

REVISTA

ABRV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO



# PAVIMENTAÇÃO

ANO X • Nº 38 • OUT-DEZ • 2015 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809-1865



**BR - 324**

**RODOVIA ENGENHEIRO**

**VASCO FILHO**

**ANÁLISE DE DORMENTE  
POLIMÉRICO RECICLADO**

**COMO SOLUÇÃO**

**FINANCEIRA VIÁVEL**

*José Jurandi Lopes Campos*



Participe do principal evento de  
pavimentação urbana do país.

**20<sup>a</sup>**  
**RPU** 2016  
01 a 03  
de junho  
**Reunião de Pavimentação Urbana**  
CentroSul - Florianópolis/SC

Florianópolis, a bela capital catarinense, será palco da 20ª Reunião de Pavimentação Urbana que acontecerá no período de 01 a 03 de Junho de 2016.

Esperamos por você!

Temário para trabalhos técnicos

- ◆ Financiamento aos municípios
- ◆ Materiais para pavimentação
- ◆ Estudos e projetos de pavimentos
- ◆ Manutenção, restauração e gerência de vias
- ◆ Técnica de construção e controle de qualidade de pavimentos
- ◆ Segurança e meio ambiente em vias
- ◆ Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas
- ◆ SMS (Saúde do trabalho, Meio ambiente e Segurança do trabalhador)
- ◆ Acessibilidades
- ◆ Estradas vicinais



Para mais informações: [www.rpu.org.br](http://www.rpu.org.br)

Realização



Apoio



Local



Organização



# EXPEDIENTE



## REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano X • Nº 38 • Out - Dez 2015  
ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelojas 204 e 205  
CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ  
Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709

## CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

### EDITORA CHEFE

Georgina Libório Azevedo  
georgina@abpv.org.br  
MTb 31365-RJ

### JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago  
jpierrems@abpv.org.br  
MTb 27170-RJ

## ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa  
Vice-Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci  
Diretora Financeira • Arq. Georgina Libório Azevedo  
Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Júnior  
Diretora Técnica • Eng. Luciana Nogueira Dantas  
Diretora de Divulgação • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande

## COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto • Eng. Antônio Fortunato Marcon • Eng. Armando Morilha Junior • Eng. Atahualpa Schmitz da S. Prego • Eng. Carlos Yukio Suzuki • Eng. Cassio Eduardo Lima de Paiva • Eng. Consuelo Alves da Frota • Eng. Cristiano da Costa Moreira • Eng. Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng. Douglas Fadul Villibor • Eng. Dultevir Guerreiro Vilar de Melo • Eng. Edinaldo Afonso Marques de Mélo • Eng. Eduardo Alberto Ricci • Eng. Fernando Augusto Jr. • Eng. Genésio Almeida da Silva • Arq. Gilda Collet Bruna • Eng. Glicério Trichês • Eng. Heitor Roberto Giampaglia • Eng. Jacques de Medina • Eng. João Vicente Falabella Fabrício • Eng. João Virgílio Merighi • Eng. Jorge Augusto Pereira Ceratti • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa • Eng. José Leomar Fernandes Junior • Eng. José Tadeu Balbo • Eng. José Vidal Nardi • Eng. Laura M<sup>ª</sup> Goretti da Motta • Eng. Leni F. M. Leite • Eng. Leto Momm • Eng. Liedí Legi B. Bernucci • Eng. Luciana Nogueira Dantas • Eng. Luiz Miguel de Miranda • Eng. Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng. Márcio Muniz de Farias • Eng. Marçílio Augusto Neves • Eng. Maria da Conceição M. Azevedo • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande • Eng. Nilton de Souza Campelo • Eng. Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng. Prepredigna D. E. Almeida da Silva • Eng. Rita Moura Fortes • Eng. Rui José da Silva Nabais • Eng. Silvio Rodrigues Filho • Eng. Saul Birman • Eng. Walter Canales Sant'ana • Eng. Washington Pérez Nuñez.

Projeto Gráfico e Produção Digital • Luciana Costa Leite  
Revisão • Renata Daflon Menezes  
Impressão • WalPrint Gráfica e Editora  
Tiragem • 10.000 exemplares  
Periodicidade • Trimestral

# NOSSA CAPA



Foto: BR-324 – Rodovia Engenheiro Vasco Filho.  
Trecho: Salvador – Feira de Santana.  
Fotógrafa: Georgina Libório Azevedo.  
Envie sua foto para: [abpv@abpv.org.br](mailto:abpv@abpv.org.br)

# SUMÁRIO

EDITORIAL . . . . .	4
SEÇÃO DE NOTAS . . . . .	5
FATOS HISTÓRICOS	
ENGENHEIRO VASCO FILHO ( <i>IN MEMORIAM</i> ) . . . . .	12
OPINIÃO	
QUESTÃO DE MANUTENÇÃO EM MARIANA . . . . .	14
ESPECIAL	
ABPv COMEMORA 56 ANOS . . . . .	16
CARTAS . . . . .	20

## ARTIGO 1

**Análise de dormente polimérico reciclado como solução financeira viável para substituição de dormente de madeira dos amv's da via permanente . . . . .** 21

José Jurandi Lopes Campos

## ARTIGO 2

**Simulação numérica de pavimento ferroviário submetido a carregamento estático . . . . .** 41

Rômulo Ferreira da Silva  
Antonio Carlos Rodrigues Guimarães

## ARTIGO 3

**Modelo de previsão da deflexão em trecho de pavimento flexível . . . . .** 51

Aline Calheiros Espíndola  
Ben-Hur de Albuquerque e Silva

# EDITORIAL

O Brasil no ano de 2015 experimentou um revés em sua economia que atingiu um fluxo de obras de infraestrutura extremamente importante para o País. A engenharia foi uma das áreas mais prejudicadas, com obras paralisadas, pagamentos governamentais atrasados, contingenciamento de projetos estruturais, etc.

A Revista PAVIMENTAÇÃO vem destacando este e outros temas correlatos ao longo das suas últimas edições. O assunto, notadamente, preocupa todo o setor, mas também queremos contribuir com caminhos, apontando prioridades e incentivando toda a comunidade da engenharia de pavimentos a seguir com firmeza até que tenhamos bons ventos soprando novamente.

Ainda no espaço de Opinião da Revista, o Presidente do Conselho Consultivo da Associação das Empresas de Engenharia do Rio de Janeiro, Francis Bogossian, destaca a questão da manutenção das estruturas das barragens de detritos minerais. O assunto vem em referência à tragédia ocorrida na cidade mineira de Mariana, com o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco S.A. Um acontecimento que marca uma das maiores tragédias ambientais do Brasil.

Voltamos a inserir nesta edição a coluna FATOS HISTÓRICOS onde fazemos uma homenagem póstuma ao Deputado Vasco Filho figura exponencial da Engenharia brasileira que tanto contribuiu para a infraestrutura em todo território nacional, não só como idealizador e construtor de estradas como a BR-116 Rio Bahia, BR-324 Salvador Feira de Santana (Rodovia que hoje leva seu nome), mas especialmente como relator do Plano Nacional de Viação que vigorou por mais de três décadas e que teve o pioneirismo de integrar os quatro modais: o ferroviário, o rodoviário, o aeroviário e o marítimo – fluvial. Grande parte do texto se apoiou no livro “Vasco Filho – O Mago das Estradas” de autoria da geógrafa Lorisa Maria P. Azevedo lançado em novembro pela Assembleia Legislativa da Bahia.

Na seção de Artigos Técnicos, o primeiro faz uma análise de dormente polimérico reciclado como solução financeira viável para substituição de dormente de madeira dos AMV's da via permanente. Um estudo de José Jurandi Lopes Campos.

O segundo artigo, de autoria de Rômulo Ferreira da Silva e Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, aborda uma simulação numérica de pavimento ferroviário submetido a carregamento estático.

E o terceiro artigo apresenta um modelo de previsão da deflexão em trecho de pavimento flexível. Os autores são Aline Calheiros Espíndola e Ben-Hur de Albuquerque e Silva.

Em 2015 a ABPv comemorou seus 56 anos de existência e dedicação intensa à engenharia principalmente no que se refere à pavimentação. Mais de meio de século apoiando o setor, congregando profissionais, técnicos, acadêmicos e empresários. A solenidade que marcou o festejo foi realizada no dia 11 de novembro, no Rio de Janeiro, com um seminário que trouxe diversas personalidades convidadas e dezenas de participantes que vieram prestigiar a nossa instituição.

Para 2016, a ABPv quer reiterar seu compromisso com seus associados, seus parceiros e seus apoiadores, de sempre defender o setor e promover a cultura, a integração, o estudo e o aprimoramento das melhores técnicas pró-engenharia de pavimentos.

Na próxima edição voltaremos com a seção Espaço Jurídico e, daremos continuidade ao Caderno de Tecnologia com o tema Drenagem, Caixa Coletora de Via Urbana (Boca-de-lobo), de autoria do Coronel Engenheiro Francisco José d'Almeida Diogo.

Bom Ano Novo a todos os leitores! E que em 2016, renovada a força, caminhemos sempre unidos na realização de nossos objetivos.



# SEÇÃO DE NOTAS

*revistapavimentacao@abpv.org.br*



### World of Concrete

Em 2016, entre os dias 1 e 5 de fevereiro, a cidade americana de Las Vegas sediará o World of Concrete. Trata-se do maior evento anual da construção civil voltado para a indústria do concreto e da alvenaria. Estarão presentes os principais fornecedores da indústria com produtos inovadores, máquinas e equipamentos de construção, cursos de formação em segurança, diversos seminários e inovações tecnológicas.

O evento também objetiva proporcionar muitas oportunidades de *networking* para aqueles que buscam maneiras de sustentar e fazer crescer o seu negócio.

**Informações • [www.worldofconcrete.com](http://www.worldofconcrete.com)**



### O ICSMGE 2016

O ICSMGE 2016 - 18ª Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica acontecerá nos dias 3 e 4 de fevereiro de 2016, na cidade do Rio de Janeiro. A conferência objetiva reunir os principais cientistas acadêmicos, pesquisadores e estudiosos de pesquisa para trocar e compartilhar suas experiências e resultados de pesquisa sobre todos os aspectos da Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Ela também fornece o principal fórum interdisciplinar para pesquisadores, profissionais e educadores apresentarem e discutirem as mais recentes inovações, tendências e preocupações, desafios práticos encontrados e soluções adotadas no domínio da Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.

**Informações • [www.waset.org/conference/2016/02/rio-de-janeiro/ICSMGE/home](http://www.waset.org/conference/2016/02/rio-de-janeiro/ICSMGE/home)**



### 3ª Conferência Anual de Estradas e Rodovias

A 3ª Conferência Anual de Estradas e Rodovias, que se realizará de 7 a 9 de março de 2016, em Kuala Lumpur, Malásia, proporcionará a descoberta e a discussão das últimas tendências no desenvolvimento de infraestrutura rodoviária, concepção, financiamento, políticas de segurança rodoviária, novas tecnologias e práticas bem sucedidas de gestão para o controle mais eficiente de custos em toda a região asiática e internacional.

**Informações •**

**[www.roadsandhighwayslse.marcusevans.com](http://www.roadsandhighwayslse.marcusevans.com)**



### Brazil Road Expo 2016

O Brazil Road Expo - Evento Internacional de Infraestrutura Viária e Rodoviária reunirá de 29 a 31 de março de 2016, no São Paulo Expo, todos os elos da cadeia de construção, manutenção e infraestrutura viária e rodoviária.

É uma oportunidade para comprar ou vender produtos, equipamentos e serviços voltados à construção, manutenção, reparo ou gestão de vias e rodovias, incluindo pavimentação, máquinas e equipamentos, sinalização e monitoramento, obras de arte como túneis, pontes e viadutos.

**Informações • [www.brazilroadexpo.com.br](http://www.brazilroadexpo.com.br)**



## 8º Congresso Rodoviário Português

O 8º Congresso Rodoviário Português acontecerá no Centro de Congressos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de 12 a 14 de abril de 2016, em Lisboa, Portugal.

O evento é uma oportunidade única para o encontro de gestores, técnicos, docentes, investigadores e outros *stakeholders* da área de infraestrutura de transportes, à procura de soluções para os novos desafios do setor, quer no contexto nacional, quer no contexto da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa. Como em Portugal, a prioridade é a promoção do transporte de mercadorias através da ferrovia, com previsão de investimentos da ordem de € 2,75 bilhões, a Comissão Organizadora incluiu o modal ferroviário no âmbito dos trabalhos do Congresso, tradicionalmente rodoviário.

**Informações • [www.crp.pt](http://www.crp.pt)**



## BAUMA 2016

A feira Bauma 2016 reúne a indústria de máquinas de construção em toda a sua amplitude e profundidade e se realizará em Munique, Alemanha, de 11 a 17 de abril de 2016.

É evento do setor e líder mundial de maquinaria de construção, máquinas para material de construção, máquinas de mineração, veículos e equipamentos de construção. Com um espaço total de exposição de 605.000 metros quadrados, Bauma é trienal e considerada a maior feira do mundo. Em 2013, por exemplo, a feira quebrou todos os recordes anteriores, atraindo um total de 3.421 expositores de 57 países, e 535.065 visitantes de mais de 200 países.

**Informações • [www.bauma.de](http://www.bauma.de)**



## 20ª RPU - Reunião de Pavimentação Urbana 2016

A Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv realizará a 20.ª Reunião de Pavimentação Urbana – RPU, entre os dias 01 a 03 de junho de 2016, na cidade de Florianópolis, Santa Catarina.

A 20ª RPU constituir-se-á numa oportunidade de discussão e reflexão sobre a pavimentação urbana no País, no momento em que a sociedade exige mais atenção das atividades para conservação, ampliação e segurança da malha viária e garantia da mobilidade no meio urbano.

**Informações • [www.rpu.org.br](http://www.rpu.org.br)**



## Congresso Eurasphalt & Eurobitume

O Congresso Eurasphalt & Eurobitume será realizado de 1º a 3 de junho de 2016, em Praga, República Checa. O evento possui o lema “Asfalto, a estrada para o sucesso sustentável” e abordará a tecnologia da massa asfáltica à quente e outras utilizadas pela nossa indústria para ajudar a moldar o futuro para os próximos anos.

**Informações • [www.eecongress2016.org](http://www.eecongress2016.org)**



## 80 anos da ABCP

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP retomou a realização, com periodicidade bienal, do Congresso Brasileiro de Cimento – CBCi, de 20 a 22 de junho de 2016, no Hotel Maksoud Plaza, em São Paulo, SP.

Em 2016, ano em que a Associação celebra 80 anos, a 7ª edição do CBCi reunirá os profissionais da indústria de cimento, pesquisadores universitários e representantes de grupos cimenteiros latino-americanos para discutirem temas como: inovações na fabricação do cimento, competitividade, emissões, controles ambientais, normalização e qualidade, novos tipos e aplicações do cimento.

