



### 1 – TIPO PROJETO

Pesquisa     Curso de Pós- Graduação     Atividade de Extensão     Ensino de Graduação

### 2 – TIPO DE INSTRUMENTO PROCESSUAL

Acordo     Convênio     Termo de Execução Descentralizada     Contrato     outro

### 3 – DADOS CADASTRAIS DA UnB

Órgão/Entidade Proponente UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA		C.N.P.J 00.038.174/0001-43		
Endereço CAMPUS UNIVERSITÁRIO DARCY RIBEIRO – PRÉDIO DA REITORIA - ASA NORTE				
Cidade BRASÍLIA	UF DF	CEP 70910-900	Telefone (61) 3107-0246	UG / Cód. Gestão 154040 / 15257
Banco Banco do Brasil - 001	Agência 1607-1	Conta Corrente 170.500-8		Praça de Pagamento Brasília
Nome do Representante Legal MÁRCIA ABRAHÃO MOURA				CPF 334.██████-00
CI / Órgão Exp. / Emissão 9██████90 SSP/DF Expedição 01/08/1995	Cargo Professora	Função Reitora	Matrícula UnB 145378	
e-mail unb@unb.br				
Nome do Coordenador (a) do Projeto Márcio Muniz de Farias				CPF 170.██████-20
Cargo Professor Titular	Função Diretor da Faculdade de Tecnologia		Matrícula UnB 125903	
E-mail muniz@unb.br				Telefone (61) 9.9970-██████
Nome do Gestor do Projeto Juan Félix Rodriguez Rebolledo				CPF 706.██████-37
Unidade/Departamento FT/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC)				Matrícula UnB 1076973
Endereço Eletrônico (e-mail) jrodriguezr72@hotmail.com		Telefone fixo (61) 3107-██████	Telefone celular (61) 9.8168-██████	
Assinatura				
Nome do Gestor Substituto do Projeto Manoel Porfírio Cordão Neto				CPF 737.██████-06



<b>Unidade/Departamento</b> FT/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC)		<b>Matrícula UnB</b> 1017292
<b>Endereço Eletrônico (e-mail)</b> porfirio@unb.br	<b>Telefone fixo</b> (61) 3107-██████	<b>Telefone celular</b> (61) 9.9193-██████
<b>Assinatura</b>		

#### 4 – DADOS CADASTRAIS DO CONCEDENTE / CONTRATANTE

<b>Tipo</b> (X) Público ( ) Privado	<b>2 – Nome / Razão Social</b> Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre - DNIT		<b>3 - CNPJ</b> 04.892.707/0001-00
<b>Endereço sede (Av., Rua, Nº, Bairro)</b> SAN Q. 3 Bloco A - Edifício Núcleo dos Transportes			
<b>Cidade</b> Brasília	<b>UF</b> DF	<b>CEP</b> 70.040-902	<b>(DDD) Telefone</b> (61) 3315-4102
<b>Nome do representante legal</b> Antônio Leite dos Santos Filho			<b>CPF</b> 622-██████-00
<b>CI / Órgão Exp. / Emissão</b> 3-██████36 SSDS/PB		<b>Cargo</b> Diretor Geral	



### 5 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto	Período de Execução
Aprimoramento e consolidação do método mecanístico-empírico de dimensionamento para pavimentos rodoviários flexíveis (MeDiNa) e estudos complementares com geossintéticos e drenagem para pavimentos ferroviários.	60 (sessenta) meses a partir da data da assinatura
<b>Valor Total</b> R\$ 8.514.511,00 (oito milhões quinhentos e catorze mil quinhentos e onze reais)	

#### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE

Nome Completo: Márcio Muniz de Farias  
Vinculação: Laboratório de Infraestrutura – InfraLab  
Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5345279954551868>  
Titulação: Doutor

#### Experiência acadêmica e profissional do coordenador-geral relacionado ao projeto:

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (1983), mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986), doutorado na University of Wales at Swansea, UK (1993), pós-doutorado no Nagoya Institute of Technology-NIT, Japão (1998) e Especialidade em Projeto Rodoviário pela JICA, Japão (2000). É professor da Universidade de Brasília desde 1986, pesquisador nível PQ-1A do CNPq, membro do comitê editorial científico da revista nacional Pavimentação (ABPv-Brasil) e das internacionais Road Materials and Pavement Design-RMPD (Elsevier) e Underground Space (Taylor & Francis), foi membro dos comitês da revista binacional Geotecnia (Brasil/Portugal) até 2013 e da Soils and Foundations (Japanese Geotechnical Society) entre 2013 e 2015. Tem experiência nas áreas Geotecnia e Pavimentação, com ênfase em Métodos Numéricos, atuando principalmente nos seguintes temas: pavimentação, análise numérica e modelos constitutivos. Orientou 28 teses de doutorado, 41 dissertações de mestrado e vários trabalhos projetos de iniciação científica e de graduação. Publicou mais de 300 trabalhos científicos. Recebeu oito prêmios científicos e proferiu várias palestras e keynote lectures em eventos internacionais. Coordena diversos projetos com financiamento institucional da CAPES, CNPq e FAPDF. Tem atuador como consultor das agências nacionais de fomento à pesquisa, é membro do Conselho Superior da FAPDF e foi membro do Comitê Assessor de Engenharias do CNPq e do Comitê de Avaliação de Pós-graduação em Engenharias I da CAPES. Atualmente é Professor Titular e Diretor da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

#### 5.2 IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

##### ○ INTRODUÇÃO

Este projeto de pesquisa é uma resposta à demanda feita pelo DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, encaminhada à Universidade de Brasília via ofício número 44348/2019/IPR/DPP/DNIT SEDE. Nessa demanda, o DNIT solicitou apoio para o aprimoramento do programa de dimensionamento de pavimento rodoviário (flexível), bem como estudos com a

utilização de geossintéticos para pavimentos ferroviários e aplicações na drenagem subsuperficial em soluções especificamente para tratamento de solos moles.

A oportunidade de participar do aprimoramento metodológico do programa de dimensionamento, mais especificamente o MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional) e de diversos estudos complementares, reforça o desenvolvimento das pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no âmbito da linha de investigação do InfraLab – Laboratório de Infraestrutura, capitaneada pelo proponente e ativa há mais de 20 anos.

O desafio de pesquisa que traz relevância para a linha de investigação é o desenvolvimento de arcabouço teórico e metodológico com vistas ao aprimoramento do método de dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis, como também a contribuir para construção do conhecimento para desenvolver futuros métodos de dimensionamento de pavimento ferroviário.

Esta proposta não contempla os estudos com a utilização de geossintéticos para pavimentos rodoviários, bem como para soluções de aterros ferroviários e aplicações na drenagem profunda para tratamento de solos moles.

O presente projeto tem como objeto uma cooperação técnico-científica, intercâmbio de conhecimentos, informações e experiências entre a Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Universidade de Brasília (UnB), visando ao aprimoramento e consolidação do método de dimensionamento de pavimentos para o modo rodoviário e pesquisas direcionadas à infraestrutura ferroviária para contribuir na construção do conhecimento, a fim de desenvolver futuros métodos de dimensionamento de pavimento ferroviário.

Cumprindo a legislação vigente, a UnB poderá, a seu critério, contratar a sua Fundação de Apoio, em benefício da execução do Projeto. Neste caso, a UnB deverá manter estrito controle dos recursos financeiros recebidos, de modo a empregá-los exclusivamente no objeto deste TED, conforme estabelecido no Plano de Trabalho anexo.

### **Objetivos (geral e específico)**

Como objetivo geral, para além dos próprios resultados técnicos e econômicos, aponta-se o aprimoramento e consolidação das teorias, métodos e instrumentos para dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis, bem como contribuir para construção do conhecimento, a fim de desenvolver métodos de dimensionamento de pavimento ferroviário.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Revisão, aprimoramento e desenvolvimento metodológico do método mecanístico-empírico de dimensionamento para pavimentos rodoviários flexíveis (MeDiNa);
- Revisão, aprimoramento e consolidação das teorias, métodos e instrumentos para dimensionamento de pavimentos ferroviários com uso de geossintéticos;
- Revisão, aprimoramento e consolidação das teorias, métodos e instrumentos para dimensionamento de drenagens para pavimentos ferroviários.



### ○ REVISÃO DA LITERATURA

A literatura essencial para o desenvolvimento do projeto será apresentada nesta seção. A revisão sintetiza a compreensão da abordagem mecanístico-empírica do dimensionamento de pavimentos flexíveis, e Novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) para a abordagem rodoviária, além da ampliação da base de dados de materiais lateríticos para camadas de base e sub-base. Ainda, para o modo ferroviário, são abordados conhecimentos de aterros sobre solos moles, instrumentação dos mesmos e utilização de geossintéticos para drenagem de ferrovias.

### **II.1 ABORDAGEM RODOVIÁRIA**

Faz-se, nesta seção o levantamento bibliográfico de temas relativos aos pavimentos rodoviários e seu dimensionamento. Posteriormente, aspectos ligados a materiais lateríticos usados na pavimentação, além de estudos sobre misturas granulométricas e asfálticas são abordados, por fazerem parte do escopo do projeto.

#### **II.1.1 DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

O pavimento rodoviário é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (Bernucci et al, 2008). No caso de pavimentos flexíveis, a camada de revestimento superficial, que recebe diretamente as cargas do tráfego, é geralmente composta de concreto asfáltico.

O dimensionamento de um pavimento consiste basicamente na definição de materiais adequados para a construção de camada, bem como do cálculo das espessuras de cada camada em função das condições do material de fundação (subleito), das solicitações do tráfego ao longo do período de projeto, e das condições ambientais na região de implantação da rodovia. Em função da variabilidade do tráfego e do clima ao longo do período de vida útil (10 a 20 anos, em geral) de uma rodovia, o dimensionamento é um processo complexo e diferentes metodologias estão disponíveis de acordo com os órgãos regulatórios de cada país.

O método de dimensionamento atualmente utilizado no Brasil (Souza,1981) remonta a estudos da década de 1960 e adota uma abordagem predominantemente empírica com base em estudos realizados em pistas experimentais desenvolvidas nos Estados Unidos (Refer). Apesar de várias adaptações para a realidade local, tal método encontra-se defasado em função das mudanças no volume e tipo de tráfego, surgimento de novos materiais e novas formas avançadas de cálculo.

Com o desenvolvimento de novas teorias de comportamento de materiais e o avanço de métodos de cálculo com o auxílio de computadores, a tendência mundial é pela adoção de métodos de cálculos mais racionais. Estes métodos fazem uso de conceitos das teorias de elasticidade, plasticidade e visco-elasticidade, para matematizar o comportamento constitutivo dos materiais. Os cálculos das espessuras das camadas são baseados em estimativas dos estados de tensão e deformação gerados no interior da estrutura do pavimento. Para tanto, as condições de equilíbrio são obtidas com base nas equações da Mecânica dos Meios Contínuos. Para análise do fenômeno de fadiga das camadas coesivas, é possível utilizar a Mecânica das Fraturas e também a Mecânica de Danos. Daí se dizer que estes métodos são (em parte) mecanísticos.



