição em congresso no exterior		un.	15,00	R\$ 5.913,03	R\$ 88.695,48
<b>6</b>	<b>Material de Consumo</b>					<b>R\$ 385.000,00</b>
6.1	Licenças Softwares/Serviços de Terceiros TI (inclusa licença PavementME)		vb.	1,00	R\$ 300.000,00	R\$ 300.000,00
6.2	Peças e materiais de consumo		vb.	1,00	R\$ 85.000,00	R\$ 85.000,00
<b>7</b>	<b>Equipamentos</b>					<b>R\$ 579.716,85</b>
7.1	Equipamentos de Processamento de Dados		vb.	1,00	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00
7.2	Aquisição de sistema para leitura de pressões de contato em alta resolução		vb.	1,00	R\$ 539.716,85	R\$ 539.716,85
<b>8</b>	<b>Taxas e Custos Indiretos</b>					<b>R\$ 1.162.960,84</b>
8.1	custos operacionais fundação de apoio		vb.	5,00	R\$ 87.093,27	R\$ 435.466,35
8.2	Ressarcimento pelo uso da infra-estrutura Unidade (sobre custeio)		%	5,00	R\$ 7.274.944,92	R\$ 363.747,25
8.3	Ressarcimento pelo uso da infra-estrutura UFRGS (sobre custeio)		%	5,00	R\$ 7.274.944,92	R\$ 363.747,25
<b>TOTAL GERAL</b>						<b>R\$ 7.854.661,77</b>

### ANEXO III

A Agência Nacional de Transportes Terrestres vem aplicando metodologias para determinação do impacto de sobrecarga gerado pelo pavimento em função das Leis 13.103/2015 e 14.229/2021. No entanto, a metodologia previamente realizada pelo LAPAV/UFRGS (RDT LAPAV/Ecoponte/ANTT), apesar de ter proposto forma de cálculo, não fez nenhuma aplicação financeira a contratos, limitando-se ao cálculo do impacto gerado por antecipação de obras gerada pela flexibilização das tolerâncias de carga, com base em premissas estabelecidas naquele estudo.

Para apurada aplicação financeira, a agência reguladora que possui o conhecimento necessário nos aspectos regulatórios, solicitou amparo do IPR/DNIT para análise da consistência da metodologia, sua aplicabilidade, uma avaliação técnica da aplicação realizada pelas Concessionárias e uma conclusão diagnóstica sobre metodologia e sua aplicabilidade, bem como uma eventual proposta de aprimoramento.

Devido à interação necessária entre IPR/DNIT, ANTT e UFRGS na sequência é apresentado o detalhamento do que será esperado em termos de tomada de decisão para desenvolvimento da meta e quais partes estarão diretamente envolvidas, conforme atividades previstas.

- i. Realizar reuniões para detalhamento das ações e premissas do estudo, recebimento de dados e ações iniciais de aquisições necessárias à realização do projeto.

*As reuniões serão desenvolvidas com vistas à demonstração inicial por parte da equipe da UFRGS da concepção da metodologia, suas limitações, seu arcabouço técnico e demonstração de aplicações da metodologia bem como as premissas envolvidas. Será nesse momento, gerado um rol de questionamentos por parte do IPR/DNIT a serem respondidos pela equipe da UFRGS e realizadas o número necessário de reuniões até que seja possível alcançar o conhecimento do que foi até então desenvolvido para plena aderência da equipe envolvida no projeto. Será também solicitado ao DNIT dados de um trecho de sua malha para que possa ser aplicada a metodologia conforme previsto no item iv, a seguir. Os dados necessários deverão contemplar pelo menos uma extensão de 100km divididos em aproximadamente cinco segmentos homogêneos de pavimento e sobre estes deverão ser disponibilizados dados de FWD para verificação das condições estruturais, volume de tráfego e carga rodante.*

*Nesta etapa também serão feitas as aquisições necessárias do projeto, como softwares, equipamentos de processamento de dados e avanço no processo de aquisição de outros equipamentos necessários ao desenvolvimento das próximas metas por parte da UFRGS.*

- ii. Identificar, com suporte do DNIT, os parâmetros financeiros de entrada a serem considerados no desenvolvimento do framework de avaliação do impacto da sobrecarga necessários para liberação das premissas contidas no RDT LEA, tais como: Taxa interna de retorno, elementos da via sujeitos a degradação pelo excesso de carga (diferenciação entre faixas da via; tipo de obra; etc.), método para determinação do valor presente líquido e outros que se façam necessários.