**Informações • [www.7cbci.com.br](http://www.7cbci.com.br)**



## IABMAS 2016

O Grupo IABMAS está acolhendo a 8ª Conferência Internacional sobre Manutenção, Segurança e Gestão de Pontes - IABMAS 2016. A conferência será realizada em Foz do Iguaçu, PR, de 26 a 30 de junho, sob os auspícios da Universidade de São Paulo, USP.

A IABMAS – Associação Internacional de Segurança e Manutenção de Pontes objetiva promover a cooperação internacional entre todos os aspectos da manutenção, segurança e gerenciamento de pontes com a finalidade de melhorar o bem-estar da sociedade.

**Informações • [www.iabmas2016.org](http://www.iabmas2016.org)**



## O ISAP - 2016 e o Yellowstone and Jackson Hole Symposium 2016

O ISAP - 2016 e o Yellowstone and Jackson Hole Symposium 2016 “From Molecules to Innovative Pavements,” organizados pelo Western Research, se realizarão de 18 a 21 julho de 2016. Estes encontros internacionais possuem foco na transferência de tecnologia da investigação na engenharia aplicada de pavimentos asfálticos e serão realizados em Jackson Hole, Wyoming, EUA, em conjunto com a 53rd Petersen Asphalt Research Conference ([www.petersenasphaltconference.org](http://www.petersenasphaltconference.org)).

**Informações • [www.isap2016symposium.org](http://www.isap2016symposium.org)**



## MAIREPAV8

A Pavement Engineering Society e o Centro de Pesquisas de Transportes da Universidade Nacional de Cingapura promovem a 8ª Conferência Internacional sobre Manutenção e Reabilitação de Pavimentos, em Cingapura, de 27 a 29 julho de 2016.

A série de conferências MAIREPAV foi fundada pela Sociedade Internacional de Manutenção e Reabilitação de Infraestrutura de Transportes (iSMARTi) e sua conferência inaugural foi realizada na Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo, no ano 2000. Desde então, a série de conferências tem crescido em muitos países e diferentes continentes.

**Informações • [www.mairepav8.org](http://www.mairepav8.org)**



## 45ª RAPv, 19º ENACOR, 5ª Expopavimentação e 1º Fórum Rodoviário - Trânsito e de Mobilidade

A ABPv - Associação Brasileira de Pavimentação, a ABDER - Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem e o DER/DF - Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal promoverão a organização de um dos maiores eventos conjugados envolvendo rodovias, pavimentação, tecnologia, trânsito e mobilidade do País, a realizarem-se de 9 a 12 de agosto de 2016, em Brasília, no Centro de Convenções Ulisses Guimarães.

**Informações • (61) 3111-5505 • (61) 3111-5619**

## 8ª TranspoQuip Latin America

A 8ª TranspoQuip Latin America acontecerá entre os dias 4 e 6 de outubro, no Expo Center Norte, em São Paulo.

Mais de 90% das empresas que fecharam contrato para edição 2015 já confirmaram sua presença no TranspoQuip 2016, o que representa uma lista significativa de expositores para o próximo evento.

**Informações • [www.transpoquip.com](http://www.transpoquip.com)**

## NOSSAS DESPEDIDAS



### Carlos Augusto Nunes Costa

O notável engenheiro faleceu no dia 7 de dezembro, na cidade de Pontal, interior paulista, por complicações pós-cirúrgicas. Era sócio individual da ABPv desde 1988, e também representante da Brasquímica Produtos Asfálticos Ltda., empresa da categoria Sócio Coletivo da ABPv.

Destacado profissional do setor de pavimentação, o engenheiro Carlos Augusto era reconhecido por ser criterioso no seu trabalho e, exigente na qualidade técnica, sempre prezando por resultados de alto gabarito.

Também foi presença constante nos eventos da ABPv em todo o Brasil, contribuindo com seus conhecimentos e colaborando na difusão das melhores técnicas de pavimentação.



### Claudio Ângelo Valadão Albernaz

Faleceu no dia 30 de dezembro de 2015, em Belo Horizonte. Engenheiro formado pela Universidade Federal de Juiz de Fora, em 1976, Albernaz especializou-se em Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia de Materiais/Construção Civil. Seguiu para o mestrado em Engenharia Civil e complementou seus estudos em Engenharia Rodoviária pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias DNIT e UFRJ.

Possuía grande e notória experiência na infraestrutura de transportes, atuando principalmente no seguimento da pavimentação e retroanálise. Foi autor dos Programas: RETRAN2-CL, RETRAN5-L, Geo TecLabor e ANAMEC5-L. Entre os colegas de profissão, logrou admiração e respeito pela dedicação à engenharia. Sua última atuação foi como assessor técnico do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais.

Albernaz era sócio da Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv, desde 1986, e foi representante regional da Associação em Minas Gerais.

A Diretoria da ABPv, em nome de todos os sócios, rende honras aos ilustres engenheiros e presta seus sentimentos às suas famílias.

## LANÇAMENTOS



## ENGENHARIA RODOVIÁRIA COLETÂNEA DE ARTIGOS TÉCNICOS

O livro, idealizado por engenheiros do DNIT/BA, trata de temas diversos que compõem a Engenharia Rodoviária, desde o planejamento da rodovia até sua operação, tais como PPP, Gestão Ambiental, Reabilitação do Pavimento, Corrosão em Estruturas de Pontes, Ensaaios, Sinalização Viária, Objeto Contratual e Controle de Paisagem.

### Autores

**João Felix de Almeida Moura** • Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, Engenheiro Civil (UFBA), Especialista em Pavimentação (UFBA) e Gestão Pública (FTE), já tendo atuado em órgãos públicos, como o DERBA e a Prefeitura Municipal de Salvador, bem como em empresas privadas.

**João Sílvio Cerqueira Monteiro** • Graduado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da UFBA; Especialista em Pavimentação pela Escola Politécnica da UFBA; Instrutor do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR).

**José Simões Filho** • Analista em Infraestrutura do DNIT, com Aperfeiçoamento em Pavimentação pela UFBA, atuou durante 35 anos em Implantação, Manutenção e Conservação de Rodovias nas áreas de Tecnologia, Produção, Gerência Industrial, Gerência de Obras e Gerência de Contratos, junto aos mais diversos órgãos públicos.

**Lourdimine Santos de Jesus** • Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB), Graduada em Engenharia Civil pela UFBA.

**Mauro Moreira de Castro** • Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, Especialista em Pavimentação pela UFBA.

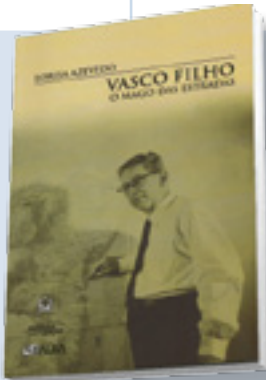
Publicou artigo científico na Revista PAVIMENTAÇÃO, Ano X, Nº 35, jan – mar 2015.

**Necivaldo Ferreira Silva** • Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Católica do Salvador (UCSAL); Especialista em Pavimentação pela Escola Politécnica da UFBA.

**Ricardo da Costa Martins** • Analista em Infraestrutura de Transportes DNIT, Especialista em Obras Rodoviárias (UFBA), atuou por 6 anos no DERBA e 6 anos em Consultorias contratadas junto ao DNIT. Hoje trabalha na Supervisão de Projetos e Meio Ambiente do DNIT.

**Sidcley Dalmo Teixeira Caldas** • Engenheiro Civil (UFBA) com Especialização em Gestão Ambiental (FACEL) e Aperfeiçoamento em Engenharia Ambiental (UCAM), Mestrando em Educação (UFBA). Atua como Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, já tendo experiência como Técnico de Projetos, Construção e Montagem (PETROBRAS), como Técnico de Habitação (CAIXA), Instrutor de Construção Civil (SENAI).

**Vanessa Christine Ramos Green** • Engenheira Civil, formada pela UFBA, Analista em Infraestrutura de Transportes do DNIT, Especialista em Gestão Ambiental com Tecnologias Limpas. cursando MBA Executivo em Gestão Pública com ênfase em Projetos da Fundação Getúlio Vargas. Atua no Serviço de Engenharia da SR/BA no Setor de Projetos e Meio Ambiente.



## VASCO FILHO O MAGO DAS ESTRADAS

Por iniciativa da Assembleia Legislativa da Bahia, foi lançado, a 17 de novembro de 2015, o livro VASCO FILHO – O MAGO DAS ESTRADAS, de autoria da geógrafa Lorisa Maria Pinto Azevedo.

A obra de 260 páginas é apresentada pelos jornalistas e membros da Academia Brasileira de Letras, Murilo Melo Filho e Cícero Sandroni, e, é prefaciada pela professora da Universidade Federal da Bahia Dra. Dilza Atta.

Sob o selo de Primeira Edição, que valoriza a atividade literária através de textos inéditos, muito embora seu conteúdo se associe sobretudo ao engrandecimento da Bahia, esse livro amplia tal perspectiva, considerando que a figura do biografado tem alcance nacional: quer como profissional de engenharia, quer como homem público e mesmo como chefe de família.

Nascido em Pitangui Vasco Filho graduou-se em engenharia na cidade de Juiz de Fora e de lá trabalhou em diversos Estados e Órgãos podendo ser dito que sua trajetória está intrinsecamente ligada à história da pavimentação no país. Ele foi um dos elaboradores e o relator do Plano Nacional de Viação o qual foi lançado em 1973 e só substituído em 2011 pelo SNV, foi também autor e executor de várias rodovias que hoje são de vital importância para o país. Como Deputado Federal eleito em 1950 pela Bahia, foi um político de grande atuação no setor de infraestrutura, sendo autor



Autora com 3 dos onze netos que se chamam Vasco.



Deputados presentes da direita para esquerda: Marcelo Nilo, presidente da Assembleia Legislativa, Maria del Carmen, que leu a mensagem da senadora Lidice da Mata, Marcelino Galo, Fátima Nunes e Zé Neto.

de mais de 30 Projetos de Lei, e formando com outros técnicos de renome a “bancada rodoviária”.

A cerimônia de lançamento da obra aconteceu no Saguão Deputado Nestor Duarte da Assembleia Legislativa da Bahia, no Centro Administrativo de Salvador.

O pronunciamento de abertura foi da autora, Lorisa Azevedo, que atribuiu o livro a tudo o que o ilustre engenheiro, seu avô, realizou pela Bahia e pelo Brasil.

Estavam presentes o Deputado Marcelo Nilo presidente da Casa, a deputada Maria Del Carmem, que também representou a Senadora Lídice da Mata (autora do Projeto de Lei do Senado n° 66, de 2011 onde denomina “Engenheiro Vasco Filho” o trecho da BR-324 que liga os Municípios de Salvador e Feira de Santana), os deputados Marcelino Galo, Fátima Nunes e Zé Neto, representando a ABPV a diretora financeira Georgina Libório Azevedo que também é neta do engenheiro, demais parentes e admiradores da escritora e do homenageado.



*Lorisa Azevedo é bacharel e licenciada em geografia e também mestre pela UFBA. Trabalhou no Projeto RADAMBRASIL e integrou equipes de pesquisas junto ao IBGE, participando em trabalhos da Secretaria de Planejamento do Estado da Bahia. Na área acadêmica, exerceu o magistério superior lecionando diversas disciplinas. Atualmente se dedica a trabalho específico voltado para a Geografia do Cangaço.*



# VASCO AZEVEDO FILHO *(IN MEMORIAM)*

Vasco Azevedo Filho ou “o mago das estradas”, título que se destaca em suas memórias, foi um dos mais visionários engenheiros rodoviários de seu tempo. Nascido em Pitangui, município da Zona da Mata mineira, no ano de 1892, foi na Bahia que Vasco Filho ganhou fama, onde, além de ter projetado várias estradas importantes, também foi um destacado político.

Formou-se em engenharia civil e eletrônica no Instituto Politécnico de Juiz de Fora, em 1911. Lá recebeu seu diploma como aluno laureado, iniciando em seguida sua jornada profissional na Companhia Mogiana de Estradas de Ferro, em Campinas, São Paulo. De volta a Minas, atuou na Cia. Estrada de Ferro Oeste de Minas, tendo sido o responsável pela montagem da oficina e da Usina Hidroelétrica, em Divinópolis, no centro-oeste mineiro.

Em 1920 Vasco se transferiu para o Rio de Janeiro, onde gerenciaria as Usinas Metalúrgicas da Firma Hime&Com. Seguiu para Barra Mansa, onde implantou a Fundação Vera Cruz. Com a crise de 1929, retornou novamente a Minas Gerais para assumir a direção, em Teófilo Otoni, da Estrada de ferro Bahia-Minas da Cia francesa Chemins de Fer Federaux de L'Est Brésilien, que passaria a ser chamada Viação Férrea Federal Leste Brasileiro.

Na década de 1940 teria início uma nova e definitiva etapa na carreira do notável engenheiro, marcante na sua trajetória. Vasco Filho passou a integrar o quadro de engenheiros do Ministério de Viação e Obras Públicas, no recém criado Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. Abriu-se, então, o horizonte de atuação no setor rodoviário.

Ainda em 1940, assumiu a chefia do 7º Distrito de Construção do DNER na Bahia, que à época abrangia também os Estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Goiás. Foi o encarregado dos estudos da rodovia Rio-Bahia, que englobavam o projeto, a construção e a conservação da via. No bojo

dos estudos estavam ainda os serviços de terraplenagem e de obras de arte especiais no trecho baiano.

A inauguração da estrada se deu em 1949 com a presença do então Presidente da República Eurico Gaspar Dutra e dos Governadores da Bahia, Otávio Mangabeira e de Minas Gerais, Milton Campos. Concluída

em tempo recorde e dispondo das melhores características técnicas, a construção foi elogiada por diversos profissionais. O Ministro de Viação, Maurício Joppert, declarou que “o trabalho do engenheiro Vasco na construção daquela estrada foi, realmente, obra notável, que o dignifica e ao país que possui um engenheiro com as suas qualidades”.

No ano anterior, 1948, o Vasco havia iniciado a construção da Salvador-Feira de Santana. Vale ressaltar que nas primeiras décadas do século XX, a Bahia vivia um marasmo em sua economia e, por conse-

quência, nas demais áreas de sua estrutura administrativa. A comunicação entre as várias regiões do Estado restringia-se ao precário transporte marítimo e fluvial, acoplado à rede ferroviária que servia ao Sudeste, ao Norte e ao Nordeste, com trens de carga e de passageiros que se arrastavam por trilhos velhos e dormentes pouquíssimos conservados. Foi quando o engenheiro Vasco Filho, numa nítida visão de futuro, sugeriu ao governador do Estado, Otávio Mangabeira, um novo projeto, uma nova rodovia duplicada, para a ligação entre o interior e a capital. Assim, surgiu a Bahia-Feira, atual BR-324.

Nos relatos históricos, a obra dessa rodovia começou simultaneamente nos dois extremos em Salvador e em Feira de Santana. A estrada teria duas amplas pistas, nos dois sentidos, com jardim central, garantindo a vazão do tráfego. O traçado desenhado por Vasco, que reduzia em mais de 30 quilômetros o caminho anterior, assegurava visibilidade perfeita aos motoristas, sendo uma das mais modernas e belas estradas do país.