Independentemente de o método de dimensionamento ser mais empírico ou mais mecânico, a estimativa confiável de vida útil dos pavimentos requer a disponibilidade de modelos consistentes, calibrados e validados para a previsão correta do desempenho futuro dos pavimentos. Desta forma a comparação de resultados dos modelos com dados reais é indispensável para validar sua aplicabilidade, capacidade de representação e limitações. A calibração de modelos permite o ajuste de seus parâmetros dentro de intervalos aceitáveis, fazendo com que o erro entre os resultados do modelo e os medidos sejam minimizados até uma acurácia aceitável.

O dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos flexíveis tem sido adotado como uma alternativa muito mais confiável e otimizada do que métodos empíricos tradicionais.

Lista-se, abaixo, os principais textos de referência:

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO (1986). Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D. C.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. Interim Edition, A Manual of Practice. Washington, D. C.
- FRANCO, F. A. C. P. (2007). Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ.
- FRANCO, F. A. C. P. (2018). Análise Elástica de Múltiplas Camadas. Manual de Utilização. Versão 2.4. Rio de Janeiro.
- FRANCO, F. A. C. P. (2018). BackMeDiNa. Manual de Utilização. Versão 1.1. Rio de Janeiro.
- FRANCO, F. A. C. P. (2018). MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional. Manual de Utilização. Versão 1.0.0. Rio de Janeiro.
- RESEARCH BOARD, Washington, DC, 179–190. National Cooperative Highway Research Program - NCHRP (2004) Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report NCHRP 1-37 A. Champaign, Illinois.

Adicionalmente, a seguinte produção acadêmica/técnica própria lastreia teórica e metodologicamente o desenvolvimento do projeto:

- ALVARES, L. ; B NETO, L. ; BERNUCCI, L. L. B. (1998). Proposta de Um Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis Para Vias de Baixo Volume de Tráfego Com Utilização de Solos Lateríticos. In: 31a Reunião Anual de Pavimentação. 31a Reunião Anual de Pavimentação. São Paulo. v. 1. p. 372-389.
- ARAÚJO, J. L. (2009). Características Funcionais e Mecânicas de Misturas Asfálticas para Revestimento de Pavimentos Aeroportuários. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM177/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 147 p.
- BERNUCCI, L. L. B. (1997). Módulo Resiliente de Solos Lateríticos e Sua Aplicação Ao Dimensionamento de Pavimentos de Vias de Baixo Volume de Tráfego. In: I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. I Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro, RJ. v. II. p. 490-508.
- FARIAS, M. M.; MONTEIRO, S. A. (1996). Utilização de Modelos Elásticos Lineares e Não-Lineares Na Retroanálise de Propriedades de Pavimentos. In: 30a Reunião Anual de



- Pavimentação, 1996, Salvador, BA. Anais da 30ª Reunião Anual de Pavimentação, v. 2. p. 791-809.
- FARIAS, M. M.; MELLO, L. G. R. (2016) . Ensaio modernos de desempenho de misturas asfálticas com vistas ao dimensionamento mecânico de pavimentos flexíveis. (Curso de curta duração ministrado/Extensão).
- FARIAS, M. M. ; SINISTERRA, F. Q. ; QUINTANA, H. A. R. (2019) . Behavior of a hot mix asphalt made with recycled concrete aggregate and crumb rubber. CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, v. 46, p. 544-551.
- MONTEIRO, S.A. (1996). Análise comparativa entre metodologias de dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis. Dissertação de Mestrado, Publicação G.D.M.-034ª/96, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133 p.
- MONTEIRO, S. A. ; FARIAS, M. M. ; CARVALHO, J. C. (1996). Estudo Comparativo de Metodologias de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis. In: 30ª Reunião Anual de Pavimentação, 1996, Salvador - BA. Anais da 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador, Bahia, Brasil, v. 3. p. 1397-1426.
- MOTA, R. V. ; BOSSO, M. ; BESSA, I. S. ; VASCONCELOS, KAMILA L ; BERNUCCI, L.L.B. (2018). Efeito do Tráfego no Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Utilizando Dados de Pedágio. In: 32º Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, 2018, Gramado, RS. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes.
- PAOLUCCI, H. N. ; FARIAS, M. M. ; CARVALHO, J. Camapum. (1995). Análise de Dimensionamento de Um Pavimento Flexível Através de Um Programa de Elementos Finitos. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, 1995, Cuiabá, MT. Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, . v. 2. p. 464-493.
- SANTOS, C. R. ; SUZUKI, C. Y.; BERNUCCI, L. L. B. (2016). A Probabilistic Approach for Asphaltic Pavements Design in Brazil. In: Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements. Proceedings of the Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements. p. 593-602.
- SANTOS, C. R. G. ; BERNUCCI, L. L. B. ; SUZUKI, C. Y. (2012). Considerações sobre Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Utilizando uma Abordagem Probabilística. Revista Pavimentação, v. 24, p. 47-63.
- SOUZA JR, J. G. ; MOTTA, L. M. G. ; SILVA, R. C. (2019). Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos pelo Novo Método Normalizado no Brasil (MeDiNa). In: 9º Congresso Rodoviário Português, 2019, Lisboa. 9º Congresso Rodoviário Português - Importância de boas práticas.

### **II.1.2 COMPORTAMENTO DE MATERIAIS LATERÍTICOS, MISTURAS GRANULOMÉTRICAS E ASFÁLTICAS**

Há uma relação direta entre os materiais utilizados e a durabilidade das estruturas de pavimento. A qualidade dos materiais utilizados está, muitas vezes, ligada aos custos e às limitações ambientais que são impostas, outras vezes, é condicionada à falta de materiais apropriados na região.

Os principais estudos próprios que embasam o levantamento de características técnicas de materiais lateríticos para utilização em pavimentos rodoviários, misturas granulométricas e asfálticas são listados a seguir.



- BEJA, I. A. ; FARIAS, MÁRCIO M. ; BARBOSA, L. Y. S. (2018). Dosagem De Mistura Tipo Large Stone Asphalt Mixture No Distrito Federal. In: 32 ANPET, 2018, Gramado - RS. Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. p. 1620.
- FALCÃO, P. R. F. ; OLIVEIRA, C. G. M. ; FARIAS, M. M. ; BENEVIDES, S. A. S. (2003). Influência da Variação da Composição Granulométrica nas Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas CBUQ. In: 12a Reunião Anual de Pavimentação Urbana, Aracaju, Sergipe, 2003. p. 1-17.
- GÓNGORA, IVONNE A. M. G. (2016); Palmeira, Ennio M. . Assessing the Influence of Soil-Reinforcement Interaction Parameters on the Performance of a Low Fill on Compressible Subgrade. Part II: Influence of Surface Maintenance. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, v. 2, p. 2-12.
- MELLO, F. G. R. ; FARIAS, M. M.Z ; KALOUSH, K. E. (2018). Using damage theory to analyze fatigue of asphalt mixtures on flexural tests. INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT RESEARCH AND TECHNOLOGY, v. 11, p. 617-626, 2018.
- MOIZINHO, J. C. ; CARVALHO, J. C.; FARIAS, M. M. (2006). Comportamento mecânico de misturas betuminosas com agregados lateríticos. In: 37a Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) / 11o Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), Goiânia, Goiás. Os Caminhos da Integração, 2006. v. 1. p. 1-12.
- MOIZINHO, J. C. ; CARVALHO, J. C. ; FARIAS, M. M. (2006). Caracterização de agregados lateríticos do Distrito Federal e do estado de Roraima para uso em obras rodoviárias. In: III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, 2006, Curitiba, Paraná. COBRAMSEG 2006. v. 1. p. 185-190.
- MOIZINHO, J. C. ; CARVALHO, J. C. ; FARIAS, M. M.; BERNUCCI, L. L. B. (2006). Comportamento de Mistura Betuminosa Densa Fabricada com Agregado Laterítico do Distrito Federal. In: 13ª Reunião Anual de Pavimentação, Maceió, Alagoas, Brasil. 13ª Reunião Anual de Pavimentação, 2006. p. 1-11.
- MOIZINHO, J. C. ; CARVALHO, J. C. ; FARIAS, M. M.(2008) . Uso de Agregados Lateríticos em Obras geotécnicas. In: XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios, Rio de Janeiro. COBRAMSEG, 2008. v. 2. p. 2196-2202.
- MOIZINHO, J. C. ; CARVALHO, J. C. ; FARIAS, M. M. (2009). Capítulo 7 - Caracterização e Uso de Agregados Lateríticos em Misturas Asfálticas: Uma Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável das Regiões Norte e Nordeste do País. In: José Camapum de Carvalho; Manoel Porfírio Cordão Neto; Larissa Andrade de Aguiar. (Org.). Coleção Geotecnia UnB. 1ed.Brasilia - DF: Editora FT, v. 1, p. 133-153.
- OLIVEIRA, S. A. B. ; REIS, J. M. ; PEREIRA, J. H. F. ; CARVALHO, J. Camapum ; FARIAS, M. M. (1997). Caracterização Mecânica de Materiais Recicláveis Para Base de Pavimento. In: I SIMBATRA- 1o Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo de Tráfego, 1997, Rio de Janeiro - RJ. Anais do I SIMBATRA- 1o Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo de Tráfego. Rio de Janeiro, Brasil, v. II. p. 695-705.
- OLIVEIRA, C. G. M. ; FARIAS, M. M. ; CARVALHO, J. C. (2003). Estudo de Misturas Asfálticas Drenantes com Agregado Calcário do DF. In: VIII ENACOR, Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Gramado, RS, Brasil, 2003. p. 1-10.
- PALMEIRA, E. M.; GÓNGORA, I. A. G. (2016). Assessing the Influence of Some Soil-Reinforcement Interaction Parameters on the Performance of a Low Fill on Compressible Subgrade. Part I: Fill Performance and Relevance of Interaction Parameters. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, v. 2, p. 1-17.