*Com base nas discussões realizadas na etapa anterior, serão apontados parâmetros que influenciam na determinação do impacto. Tais parâmetros poderão ser apurados e as premissas realizadas pela metodologia inicial alteradas ou, ainda, se necessário, adicionadas novas com base na consistência da metodologia. Nesta etapa visa-se confrontar as aplicações já realizadas pelas Concessionárias e, como base na expertise do IPR DNIT, em determinação no custo de manutenção de pavimentos, aprimorar as premissas do estudo. Os parâmetros regulatórios serão remetidos para questionamento à ANTT e os parâmetros técnicos serão sugeridos pelo IPR DNIT, e ANTT se necessário, para melhor adequação dos resultados.*

- iii. Desenvolver uma ferramenta/aplicação que permita ao DNIT/ANTT acoplar as degradações determinadas pela metodologia RDT LEA com liberação das premissas financeiras anteriormente congeladas e acopladas às temporalidades de lei nos contratos de concessão gerados pelas Leis 13.103/2015 e 14.229/2021.

*Uma parte importante da aplicação financeira no custo de manutenção é o acoplamento entre o impacto no valor previsto de manutenção ao período da concessão, vinculados à temporalidade da vigência das leis de tolerância. Uma vez estabelecidos os cálculos de impacto no custo de manutenção do pavimento, propõem-se a criação de uma ferramenta – possivelmente através de uma planilha eletrônica – que permita ao DNIT e ANTT realizar tal acoplamento com os valores financeiros. Esta atividade será realizada pelo LAPAV.*

- iv. Aplicar a metodologia proposta para dois novos trechos de rodovia (a serem definidos), a fim de analisar a consistência da metodologia, sua aplicabilidade, bem como validar as novas premissas adotadas, caso necessário, como forma de aprimoramento da metodologia.

*A fim de validar o trabalho realizado até esta etapa, bem como permitir um maior escrutínio dos resultados, os dados fornecidos pelo DNIT na etapa I serão usados para aplicação da metodologia e criação de cenários exemplificativos como forma de avaliar diferentes taxas de retorno, período de avaliação, configuração geométrica de pistas/faixas, etc. Isto permitirá a aplicação da metodologia e da ferramenta desenvolvida na atividade iii, trazendo amplo diagnóstico sobre a metodologia e sua aplicabilidade contrastando com os custos de manutenção aplicados pelo DNIT em seus pavimentos, resguardas as diferentes condições entre rodovias federais concessionadas e não-concessionadas.*

- v. Propor um *framework* de Valorização de Ativos (Asset Valuation) do pavimento, para quantificar a depreciação monetária do ativo ao longo de sua vida útil devido ao impacto do excesso de cargas.

- vi. Propor um *framework* de Análise do Custo do Ciclo de Vida do pavimento, para quantificar a redução da sua vida útil em função do excesso de carga, considerando que os parâmetros econômico-financeiros serão orientados pela equipe do IPR/DNIT.

*As etapas v e vii configuram um passo adicional à metodologia estudada nas etapas anteriores (i a iv) que visam adicionar a análise do custo de ciclo de vida no pavimento como forma de entendimento do uso de diferentes estratégias de manutenção na valorização do ativo. Isto permitirá uma abordagem científica que visa trazer maior compreensão ao impacto de diferentes técnicas de manutenção no impacto da sobrecarga. De forma essencial, isto permitirá avançar no estado da prática de cargas demandadas por novas tecnologias e como associar isto no ambiente nacional. Para tanto, análises de ciclo de vida serão feitas com base em parâmetros já considerados em estudos do DNIT ou da literatura, a fim de permitir a avaliação da valorização do ativo ao longo da sua vida útil.*