Essa obra, considerada por seu mentor de “a menina dos seus olhos”, rendeu a Vasco Filho várias menções honrosas e diversas homenagens, dentre elas a do livro *Cultura e Economia*, da editora Enciclopédia Contemporânea Inter-Americana, como a rodovia mais bem lançada do país. Outra homenagem foi a do jornal *Diário de Notícias*, que o intitulou como “uma das maiores expressões da engenharia nacional”.

Atualmente, essa rodovia cumpre o importante papel de permitir e agilizar o escoamento da produção do Estado, inclusive possibilitando a saída e entrada por via portuária, além de integrar Salvador a diversas rodovias que se cruzam em Feira de Santana, oriundas de diversos pontos do país. Por reconhecimento, hoje se chama Rodovia Vasco Filho, graças à Lei nº 12.827 de 11/06/2013, sancionada pela Presidente e de autoria da Senadora baiana Lídice da Mata, com aprovação unânime do Congresso Nacional.

### PROFISSIONAL DE ESPÍRITO PÚBLICO

Para que os servidores do DNER tivessem satisfatório atendimento na área de saúde, Vasco não mediu esforços para ajudar na implantação da Cooperativa dos Rodoviários. Foi dele também a iniciativa de inaugurar em Feira de Santana, no ano de 1949, o Hospital São Cristovão, outra grande realização de sua trajetória.



Desejava ver o país cortado por estradas que transportassem riquezas e diminuíssem as desigualdades regionais, estradas essas que alavancassem o progresso e o desenvolvimento da nação. Vasco continuou a busca pelo seu sonho quando foi eleito Deputado Federal em 3 de outubro de 1950. Cumprindo cinco legislaturas consecutivas. Formou, junto aos deputados Clóvis Pestana, Maurício Joppert e Francisco Saturnino Braga a chamada “bancada rodoviária”. Foi autor de mais de 30 Projetos de Lei.

Como relator no Plano Nacional de Viação, Vasco Filho teve a iniciativa de agregar os quatro modais: o rodoviário, o ferroviário, o marítimo-fluvial e o aeroviário. Alí estava clarividente a sua luta pela integração nacional. Esse plano, lançado em 1973, permaneceu por quase quatro décadas sendo substituído apenas em 2011 pelo atual Sistema Nacional de Viação.



Uma curiosidade é que, embora adverso à transferência da capital do Rio de Janeiro para Brasília, na velocidade com que foi feita, Vasco Filho foi designado pela Mesa da Câmara para montar a “casa” no Planalto Central, sendo o primeiro Deputado a residir na futura capital, transferindo-se para lá dois anos antes de sua inauguração.

O célebre engenheiro assumiu ainda importante papel na linha de frente da defesa da criação da Petrobras, sendo um incansável batalhador pelo melhor encaminhamento do Projeto de Lei nº 1.516, de 1951.

Ao longo de sua vida, o mago das estradas recebeu várias honrarias que consagraram seu trabalho, entre elas estão o Título de Cidadão Baiano, a Medalha de Pacificador – Caxias, Medalha do Mérito Santos Dumont, dentre outras.

No plano pessoal, Vasco Filho dividiu sua vida com a esposa Josephina Costa Azevedo, com quem viveu por 67 anos, tendo 14 filhos, 46 netos e até a presente data, 67 bisnetos.

A Associação Brasileira de Pavimentação celebra com muita honra a trajetória desse brasileiro ícone da engenharia nacional. 📍

# OPINIÃO



## QUESTÃO DE MANUTENÇÃO EM MARIANA

“Barragens não são estruturas convencionais. Exigem atenção permanente, em função das mudanças contínuas nas solicitações a que são submetidas”

*Engenheiro Francis Bogossian*

A despeito da aprovação da Lei 12.334, em 20 de setembro de 2010 – que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos e à disposição final ou temporária de resíduos industriais –, continuamos assistindo de camarote aos fenômenos de ruptura de barragens sem que nenhuma obrigação tenha sido cumprida.

Mortes e perda de patrimônio público e privado continuam ocorrendo e se alastrando pelo país afora. A ruptura da barragem de resíduos de Mariana espalha suas consequências desastrosas, de Minas para o Espírito Santo.

Apesar de a Lei 12.334 criar o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e alterar a redação do

artigo 35 da Lei 9.933, de 8 de janeiro de 1997, e do artigo quarto da Lei 9.984, de julho de 2000, na prática, “tudo continua como Dantes no quartel de Abrantes”. É inacreditável!

E, vejam: este é um país de dimensões continentais, com inúmeros rios e córregos, que precisam não somente atravessar o Brasil em seus percursos naturais, mas também serem contidos em barragens, com os fins de abastecimento de água e de energia, e para a acumulação de resíduos.

Com frequência cada vez maior, o Brasil tem assistido a desastres causados pelo rompimento de barragens, sejam elas de acumulação e retenção de água ou de resíduos. Nos fins do ano 2009, os telejornais mostraram os estragos causados pelo rompimento de uma construída para regulação do nível de um rio na periferia de São Paulo. Chuvas intensas e excepcionais, mas não totalmente improváveis ou imprevisíveis, castigaram várias regiões do país naquele ano.

Tais acidentes poderiam ser evitados com correta manutenção. Barragens não são estruturas convencionais como a maioria das obras civis. Exigem atenção permanente do proprietário, em função das mudanças contínuas nas solicitações a que são submetidas durante a vida útil. Este não é assunto para leigos. Somente engenheiros especializados são capazes de avaliar suas reações e comportamento, de propor medidas preventivas e corretivas, além de acompanhar se tudo está compatível com o projeto.

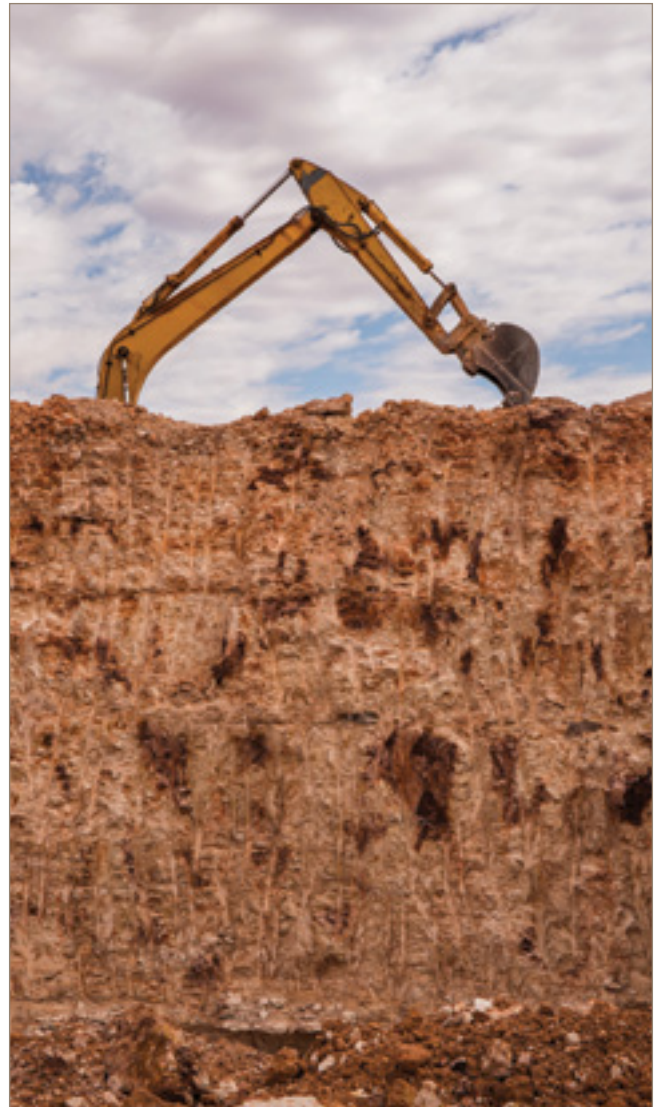
Barragens são sempre vitimadas pelos excessos de precipitação, que podem causar aumentos bruscos de cargas por elevação não prevista do nível da água ou pelo encharcamento dos resíduos contidos. Muitas têm sistemas de monitoramento que precisam ser lidos continuamente, seguindo um manual. Não podem, portanto, ficar abandonadas à própria sorte, sem que se obedeam às medidas de segurança destinadas a impedir sua degradação.

A qualidade das obras públicas vem sendo posta em xeque na imprensa. Todos se perguntam como tantos desastres podem acontecer quando a engenharia brasileira é reconhecida internacionalmente pelo alto padrão técnico. Lógico que pode haver erros de concepção, projeto, planejamento ou gestão, mas a principal razão para os recorrentes eventos a que temos presenciado é a falta de manutenção.

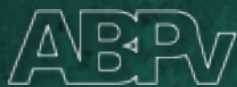
Obras de engenharia precisam de manutenção permanente, não apenas para aumentar e garantir a vida útil da construção, mas, principalmente, por motivos de segurança. O gasto com manutenção de uma estrutura de concreto, por exemplo, é 25 vezes menor do que o custo de renovar a estrutura deteriorada, isto sem contar os possíveis riscos de acidentes.

Esta é uma verdade incontestável, mas dificilmente obedecida, principalmente no setor público! Não há no Brasil uma consciência da importância dos gastos com manutenção, que deveriam ser permanentes e não esporádicos.

O Brasil precisa de uma lei de Responsabilidade Administrativa, com regras claras, para nos anteciparmos aos desastres previsíveis. ☹



# 56 ANOS DE HISTÓRIA



56  
ANOS  
1959 - 2015



O Diretor Presidente da ABPv se une aos homenageados para celebração de mais um aniversário da ABPv.

## ABPv COMEMORA 56 ANOS EM EVENTO NO RIO

A Associação Brasileira de Pavimentação, completando 56 anos de história, promoveu um Seminário Comemorativo no último dia 11 de novembro, na sede da AEERJ – Associação das Empresas de Engenharia do Rio de Janeiro, no Centro da capital fluminense.

O evento reuniu diversos convidados e participantes que se inscreveram para conferir as palestras programadas que abordaram temas pertinentes ao mundo da engenharia de pavimentos.

O Diretor-Presidente da ABPv, Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa, abriu solenemente o evento dando as boas-vindas a todos os presentes. José Pedro destacou o papel importante da Associação em cinco décadas de atuação firme em prol da engenharia nacional.

O Presidente Executivo da AEERJ, Eng. Luiz Fernando dos Santos Reis, parabenizou a ABPv e afirmou que ambas as associações sempre caminharam próximas uma da outra. Em seguida, o Eng. Saul Birman, um dos sócios fundadores da ABPv, falou ao público sobre o surgimento da entidade e como ela se consolidou ao longo dos anos, rememorando seu Presidente de honra, Eng. Mario Kabalem Restom (*in memoriam*).

O Eng. Victor Pimentel, da Geo Soluções-Strata Systems abriu a série de palestras com o tema Tecnologias Avançadas para Reforço de Base de Pavimentos com Geossintéticos. Em seguida, foi a vez do Eng. Ângelo Giovanni Ribeiro de Almeida, da Akzo Nobel, falar sobre a evolução das misturas mornas.



Um dos sócios fundadores da ABPv - Eng. Saul Birman, Diretor Presidente da ABPv - Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa e Presidente Executivo da AEERJ - Eng. Luiz Fernando dos Santos Reis.

No início da tarde, o Presidente da Associação Nacional de Obras Rodoviárias - ANEOR, Eng. José Alberto Pereira Ribeiro, falou sobre o panorama do setor rodoviário no Brasil e suas perspectivas. Em seguida, o Eng. Luiz Fernando Santos Reis, da AEERJ, discorreu sobre a participação das construtoras do Rio de Janeiro no desenvolvimento da infraestrutura do Estado e do País.

A Professora Laura Maria Goretti da Motta, da COPPE/UFRJ e da ABPv, encerrou o ciclo de palestras falando sobre os princípios do novo método de dimensionamento de pavimentos.

Empresas parceiras e vários convidados também estiveram presentes: Eng. Paulo Sergio Roese - Caterpillar; Eng. André Fanaya - Geosoluções; Eng. Cássio Carmo - Huesker; Eng. Dultevir Melo - EcoRodovias; Eng. Fernando Ramos - Harsco; Cel. Eng. Francisco José d'Almeida Diogo - IME; Eng. José Carlos Sciammarella - CEFET-RJ; Eng. Rui Nabais - PRODEC; Eng. Hélio Suêvo - AENFER; Arq. Therezinha Maria da Silva Dias - PCRJ; Euler de Souza - Euler Engenharia e Consultoria; Eng. Jorge Henrique Ribeiro; Eng. Genésio Almeida da Silva - DNIT; Eng. Jaqueline de Oliveira Abi-Chahin e demais participantes aos quais agradecemos a presença e contribuição com suas perguntas durante as palestras e homenagens no decorrer do evento comemorativo.



Diretoria da ABPv: Eng. Michéle Dal Toé Casagrande, Eng. Eduardo Alberto Ricci, Eng. Luciana Nogueira Dantas, Eng. Fernando Augusto Júnior, Arq. Georgina Libório Azevedo e Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa



Eng. Valdir da Costa Reis - Diretor de Desenvolvimento da Associação Nacional de Obras Rodoviárias - ANEOR, Martina Gomez Restom e Vera Cruz Garcia Restom, neta e viúva do Eng. Mario Kabalem Restom.



Eng. João Vicente Falabella Fabrício, membro do Conselho Fiscal da ABPv, Eng. Maria das Graças da Silveira Farias - DNIT e Eng. Valdir da Costa Reis - Diretor de Desenvolvimento da ANEOR.



Eng. Laiz de Souza e Sra. Vera Cruz Garcia Restom



Secretárias da ABPv: Gloria Maria Reis Vaz Oliveira, Elizabeth Vilar Pascoal, Elizabeth Clotilde Filomeno, Mônica de Mesquita Furtado Castro e Daniele Rodrigues de Sousa

## Palavras do Professor Hudson pelo aniversário da ABPv:

Boa tarde,

É com imenso prazer que falo a vocês. Meu nome é Ronald Hudson, sou professor da Universidade do Texas, em Austin, e vim pela primeira vez ao Brasil em 1974, para chefiar um projeto de pesquisa do Banco Mundial – Nações Unidas em parceria com GEIPOP e DNER, mudei para Brasília com a minha família, onde permaneci por um ano. Depois disso continuei a vir ao Brasil de 4 a 6 vezes por ano, durante 10 anos, para continuar este projeto.

Conheci Mario Kabalem Restom em 1975 e tive o prazer de trabalhar com ele durante muitos anos, enquanto o meu grupo estava instalando sistemas de gerenciamento de pavimentos no Paraná em Tocantins. Kabalem foi um grande homem que dedicou sua vida à ABPv e com sua ajuda a tornamos uma das entidades de pavimentos mais importantes do mundo. Ele sempre foi gentil e prestativo comigo e me convidou para proferir várias palestras, cursos intensivos, RPU, assim como discursos de abertura em 5 das RAPv no Brasil.