- RIBEIRO, L. R. ; CARVALHO, J. C. ; PALMEIRA, E. M. (2005). The Use of Alternative and Improved Construction Materials and Geosynthetics in Pavements-Chapter 26. In: Buddima Indraratna. (Org.). Ground Improvement Case Histories. 1ed.London: Elsevier, v. 1, p. 767-790.
- SANTOS, J. (2004). Estabilização de uma Argila Laterítica do Distrito Federal para uso em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-127/04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 95 p.
- SILVA, R. C.; AMARAL, L. S. ; MUNIZ, D. D. ; ROMEIRO JUNIOR, C. L. S. (2015). Análises do Comportamento e Desempenho dos Pavimentos da Via040, Brasília/DF a Juiz de Fora/MG. Revista ANTT, v. 7, p. 1-15.
- SILVA, R. C.; SOUZA JR, J. G. (2016). Análises de Desempenho dos Pavimentos com uso do HDM-4. In: Anna Laura L.S. Nunes, Cláudio F. Mahler, Fernando A.B. Danziger, Francisco J.C.O. Castro, Francisco R. Lopes, Francisco Thiago S. Aragão, Ian S.M. Martins, Laura M.G. Motta, Marcio S.S. Almeida, Maria C. Barbosa, Mauricio Ehrlich. (Org.). Jacques de Medina : visionário humanista. 1ed.Rio de Janeiro / RJ: COPPE/UFRJ, v. 1, p. 371-379.
- SILVA, R. C.; SOUZA JR, J. G. ; COSTA, D. P. ; AMARAL, L. S. ; ROMEIRO JUNIOR, C. L. S. ; MUNIZ, D. D. (2016). Desempenho Funcional e Estrutural de Pavimentos Flexíveis. In: 45ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), 2016, Brasília/DF. Técnicas de pavimentação e conservação rodoviária.
- SILVA, R. C.; SOUZA JR, J. G. ; UZEDA, L. A. P. G. (2019). Gerência de Pavimentos através de Monitorações e Modelagens. In: 9º Congresso Rodoviário Português, Lisboa. 9º Congresso Rodoviário Português - Importância de boas práticas.

## **II.2 ABORDAGEM FERROVIÁRIA**

Acerca dos pavimentos ferroviários, são levantadas bibliografias necessárias para o planejamento de instrumentação de trecho experimental de ferrovia, implementação de modelo físico laboratorial, e estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias.

### **II.2.1 INSTRUMENTAÇÃO DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO FERROVIÁRIA**

A ocorrência de camadas de solo mole em projeto de construção dos aterros ferroviários demanda soluções geotécnicas fundamentadas em investigações de campo e laboratoriais específicas. Tais soluções devem garantir a estabilidade do aterro com o menor custo e tempo de execução possível para o tipo de subsolo. Atualmente, existem diversas soluções geotécnicas aplicáveis a aterros sobre solo mole, sendo que cada uma possui custos e aplicabilidade variáveis, de acordo com o caso em questão.

Investigações de campo e laboratoriais, associadas ao uso de instrumentação geotécnica, permitem compreender e prever o comportamento de aterros construídos sobre depósitos de solo mole. A instrumentação fornece dados que permitem a verificação de critérios e parâmetros adotados em projeto, indicando o desempenho da obra. Adicionalmente, o monitoramento contínuo possibilita o acompanhamento da segurança da obra, durante ou mesmo após a construção, permitindo tomadas de decisão e a realização de medidas corretivas, caso necessárias. Neste sentido são apresentadas as bibliografias relevantes sobre o assunto.



- FERNANDES, G. ; PALMEIRA, E. M. ; GOMES, R. C. (2008). Performance of Geosynthetic Reinforced Alternative Sub-Ballast Material in a Railway Track. *Geosynthetics International*, v. 15, p. 311-321.
- FERNANDES, G. ; GOMES, R. C. ; PALMEIRA, E. M. (2002). Utilização de Solos Finos Naturais, Resíduos de Mineração e Materiais Sintéticos em Projetos de Infra-Estrutura de Rodovias e Ferrovias. In: V Congresso de Engenharia Civil, 2002, Juiz de Fora. Anais. Juiz de Fora, MG: UFJF, 2002. v. 1. p. 1-10.
- FERNANDES, Gilberto ; PALMEIRA, E. M. ; GOMES, R. C. (2007). Comportamento Mecânico de Seções Instrumentadas de Ferrovia em Escala Real de Uso com Geotêxteis e Geogrelhas Intercalados entre Subleito, Sublastro e Lastro. In: 5o. Simpósio Brasileiro de Geossintéticos-Geossintéticos 2007/REGEO, 2007, Recife. Anais. Recife: ABMS/IGS-Brasil. v. 1. p. 1-7.
- PALMEIRA, E. M.(1998). Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads On Very Soft Soils: Construction And Maintenance Effects. In: 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta. Proceedings. ATLANTA, USA: IGS/IFAI, 1998. v. 2. p. 885-890.
- PIMENTEL, K.C.A. (2007). Estradas Não-pavimentadas e Ferrovias Reforçadas com Geossintéticos. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-042/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 293 p.

### II.2.2 MODELOS FÍSICOS DE FERROVIAS

A principal ideia da instalação experimental de um modelo 1:1 é ter disponível um aparato de ensaio em escala real para estudar desempenho de novos conceitos e validação dos desenvolvimentos teóricos. Isto possibilita aprimorar o desenvolvimento de projetos e construção de dormentes.

Trabalhos próprios que permeiam o assunto estão relacionados a seguir:

- EHRlich, M. ; SILVA, R. C. ; COSTA, D. P. ; LEITE, M. L. (2017). Aterro sobre Depósito de Tálus-Colúvio. In: VII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Florianópolis. COBRAE 2017 - VII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas.
- FERNANDES, G. (2005). Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-027A/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 253p.
- FERNANDES, G. ; PALMEIRA, E. M. ; GOMES, R. C. (2007). Comportamento Mecânico de Seções Instrumentadas de Ferrovia em Escala Real de Uso com Geotêxteis e Geogrelhas Intercalados entre Subleito, Sublastro e Lastro. In: 5o. Simpósio Brasileiro de Geossintéticos-Geossintéticos 2007/REGEO, Recife. Anais. Recife: ABMS/IGS-Brasil, 2007. v. 1. p. 1-7.
- MONTE, L. M. (1996). Estudos de mecanismos de deformação e ruptura de aterros reforçados sobre solos de baixa capacidade de carga. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 037-A/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 124 p.
- PIMENTEL, Karla Cristina Araújo ; BATHURST, Richard J ; PALMEIRA, E. M. (2008). Análise Numérica de um Modelo Reduzido de uma Ferrovia Reforçada com Geossintéticos. In: XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica-XIV COBRAMSEG, 2008, Búzios. Anais. São Paulo: ABMS, 2008. v. 1. p. 911-919.



### II.2.3 GEOSINTÉTICOS COMO ELEMENTO DRENANTE DE FERROVIAS

Em estruturas de terra as funções de drenagem, filtração ou camada resistiva à percolação de líquidos são realizadas, como regra geral, por camadas de solos com diferentes granulometrias e coeficientes de permeabilidade. O sistema de drenagem é de fundamental importância para evitar a deterioração da ferrovia devido à ação da água proveniente da chuva sobre as camadas de lastro e sublastro ou bombeada do subleito para o lastro. Um geocomposto drenante disposto em pontos importantes da estrada de ferro pode atuar na drenagem transversal da seção, prevenindo o acúmulo de água. Para esta aplicação o geocomposto deve apresentar grande capacidade drenante e resistência a danos mecânicos. Se adequadamente especificado e instalado, os geossintéticos podem melhorar o desempenho das ferrovias, aumentando a sua vida útil e reduzindo o número de manutenções periódicas.

As seguintes bibliografias próprias embasam teoricamente o tema:

DA SILVA, C.A. ; PALMEIRA, E.M. (2013). Performance comparison of conventional biplanar and low-cost alternative geocomposites for drainage. *Geosynthetics International*, v. 20, p. 226-237.

PALMEIRA, E. M.; GARDONI, M. G. (2002). Drainage and Filtration Properties of Non-Woven Geotextiles Under Confinement Using Different Experimental Techniques. *Geotextiles and Geomembranes*, Great Britan: Elsevier Publ., v. 20, n.2, p. 97-115.

GARDONI, M. G. ; PALMEIRA, E. M. (2009). Contribuições para o Estudo dos Geossintéticos em Sistemas de Filtração e Drenagem. In: J.C. Carvalho; M.P. Cordão Neto; L.A. Aguiar. (Org.). *Geotecnia UnB - Livro Comemorativo dos 20 Anos do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB*. 1ed.Brasília: Editora FT, v. 1, p. 51-70.

GARDONI, M. G.; ARAÚJO, G. L. ; PALMEIRA, E. M. (2012). Uso de Geossintéticos em Estruturas de Drenagem e Infiltração. In: José Camapum de Carvalho; Gilson de Farias Neves Gitirana Junior; Eufrosina Terezinha Leão Carvalho. (Org.). *Tópicos sobre Infiltração: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais*. 1ed.Brasília: Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB, v. 1, p. 309-329.

NICOLATO, L. (2019). Geotêxtil como elemento de separação em pavimento ferroviário. *Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-323/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100 p.*

drenagem. *Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-030ª/96, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 104 p.*

#### o **MÉTODO**

Um “modelo” consiste de uma representação simplificada da realidade, de um objeto ou de fenômeno. O modelo pode ser mental, físico, geométrico, matemático, computacional etc. No caso de um pavimento rodoviário ou ferroviário e seus comportamentos, há modelos: i) físicos, que tentam representar a estrutura e suas camadas em escala real ou reduzida, em laboratório ou em campo; (ii) geométricos, que representam as camadas como planos perfeitamente horizontais e um subleito infinito; (iii) matemáticos, que reduzem o comportamento tensão-deformação do material a equações “constitutivas”, a evolução de danos (trincas e afundamentos) a equações de desempenho, e também o problema físico para equações de equilíbrio estático ou dinâmico, desprezando outros aspectos menos relevantes; (iv) computacional, que tenta resolver os sistemas



de equações matemáticas, resultantes da modelagem anterior, de maneira analítica ou aproximada (com auxílio de métodos numéricos).

A estimativa confiável de vida útil dos pavimentos requer a disponibilidade de modelos consistentes, calibrados e validados para a previsão correta do desempenho futuro dos pavimentos. Desta forma a comparação de resultados dos modelos com dados reais é indispensável para validar sua aplicabilidade, capacidade de representação e limitações. A calibração de modelos permite o ajuste de seus parâmetros dentro de intervalos aceitáveis, fazendo com que o erro entre os resultados do modelo e os medidos sejam minimizados até uma acurácia aceitável.

### **- Modelo para Dimensionamento do Pavimento Flexível**

Os métodos mecanísticos de projeto para pavimentos flexíveis são baseados nas tensões, deformações e deslocamentos que ocorrem no pavimento quando sujeitos ao carregamento do tráfego. Para simplificar o cálculo analítico dessas variáveis, é comum considerar que: (i) as camadas são horizontais; (ii) os materiais são perfeitamente elásticos lineares; e (iii) as camadas estão perfeitamente conectadas ou aderidas entre si, o que permite analisar o pavimento como uma estrutura monolítica. A consideração desta hipótese no modelo matemático/computacional afeta significativamente os valores previstos de tensão e deformação, e conseqüentemente as espessuras finais adotadas no dimensionamento.

Em campo, para se aproximar dessa condição, é comum a utilização de uma pintura de ligação, cuja eficiência depende de diversos fatores como as propriedades do material asfáltico empregado e sua taxa de aplicação (Raab et al., 2016). Mesmo com o auxílio dessas técnicas, uma conexão adequada nem sempre é alcançada e problemas relacionados à falha de aderência entre as camadas têm sido reportados em diversos estudos (Raab e Partl, 2004 e Sutanto, 2010).

Os danos típicos do pavimento causados por uma fraca ligação entre as camadas asfálticas ocorrem, comumente, em áreas de frenagem e aceleração devido aos esforços horizontais atuantes na estrutura. Contudo, os efeitos da falha de aderência no pavimento também são notados quando se admite, somente, esforços verticais (Romanoschi e Metcalf, 2001).

A hipótese de multi-camadas elásticas e aderidas é adotada no cálculo analítico de tensões e deformações codificados no programa MeDiNa, mais especificamente no módulo AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas). As simulações iniciais levam a receios que o dimensionamento com base nestas hipóteses seja conservador, levando as estruturas muito mais reforçadas em relação ao método empírico atual e, conseqüentemente mais caras. Este é um dos pontos cruciais a ser investigado neste projeto.

As hipóteses anteriores podem ser dispensadas a um custo de não ser possível obter soluções analíticas fechadas, mas as equações podem ser facilmente resolvidas com o auxílio de métodos numéricos. Neste projeto, os estudos de aderência serão modelados computacionalmente com o Método dos Elementos Finitos, por meio do software a ser definido, permitindo estimar o comportamento mecânico das estruturas sob diferentes condições de aderência entre as camadas asfálticas. Paralelamente serão realizadas modificações no código do programa MeDiNa de modo



a permitir condições de aderência variáveis entre todas as camadas da estrutura (de totalmente lisas a totalmente aderidas).

Uma vez calculadas as tensões e deformações, estas variáveis podem ser usadas a posteriori para estimar a evolução de danos que determinam a vida útil do pavimento. Dentre os principais danos encontram-se a propagação de trincas de fadiga (área trincada, A%), as deformações plásticas acumuladas (medida pelo afundamento nas trilhas de roda, R) e as irregularidades longitudinais (medidas pelo índice internacional – IRI). A evolução destes índices (A, R e IRI) com o tráfego (tempo) e condições ambientais é calculada por meios de equações com alguma base mecânica e/ou experimental, mas com a calibração altamente dependente das condições locais. Tais equações são chamadas de funções de desempenho ou funções de transferência. A necessidade de ajustes destas equações é o que torna o método em empírico-mecanístico.

Outro aspecto crucial de programa MeDiNa diz respeito à representatividade e confiabilidade das funções de transferência embutidas para a estimação da vida útil dos pavimentos flexíveis. Tais equações foram obtidas em condições muito restritas geograficamente e pouco representativas de toda a diversidade brasileira. Portanto as funções de transferência do programa MeDiNa devem ser reavaliadas e para tanto, deve-se inicialmente expandir a base de dados de estruturas observadas, incluindo-se outros tipos de estruturas em diferentes regiões do país. Para tal, devem ser monitorados novos trechos e adquiridas outras bases de dados de diversas fontes, tais como as concessionárias e empresas, quando possível. Com esta base de dados expandida será possível recalibrar as funções de transferência do programa, incluindo as novas condições de aderência introduzidas.

### **- Avanços para um Modelo para Dimensionamento do Pavimento Flexível**

Visando atingir os objetivos propostos neste projeto para análise de pavimentos ferroviários, serão executadas ações como: (1) instrumentação de um trecho experimental para análise da superestrutura e infraestrutura ferroviária; (2) implementação de modelo físico em escala 1:1 em laboratório e (3) realização de estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias.

Para a primeira ação, tem-se que os ensaios serão realizados nas diferentes camadas do terreno de fundação em solo mole e nos materiais utilizados para construção da superestrutura ferroviária. Posteriormente será estabelecido o projeto de instrumentação, o qual será baseado na solução e processo executivo de uma seção de obra a ser indicada pelo DNIT, sendo contemplado, no caso do solo mole, o mínimo previsto na Norma DNER PRO 381/98 e demais instrumentos para avaliação das tensões e deformações do restante da Via Permanente. O monitoramento de longo prazo das tensões e deformações mobilizadas no trecho ferroviário contemplará as etapas de: (i) estabilização dos recalques no terreno de fundação, em caso solo mole (estimam-se 2 anos); (ii) execução da superestrutura; e (iii) operação da ferrovia. As análises teóricas contemplarão abordagens analíticas e numéricas. Serão utilizados os resultados dos ensaios e dos monitoramentos in situ para validação de técnicas numéricas (medições versus predições). Após validação, serão elaboradas as análises paramétricas, considerando diferentes configurações executivas, variações de características e propriedades das camadas e elementos da grade e influência de geossintéticos para variações de carregamento. Com base na compreensão do

comportamento da infra e superestruturas e nas experiências adquiridas serão realizadas análises críticas das normas pertinentes ao sistema construtivo e materiais adotados para o trecho experimental. Também serão analisados métodos de modelagem numérica e modelos estruturais para previsão de comportamento e dimensionamento de pavimentos ferroviários.

Já na segunda ação, será necessária a implementação de um modelo em laboratório e em escala real (1:1) para simular o comportamento de uma seção de ferrovia. Para atingir o objetivo será considerada a construção do equipamento para simulação e sua respectiva instrumentação. Nesta etapa serão simuladas várias configurações de ensaio, onde será verificado o comportamento de geossintéticos nas funções de reforço e separação. Após a realização dos ensaios, serão utilizados os dados obtidos para execução de análises numéricas por meio de métodos dos elementos finitos (FEM) e discretos (DEM). Será feita uma análise crítica das normas pertinentes ao sistema construtivo e materiais adotados para os modelos físicos.

Finalmente para atingir a terceira fase de estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias, serão utilizadas teses, dissertações e artigos existentes acerca do assunto, assim como outros tipos de informações existentes na literatura. O intuito dessa análise é estabelecer claramente os fatores que afetam a capacidade de drenagem de materiais geossintéticos utilizados em estruturas de pavimentos ferroviários. Também será realizada análise das principais soluções utilizadas no país e no mundo para obras de drenagem em pavimentos ferroviários, tudo isso a partir de referências existentes.

Para atingir os objetivos as seguintes metas serão desenvolvidas:

<b>Frente</b>	<b>Rodoviária</b>	<b>Ferroviária</b>
<b>Metas</b>	0- Mobilização da equipe, implementação de bolsas e estruturação interna do projeto	
	I- Consolidação do Plano de Trabalho	
	II- Calibração da função de transferência e avaliação da Análise Elástica de Múltiplas Camadas – AEMC do MeDiNa	II- Instrumentação de trecho experimental para análise da superestrutura e infraestrutura ferroviária
	III- Protocolo para uso das diversas ferramentas do programa	III- Implementação de modelo físico em escala 1:1 em laboratório
	IV- Identificação das propriedades dos solos lateríticos, misturas granulométricas regionais e misturas asfálticas modificadas para complementação do Banco de Dados.	IV- Estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias



A seguir são descritas cada uma das metas propostas neste projeto para atingir os objetivos previstos.

### **MODO RODOVIÁRIO**

#### **Meta II: Calibração da função de transferência e avaliação da Análise Elástica de Múltiplas Camadas – AEMC do MeDiNa**

Em 2018, o IPR colocou à disposição do setor rodoviário a versão teste do programa MeDiNa, elaborado pela COPPE, o qual, segundo solicitado no ofício número 44348/2019/IPR/DPP/DNIT SEDE, deverá passar por ajustes na calibração das funções integradas ao software, bem como na contemplação do seu banco de dados relativo aos parâmetros de entrada das características dos materiais.

As atividades previstas para a calibração das funções de transferência serão desenvolvidas pelo grupo formado por pesquisadores da Universidade de São Paulo - USP, liderado pela Profa. Liedi Bernucci e demais membros indicados e bolsistas selecionados para compor esta equipe.

Serão realizados levantamentos e mapeamentos necessários a fim de avaliar e ampliar o banco de dados que alimenta o software. Os bancos de dados utilizados pela COPPE/UFRJ para o desenvolvimento da função de transferência, serão disponibilizados pelo DNIT para serem analisados no intuito de verificar as etapas de validação e calibração realizadas pela supracitada universidade.

Visando à ampliação do banco de dados e validação da função de transferência em cenários diversificados, será realizada a avaliação da utilização de informações e materiais presentes no HDM-4 e na Rede Temática de Asfaltos, também disponibilizados pelo DNIT. O programa HDM-4 foi desenvolvido pelo Banco Mundial para a análise econômica de rede rodoviária para investimentos com restrição orçamentária. O programa traz suas próprias funções de transferência, calibradas a partir de dados de diversos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil.

Além destes, serão avaliados materiais e referências em estudos realizados por universidades públicas e concessionárias de rodovias do país que possam contribuir e integrar o banco de dados do programa MeDiNa. Neste mesmo sentido, também serão escolhidos corredores logísticos, já mapeados no Plano Nacional de Manutenção Rodoviária, para inclusão no banco de dados. Caso necessário, serão realizados ensaios de campo para caracterização dos trechos selecionados (seção transversal, materiais, módulos).

Com a revisão, atualização e inserção do banco de dados no programa MeDiNa, espera-se alcançar o aprimoramento da calibração das funções de transferência e desta forma a obtenção da consolidação do método.

#### **Meta III: Protocolo para uso das diversas ferramentas do programa**



Esta meta se refere à análise e aprimoramento do software MeDiNa e será desenvolvido pelo grupo de trabalho da Universidade de Brasília, no Laboratório de Infraestruturas (Infralab/FT/UnB), sob a coordenação do professor Márcio Muniz. Os aperfeiçoamentos incluem a codificação de diferentes condições de adesão entre as camadas e a inclusão das novas funções de transferência e bancos de dados relativos à meta anterior.

O módulo AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas) permite o cálculo das tensões e deformações atuantes nas camadas das estruturas de pavimentos, assim como outros programas disponíveis e consolidados no mercado para o dimensionamento de pavimentos rodoviários. No programa MeDiNa é considerada a aderência somente entre as camadas asfálticas, conforme consta nas páginas 28 e 29 do “Guia para utilização do método Mecanístico-Empírico”; nas demais camadas é considerada a condição “não aderida”, em que os resultados dos pontos de interesse para a análise mecânica da estrutura apresentam a condição mais crítica. A condição de interface entre as camadas de um pavimento asfáltico afeta significativamente as respostas estruturais e devem, portanto, ser adequadamente consideradas nos métodos mecânicos de dimensionamento de pavimentos, ou seja, de acordo com as condições que efetivamente ocorrerão nos pavimentos em serviço.

Assim, visando ao ajuste e aprimoramento desta ferramenta de interface entre as camadas, o DNIT fornecerá o código fonte do programa MeDiNa, a fim de identificar como ocorre a rotina de cálculo operacionalizada.