A comunidade internacional de profissionais de pavimentos sabe perfeitamente que a ABPv proporciona um apoio técnico muito sólido. Mantendo o alto nível de seus trabalhos e compartilhando sua tecnologia com toda a América do Sul e diversos países do mundo.

Nós todos sempre respeitaremos profundamente Kabalem, mas me dá muito prazer dizer que esta organização continua em excelentes mãos, com José Pedro, Eduardo Ricci e os demais diretores, sócios da ABPv, as secretárias Gloria e Elizabeth e demais funcionários. Eu participei de mais de 10 das suas reuniões anuais de pavimentação e pretendo continuar participando enquanto me for possível.

Muito obrigado a vocês.

No encerramento do seminário comemorativo as seguintes personalidades foram homenageadas com o Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom: Eng. Laiz de Souza - Vice-Diretor e Diretor Administrativo da 7ª e 26ª Diretorias da ABPv e Diretor da Euler Engenharia e Consultoria; Prof. Edinaldo Afonso Marques de Mélo - Vice-Presidente da 23ª

Diretoria da ABPv e Diretor de Divulgação da 24ª e 25ª Diretorias da Associação, Coordenador da 4ª e 13ª RPU e 22ª RAPv; e Professor da UFAL; Prof. William Ronald Hudson - Professor Emérito da University of Texas at Austin e Eng. José Alberto Pereira Ribeiro - Presidente da Associação Nacional de Obras Rodoviárias - ANEOR. 📍



Homenageado: Eng. Laiz de Souza - Vice-Diretor e Diretor Administrativo da 7ª e 26ª Diretorias da ABPv e Diretor da Euler Engenharia e Consultoria. A placa foi entregue pelo Diretor-Presidente da ABPv, Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa.



Homenageado: Prof. William Ronald Hudson - Professor Emérito da University of Texas de Austin. A placa foi entregue pelo Vice-Presidente da Associação, Eng. Eduardo Alberto Ricci.

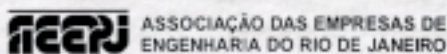


Homenageado: Eng. José Alberto Pereira Ribeiro - Presidente da Associação Nacional de Obras Rodoviárias - ANEOR. A placa foi entregue pelo Eng. Luiz Fernando dos Santos Reis, Presidente Executivo da AEERJ.



Homenageado: Prof. Edinaldo Afonso Marques de Mélo - Vice-Presidente da 23ª Diretoria da ABPv, Diretor de Divulgação da 24ª e 25ª Diretorias da Associação, Coordenador da 4ª e 13ª RPU e 22ª RAPv e Professor da UFAL - Universidade Federal de Alagoas. A placa foi entregue pelo Eng. Dulcevir Guerreiro Vilar de Melo, Consultor Técnico de Pavimentação da EcoRodovias.

APOIO



56  
ANOS  
1959 - 2015

# CARTAS



Rio de Janeiro, 4 de dezembro de 2015

## REVISTA PAVIMENTAÇÃO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Rua Miguel Couto, 105 - slj 204 e 205 - Rio de Janeiro, RJ - CEP 20070-030

Reporto-me ao artigo “um procedimento para identificação de solos lateríticos pedregulhosos visando utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos”.

Este trabalho conduzido pelo IME na pessoa do Professor Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, pode-se dizer altamente inovador. Propõe-se identificar a natureza laterítica dos solos pedregulhosos por meio de exame da fração pedregulhosa, o que não é comum na esfera agrícola e geotécnica. Há que se recorrer a lâminas petrográficas, difração de raio X, além da obtenção de Ki e kr.

No caso deste artigo mobilizou-se uma pesquisadora do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) para a interpretação das lâminas. Ora, no dia-a-dia isto nem sempre será possível. Deve-se ter no Laboratório de Geotecnia e Pavimentos os recursos de ensaios químicos e mineralógicos do solo. E mais, o ensino de pós-graduação (ou até o de graduação) deverá incluir os fundamentos científicos dos ensaios sugeridos, de forma rotineira.

Parabéns aos autores e ao nível de alta qualidade dos artigos da Revista Pavimentação.

A evolução da Ciência traz-nos lições de humildade.



*Jacques de Medina*



# ANÁLISE DE DORMENTE POLIMÉRICO RECICLADO COMO SOLUÇÃO FINANCEIRA VIÁVEL PARA SUBSTITUIÇÃO DE DORMENTE DE MADEIRA DOS AMV'S DA VIA PERMANENTE

*José Jurandi Lopes Campos <sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Engenheiro de Produção  
Faculdade de Boa Viagem/ DeVry Brasil.

## RESUMO

Os sistemas ferroviários de transporte de passageiros como sistema de alta densidade atendem aos usuários nos horários das 05:00h às 00:00h. Nestas condições as operadoras aumentam significativamente os custos de manutenção devido à reduzida grade horária disponível para as intervenções da manutenção, além das perdas de tempo com deslocamentos no trecho para acessar os equipamentos/sistemas.

O presente trabalho visa apresentar o comportamento prático/operacional dos dormentes de plástico reciclado aplicados em uma empresa de transporte ferroviário de alta densidade de passageiros como alternativa viável econômica, social e ecologicamente correta para substituição dos dormentes de madeiras utilizados nos AMV's da superestrutura ferroviária.

Com este estudo, verifica-se que o dormente polimérico tem hoje um valor de aquisição 25% menor que o dormente de madeira e que a aplicação do primeiro nos AMV's provoca uma sensível redução das necessidades de intervenção de manutenção, em função do seu elevado ciclo de vida em relação ao segundo.

Por fim, conclui-se que o dormente de madeira começa a perder espaço devido ao avanço da legislação, pressões ambientais e da responsabilidade social das organizações e que o dormente polimérico, com seu desenvolvimento tecnológico nos últimos 10 anos, e principalmente pela redução de preço, se apresenta como um produto viável para o mercado ferroviário.

**Palavras-chave:** A análise descritiva, Confiabilidade, Manutenção Preventiva .

## ABSTRACT

*The railway passenger transport systems as a high systems density serves users from 05:00 am to midnight. In these conditions the operators increases significantly their maintenance costs because of reduced timetable available for interventions besides the wasted of time with shifts in the stretch to access the equipment/ systems.*

*In these conditions the operators significantly increase maintenance costs due to reduced timetable available for interventions besides the loss of time with shifts in the stretch to access the equipment/ systems. Present the practical / operational behavior of recycled plastic sleepers applied on a railway undertaking high density of passengers as a viable alternative economically, socially and environmentally friendly replacement of the sleepers of wood used in AMV's railway superstructure. With this study there is the result that the polymeric dormant now has an acquisition value of 25% less than the wooden sleeper and applying the first in AMV's causes a substantial reduction in maintenance work needs depending on their high cycle life compared to the second.*

*Finally, it is concluded that the wooden sleeper begins to lose ground to the advancement of legislation, environmental pressures and the social responsibility of organizations and that the polymeric dormant for the past 10 years with its technological development and primarily by price reduction presents as a viable product for the railway market.*

**Keywords:** Descriptive analysis, Reliability, Preventive Maintenance.

## 1 • INTRODUÇÃO

O sistema de transporte de passageiros sobre trilhos tem o objetivo de atender às necessidades de deslocamento dos usuários com conforto, segurança e confiabilidade. A sua importância como transporte de massa de alta capacidade ou densidade está diretamente relacionado com a sua importância como sistema estrutural, integrado a outros subsistemas de transporte urbano.

O sucesso de um sistema de transporte de passageiros sobre trilhos está diretamente relacionado com a eficiência da manutenção de seus equipamentos, principalmente a manutenção da via permanente (infraestrutura e superestrutura ferroviária).

O dormente é um dos mais importantes elementos da superestrutura e seu desenvolvimento e aplicação têm materiais consolidados no mercado, desde a madeira e o concreto, que consumiram anos de evolução com acertos, erros e muita pesquisa.

Segundo Porto (2004) e Schramm (1977), os três tipos de dormentes (madeira, aço e concreto), quanto às suas avulsões técnicas, não apresentam vantagens absolutas, por isto, ainda é o aspecto econômico o fator determinante na escolha do material a ser utilizado.

O dormente de plástico reciclado tem sua comprovação técnica (resistência e durabilidade) fundamentada apenas em ensaios, e no Brasil, a sua aplicação não passa de 10 anos.

Em laboratórios, os testes submetem os dormentes a condições mais severas do que ocorre na aplicação em campo, inclusive dinamicamente através de milhões de ciclos e ataques químicos, simulando o tempo, envelhecimento e condições desejadas.

Pela falta de uma engenharia corporativa para aplicação e homologação do produto nas condições operacionais, nas mais diversas condições de uso, existem as desconfianças e incertezas dos técnicos das operadoras de transporte sobre trilhos.

O dormente de plástico reciclado apresenta-se como uma solução inovadora da aplicação de novas tecnologias ferro-

viárias em função do respeito à preservação ambiental com a reutilização de um material descartado pela sociedade, criando um novo produto para aplicação na superestrutura ferroviária.

Neste trabalho foram estudados os dormentes ferroviários (madeira, concreto, plástico reciclado), com sua história e evolução, por se tratar do elemento mais importante da superestrutura ferroviária. Foi analisada a aplicação de dormentes de plástico reciclado como solução viável econômica, social e ambiental para substituição de dormentes de madeira aplicados nos AMV's de uma empresa de transportes de passageiros sobre trilhos.

Pretende-se demonstrar também a redução das intervenções de manutenção nos AMV's, com conseqüente redução custos e otimização quanto à manutenção preventiva e corretiva do equipamento em função do aumento da vida útil do novo material.

O dormente de concreto não foi explorado, mas apenas apresentado e detalhada a sua história e evolução. Foi referenciado por tratar-se de produto consolidado no mercado ferroviário em função de sua durabilidade e resistência aos esforços e solicitações da via permanente, mas a área de Gestão de Ativos e Manutenção descartou-o em função da filosofia local de trabalho e indisponibilidade de logística de transporte e aplicação, principalmente pelo seu elevado peso.

Neste sentido, foram analisados os resultados obtidos a partir da viabilidade, principalmente econômica, mas também técnica e ambientalmente correta, da substituição dos dormentes de madeira por dormentes de plástico reciclado dos AMV's, no sentido de aumentar a disponibilidade operacional do equipamento com conseqüente redução das intervenções de manutenção.

## 2 • JUSTIFICATIVA

O campo da engenharia dos materiais tem apresentado um grande avanço tecnológico nos últimos 30 anos. Evidencia-se que o dormente de plástico reciclado se apresenta como uma evolução tecnológica, mas sem esquecer que o fator econômico ainda prevalece como determinante para a escolha do material/produto a ser empregado ou aplicado.

O estudo da substituição dos dormentes de madeira por dormentes de plástico reciclado nos AMV's visa atender às necessidades de aumentar a disponibilidade do equipamento, requerido pelo acréscimo da demanda no sistema via permanente, garantindo a segurança e a confiabilidade dos sistemas, bem como a busca pela melhoria contínua na elevação do nível de qualidade dos serviços prestados pelas equipes de manutenção e qualidade de vida dos empregados.

Com o crescimento sistemático do número de usuários do Sistema de Transporte de Passageiros sobre Trilhos da Região Metropolitana do Recife, onde está inserido como sistema estruturador integrado a outros modais de transporte, verificou-se a necessidade do aumento da confiabilidade de via permanente durante o horário da operação comercial (05:00h às 00:00h), devido ao aumento do número de viagens dos Trens Unidades Elétricas (TUE) e consequente aumento das solicitações da via permanente.

O estudo da viabilidade econômica da substituição e utilização de um novo produto na manutenção visa atender às necessidades de aumentar a disponibilidade do Sistema de Transporte pelo acréscimo da demanda, assim como garantir a segurança e a disponibilidade da via permanente. Desta forma busca-se a elevação do nível de qualidade do serviço prestado e sua correspondente percepção pela sociedade.

### 3 • DORMENTES

Os primeiros dormentes foram confeccionados de pedra, mas problemas causados devido à elevada rigidez e à dificuldade de manutenção da bitola fizeram com que a pedra fosse substituída pela madeira. A partir de 1820, intensificou-se o uso de dormentes de madeira, que era facilmente encontrada próxima e ao longo das ferrovias.

De acordo com Bastos (1999), a partir do início do século XX, com o desenvolvimento do Material Rodante, intensificação das cargas, escassez da madeira, elevado preço das madeiras nobres, menor durabilidade e maior necessidade de manutenção, surgiram as primeiras aplicações e desenvolvimento dos dormentes de concreto. Com o surgimento do concreto protendido, a partir do final da Segunda Guerra

Mundial, especificamente a partir de 1947, intensificou-se na Europa a substituição dos dormentes de madeira por dormentes de concreto bi-bloco e monobloco.

O desenvolvimento do dormente de concreto foi longo e demorado, mas as ferrovias precisavam diminuir seus custos de manutenção e aumentar a estabilidade e confiabilidade das linhas em função do aumento da carga e elevação da velocidade. Mas os AMV's, por apresentarem pequenas descontinuidades e serem submetidos a elevados impactos e vibrações, continuaram usando o dormente de madeira, cuja principal qualidade é a sua flexibilidade, que lhe confere a grande capacidade de suportar vibrações das ações dinâmicas atuantes na via permanente, ou seja, o dormente de madeira possui um nível de elasticidade capaz de suportar altíssimos impactos.

Na década de 70, Brina (1979) já fazia questionamentos quanto à escolha do dormente postulando como professor de Engenharia Ferroviária, quanto à superioridade de um tipo de dormente sobre outros, quando apenas se conheciam as aplicações de dormentes de madeira, concreto e aço.

No final dos anos 80, Stopatto (1987) enfatiza o problema do desmatamento desordenado de nossas florestas, a partir do surgimento dos primeiros protestos dos ecologistas. É bastante enfático quanto aos problemas de aquisição dos dormentes de madeira, já fazendo referência a outras opções para dormentes a serem consideradas.

A partir de 1998 começaram o desenvolvimento e aplicações dos primeiros dormentes poliméricos que aos poucos estão sendo aplicados em várias ferrovias nos Estados Unidos, Japão, Europa e mais recentemente no Brasil, sendo produzidos com plástico reciclado e de material de primeira linha dependendo das condições técnicas de aplicação.

Por definição, segundo Brina (1988), dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte para os trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (bitola).

### 3.1 • Dormente de madeira

O dormente de madeira é largamente utilizado, mas devem ser utilizadas madeiras de alta densidade e elevadas propriedades mecânicas, características das madeiras nobres de matas nativas que, em sua maioria, já se encontram protegidas por legislação ambiental ou são conseguidas de empresas detentoras de autorização para manejo ambiental (STOPATTO, 1987).

Vale ressaltar que, por questões de segurança de tráfego e mitigação dos impactos e proteção ambiental, as normas e procedimentos adotados pelas instituições que regulam os requisitos e métodos para a produção e fornecimento de dormentes de madeira, estão cada vez mais rígidos, tornando praticamente inviável economicamente a aquisição de dormente de primeira linha.

Algumas empresas ferroviárias passaram a adquirir dormentes de madeira de eucalipto de áreas de reflorestamento, mas aí também paira a polêmica desses hortos florestais causarem grandes impactos ambientais pela monocultura (desertos verdes), agressão ao solo em função do grande consumo dos recursos hídricos do subsolo, acidez da massa seca depositada no solo afetando a biodiversidade, etc.

Para a aquisição de dormentes de madeira, devem ser observados os requisitos legais:

- BRASIL, Lei 4797 de 29 de outubro de 1965. Torna obrigatório pelas empresas concessionárias de serviços públicos, o emprego de madeiras preservadas. Legislação Federal. Sítio eletrônico internet - [ibama.gov.br](http://ibama.gov.br).
  - BRASIL, Instrução Normativa do IBAMA no 05 de 20 de outubro de 1992. Disciplina os procedimentos a serem observados quando do cumprimento do estabelecido na Portaria Interministerial no 292 de 28 de abril de 1989 que disciplina os procedimentos a serem adotados pelas Usinas de Preservação de Madeira. Sítio eletrônico internet - [ibama.gov.br](http://ibama.gov.br).
  - BRASIL, Instrução Normativa do IBAMA nº 112 de 21 de agosto de 2006. Disciplina a utilização do Documento de Origem Florestal – DOF, instituído pela Portaria / MMA/ nº 253, de 18 de agosto de 2006 que regulamenta a licença obrigatória para o controle, transporte e armazenamento de produtos e subprodutos florestais de origem nativa contendo as informações sobre a procedência desses produtos e subprodutos. Sítio eletrônico internet – [ibama.gov.br](http://ibama.gov.br)
  - Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras de recursos ambientais obedecendo a legislação cuja finalidade é o monitoramento das atividades potencialmente poluidoras e/ou a extração, produção, transporte e comercialização de produtos potencialmente perigosos ao meio ambiente, assim como de produtos e subprodutos da fauna e flora. Ou seja, o Cadastro Técnico Federal é o registro físico e obrigatório de pessoas físicas e jurídicas que realizam atividades da tabela de atividades potencialmente poluidoras.
- Em resumo, para a habilitação de fornecedor para dormente de madeira, deve ser exigido, conforme sítio eletrônico internet – [ibama.gov.br](http://ibama.gov.br).
- Contrato social com atividade econômica compatível com o objeto fornecimento de madeiras conforme orientação do IBAMA.
  - Registro no IBAMA – Cadastro Técnico Federal (Do fornecedor, mesmo em caso de comercialização);
  - Licença Ambiental Estadual – Licença de Operação concedida pela Secretaria de Meio Ambiente;
  - Registro da Usina de Preservação de Madeiras no IBAMA - Cadastro Técnico Federal;
  - Licença da Usina de Preservação de Madeiras na Secretaria de Meio Ambiente (Licença Ambiental Estadual e Licença de Operação);
  - Registro da Usina de Preservação de Madeiras no Conselho Regional de Química, denominando o Eng. Químico responsável pela usina. Emissão do relatório sistemático do processo de tratamento preservativo detalhado.
- Para uso da madeira como dormente devem ser obedecidos os requisitos da norma da ABNT quanto ao fornecimento e classificação (NBR 7511 e NBR 12083).
- Com base nas normas e outros requisitos, as operadoras de transporte de passageiros sobre trilhos possuem as suas especificações. Segundo uma dessas especificações desenvolvida com base nas NBR's, para a madeira se tornar dormente ferroviário, deve atender aos seguintes índices físicos e mecânicos:

**Tabela 01 - Índices físicos e mecânicos para madeira**

Características específicas	Umidade	Índices mínimos	
		Grupo I	Grupo II
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	0,75	0,6
Dureza (D)	Kg/cm <sup>2</sup>	500	400
Cisalhamento (C)	Kg/cm <sup>2</sup>	100	80
Tração normal (T)	Kg/cm <sup>2</sup>	75	50
Fendilhamento (F)	Kg/cm <sup>2</sup>	9	7
Grau de coesão	-	3	2
D + C + T + F	-	850	650

Fonte: EMVP – 15 (Companhia Brasileira de Trens Urbanos), 2015.

Conforme as especificações, os dormentes do grupo I tem durabilidade maior, sendo classificados como dormentes especiais, devendo ser utilizados como dormentes para AMV's ou dormentes para obras d'artes (pontes e pontilhões). Os dormentes do grupo II poderão ser utilizados em qualquer finalidade.

Ainda conforme a mesma especificação, as dimensões para os dormentes de madeira seguem as informações na tabela 02.

**Tabela 02 - Dimensões dos dormentes de madeira**

Tipo de dormente	Bitola (m)	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Dormente comum	1,60	2,60	0,24	0,17
Dormente comum	1,00	2,00	0,22	0,16
Dormente p/AMV	1,60	*	0,24	0,17
Dormente p/ AMV	1,00	*	0,22	0,16
Dormente p/ pontilhões		*	*	*

\*Dimensões variáveis de acordo com projeto e bitola.

Fonte: EMVP – 15 (Companhia Brasileira de Trens Urbanos), 2015.

Vários outros fatores influenciam na durabilidade da madeira, tais como drenagem da via, peso e velocidade do MRO, grau de secagem, tipo de fixação, tipo de lastro, tipo de placa de apoio ao trilho, além do tratamento químico com preservativos de madeiras, para que retardem os efeitos climáticos e ataques biológicos (fungos e insetos).

Como pode ser observado, conforme a legislação, e os requisitos para a aquisição e fornecimento do dormente de puro cerne o tornam quase inviável economicamente.

### 3.2 • Dormente de concreto

O dormente de concreto é um produto atualmente consolidado e sua exaustiva pesquisa e desenvolvimento fez dele o preferido pelos engenheiros ferroviários em função de suas características, superioridade técnica e vida útil acima de 50 anos, aumento dos ciclos e da redução dos custos de manutenção.

Bastos (1999) relata que a história mostra que o desenvolvimento do dormente de concreto foi longa e difícil, sendo dividida em fases. A primeira fase vai de 1900 até 1947, com sucessivos fracassos. Os primeiros dormentes foram submetidos em suas aplicações na via, aos choques, vibrações e às ações dinâmicas do MRO, onde apareceram fissuras que evoluíram em rupturas devido à grande rigidez desses dormentes. A segunda fase se inicia em 1947 e segue até os dias atuais com o desenvolvimento dos dormentes de concreto protendido.

A experiência, técnica e prática operacional, têm evidenciado que a aplicação do dormente de concreto implica em ferrovias de qualidade estrutural superior, de melhor estabilidade e reduzida manutenção (PORTO, 2004).

Entretanto, é pouco conhecido, discutido e/ou avaliado que a indústria do cimento seja responsável por 5% das emissões mundiais de CO<sup>2</sup>, ou seja, para a produção de uma tonelada de cimento, são geradas 0,55 toneladas de CO<sup>2</sup> de origem química (descarbonização do calcário para a produção do clínquer e aproximadamente 0,4 tonelada de CO<sup>2</sup> devido ao uso de combustíveis fósseis para a produção do cimento). Segundo o Greenhouse Gas R&D Programme, da International Energy Agency (IEA), a média mundial de emissão na produção de cimento é de 810KgCO<sup>2</sup>/ton e de aproximadamente 255Kg CO<sup>2</sup>/ton de concreto o que equivale à produção de 6 dormentes e adicionamos mais 45KgCO<sup>2</sup>/ton levando-se em

conta o transporte, carga, descarga e aplicação desses dormentes em uma via permanente. À taxa de 1667 dormentes de concreto por quilômetro, a ferrovia contribui com aproximadamente 83,35tonCO<sup>2</sup>/Km.

Os dormentes de concreto podem ser do tipo monobloco ou bi-bloco. O dormente bi-bloco é constituído por dois blocos rígidos de concreto armado sob cada trilho, unidos por uma barra flexível de aço. O dormente monobloco é constituído por somente uma peça rígida e contínua de uma extremidade a outra, sendo submetido a grandes momentos fletores que aparecem em diferentes seções do dormente, são exclusivamente protendidos para resistir à distribuição dos momentos fletores provenientes das ações dinâmicas (PORTO, 2004).

A fabricação de dormente de concreto também obedece às especificações das operadoras com base nas normas da ABNT e especificações técnicas.

O dormente de concreto apresenta como desvantagem o seu peso em massa, o que dificulta bastante o seu manuseio, carga, descarga e instalação.

### 3.3 • Dormente polimérico

No final dos anos 90 do século XX, teve início o desenvolvimento dos dormentes de plástico reciclado pelo Corpo de Engenharia Civil do exército americano como forma alternativa ao dormente de madeira em função da escassez da matéria-prima e visando a preservação ambiental.

O dormente de plástico reciclado tem como sua grande vantagem a sua previsão de vida útil, próxima aos 50 anos, além de serem recicláveis após o final do seu ciclo de vida. Em função do seu módulo de elasticidade, podem ser instalados em linhas junto aos dormentes de madeira. Suportam grandes tensões e apresentam maior flexibilidade que os dormentes de madeira, são impermeáveis à água e aos efeitos biológicos, suas instalações são adequadas para locais com muitas variações climáticas e umidade.

Em 2003 a *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA) publica a seção 5, dedicada às especificações com orientações quanto ao projeto, fabricação, aplicação e os requisitos mínimos de desempenho dos dormentes de compósitos poliméricos para ferrovias.

Várias empresas americanas desenvolveram seus dormentes poliméricos utilizando diversas tecnologias e aplicação de diversos materiais (compósitos) iniciando a produção em escala, sendo aplicados em diversas ferrovias.

### 4 • MÉTODO PARA ESTUDOS ECONÔMICOS COMPARATIVOS

Para atualização dos preços dos dormentes de madeira e poliméricos, viabilidade econômica e análise de custos foram utilizadas as seguintes fórmulas de capitalização (manual AREMA “comparação econômica de ciclo de vida”, Assad, 2007).

$$C + C' = \frac{C (I + R)^n}{(1 + R)^n - 1} \quad (1)$$

Onde:

C = Custo de aquisição do dormente.

C' = Montante de dinheiro a juros compostos, que produzirá interesse igualando o primeiro custo do dormente durante sua vida útil.

R = Taxa de juros.

N = Vida útil do dormente em anos.

Requisitos para custo total anual:

$$I = CR \quad A = \frac{CR}{(I + R)^n - 1} \quad (2)$$

Custo total anual:

$$I + A = \frac{CR (1 + R)^n}{(I + R)^n - 1} \quad (3)$$

Onde:

C = Custo de aquisição do dormente.

R = Taxa de juros.

I = Diferença do custo de aquisição do dormente atualizado monetariamente.

A = Custo do capital durante o ciclo de vida do dormente.

N = Vida útil do dormente em anos.

Os custos do dormente são equivalentes quando os custos de capitalização ou anuais são iguais, ou,

$$C^2 = \frac{C (1 + R)^n}{(1 + R)^n - 1} \times \frac{(1 + R)^{n1} - 1}{(1 + R)^{n1}} \quad (4)$$

Onde:

R = Taxa de juros.

C = Custo de aquisição do dormente.

C2 = Custo do dormente em n anos de vida.

### 5 • RESUMO COMPARATIVO (DORMENTE DE MADEIRA X DORMENTE POLIMÉRICO)

O estudo comparativo das vantagens e desvantagens de cada opção de dormente com critérios de avaliação e atribuição de notas às habilidades de cada material é realizado de acordo com Marzola (2004), em tabela da CPTM.

Tais critérios de avaliação podem variar de acordo com valores e sentimentos vividos por cada profissional em suas operadoras e filosofia de manutenção a ser aplicada. Mesmo assim ratificam-se os mesmos requisitos com as notas no intervalo de 1,0 a 5,0 de acordo com a tabela 03.

- **Confiabilidade:** garantia de que durante a utilização da via permanente, a viagem não será interrompida por falha de dormentes;
- **Segurança:** menor risco de ocasionar acidente ou falha de qualquer natureza, tornando as condições de operação mais seguras;
- **Reutilização:** capacidade de ser reutilizado ou reciclado;
- **Vida útil:** duração estimada do componente no exercício de sua função;
- **Manutenção da via:** facilidade de instalação e manutenção do componente na via, ainda se necessita de equipamentos específicos para a manutenção no elemento, sem gerar falhas;
- **Toxicidade:** será atribuída nota quanto à capacidade de não agredir o meio ambiente quando do seu uso, em condições normais e adversas;
- **Impermeabilização:** quanto à capacidade de não absorção de água e líquidos, bem como sua proteção contra agentes biológicos;
- **Resistência lateral:** capacidade de resistir a efeitos laterais;
- **Preço:** será atribuída nota quanto ao preço de aquisição do dormente no mercado e quanto ao custo da manutenção durante um período.

Tabela 03 - Nota para os requisitos de escolha do dormente a partir do material

Requisitos	Madeira	Plástico
Confiabilidade/Segurança	4,0	4,0
Reutilização	1,0	5,0
Vida útil	1,0	5,0
Manutenibilidade	5,0	5,0
Isolação	4,0	5,0
Toxicidade / Meio ambiente	1,0	5,0
Impermeabilidade	1,0	5,0
Resistência lateral	4,0	4,0
Custo cíclico	1,0	4,0
TOTAL	22,0	42,0
<b>Classificação técnica (%)</b>	<b>34,38%</b>	<b>65,62%</b>

Fonte: adaptado de CPTM, 2015.

Principais diferenciais para utilização dos dormentes poliméricos:

- Estimativa de vida útil superior a 40 anos e consequente baixa manutenção;
- Utilização do mesmo ferramental utilizado com dormentes de madeira;
- Permite utilização do mesmo lastro, intercalando ou não com os dormentes de madeira;
- Resistência à compressão mecânica superior a 100 toneladas sem afundamento de placa;
- Previsibilidade de entrega e homogeneidade do produto;
- Pode ser desenvolvido e confeccionado conforme as necessidades dimensionais e de resistência de cada operadora conforme locais de aplicação;
- Excelente retenção da fixação de todos acessórios da via;
- Isolante elétrico evitando curto-circuito entre os trilhos;
- Não têm lado, podendo ser utilizado de ambos os lados, bem como permite tarugar furos como os dormentes de madeira;
- Baixo nível de ruído;
- Resistentes ao apodrecimento, intempéries e ação de insetos, não sendo necessário o uso de agentes químicos para tratamento;
- Sustentabilidade, pois ao final do ciclo de vida útil ou quando danificados permitem sua reutilização (ciclo de vida fechado); evita o desmatamento de florestas com a derrubada de árvores nativa; reutilização do plástico (reciclagem); economia de fontes de energia não renováveis; benefício socioambiental gerando empregos diretos e indiretos em toda cadeia produtiva.

Mesmo estando consolidado o uso do dormente de matriz polimérica na América do Norte, Europa e Japão, no Brasil, apesar de haver um mercado promissor, observa-se certa reserva por parte dos técnicos ferroviários por ser um produto novo. Apesar de cumprir os requisitos da norma, conforme testes nas Universidades e Institutos de Pesquisas, não tem avançado no mercado e não possui histórico de aplicação prática operacional que o consolide como produto reconhecido e homologado, bem como os riscos em função dos custos de aquisição envolvidos.