Com o propósito de validar os resultados apresentados pelo MeDiNa, estes serão confrontados contra resultados obtidos com outro programa de análise de tensão-deformação, a ser definido. Além disso, será realizada a verificação do tempo de vida útil do pavimento (modelos de predição) com base em diferentes parâmetros de projeto (fadiga e deformação permanente), em relação aos modelos existentes em diferentes programas tais como, MEPDG e MOVE 3D, por exemplo.

Serão realizados os estudos de interface das camadas, modelados com elementos finitos (Método dos Elementos Finitos – MEF), por meio de software a ser definido, permitindo estimar o comportamento mecânico das estruturas sob diferentes condições de aderência: aderidas, não-aderidas e semi-aderidas.

Busca-se desta forma o aprimoramento, acurácia e melhoria da ferramenta do programa MeDiNa que determina a priori a relação de interface entre as camadas do pavimento.

### **Meta IV: Identificação das propriedades dos solos lateríticos, misturas granulométricas regionais e misturas asfálticas modificadas para complementação do Banco de Dados**

Há uma relação direta entre os materiais utilizados e a durabilidade das estruturas de pavimento. A qualidade dos materiais utilizados está, muitas vezes, ligada aos custos e às limitações ambientais que são impostas, outras vezes, é condicionada à falta de materiais apropriados na região. Diferentes materiais são utilizados em cada camada de um pavimento flexível, como por exemplo: solos naturais ou melhorados no subleito, cascalhos lateríticos em sub-bases e bases, brita





graduada natural ou tratada com cimentos nas bases, e diferentes tipos de concretos asfálticos na camada de revestimento.

É crescente no Brasil a realização de estudos que remetem à aplicação de diferentes tipos de granulometrias para as misturas asfálticas (misturas descontínuas, misturas abertas, misturas com o uso de grandes agregados), assim como o uso modificantes de ligantes asfálticos como polímeros, incluindo a borracha reciclada de pneu.

Desta forma para complementar o banco de dados presente no MeDiNa é necessário realizar a identificação das propriedades dos materiais que compõem as diferentes camadas dos pavimentos asfálticos que alimentam o programa.

Após a definição destas propriedades será elaborado um manual de ensaios necessários para obtenção dos parâmetros de entrada do software MeDiNa, considerando a obtenção de parâmetros de forma direta, indireta por correlações ou retroanálise. Com vistas a ampliar as informações disponíveis no programa a respeito dos parâmetros dos materiais, será realizado o levantamento e mapeamento de propriedades físicas e mecânicas dos materiais que compõem as diversas camadas dos pavimentos asfálticos em diferentes regiões brasileiras com base em dados bibliográficos e ensaios de caracterização e comportamento mecânico dos materiais da região Centro-Oeste.

Uma vez que as atividades previstas até o momento recorrem à formação de banco de dados a ser consolidado por dados existentes em pesquisas já realizadas no setor de pavimentação rodoviária, estas serão desenvolvidas prioritariamente pelo grupo formado por pesquisadores da Universidade de São Paulo - USP, liderado pela Profa. Liedi Bernucci e demais membros indicados e bolsistas selecionados para compor esta equipe.

Utilizando-se o banco de dados dos materiais catalogados, será realizado um projeto de construção de pista experimental (dimensionamento e execução). Haverá definição de equipe para monitoramento, montagem, aquisição e controle dos ensaios de campo com simulador de tráfego em pista experimental, a ser construída no laboratório Infralab (Brasília, região Centro-Oeste), com supervisão da equipe da UnB.

A pista experimental poderá ser instrumentada e submetida a ensaios de campo, permitindo assim a etapa de calibração das funções de transferência com base em resultados medidos. Nesta etapa deve-se contar com o apoio do professor Rafael Cerqueira Silva (UnB, pesquisador sênior)

### **MODO FERROVIÁRIO**

As atividades relativas ao Modo Ferroviário serão realizadas na Universidade de Brasília, tendo a supervisão geral do professor Ennio Palmeira (Consultor e pesquisador sênior) no que concerne à utilização de materiais geossintéticos, tanto para as funções de reforço e separação, quanto para drenagem, o apoio do professor Rafael Cerqueira Silva (UnB, pesquisador sênior) no que concerne a aspectos de instrumentação de campo e de laboratório, e do professor Márcio Muniz (UnB, Coordenador geral e pesquisador sênior) no que se refere aos aspectos analíticos e numéricos.



### **Meta II: Instrumentação de trecho experimental para análise da superestrutura e infraestrutura ferroviária**

A ocorrência de camadas de solo com baixa capacidade de suporte em projeto de construção dos aterros ferroviários demanda soluções geotécnicas fundamentadas em investigações geotécnicas (ensaios de campo e laboratoriais) específicas. Tais soluções devem garantir a estabilidade do aterro com o menor custo e tempo de execução possível para o tipo de subsolo. Atualmente, existem diversas soluções geotécnicas aplicáveis a aterros sobre solos de baixa capacidade, sendo que cada uma possui custos e aplicabilidade variáveis, de acordo com o caso em questão.

Investigações de campo e laboratoriais, associadas ao uso de instrumentação geotécnica, permitem compreender e prever o comportamento de aterros construídos sobre depósitos de solo fracos. A instrumentação fornece dados que permitem a verificação de critérios e parâmetros adotados em projeto, indicando o desempenho da obra. Adicionalmente, o monitoramento contínuo possibilita o acompanhamento da segurança da obra, durante ou mesmo após a construção, permitindo tomadas de decisão e a realização de medidas corretivas, caso necessárias.

Nesta fase será avaliado o comportamento de uma plataforma ferroviária construída sobre solo de baixa capacidade, por meio de análises de resultados de ensaios de campo e laboratoriais e de monitorações de instrumentação instalada no solo e aterro (infraestrutura) e na superestrutura (conjunto trilho, dormente, lastro, sublastro e acessórios).

Destaca-se que durante esta etapa, a solução de estabilização do solo de fundação, dimensionamento da superestrutura e a execução do Trecho Experimental é de responsabilidade do DNIT, sendo desejável a utilização de geossintético, que também será monitorado. Os trabalhos da equipe de pesquisa consistirão das realizações de parte dos ensaios, projeto de instrumentações, programa de monitoração, acompanhamento das atividades de campo e análises. Os serviços de implantação da instrumentação e sistemas de aquisição de dados, monitoração, execução dos ensaios de campo e parte dos ensaios laboratoriais serão realizados por uma empresa de engenharia geotécnica.

### **Meta III: Implementação de modelo físico em escala 1:1 em laboratório**

Com o intuito de investigar o desempenho de pavimentos ferroviários construídos sobre solos reforçados com geossintéticos e com diferentes materiais de lastro e sublastro, será implementado um modelo físico em escala real (1:1). Os ensaios serão realizados em condições que permitam simular as condições físicas e os níveis de tensão a que estes materiais estarão sujeitos nas camadas de pavimento ferroviário, quando submetidos a cargas em movimento. Estes ensaios consistem na aplicação de um grande número de ciclos de carga, a corpos de prova de materiais granulares, como o lastro, simulando os níveis de tensão a que as camadas de pavimento estarão sujeitas, e medindo as deformações axiais induzidas nas amostras. Desta forma o procedimento adotado será utilizado para determinar as deformações permanentes, para um determinado material, sujeito a um nível de tensão específico, ou para definir parâmetros de modelos de prognóstico de



deformações, que podem ser utilizados na análise e no projeto do pavimento ferroviário, que funciona como um conjunto formado pelos trilhos, dormentes, lastro, sublastro e subleito.

O equipamento para a simulação do modelo compreenderá uma estrutura metálica, composta por uma caixa de 1m x 1m x 1m, um atuador de carga cíclica apoiado num marco rígido e um sistema de instrumentação e aquisição de dados. A carga aplicada será transmitida ao lastro através de um sistema de trilho acoplado a um dormente mediante uma fixação específica. Para o sucesso desta meta, será necessário inicialmente fazer a caracterização de diferentes tipos de materiais de lastro por meio de ensaios laboratoriais, realizados por terceiros e pela equipe de projeto, visando analisar as características físicas e mecânicas dos materiais estudados. Posteriormente será implementado o modelo físico em escala 1:1 em laboratório, sendo necessário a aquisição de atuador dinâmico para aplicação de carga cíclica em estruturas de pavimentos ferroviários. É necessário também a aquisição da instrumentação que será usada nos modelos, como por exemplo, medidores de deslocamento linear, célula de carga, células de tensões, piezômetros e extensômetros. Logo em seguida, com tudo pronto com relação ao equipamento para simulação de carregamento cíclico, serão realizadas as montagens de modelos físicos com diferentes configurações para simulação de estruturas ferroviárias sob condições de serviço. Nestas simulações serão representadas configurações de ensaios, nas quais será avaliado o uso de geotêxtil como elemento de separação entre as camadas do pavimento ferroviário. Também serão executados testes para avaliação da utilização de geogrelha e geotêxtil como elementos de reforço no pavimento ferroviário. Posteriormente serão analisados os comportamentos obtidos nos modelos físicos representados, mediante o uso de métodos numéricos contínuos (MEF) e métodos numéricos discretos (DEM). Finalmente, considerando os resultados obtidos nas etapas anteriores, serão realizadas análises críticas das normas pertinentes ao sistema construtivo e materiais adotados para os modelos físicos.

#### **Meta IV: Estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias**

Os geossintéticos podem desempenhar as seguintes funções em novas ferrovias ou na reabilitação de ferrovias existentes: separação de materiais com diferentes granulometrias, filtração, drenagem e reforço do solo. Em obras ferroviárias, os geossintéticos podem ser aplicados dentro ou abaixo da camada de lastro e/ou sublastro. Uma das aplicações mais estudadas é a função de drenagem, sendo o geossintético um elemento fundamental na construção de sistemas de drenagem.

O sistema de drenagem é de fundamental importância para evitar a deterioração da ferrovia devido à ação da água proveniente da chuva sobre as camadas de lastro e sublastro ou bombeada do subleito para o lastro. Tem-se, por exemplo, que um geocomposto drenante, disposto em pontos importantes da estrada de ferro, pode atuar na drenagem transversal da seção, prevenindo o acúmulo de água. Para esta aplicação, o geocomposto deve apresentar grande capacidade drenante e resistência a danos mecânicos. Se adequadamente especificado e instalado, os geossintéticos podem melhorar o desempenho das ferrovias, aumentando a sua vida útil e reduzindo o número de manutenções periódicas. Levando em consideração a grande importância da utilização de geossintéticos como elementos de drenagem em ferrovias, e ao mesmo tempo ponderando a grande quantidade de trabalhos existentes no país e o mundo acerca deste tema, será feita uma análise detalhada de alguns fatores de atuação dos geossintéticos em drenagem. Em primeiro lugar será realizada uma análise de dados existentes sobre os principais fatores que



afetam a capacidade de drenagem de materiais sintéticos (nível de tensão e impregnação, bem como mecanismos de colmatação). Finalmente será executada uma avaliação crítica das soluções utilizadas no país e no mundo para obras de drenagem em pavimentos ferroviários.