O dormente confeccionado com plástico reciclado apresenta resistência às adversidades climáticas, resistindo bem ao frio, calor e áreas de microclima extremamente agressivo, é impermeável à água e à ação de agentes biológicos, é de fácil manuseio pela densidade próxima à da madeira, sendo facilmente moldável, o que permite inserir formatos com reentrâncias e encaixes aumentando a sua aderência e estabilidade da grade ferroviária e estima-se um ciclo de vida útil acima de 50 anos (Assad, 2007).

No Brasil, os materiais plásticos são descartados e lançados em aterros sanitários gerando graves problemas ecológicos. Todo esse material poderia ser reaproveitado através da reciclagem através de um processo de gestão minimizando os impactos ambientais causados pelo descarte como lixo. O Brasil recicla apenas 20% de todo descarte de resíduo plástico, sendo o restante lançado em aterros sanitários e lixões (Plastivida, 2008).

Os plásticos descartados como lixo causam sérios problemas ambientais não só na contaminação dos solos como das áreas marinhas. Como ação mitigadora, a proposta de coleta e reciclagem, além de garantir a proteção ambiental pela conservação, preservação e proteção das árvores nativas, também garantiria a inclusão de pessoas em risco social com a geração de emprego e renda em comunidades carentes.

**Figura 01 - Dormente polimérico aplicado em AMV na ZM 5 de Cavaleiro - CBTU/STU- Recife, 2010.**



*Fonte: Autor, 2010.*

Dormente polimérico aplicado em AMV na região de Agulhagem da ZM-5 de Cavaleiro, na CBTU do Recife, no ano de 2010, Fig. 01

**Figura 02 - Dormente polimérico aplicado em AMV, Região da Grade do Jacaré na ZM - 5 de Cavaleiro, CBTU/STU- Recife, 2006.**



*Fonte: Autor, 2011.*

Dormente polimérico aplicado em AMV na região da grade do jacaré da ZM-5 de Cavaleiro, na CBTU do Recife, no ano de 2006, Fig. 02.

**Figura 03 - Dormente polimérico  
Dormente estruturado com vergalhão de aço e vergalhão de teflon \*No detalhe, falha com vazio indesejável.**



*Fonte: Autor, 2011.*

Dormente polimérico estruturado submetido a ensaio de inspeção nas Oficinas de Cavaleiro, na CBTU do Recife, no ano de 2011. Foram realizadas várias seções com cortes de 10 em 10 cm para conferir integridade do material, Fig. 03.

# 6 • A GESTÃO DE ATIVOS E MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE

A via permanente é uma estrada e como tal a sua conservação se processa com apoios logísticos específicos e deslocamento das equipes ao longo do trecho.

Estes deslocamentos afetam diretamente a produtividade das equipes de manutenção com perdas significativas de tempo. E em vias segregadas dos trechos urbanos torna-se quase impossível acessar os equipamentos do sistema por rodovias.

O sucesso de um sistema de transporte de passageiros sobre trilhos está diretamente relacionado com a eficiência da manutenção de seus equipamentos, principalmente a manutenção da infraestrutura e superestrutura ferroviária.

Em função da operação comercial do sistema, a maior parte dos serviços de manutenção na via permanente é executada no período noturno (das 22 h às 05 h). A ênfase dos trabalhos é na manutenção preventiva e os casos urgentes são resolvidos na manutenção emergencial.

Para a manutenção ou substituição dos dormentes de AMV's especificamente é utilizado o critério da medição da vida útil em anos, porém, é padrão essencial o acompanhamento dos equipamentos com inspeções visuais das condições e comportamento dos dormentes em função da solicitação dos equipamentos com a passagem do MRO (densidade de tráfego que é medida em MTBT – Milhões de toneladas brutas transportadas).

Diante do exposto, cabe aos técnicos de manutenção buscar alternativas para otimizar a aplicação dos recursos financeiros da empresa. No caso da aplicação de dormentes de plástico reciclado como solução viável para substituição de dormentes de madeira dos AMV's da via permanente. Para tal, a área de Gestão de Ativos e Manutenção partiu com o argumento ambiental e com a indignação de que, em pleno século XXI, as empresas insistam em usar madeira, mesmo diante da grande dificuldade de fiscalização e controle quanto à origem dos dormentes de madeira que eram adquiridos através de licitação criando sérios problemas entre os técnicos da empresa e as empresas fornecedoras do produto.

Diante do apresentado, e com o endurecimento da legislação ambiental, tem-se o cenário perfeito para a aquisição por parte de agentes inescrupulosos de produtos frutos da ilegalidade

alimentando o desmatamento predatório. Outro fator aviltante é que se observa atualmente é que os dormentes aplicados nas vias permanentes têm apresentado vida útil entre 5 e 7 anos e que continuam sendo adquiridos pelas empresas ferroviárias única e exclusivamente levando-se em consideração apenas o preço sem as considerações técnicas e ambientais.

Buscando práticas sustentáveis, sempre tendo como referência a preocupação com o meio ambiente, foi apresentado pela área de Gestão de Ativos e Manutenção como alternativa a aplicação de dormentes de plástico reciclado como uma solução inovadora da aplicação de novas tecnologias ferroviárias, enfatizando o respeito à preservação ambiental com a reutilização de um material descartado pela sociedade criando um novo produto para aplicação na superestrutura ferroviária.

Em 2006, os dormentes de plástico reciclado cotados pelas empresas fornecedores giravam em torno de três vezes o preço do dormente de madeira e a gestão da área de via permanente justificou a sua aquisição com argumentos técnicos e o pioneirismo das boas práticas ambientais que, mesmo não sendo viável economicamente no curto prazo, era socialmente justo, ecologicamente correto e culturalmente justificado, onde a sustentabilidade passa a ser o principal desafio para o desenvolvimento sustentável.

A nova economia verde prega o aumento da vida útil dos produtos e a sua reutilização ou reciclagem. No atual estágio de desenvolvimento sustentável, os resíduos (lixo) passam a ter valor econômico crescente. Conforme estudos do IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada - o Brasil enterra mais de R\$ 8 bilhões por ano ao não reciclar resíduos encaminhados aos aterros e lixões.

Coube aos técnicos da área de Gestão de Ativos e Manutenção o convencimento de que, apesar de um investimento um pouco mais elevado à época, a sustentabilidade traz resultados permanentes e irreversíveis a médio e longo prazos.

Para uma análise de desempenho e inspeção, principalmente quanto à integridade da fixação do tirefão, em janeiro de 2015, foi retirado do trecho um dormente aplicado em AMV's no período 2006. O tirefão foi retirado e recolocado por 5 vezes e executado torque com 340N.m, conforme especificações da norma AREMA, e o mesmo resistindo e mantendo as condições de atendimento à norma.

Gradativamente foi se aumentando o torque de 10 em 10 N.m até quando foi atingida a medição de 400 N.m com o rompimento da integridade da fixação (explanação dos fios de rosca).

**Figura 04 - AMV 1:10 em bitola métrica, montado com dormentes poliméricos  
Linha Sul Diesel, outubro/2014.**



*Fonte: Autor, CBTU/STU - Recife, 2015.*

Em outubro de 2014, a Gestão de Ativos e Manutenção da Via Permanente, executa a instalação e montagem do primeiro AMV com toda a dormentação exclusivamente de polímero na Linha Sul Diesel, Figura 04.

Este AMV está sendo monitorado pelas equipes de inspeção e manutenção da área para garantir a integridade e observar o comportamento prático/operacional do equipamento.

## 7 • RESULTADOS E DISCUSSÕES

**Tabela 04 - Quantitativos de dormentes por AMV**

<b>AMV</b>	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	<b>TOTAL</b>
<b>1:08</b>	X	11	11	8	5	4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	X	70
<b>1:10</b>	X	11	14	10	7	6	5	4	6	4	4	4	4	4	4	X	87
<b>1:14</b>	X	11	22	14	9	7	7	6	8	6	3	6	5	6	8	X	118

<b>Trav.</b>	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	<b>Total</b>
<b>1:08</b>	14	6	22	16	19	17	8	8	10	14	X	X	X	X	X	X	134
<b>1:10</b>	12	14	28	20	23	21	10	8	20	12	X	X	X	X	X	X	168
<b>1:14</b>	26	6	44	28	30	26	14	12	16	26	X	X	X	X	X	X	228

A tabela 04 destaca a quantidade de dormentes necessária para instalação e montagem de um AMV.

Tabela 05 - Preço do dormente de madeira e polimérico (2015)

Dimensões (m)	Dormente de Madeira Valor Unitário (R\$)	Dormente Polimérico Valor Unitário (R\$)	Relação %
2,60 x 0,17 x 0,24	420,00	405,17	96,47
2,80 x 0,17 x 0,24	504,00	433,26	85,96
3,00 x 0,17 x 0,24	600,00	461,35	76,89
3,20 x 0,17 x 0,24	640,00	489,44	76,48
3,40 x 0,17 x 0,24	680,00	517,33	76,08
3,60 x 0,17 x 0,24	720,00	545,62	75,78
3,80 x 0,17 x 0,24	760,00	573,71	75,49
4,00 x 0,17 x 0,24	800,00	601,80	75,23
4,20 x 0,17 x 0,24	840,00	629,89	74,99
4,40 x 0,17 x 0,24	880,00	657,98	74,77
4,60 x 0,17 x 0,24	920,00	686,27	74,59
4,80 x 0,17 x 0,24	960,00	714,16	74,39
5,00 x 0,17 x 0,24	1.000,00	742,25	74,23
5,20 x 0,17 x 0,24	1.100,00	758,43	68,95
5,40 x 0,17 x 0,24	1.200,00	770,34	64,20
		<b>Média</b>	<b>76,30</b>

Fonte: Autor, 2015

Na tabela 05 estão lançados os preços médios de cotação dos dormentes de madeira e dos dormentes poliméricos cotados com os fornecedores em janeiro de 2015. É possível observar que o preço médio de aquisição do dormente polimérico se apresenta 25% menor que o custo médio de aquisição do dormente de madeira.

Tabela 06 - Relação de preço do dormente de madeira em 2010, com atualização monetária 2015

Dimensões	Dormente de Madeira Valor Unitário (R\$) 2010	Dormente de Madeira Valor Futuro (R\$)	Dormente de Madeira Valor Unitário (R\$) 2015	Relação %
2,60 x 0,17 x 0,24	333,82	513,62	420,00	81,77
2,80 x 0,17 x 0,24	357,19	549,57	504,00	91,71
3,00 x 0,17 x 0,24	390,67	601,08	600,00	99,82
3,20 x 0,17 x 0,24	416,71	641,15	640,00	99,82
3,40 x 0,17 x 0,24	424,61	653,30	680,00	104,09
3,60 x 0,17 x 0,24	432,14	664,89	720,00	108,29
3,80 x 0,17 x 0,24	453,42	697,63	760,00	108,94

4,00 x 0,17 x 0,24	484,70	745,76	800,00	107,27
4,20 x 0,17 x 0,24	515,98	793,89	840,00	105,81
4,40 x 0,17 x 0,24	547,26	842,01	880,00	104,51
4,60 x 0,17 x 0,24	578,54	890,14	920,00	103,35
4,80 x 0,17 x 0,24	609,82	938,27	960,00	102,32
5,00 x 0,17 x 0,24	651,11	1001,80	1000,00	99,82
5,20 x 0,17 x 0,24	687,60	1057,94	1100,00	103,98
5,40 x 0,17 x 0,24	724,10	1114,10	1200,00	107,71
			<b>Média</b>	<b>101,95</b>

Fonte: Autor, 2015

A tabela 06 compara a evolução do preço médio do dormente de madeira adquirido em 2006 com atualização monetária de 10% ao ano, em relação ao preço médio de aquisição dos dormentes de madeira cotados em janeiro de 2015 com fornecedores.

Observa-se através da aplicação da fórmula de atualização monetária que, ao se comparar com o preço médio atual, manteve-se uma equivalência.

**Tabela 07 - Relação de preço do dormente polimérico em 2010 com atualização monetária 2015**

Dimensões	Dormente Polimérico Valor Unitário (R\$) 2010	Dormente Polimérico Valor Futuro (R\$)	Dormente Polimérico Valor Unitário (R\$) 2015	Relação %
2,60 x 0,17 x 0,24	451,89	695,28	405,17	58,27
2,80 x 0,17 x 0,24	486,66	748,78	433,26	57,86
3,00 x 0,17 x 0,24	521,42	802,26	461,35	57,51
3,20 x 0,17 x 0,24	611,85	941,39	489,44	51,99
3,40 x 0,17 x 0,24	650,11	1000,26	517,33	51,72
3,60 x 0,17 x 0,24	688,35	1059,10	545,62	51,52
3,80 x 0,17 x 0,24	726,59	1117,93	573,71	51,32
4,00 x 0,17 x 0,24	764,83	1176,77	601,80	51,14
4,20 x 0,17 x 0,24	810,72	1247,37	629,89	50,50
4,40 x 0,17 x 0,24	859,36	1322,21	657,98	49,76
4,60 x 0,17 x 0,24	910,92	1401,54	686,27	48,97
4,80 x 0,17 x 0,24	965,58	1485,64	714,16	48,07
5,00 x 0,17 x 0,24	1023,51	1574,77	742,25	47,13
5,20 x 0,17 x 0,24	1084,93	1669,27	758,43	45,43
5,40 x 0,17 x 0,24	1150,00	1769,39	770,34	43,54
			<b>Média</b>	<b>50,98</b>

Fonte: Autor, 2015

A tabela 07 compara a evolução dos preços médios dos dormentes poliméricos adquiridos em 2006 com atualização monetária de 10% ao ano em relação ao preço médio de aquisição dos dormentes poliméricos cotados em janeiro de 2015 com fornecedores.

Observa-se através da aplicação da fórmula de atualização monetária que em comparação com o preço médio atual houve uma redução de 100% em relação ao preço médio dos dormentes adquiridos em 2010.

### 7.1 • Resultados Econômicos Comparativos

Como se pode observar com os resultados apresentados na tabela 06, o balanço econômico atualmente já é favorável ao dormente polimérico, pois independente do custo do capital/custo anual. Em 2015 o dormente de plástico reciclado já é encontrado no mercado com preços de aquisição em torno de 25% menor do que o dormente de madeira.

Aplicando-se o método do custo do capital com o dormente de madeira ao preço médio de R\$ 768,68, e vida útil de 12 anos com taxas de 10% e o dormente de plástico reciclado com preço médio de R\$ 573,10 e vida útil de 40 anos, temos:

Custo do capital para dormente de madeira = R\$ 1.128,14

Custo do capital para dormente de plástico = R\$ 586,05

Logo, o capital a ser disponibilizado a juros compostos para determinar juros iguais ao valor do custo, inicial do dormente durante sua vida útil.

Para dormente de madeira:

$$C' = R\$ 1.128,14 - R\$ 768,68 = R\$ 359,46/\text{ano}$$

Para dormente de plástico:

$$C' = R\$ 586,05 - R\$ 573,10 = R\$ 12,95/\text{ano}$$

Com isso, demonstramos ser bem mais lógico disponibilizar R\$ 12,95/ano, a cada 40 anos, pelo preço médio do dormente para montagem do AMV a fim de atender o montante ou valor acumulado, que é a soma do capital inicial com os juros produzidos em determinado tempo.

### 7.2 • Cálculo da amortização do capital

Abaixo se pode observar o cálculo do custo da quantidade de dormente de madeira e de plástico utilizado com vida útil de 12 e 40 anos.

$$\text{AMV 1:14 (R\$ 768,68 x 118 unid.)} \div 12 \text{ anos} = R\$ 7.558,69 \text{ por AMV/ano}$$

$$\text{AMV 1:10 (R\$ 768,68 x 87 unid.)} \div 12 \text{ anos} = R\$ 5.572,93 \text{ por AMV/ano}$$

$$\text{AMV 1:8 (R\$ 768,68 x 70 unid.)} \div 12 \text{ anos} = R\$ 4.483,97 \text{ por AMV/ano}$$

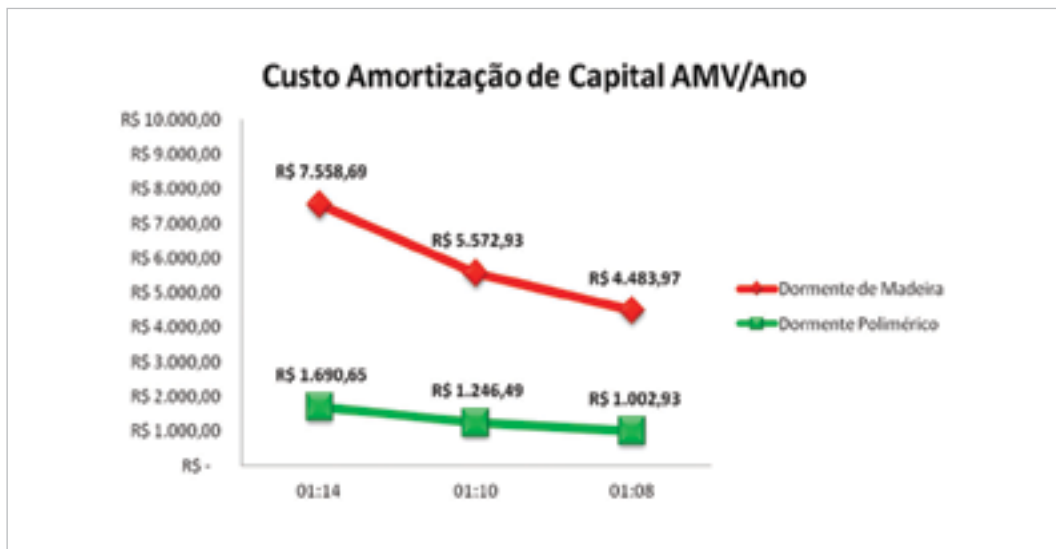
Dormente de plástico reciclado com vida útil de 40 anos.

$$\text{AMV 1:14 (R\$ 573,10 x 118 unid.)} \div 40 \text{ anos} = R\$ 1.690,65 \text{ por AMV/ano}$$

$$\text{AMV 1:10 (R\$ 573,10 x 87 unid.)} \div 40 \text{ anos} = R\$ 1.246,50 \text{ por AMV/ano}$$

$$\text{AMV 1:8 (R\$ 573,10 x 70 unid.)} \div 40 \text{ anos} = R\$ 1.002,93 \text{ por AMV/ano}$$

Figura 05 - Custo de amortização de capital AMV/ano



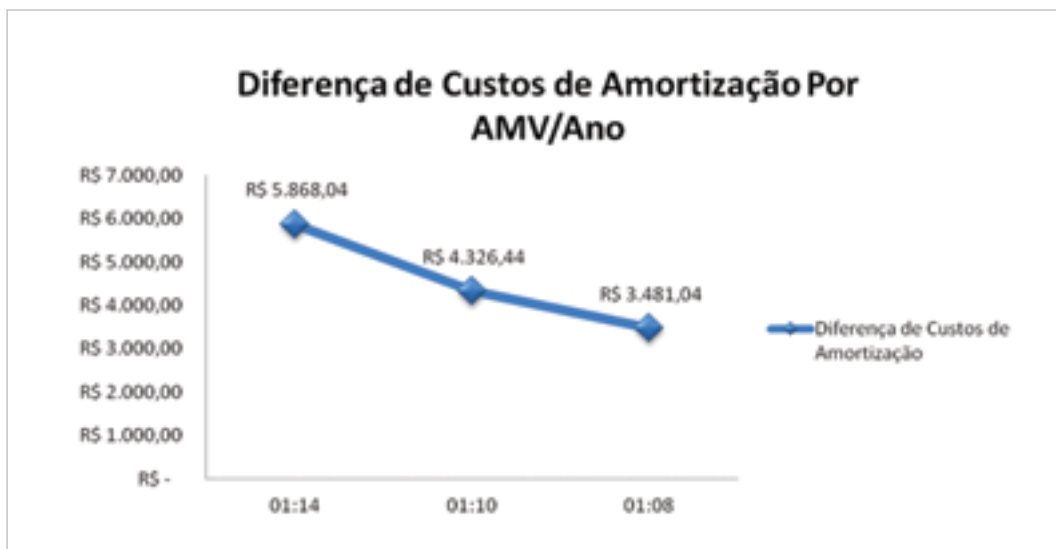
Fonte - Autor 2015

O cálculo acima pode ser representado pela figura 05, que representa o gráfico de cálculo da amortização do capital para os dormentes de madeira, com projeção de vida útil de 12 anos, e para os dormentes poliméricos com projeção de vida útil de 40 anos, por AMV/ano.

A diferença entre os dois valores é de:

AMV 1:14 R\$ 7.758,69 – R\$ 1.690,65 = R\$ 5.860,05 por AMV/ano  
 AMV 1:10 R\$ 5.572,93 – R\$ 1.246,50 = R\$ 4.326,43 por AMV/ano  
 AMV 1:8 R\$ 4.483,97 – R\$ 1.002,93 = R\$ 3.481,04 por AMV/ano

Figura 06 - Diferença de custos de amortização por AMV/Ano



Fonte - Autor 2015

Através da figura 06, fica evidente que, com a utilização do dormente polimérico, temos uma redução de desembolso financeiro com uma economia de R\$ 5.860,05 (cinco mil oitocentos e sessenta reais e cinco centavos), por ano, para o AMV 1:14; R\$ 4.326,43 (quatro mil, trezentos e vinte seis reais e quarenta e três centavos), para o AMV 1:10; R\$ 3.481,04 (três mil quatrocentos e oitenta e um reais e quatro centavos), por ano, para o AMV 1:8.

Abaixo, tem-se os cálculos de amortização do capital para os AMV's do Sistema da CBTU/STU- Recife onde,

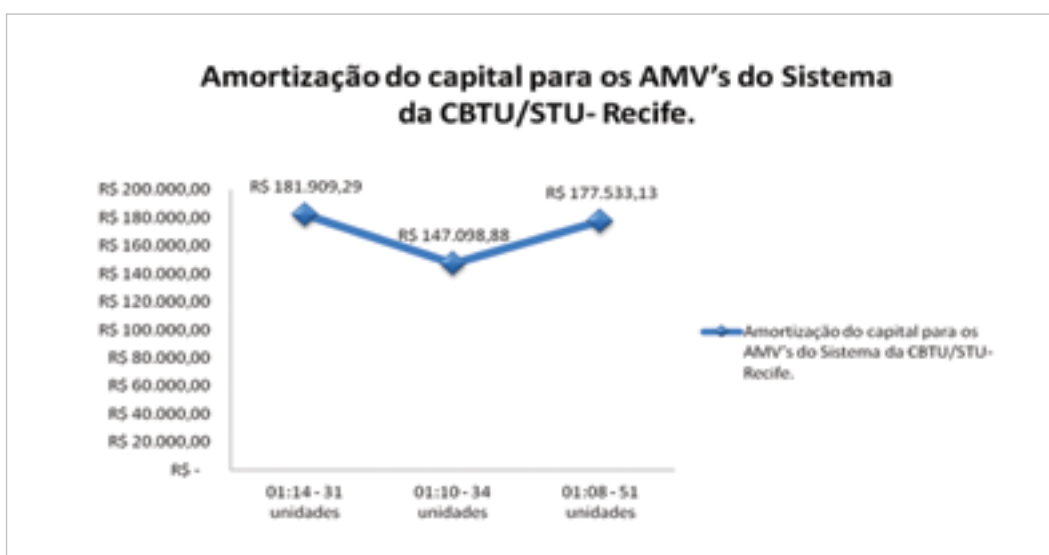
$$\text{AMV 1:14 } 31 \text{ unidades} \times \text{R\$ } 5.860,05 = \text{R\$ } 181.661,55/\text{ano}$$

$$\text{AMV 1:10 } 34 \text{ unidades} \times \text{R\$ } 4.326,43 = \text{R\$ } 147.098,62/\text{ano}$$

$$\text{AMV 1:8 } 51 \text{ unidades} \times \text{R\$ } 3.481,04 = \text{R\$ } 177.533,04/\text{ano}$$

Com uma redução da disponibilização de capital para o sistema/ano de R\$ 506.292,21/ano

**Figura 07 - Amortização do capital para os AMV's do sistema da CBTU/STU - Recife**



Fonte - Autor 2015

Com os valores acima exposto, podemos observar uma economia de aproximadamente R\$500.000,00 (quinhentos mil reais por ano), para o Sistema da CBTU/STU – Recife, caso todos os AMV'S fossem montados com dormentes poliméricos conforme ilustrado na figura 07.

Através de ferramentas de matemática financeira projetamos a média do valor futuro para os dormentes adquiridos em 2006 e 2010 com uma taxa correção de 10%.

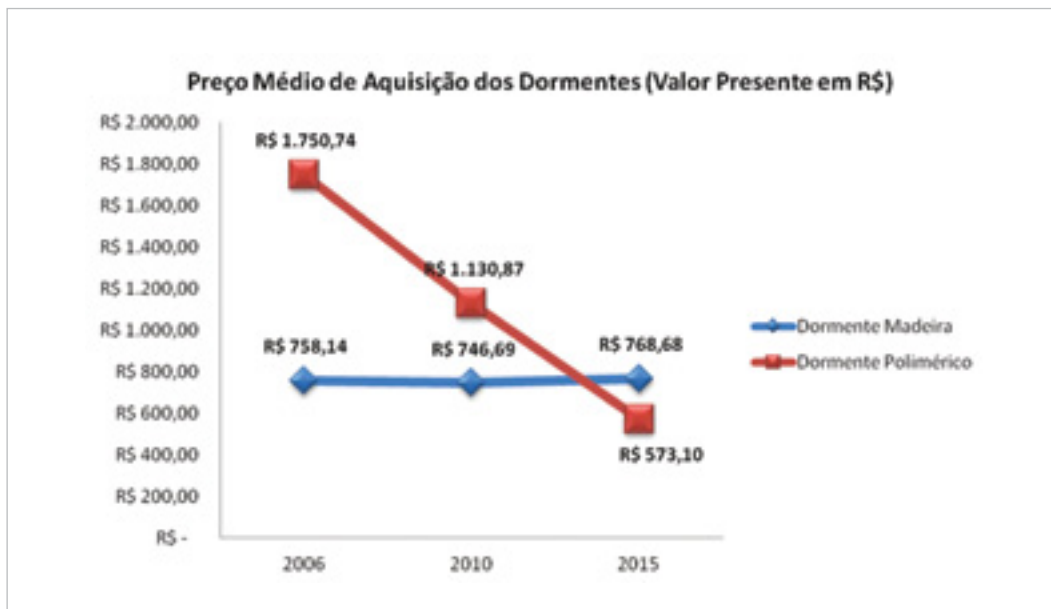
A média do valor dos dormentes (madeira e polimérico), lançados em 2015 foi conseguida através de cotações de fornecedores no mercado. As informações estão contidas/lançadas nas tabelas 05, 06 e 07 e condensadas na tabela 08. Estes dados estão graficamente representados na figura 09.

**Tabela 08 - Preço médio de aquisição dos dormentes (valor em R\$)**

Ano	Dormente de madeira	Dormente Polimérico
2006	R\$ 758,14	R\$ 1750,74
2010	R\$ 746,69	R\$ 1.130,87
2015	R\$ 768,68	R\$ 573,10

Fonte - Autor 2015

Figura 09 - Preço médio de aquisição dos dormentes



Fonte - Autor 2015

Observa-se, conforme figura 09, uma redução significativa nos últimos 10 anos, no custo de aquisição do dormente polimérico (avanços tecnológicos de processo e economia de escala), que em 2015 se encontra com um custo 25% menor que o do dormente de madeira.

## 8 • CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi possível evidenciar neste estudo que o dormente de madeira começa a perder espaço devido ao avanço da legislação e a pressões ambientais e da responsabilidade social das organizações. Nos últimos 10 anos o dormente de madeira vem mantendo estabilizado o custo de aquisição, enquanto o dormente polimérico apresenta redução significativa.

Cada sistema ferroviário apresenta suas particularidades, entretanto o dormente polimérico, apesar de ser um produto normatizado, não possui uma Especificação de Material de Via Permanente (EMVP), elaborada pelas operadoras com fundamentação e atendimento as referências da norma AREMA.

O dormente polimérico, após sua evolução tecnológica ao longo dos anos, e principalmente pela redução do preço de

aquisição no atual estágio de desenvolvimento, já se apresenta como um produto economicamente viável para o mercado ferroviário, mas ainda carece de homologação por parte das operadoras quanto à sua aplicação prática operacional, até se esgotarem exaustivamente todas as possibilidades de aplicação e desenvolvimento do produto.

O Grupo Permanente de Auto-ajuda na Área de Manutenção Metro-ferroviária, que reúne todas as operadoras de transporte de passageiros sobre trilhos do País, poderia provocar ampla discussão sobre o problema e comandar um grupo de técnicos para desenvolvimento e elaboração de uma Especificação de Material de Via Permanente (EMVP).

Ressalta-se que as organizações ferroviárias não são eficientes em suas estratégias de marketing, é necessário conjuntamente promover ações de equilíbrio entre a sociedade e as relações sociais das empresas, com suas interfaces entre os sistemas econômico, social, ambiental em suas estratégias, políticas e práticas. O grande desafio das organizações ferroviárias passa pelo desenvolvimento sustentável e crescimento responsável, com ações para ganhos de visibilidade e imagem, com adoção de uma política de compras sustentáveis, fundamentando seu papel na promoção da sustentabilidade.