### ○ RECURSOS ENVOLVIDOS

Conforme o Anexo II o valor é R\$ 8.514.511,05 (oito milhões quinhentos e quatorze mil quinhentos e onze reais e cinco centavos).

### **Equipe:**

Abaixo estão listados os pesquisadores e estudantes que comporão a equipe inicial do projeto e que confirmaram interesse na participação. Foram selecionados em função de sua especialidade e potencial contribuição para o projeto de pesquisa. Ao longo do projeto, outros pesquisadores poderão vir a ser convidados/selecionados para compor a equipe, desde que haja previsão orçamentária. Na necessidade de substituição de membros da equipe inicial, deverá ser selecionado pesquisador de perfil semelhante ou superior.

### ***Frente Rodoviária:***

- Márcio Muniz de Farias (Coordenador Geral)
- Liedi Bernucci Bariani (USP, pesquisadora e consultora sênior)
- Letícia Nunes Lopes (pesquisadora)
- 1 pesquisador em Pós-doutorado
- 2 bolsistas de doutorado
- 4 bolsistas de mestrado
- 1 técnico de laboratório

### ***Frente Ferroviária***

- Ennio Marques Palmeira (UnB, pesquisador e consultor sênior)
- Rafael Cerqueira Silva (UnB, pesquisador sênior)
- Márcio Muniz de Farias (UnB, pesquisador sênior)
  
- Ivonne Maria Alejandra Gongora Gutierrez (pesquisadora)
- 1 pesquisador em Pós-doutorado
- 3 bolsistas de doutorado
- 6 bolsistas de mestrado
- 1 técnico de laboratório

A seguir são apresentados os currículos resumidos dos principais pesquisadores envolvidos neste projeto:

**MÁRCIO MUNIZ DE FARIAS (Proponente):** Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (1983), mestrado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986), doutorado na University of Wales at Swansea, UK (1993), pós-doutorado no



Nagoya Institute of Technology-NIT, Japão (1998) e Especialidade em Projeto Rodoviário pela JICA, Japão (2000). É professor da Universidade de Brasília desde 1986, pesquisador nível PQ-1A do CNPq, membro do comitê editorial científico da revista nacional Pavimentação (ABPv-Brasil) e das internacionais Road Materials and Pavement Design-RMPD (Elsevier) e Underground Space (Taylor & Francis), foi membro dos comitês da revista binacional Geotecnia (Brasil/Portugal) até 2013 e da Soils and Foundations (Japanese Geotechnical Society) entre 2013 e 2015. Tem experiência nas áreas Geotecnia e Pavimentação, com ênfase em Métodos Numéricos, atuando principalmente nos seguintes temas: pavimentação, análise numérica e modelos constitutivos. Orientou 28 teses de doutorado, 41 dissertações de mestrado e vários trabalhos projetos de iniciação científica e de graduação. Publicou mais de 300 trabalhos científicos. Recebeu oito prêmios científicos e proferiu várias palestras e keynote lectures em eventos internacionais. Coordena diversos projetos com financiamento institucional da CAPES, CNPq e FAPDF. Tem atuado como consultor das agências nacionais de fomento à pesquisa, é membro do Conselho Superior da FAPDF e foi membro do Comitê Assessor de Engenharias do CNPq e do Comitê de Avaliação de Pós-graduação em Engenharias I da CAPES. Atualmente é Professor Titular e Diretor da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

**ENNIO MARQUES PALMEIRA (UnB, pesquisador e consultor sênior):** Engenheiro civil pela UFRJ, mestre pela COPPE, doutor pela University of Oxford (1987), com estágio de pós doutorado na University of British Columbia. É Membro Titular da Academia Brasileira de Ciências e Professor Titular da Universidade de Brasília. Foi admitido na Ordem Nacional do Mérito Científico, na classe Comendador, pela Presidência da República do Brasil em 21/08/2008. Foi Coordenador de Engenharias I da CAPES e Coordenador do Comitê Assessor de Engenharia Civil do CNPq. Foi Editor da Revista Soils and Rocks da ABMS/ABGE/SPG (2004-2011), É Associate Editor do Canadian Geotechnical Journal e do Journal Geotextiles and Geomembranes e membro dos Corpos Editoriais dos periódicos Geosynthetics International, Geotextiles and Geomembranes, Environmental Geotechnics, Soils and Rocks e International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. Tem servido como consultor de diversos órgãos de fomento no país, do Australian Research Council-National Board of Employment Education and Training, do Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, do Chilean National Science and Technology Commission-FONDECYT e do Programa ALBAN da Comunidade Européia. É Membro Honorário da International Geosynthetics Society (IGS), tendo sido membro do Conselho da IGS e presidente de dois comitês dessa associação (Educação e América do Sul). Foi Mercer Lecturer 2007-2008 (IGS/ISSMGE). É também membro da ABMS, da Comissão de Normas da ABNT e do European **Committee on Standardization**. Proferiu diversas palestras e cursos no país e no exterior. Tem atuado como revisor de trabalhos para a Geotechnique, Canadian Geotechnical Journal, International Journal on Pavement Engineering, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering-ASCE, Journal of Environmental Engineering-ASCE, International Journal of Geomechanics-ASCE, Journal Geomechanics and Engineering, Geotechnical Testing Journal-ASTM, Soil Dynamics and Earthquakes, Soils and Foundations e Journal Geomechanics and Geoengineering, entre outros. Publicou mais de 350 trabalhos científicos. Orientou 53 dissertações de mestrado e 27 teses de doutorado, além de 16 trabalhos de iniciação científica e 26 trabalhos de conclusão de curso na área de Geotecnia. Recebeu 54 prêmios e/ou homenagens no país e no exterior. Atualmente coordena 8 projetos de pesquisa e atua na área de infraestrutura em Engenharia Civil, com ênfase em utilização de geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente e reforço e melhoria de solos.

**RAFAEL CERQUEIRA SILVA (UnB, pesquisador sênior):** Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 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 (ENC-Geotecnia/FT-UnB). Publicações em periódicos científicos, anais de congressos e capítulos de livros. Orientações de trabalhos científicos. Projetos de Pesquisa em parceria com a COPPE/UFRJ e concessionárias de rodovias federais reguladas pela ANTT. Desenvolvimento de tecnologias, metodologias e manuais técnicos. Foi consultor de engenharia rodo-ferroviária por 18 anos, atuando em drenagem, estabilidade de taludes/encostas, estruturas de contenção, análises de risco de deslizamentos, ensaios de campo e laboratoriais, instrumentação, monitorações, avaliação e gerência de pavimentos e pavimentação.

**LIEDI LEGI BARIANI BERNUCCI (USP, pesquisadora e consultora sênior):** Possui graduação em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), mestrado em Engenharia Geotécnica pela Universidade de São Paulo (1987), tendo feito pesquisa para seu mestrado no Institut Fuer Grundbau und Bodenmechanik - Eidgenoessische Technische Hochschule Zürich, ETHZ, Suíça, onde permaneceu de 1984 a 1986. Retornou à mesma Instituição suíça para seu doutorado sanduíche com bolsa da FAPESP (1988-1989) e finalizou seu doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (1995). Realizou sua Livre-Docência em 2001 e tornou-se em 2006 Professora Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, da qual é docente desde 1986. Foi a Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP por 7 anos no total, cargo que ocupou até março de 2014. É atualmente diretora da Escola Politécnica (2018-2022). Atua na área de Infraestrutura de Transportes: Vias Urbanas, Rodovias, Aeroportos e Ferrovias. Formou diversos alunos de graduação, de mestrado e de doutorado; supervisionou pós-doutorados; é autora do Livro Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, juntamente com Laura M.G. Motta, Jorge A P Ceratti e Jorge B. Soares; publicou mais de 160 trabalhos; foi editora da Transportes, de 1999 a 2003; coordena projetos de pesquisa financiados por órgãos de fomento, agências e por empresas públicas e privadas; foi coordenadora da Comissão de Asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível em 2007, coordenou o 19o. Encontro de Asfalto em 2008, e coordenou a área científica do Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões em 2009 e em 2011. Participa de diversas associações e grupos de trabalhos de normalização e estudos.

**LETÍCIA NUNES LOPES (UnB, pesquisadora):** Engenheira Civil formada na Universidade Federal de Ouro Preto (2014) e mestre (2017) em Geotecnia pela Universidade de Brasília. É tecnóloga em Edificações (2011) pelo CEFET-MG, tendo atuado em compatibilização de projetos, topografia e construção civil. Durante a graduação, atuou como bolsista do Núcleo de Geotecnia Aplicada-NGA no qual desenvolveu pesquisas de iniciação científica relacionadas a geossintéticos aplicados em mineração. Recentemente trabalhou na Fundação Getúlio Vargas - FGV/IBRE a fim de desenvolver custos médios gerenciais para o setor rodoviário (2019). Atualmente é bolsista de doutorado CAPES do Programa de Pós Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília PPG-UnB. Desenvolve pesquisa em pavimentação asfáltica, asfalto-borracha e comportamento mecânico de misturas asfálticas (fadiga e deformação permanente).

**IVONNE ALEJANDRA MARIA GUITÉRREZ GÓNGORA (pesquisadora):** Engenheira civil pela Universidade de Ibagué na Colômbia (2007), mestre (2011) e doutora (2015) em Geotecnia pela Universidade de Brasília. Possui artigos publicados em periódicos internacionais e artigos publicados em congressos e simpósios nacionais e internacionais. Em 2012 seu estudo consolidado na dissertação de mestrado foi premiado no 4º prêmio de projetos inovadores, Caixa Econômica - Federal - Sindimetal - Sinduscon-Norte/PR - Sebrae - Senai. No mesmo ano, lhe foi concedida a



segunda colocação no "Prêmio Estudante - IGS Brasil 2009/2012", da seção brasileira da International Geosynthetic Society (IGS). Atualmente, atua como revisora de artigos para o Canadian Geotechnical Journal. É também Professora na Universidade Católica de Brasília, lecionando no curso de engenharia civil, na área de Geotecnia. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotécnica, atuando principalmente nas áreas de: Geossintéticos, Pavimentação, Mecânica de solos, Estruturas de Contenção e Estabilidade de Taludes.

○ - **PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS OU TECNOLÓGICAS DA PROPOSTA**

Prevê-se como metas para o projeto os seguintes produtos acadêmicos:

- Aproximadamente 6 artigos em congresso nacional/internacional;
- No mínimo 5 artigos em periódicos qualificados (B1 ou superior) da área. Alternativamente, a produção pode ser organizada na forma de livro;
- 10 dissertações de mestrado;
- 5 teses de doutorado;
- 2 Workshops e Seminários.

○ - **CONTRIBUIÇÕES PARA A GRADUAÇÃO E/OU PÓS GRADUAÇÃO DA UnB**

- O projeto será desenvolvido em estreita parceria com a graduação do curso de Engenharia Civil e o Programa de Pós-Graduação em Geotecnia;
- O projeto envolve professores de outras instituições como a USP;
- Como anteriormente indicado, o projeto prevê a participação de alunos de doutorado, mestrado e graduação.
- Promoção de eventos científicos com temas relacionados ao projeto.
- Estabelecimento de parcerias entre docentes e discentes.
- Aproximação da Universidade com o setor público.



### 5 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O Quadro a seguir apresenta o cronograma de execução para o modo Rodoviário.

Metas	Atividades	Produtos	Duração (meses)	
			Início	Fim
I-Consolidação do Plano de Trabalho	I.1 - Detalhamento das atividades	Confirmação das estratégias e ações programadas para as diversas etapas do trabalho, especificando seu conteúdo, meios e subsídios necessários para a sua realização, distribuindo as tarefas e prazos entre os componentes da equipe. O Plano de Trabalho será apresentado no formato de Relatório Técnico e, após apreciado e aprovado, será o instrumento que norteará o andamento dos trabalhos.	01	01
II-Calibração da função de transferência Análise Elástica de Múltiplas Camadas - AEMC	II.1 - Análise da qualidade do banco de dados da função de transferência desenvolvida pela COPPE/UFRJ;	Relatório com levantamento dos bancos de dados estudados; apresentação do novo banco de dados elaborado e implementado, o estudo estatístico de avaliação e aplicabilidade da função de transferência. Nesta meta também serão apresentados como produtos a elaboração de trabalhos finais de graduação, dissertações e teses e artigos.	02	12
	II.2- Estudo da viabilidade da utilização do banco de dados do DNIT criado para a calibração do HDM, para a calibração da função de transferência;		07	18
	II.3 - Identificação dos bancos de dados existentes nos órgãos públicos, universidades brasileiras (Rede Temática de Asfaltos) e concessionárias;		02	24
	II.4 - Escolha de corredores logísticos já mapeados no Plano Nacional de Manutenção Rodoviária para inclusão no banco de dados. Caso necessário, realização de ensaios de campo para caracterização dos trechos selecionados (seção transversal, materiais, módulos);		02	54
	II.5 - Criação de um banco de dados integrando os diversos bancos analisados;		07	30
	II.6 - Validação do banco de dados implementado no MeDiNa com análises e estudos de sensibilidade dos parâmetros dos modelos de fadiga e deformação permanente, verificação estatística e aderência das funções de transferência;		07	60
III-Protocolo para uso das diversas ferramentas do programa	III.1- Identificação e verificação do código fonte do programa MeDiNa;	Relatório com avaliação e resultados obtidos nas respostas de tensão x deformação entre o programa MeDiNa e outros programas não definidos; estudos de comparação entre os resultados obtidos no programa MeDiNa e os demais programas de dimensionamento mecanístico utilizados e resultados da avaliação dos efeitos da condição de interface das camadas (aderência completa, parcial e nula). Este último possibilitando a adição de ferramentas ao programa MeDiNa que proporcionem tal avaliação ao projetista. Manual que agregam as melhorias e ajustes realizados ao programa MeDiNa. Nesta meta também serão apresentados como produtos a elaboração de trabalhos finais de graduação, dissertações e teses e artigos.	02	18
	III.2- Validação do MeDiNa contra outros programas de análise de tensão x deformação		02	38
	III.3- Verificação do tempo de vida útil do pavimento (modelos de predição) com base em diferentes parâmetros de projeto (fadiga e deformação permanente) em relação aos modelos existentes em diferentes programas MEPDG e MOVE 3D;		07	55
	III.4 - Realização de dimensionamento das camadas do pavimento utilizando-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) em software a ser determinado com diferentes condições entre as camadas: • Não-aderidas; • Meio-aderidas; • Semi-aderidas		07	55
	III.5 - Aprimoramento e melhoria da ferramenta do programa MeDiNa que pré determina a relação de interface entre as camadas do pavimento.		31	60
IV-Identificação das propriedades dos solos lateríticos, misturas granulométricas regionais e misturas asfálticas modificadas para complementação do Banco de Dados	IV.1 - Identificação das propriedades dos materiais que compõem as diferentes camadas dos pavimentos asfálticos e alimentação destes dados no MeDiNa;	Relatório com banco de dados de materiais e respectivos parâmetros de entrada no programa MeDiNa e manual de ensaios a serem realizados. Desenvolvimento de trabalhos finais de graduação, dissertações e teses e artigos que contemplem a pesquisa e o estudo sobre os materiais da região Centro-Oeste, seus parâmetros e aplicabilidade em camadas estruturais de pavimentos. Desenvolvimento de trabalhos finais de graduação, dissertações e teses e artigos que contemplem a pesquisa e o estudo sobre os materiais da região Centro-Oeste, seus parâmetros e aplicabilidade em camadas estruturais de pavimentos	02	16
	IV.2 - Elaborar um manual de ensaios necessários para obtenção dos parâmetros de entrada do software MeDiNa. (Obtenção de parâmetros de forma direta, indireta por correlações ou retroanálise);		07	24
	IV.3 - Levantamento e mapeamento de propriedades físicas e mecânicas dos materiais que compõem as diversas camadas dos pavimentos asfálticos em diferentes regiões brasileiras com base em dados bibliográficos;		02	55
	IV.4 - Ensaios de caracterização e comportamento mecânico dos materiais da região centro-este com vistas a gerar parâmetros para dimensionamento empírico-mecânico.		07	36
	IV.5- Elaboração de projeto de construção de pista experimental com utilização dos materiais catalogados da região centro-oeste: • Pista experimental laboratório (UnB, região centro-oeste);		25	60
	IV.6- Calibração das funções de transferência com base nos dados das pistas experimentais.		31	60





O Quadro a seguir apresenta o cronograma de execução para o modo Ferroviário.

Metas	Atividades	Produtos	Duração (meses)	
			Início	Fim
I- Consolidação do Plano de Trabalho	I.1 - Detalhamento das atividades	Confirmação das estratégias e ações programadas para as diversas etapas do trabalho, especificando seu conteúdo, meios e subsídios necessários para a sua realização, distribuindo as tarefas e prazos entre os componentes da equipe. O Plano de Trabalho será apresentado no formato de Relatório Técnico e, após apreciado e aprovado, será o instrumento que norteará o andamento dos trabalhos.	01	01
II-Instrumentação de trecho experimental para análise da superestrutura e infraestrutura ferroviária	II.1- Elaboracao de projeto de instrumentação e do programa de monitoração da infra e super estrutura da ferrovia	Relatório com resultados da Meta I e Dissertações Teses e Artigos	01	06
	II.2- Execução de ensaios de campo e laboratoriais por terceiros (infraestrutura solo mole e superestrutura material de lastro)		07	18
	II.3- Execução de ensaios de campo e laboratoriais pela equipe do projeto		07	18
	II.4- Instalação da instrumentação na camada de solo mole (infraestrutura)		19	24
	II.5- Monitoração da camada de solo mole (infraestrutura)		19	55
	II.6- Instalação da instrumentação da superestrutura		37	42
	II.7- Monitoração da superestrutura		37	55
	II.8- Análises analíticas e numericas		06	55
	II.9- Análises críticas das Normas pertinentes ao sistema construtivo e materiais adotados para o Trecho Experimental		06	55
	II.10- Proposição de métodos de modelagem numérica e modelos estruturais para previsão de comportamento e dimensionamento de pavimentos ferroviários		25	58
III-Implementação de modelo físico em escala 1:1 em laboratório	III.1 - Caracterização de diferentes tipos de materiais de lastro	Relatório com Banco de dados dos parâmetros físicos e mecânicos de materiais de lastro e de sublastro, como também os principais mecanismos de atuação dos geossintéticos em ferrovias assim como dos materiais estudados	01	12
	III.1.1 - Execução de ensaios laboratoriais por terceiros		07	18
	III.1.2 -1.1.3- Execução de ensaios laboratoriais pela equipe do projeto		01	12
	III.2-Implementação de modelo físico em escala 1:1 em laboratório		01	12
	III.2.1 -Aquisição de atuador dinâmico para aplicação de carga cíclica em estruturas de pavimentos ferroviários.		01	01
	III.2.2 -Aquisição de instrumentação (Medidores de deslocamento linear, célula de carga, células de tensões, piezômetros e extensômetros)		01	01
	III.2.3- Montagens de modelos físicos com diferentes configurações para simulação de estruturas ferroviárias sob condições de serviço		07	55
	III.2.4- Execução de modelagens físicas em escala 1:1 onde será avaliado a utilização de geotêxtil como elemento de separação entre as camadas do pavimento ferroviário.		13	58
	III.2.5- Execução de modelgens físicas em escala 1:1 onde será avaliado a utilização de geogrelha e geotêxtil como elementos de reforço no pavimento ferroviário		13	58
	III.3- Análise do comportamento do modelo físico		07	55
	III.3.1 Análise do comportamento do modelo físico através de métodos numéricos contínuos (MEF)		07	55
	III.3.2 Análise do comportamento do modelo físico através de métodos numéricos Discretos (DEM)		07	55
	III.4 - Análises críticas das Normas pertinentes ao sistema construtivo e materiais adotados para os Modelos Físicos		03	60
IV-Estudo de geossintéticos empregados em drenagem de obras ferroviárias	IV.1- Análise de dados existentes sobre os principais fatores que afetam a capacidade de drenagem de materiais sintéticos (nível de tensão e impregnação, bem como mecanismos de colmatação)	Relatório Parcial, Dissertações e Artigos. Relatório técnico constando as análises dos principais fatores que afetam a capacidade de drenagem de materiais sintéticos. Relatório técnico de análise crítica das principais	01	30
	IV.2 - Avaliação crítica das soluções utilizadas no país e no mundo para obras de drenagem em pavimentos ferroviários.		30	60

### 6 PLANO DE APLICAÇÃO (Anexo I)

### 7 DETALHAMENTO DAS DESPESAS (Anexo II)

### 8 CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO (R\$ 1.00)

ANO 1					
MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6
R\$ 5.996.292,37					
MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12



ANO 2					
MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6
MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12

ANO 3					
MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6
		R\$ 2.518.218,68			
MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12

ANO 4					
MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6
MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12

ANO 5					
MÊS 1	MÊS 2	MÊS 3	MÊS 4	MÊS 5	MÊS 6
MÊS 7	MÊS 8	MÊS 9	MÊS 10	MÊS 11	MÊS 12

### 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). Guide for design of pavement, Washington, EUA.

ANTUNES, L.G. (2008). Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2008). Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, 2008.

BJERRUM, L. (1973). Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structurally Unstable Soils. Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscou, vol. 3: 111-159.

BOUASSIDA, M. e HADHRI, T. (1995). Extreme Load of Soils Reinforced by Columns: The case of an isolated column. Soils and Foundations, vol. 1, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 21 – 35.



## PLANO DE TRABALHO

CASTRO, C.S.; SALEM, S.G. (1994). Utilização de Agregados Lateríticos em Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Monografia (Especialização em pavimentação), Pontifícia Universidade Católica - PUC, Belo Horizonte, Minas Gerais.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-PRO 381/98: Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. Norma 10/79 – PRO - Procedimento A - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.

\_\_\_\_\_. Norma 11/79 – PRO - Procedimento B - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.

INDRARATNA, B. e REDANA, I. W. (2000). Numerical modeling of vertical drains with smear and well resistance installed in soft clay. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37, pp. 132-145.0

INDRARATNA, B., RUJIKIATKAMJORN C., e SATHANANTHAN, I. (2005). Analytical modeling and field assessment of embankment stabilized with vertical drains and vacuum preloading. *The Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12-16 September 2005, Osaka, Japan, Edited by the 16th ICSMGE committee, Millpress, Rotterdam, the Netherlands. pp. 1049-1052.

FERNANDES, G. (2005). Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e Resíduos de Mineração de Ferro Associados a Geossintéticos. Tese DSc., Universidade de Brasília.

FRANCO, F. A. C. P. (2007). Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ.

FRANCO, F. A. C. P. (2018). Análise Elástica de Múltiplas Camadas. Manual de Utilização. Versão 2.4. Rio de Janeiro.

FRANCO, F. A. C. P. (2018). BackMeDiNa. Manual de Utilização. Versão 1.1. Rio de Janeiro.

FRANCO, F. A. C. P. (2018). MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional. Manual de Utilização. Versão 1.0.0. Rio de Janeiro.

KIM, Y.R. (2009). *Modeling of Asphalt Concrete*. ASCE Press. New York, USA, 460p.

MASSAD, F. (1988). Baixada Santista: Aterro sobre solos moles interpretados a luz dos novos conhecimentos sobre a gênese das argilas quaternárias – Simpósio sobre depósitos quaternários das baixadas litorâneas brasileiras: Origem, Características geotécnicas e Experiências de obras, Rio de Janeiro, RJ, pp. 4.1 – 4.19.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. (2015). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora Interciência, 3 ed., Rio de Janeiro/RJ, 619 p.

MOIZINHO, J.C. (2007). Caracterização e uso de agregados lateríticos do Distrito Federal e do Estado de Roraima em CBUQ. Tese (Doutorado em Geotecnia), Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

MONTEIRO, S. A. (1996). Análise Comparativa entre Metodologias de Dimensionamento de Reforço de Pavimento Flexíveis. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 133 p.

MOTTA, L. M. G. Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991



NCHRP – National Cooperative Highway Research Program (1982). NCHRP 89 – Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance. Transportation Research Board, Washington, D.C.

ORTIGAO, J. A. R. e SAYAO, A. S. F. J. (1994). Consolidation characteristics of a soft clay, Proc. Settlement 94, Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, Texas A & M University, College Station, ASCE Geotechnical Special Publication nº 40, vol. 2, pp. 1415-1424.

PALMEIRA, E. M. (1993). Curso de reforço de solos – Introdução e utilização de Geossintéticos. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Publicação nº GAP 0023/93, Brasília, DF.

RAAB, C. e PARTL M. N. (2004). Effect of tack coats on interlayer shear bond of pavements. Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, Sun City, South Africa, pp.847-855.

REZENDE, L.R. (1999). Técnicas Alternativas para a Construção de Bases de Pavimentos Rodoviários. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.

REZENDE, L.R. (2003). Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis. Tese de DSc., Universidade de Brasília.

RIBEIRO, J. et. al. (1988). Relato de uma experiência adquirida em substituição parcial de solo mole na Baixada de Jacarepaguá – Simpósio sobre depósitos quaternários das baixadas litorâneas brasileiras: Origem, Características geotécnicas e Experiências de obras, Rio de Janeiro, RJ, pp. 4.63 – 4.72.

RICHART F.E. (1957). A review of the theories for sand drains. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 83(3), pp. 1-38.

ROMANOSCHI, S. e METCALF, J. (2001). Effects of Interface Condition and Horizontal Wheel Loads on the Life of Flexible Pavement Structures. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1778, 123–131. doi:10.3141/1778-15.

ROZA, F. C. (2012). Comportamento de obras sobre solos moles com colunas de brita. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE.

SANTANA, H.; GONTIJO, P.R.A. (1987). Os Materiais Lateríticos na Pavimentação de Baixo Custo no Brasil. In: Reunião Anual de Pavimentação, 22, Associação Brasileira de Pavimentação – ABPV, Maceió (AL).

SOUZA, M. L. (1981). Método de projeto de pavimentos flexíveis. 3 edição revisada e atual. Rio de Janeiro, IPR., 1981 (IPR. Plub. 667).

SUTANTO, M. (2010). Assessment of bond between asphalt layers. PhD thesis, University of Nottingham.

TERZAGHI, K. e PECK, R. B. (1967). Soil mechanics in engineering practice. New York: Wiley.

VILLIBOR D. F.; NOGAMI, J. S.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J. R. (2000). Pavimentos com Solos Lateríticos e Gestão e Manutenção de Vias Urbana. ABPV/UFU. São Paulo (SP).



**10- ASSINATURA**

_____ Local e Data	_____ Márcio Muniz de Farias Coordenador do Projeto UnB
-----------------------	---

**11- APROVAÇÃO PELA CONCEDENTE**

Aprovado	
_____ Local e Data	_____ Antônio Leite dos Santos Filho Representante Legal



**ANEXO I - Plano de Aplicação**

**RECEITAS**

<b>A - Total de Receitas</b>	<b>8.514.511,05</b>
------------------------------	---------------------

**DESPESAS**

<b>Especificação</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Diárias	69.000,00
Passagens e despesas com locomoção	90.000,00
Material de consumo	46.200,00
Auxílio Financeiro a Pesquisador	3.683.500,00
Outros Serviços de Terceiros - Pessoa Jurídica	3.573.693,22
Equipamento e Material Permanente	657.000,00
Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza - 5% de ISS	395.117,83
<b>B - Total de Despesas</b>	<b>8.514.511,05</b>



### ANEXO II - Detalhamento das Despesas

Diária					
ITEM	Beneficiário	Cidade	Quant.	Valor unit.	Valor total
1	A definir - Nacional	A Definir	230	R\$ 300,00	69.000,00
Subtotal					69.000,00

Passagem e despesa com locomoção					
ITEM	Beneficiário	Trecho	Quant.	Valor unit.	Valor total
1	Passagem Nacional	A Definir	90	R\$ 1.000,00	90.000,00
Subtotal					90.000,00

Material de consumo					
ITEM	Descrição	Un. Medida	Quant.	Valor unit.	Valor total
1	Material para escritório (papel, tonner)	Material	1	R\$ 46.200,00	46.200,00
Subtotal					46.200,00

Bolsa de Pesquisa						
ITEM	Beneficiário	Modalidade	Quant.	Período	Valor unit.	Valor total
1	Márcio Muniz	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 6.000,00	R\$ 330.000,00
2	Ennio Marques Palmeira	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 6.000,00	R\$ 330.000,00
3	Rafael Cerqueira Silva	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 5.500,00	R\$ 302.500,00
4	Letícia Nunes Lopes	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 5.500,00	R\$ 302.500,00
5	Ivonne Maria Alexandra Gongora Gutierrez	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 5.500,00	R\$ 302.500,00
6	Liedi Bernucci Bariani	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 6.000,00	R\$ 330.000,00
7	Pesquisador Doutor - Sênior - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 5.500,00	R\$ 302.500,00
8	Pesquisador Doutor - Pleno - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	48	R\$ 5.000,00	R\$ 240.000,00
9	Pesquisador Doutor - Junior - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	24	R\$ 4.500,00	R\$ 108.000,00
10	Aluno de Doutorado - UnB - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	4	48	R\$ 2.200,00	R\$ 422.400,00
11	Aluno de Doutorado - USP - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	48	R\$ 2.200,00	R\$ 105.600,00
12	Aluno de Mestrado - UnB - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	8	24	R\$ 1.500,00	R\$ 288.000,00
13	Aluno de Mestrado - USP - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	2	24	R\$ 1.500,00	R\$ 72.000,00
14	Técnico A - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 2.500,00	R\$ 137.500,00
15	Técnico B - A selecionar	Bolsa de Pesquisa	1	55	R\$ 2.000,00	R\$ 110.000,00
Subtotal						3.683.500,00

Outros Serviços de Terceiros - Pessoa Jurídica				
ITEM	Descrição	Quant.	Valor unit.	Valor total



## PLANO DE TRABALHO

1	Serviços Gráficos - Copiadora/ráfica (formatação e impressão)	1	R\$	60.000,00	60.000,00
2	Serviços Workshops/SEMINÁRIOS/Coffee-Break	1	R\$	52.845,11	52.845,11
3	Serviços Especializados de Levantamento Campo	1	R\$	325.000,00	325.000,00
4	Software MEPDG	2	R\$	150.000,00	300.000,00
5	Pistas Experimentais	1	R\$	675.000,00	675.000,00
6	Serviços Especializados Geotencia (ensaios/instrum/monit)	1	R\$	575.000,00	575.000,00
7	Serviços de terceiros para ensaios de laboratório	1	R\$	75.000,00	75.000,00
8	Despesas Acessórias de Importação (Sistema de Carregamento Dinâmico e Software MEPDG)	1	R\$	170.000,00	170.000,00
9	Despesas Administrativas e Financeiras	1	R\$	728.693,60	728.693,60
10	Ressarcimento - UnB (Resolução CAD n° 045/2014)	1	R\$	612.154,51	612.154,51
<b>Subtotal</b>					<b>3.573.693,22</b>

Equipamento e Material Permanente					
ITEM	Descrição	Quant.	Valor unit.	Valor total	
1	Monitores Adicionais (23" Full hd)	4	R\$ 1.000,00	4.000,00	
2	Computador	22	R\$ 4.000,00	88.000,00	
3	Televisão	1	R\$ 15.000,00	15.000,00	
4	Sistema de carregamento dinâmico	1	550.000,00	550.000,00	
<b>Subtotal</b>					<b>657.000,00</b>

Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza					
ITEM	Descrição	Quant.	Valor unit.	Valor total	
1	Imposto Sobre Serviços (ISS)*	1	395.117,83	395.117,83	
<b>Subtotal</b>					<b>395.117,83</b>

Encargo incorrido sobre a execução do projeto, com alíquota de 5%, conforme LC n.º 116/2003, sobre o valor total do projeto R\$ 7.902.356,54, exceto ressarcimento da Instituição Federal de Ensino Superior (IFE).

<b>B - Total de Despesas</b>				<b>8.514.511,05</b>
------------------------------	--	--	--	---------------------