### Referências Bibliográficas

- ANTP- Associação Nacional dos Transportes Público; Revista dos Transportes Públicos. Ano 30. 2º Trimestre, 2008.
- AREMA – American Railway Engineering and maintenance-of-Way Association, Parte 5, Engineered Composite Ties, 2003.
- ASSAD, N. M. J.; *Dormentes de Plástico Reciclado*. Niterói. Gráfica UNICOP Ltda.2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7511: 2003: *Dormente de madeira – Requisitos e métodos de ensaio – Disponível em [www.target.com.br](http://www.target.com.br). Acessado em janeiro de 2015.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12803: 2005: *Dormente de madeira preservada – Requisitos para tratamento de dormente de madeira sob pressão em usina de preservação de dormente para via férrea – Disponível em [www.target.com.br](http://www.target.com.br). Acessado em janeiro de 2015.*
- BASTOS, P. S. S. *Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço*. Tese de doutorado, USP, Escola de engenharia de São Carlos, São Paulo, 1999
- BRINA, H. L. *Estradas de Ferro*. Livros Técnicos e Científicos. Editora S/A. Rio de Janeiro, v. 1 e 2, 1981.
- CARVALHO, P. E. R. *Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*, EMBRAPA, Brasília, 1994.
- CBTU, Companhia Brasileira de Trens Urbanos. Disponível em: [www.cbtu.gov.br](http://www.cbtu.gov.br), acessado em: 10/01/2015.
- CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Disponível em: [www.cptm.gov.br](http://www.cptm.gov.br), acessado em: 15/02/2015.
- IBAMA, Instrução Normativa nº 112 de 21 de agosto de 2006, MMA Ministério do Meio Ambiente, IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Renováveis. 2006.
- IBAMA, Instrução normativa nº 5 de 20 de outubro de 1992, MMA Ministério do Meio Ambiente, IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. 1992.
- IBAMA, Portaria Interministerial nº 292 de 28 de abril de 1989, MMA Ministério do Meio Ambiente, IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. 1989.
- KHALED, EL-AKRUTI. *The Estrategic Role Engineering Asset Management – International Journal of Prduction Economics: University of Wollongong*. 2013.
- LIMA, R. M. *Uma Categoria Fora dos Trilhos – causas e consequências da crise entre os ferroviários*, Dissertação de mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 1998.
- MARZOLA, G; *Alternativas viáveis para substituição da madeira como dormente ferroviário*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Anhembi. Morumbi, 2004.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2002.
- PLASTIVIDA, Instituto Socioambiental dos Plásticos – Disponível em: [www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br) acessado em: fevereiro de 2015.
- PORTO, T. G. *Apostila da disciplina PTR2501: ferrovias*. Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP. São Paulo, 2004.
- STAMFORD, A. *Engenharia da Confiabilidade*. Apostila do programa de Pós-Graduação em Gestão da Manutenção. UPE. Recife. 2005.
- STOPATTO, S.; *Via Permanente Ferroviária: Conceitos e Aplicações*. São Paulo. Ed. Universidade de São Paulo. CBTU, 1987.
- SUCENA, M. P. *Engenharia de Manutenção*. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2007
- TIETEK. *Tie Tek Composite CrossTies*.. Disponível em: [www.tietek.com](http://www.tietek.com), acessado em: 10/01/2015.
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, *Documentos pertencentes à Home Page*, Disponível em: [www.producao.ufrgs.br/disciplinas.asp?cod\\_turma=397](http://www.producao.ufrgs.br/disciplinas.asp?cod_turma=397), acessado em 10/01/2015.
- XAVIER, J. N.; DORICO, L. C.; *Manutenção Orientada para Resultados*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 📍



# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PAVIMENTO FERROVIÁRIO SUBMETIDO A CARREGAMENTO ESTÁTICO

*Rômulo Ferreira da Silva<sup>1</sup>*

*Antonio Carlos Rodrigues Guimarães<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Aluno de mestrado em Engenharia de Transportes  
Instituto Militar de Engenharia.

<sup>2</sup> Exército Brasileiro. D. Sc. Professor  
Instituto Militar de Engenharia.

### RESUMO

As técnicas atuais de dimensionamento, avaliação e manutenção de via permanente são baseadas em conceitos simplificados do comportamento físico do pavimento. Estes métodos tradicionais de dimensionamento de via ferroviária utilizam a teoria de Winkler e não consideram a influência individual dos elementos do pavimento (trilhos, dormentes, elementos de ligação, lastro e sublastro), simplificando o modelo estrutural a um único parâmetro global: o módulo de via, no método de Talbot; e o coeficiente de lastro, no de Zimmermann. O presente trabalho aborda a interação entre os elementos constituintes da via permanente, como pavimento de múltiplas camadas, e a distribuição dos esforços provenientes do material rodante. Foram empregados conceitos da mecânica dos pavimentos e dados da bibliografia para realizar simulação numérica não-linear de plataforma ferroviária submetida a carregamento estático de veículo de via, utilizando o método dos elementos finitos para resolução matemática do problema através do software ANSYS. O modelo foi desenvolvido com uma malha de múltiplas camadas composta por elementos finitos sólidos tridimensionais e modelos constitutivos que consideram critérios de plasticidade. Os resultados obtidos para os cenários simulados através do modelo proposto foram coerentes com dados de simulações no software Ferrovía. Contudo, foram observadas diferenças nas deflexões máximas dos trilhos e nas tensões verticais no solo.

**Palavras-chave:** pavimento, ferroviário, tensões, método dos elementos finitos.

### ABSTRACT

*Current techniques of design and railtrack maintenance are based on simplified concepts of the physical behavior of the pavement. Such traditional methods of railtrack desing using the Winkler theory and do not consider the influence of individual pavement elements (rails, sleepers, connecting elements, ballast and subballast), simplifying the structural model to a single global parameter: the track module, in Talbot method; and the ballast module in Zimmermann. This paper discusses the interaction between the components of the railtrack, as pavement multilayer, and the distribution of stress and strain from the undercarriage. They were employed concepts of mechanics of pavements and bibliography data to perform nonlinear numerical simulation of railway platform subjected to static loading, using the finite element method for mathematics problem solving through the ANSYS software. The mesh model of multiple layers comprised three-dimensional solid finite elements and plastic constitutive laws. The results for the simulated scenarios through the proposed model were consistent with data from simulations on Ferrovía software. However, many divergence points were observed, especially in the maximum deflection of the rails and the vertical stresses in the soil.*

**Keywords:** railtrack, railway, stress, finite element method.

## 1 • INTRODUÇÃO

O pavimento ferroviário apresenta maior complexidade para modelagem e previsão de comportamento que o pavimento rodoviário. Os elementos de grade, trilhos e dormentes, assim como as camadas de lastro, sublastro e subleito formam um sistema de camadas com complexas relações de transferência de esforços mecânicos.

O transporte ferroviário é estratégico para o desenvolvimento econômico do país. A capacidade de escoamento de *commodities*, principalmente cereais e minérios, permite que o país atue no mercado internacional. Atualmente, o modo ferroviário representa 20,7% da matriz de transportes brasileira (CNT, 2014). Tendo em vista a importância estratégica das ferrovias na matriz de transportes e seu alto custo de implantação e manutenção, é necessário que sejam realizadas pesquisas de forma a propor ou validar metodologias e ferramentas para assegurar projetos eficientes para a via permanente.

Os métodos comumente utilizados para dimensionamento de ferrovias são baseados em simplificações teóricas e em formulações empíricas. Os métodos clássicos são baseados na teoria das vigas sobre bases elásticas de Winkler, que simplifica a uma dimensão o comportamento da via. Esta postura impede a compreensão plena do comportamento de tensões e deformações no pavimento ferroviário. Os elementos da via permanente devem ser modelados levando em consideração suas características físicas, permitindo avaliar seus comportamentos quando submetidos aos esforços provenientes da operação do material rodante.

Análises numéricas são possíveis com softwares dedicados à pavimentação ferroviária, permitindo análise das solicitações nos diversos elementos da via. Contudo, é válido destacar que também são realizadas aproximações conceituais ou de modelagem nos programas computacionais disponíveis, podendo restringir a validade dos resultados quando comparados com cenários reais.

Este trabalho aborda um estudo de caso acerca do comportamento mecânico (tensões e deformações) de um pavimento ferroviário, visando analisar, através de simulações numéricas, a resposta da estrutura quando solicitada a carregamentos de diferentes vagões.

## 2 • REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Rodrigues (2002) aborda a classificação das vias em dois grupos: rígidas (ou em placas) e elásticas (ou lastradas). O primeiro grupo compreende as vias cujos dormentes são posicionados sobre lajes de concreto, enquanto o segundo corresponde ao uso de lastro para distribuição de esforços mecânicos na plataforma. Neste trabalho é abordado um modelo para representar uma via convencional com lastro.

Winkler desenvolveu no século XIX o modelo de viga contínua apoiada em base elástica, que posteriormente foi utilizado para obter a aproximação do comportamento mecânico de um pavimento ferroviário convencional, servindo de referencial teórico para o desenvolvimento de métodos tradicionais de dimensionamento de Talbot e Zimmermann (HAY, 1982).

Estes modelos adotam a equação diferencial da linha elástica de vigas apoiadas em suportes elásticos e simplificam o comportamento das camadas do pavimento, atrelando o comportamento estrutural a um único parâmetro global: o módulo de via, no método de Talbot, e o coeficiente de lastro, no de Zimmermann. Ambos os métodos consideram o comportamento elástico linear das camadas que compõem o pavimento, sendo possível simplificar os cálculos de tensões e deformações a partir do princípio da superposição. De fato, o modelo de Winkler não aborda a influência de parâmetros importantes da via permanente no comportamento estrutural: propriedades de cada camada do pavimento; espaçamento entre dormentes; tipos e propriedades de dormentes.

As tensões nas camadas de lastro, sublastro e subleito podem ser aproximadas pela teoria de Boussinesq, que emprega a teoria da elasticidade para meios contínuos. Burmister desenvolveu soluções para sistemas constituídos por duas e três camadas sobrepostas. Com auxílio de microcomputadores, estas soluções foram bastante utilizadas nos estudos de pavimentos envolvendo camadas múltiplas (HUANG, 2003).

Indraratna e Salim (2005) destacam que o foco das pesquisas de engenharia ferroviária do passado recaía sobre os elementos da grade - trilhos, dormentes e elementos de fixação -, dando-se pouca importância para o comportamento estrutural de lastro, sublastro e subleito.

O estado de tensões nas camadas do pavimento ferroviário é melhor descrito através de modelos que podem considerar individualmente a influência dos elementos da via e subdi-

vidir o meio em elementos discretos. O emprego de métodos numéricos pode gerar soluções aproximadas ao considerar um módulo de resiliência e um coeficiente de Poisson para cada camada (SPADA, 2003).

A bibliografia (RODRIGUES, 1994; SPADA, 2003; MARQUES, SPADA e MOTTA, 2013; SILVA FILHO, 2013) reporta o desenvolvimento de simulações com o programa de computador Ferrovia, específico para pavimento ferroviário, que utiliza o modelo estrutural de múltiplas camadas e possibilita não-linearidade de comportamento dos materiais.

O programa Ferrovia permite a modelagem tridimensional do pavimento para calcular as tensões e deformações nas camadas de lastro, sublastro e subleito. Este utiliza o método dos elementos finitos, através de elementos tipo viga, na modelagem e resolução do sistema formado por trilhos e dormentes. As camadas do pavimento são modeladas pelo método numérico das camadas finitas (SPADA, 2003).

O método dos elementos finitos consiste na divisão física do domínio do problema em elementos de geometria simples, os elementos finitos. Segundo Logan (2007), o método foi inicialmente desenvolvido na década de 1940 através das contribuições de Hrennikoff (1941) e de McHenry (1943), com o intuito de solucionar problemas de engenharia estrutural através de elementos finitos unidimensionais, analisando tensões e deformações em sólidos. Um dos softwares mais populares de modelagem de elementos finitos de uso geral é o ANSYS, que será empregado no presente trabalho.

Esvelo (2001) discute o uso deste software comercial para a modelagem de vias permanentes, sobretudo sem lastro, submetidas a carregamento estático, argumentando que a capacidade de cálculo do programa é suficiente para este fim.

As relações de tensão-deformação nos modelos numéricos em elementos finitos são definidas pelas expressões que regem as propriedades dos materiais. Indraratna et al. (2011) advertem que grande parte dos projetos de pavimento ferroviário consideram o lastro como meio elástico e destacam a importância de empregar modelos elasto-plásticos para simular o comportamento do mesmo.

Chen (1994 apud SHI, 2009) aponta que os modelos de plasticidade de Mohr-Coulomb e Drucker-Prager são satisfatórios para simular o comportamento de materiais granulares, sendo os mais empregados para simulações.

No ANSYS, estas propriedades físicas são definidas através de modelos matemáticos específicos para cada tipo de material. Estas expressões são utilizadas na fase de cálculo da solução, sendo solicitadas em todos os pontos de integração dos elementos finitos. Para cada passo de cálculo, o programa utiliza o modelo constitutivo do material para calcular valores de tensões a partir dos incrementos das deformações e para montar a matriz jacobiana do material (ANSYS,1999).

### 3 • METODOLOGIA

O modelo numérico foi realizado através do método dos elementos finitos, com o auxílio do software comercial ANSYS. Foi simulado o comportamento mecânico de uma plataforma ferroviária composta por 22 dormentes submetida a carregamentos estáticos de veículos de via.

Para a verificação do desempenho, foram utilizados dados e simulações disponíveis na bibliografia. Os parâmetros geométricos e mecânicos foram obtidos das simulações com o software Ferrovia 3.0 realizadas por Silva Filho (2013). Os parâmetros de geometria da seção do pavimento são (unidades compatíveis com o Ferrovia 3.0, que não utiliza o SI):

- Trilhos: TR68; módulo de inércia = 3.950 cm<sup>4</sup>.
- Dormentes em concreto monobloco de seção retangular; espaçamento = 61 cm; largura da base = 30 cm; altura = 21 cm; comprimento = 280 cm.
- Bitola = 160 cm
- Lastro: espessura = 30 cm
- Sublastro: espessura = 25 cm
- Subleito: espessura = 200 cm

A simulação proposta considera comportamento elástico linear para trilhos e dormentes, enquanto as camadas de lastro e subleito são modeladas como materiais elásticos-lineares perfeitamente plásticos. Foi utilizado o modelo de Drucker-Prager estendido (EDP, na sigla em inglês), alternativa numérica ao critério de Mohr-Coulomb, para definir a resistência ao cisalhamento destes materiais.

Os dados do sublastro foram obtidos do trabalho de Osten (2012), que realizou ensaios em material proveniente da jazida AES-1A (Área de empréstimo para sublastro, número 1A), que visava atender ao projeto de duplicação do trecho 27-28 da Estrada de Ferro de Carajás.

As propriedades físicas dos materiais, que foram obtidas do trabalho de Silva Filho (2013) e Osten (2012) são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Unidades compatíveis com o Ferrovias 3.0, que não utiliza o SI.

**Tabela 1 - Propriedades elásticas dos materiais**

Camada	Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Poisson
Trilho	2.100.000,00	0,30
Dormente	320.000,00	0,20
Lastro	2.000,00	0,30
Sublastro	2.196,00	0,40
Subleito	800,00	0,40

**Tabela 2 - Propriedades físicas do modelo de Drucker-Prager**

Camada	Ângulo de atrito	Coesão (kgf)
Lastro	40°	0,00
Sublastro	29°	0,19
Subleito	29°	0,20

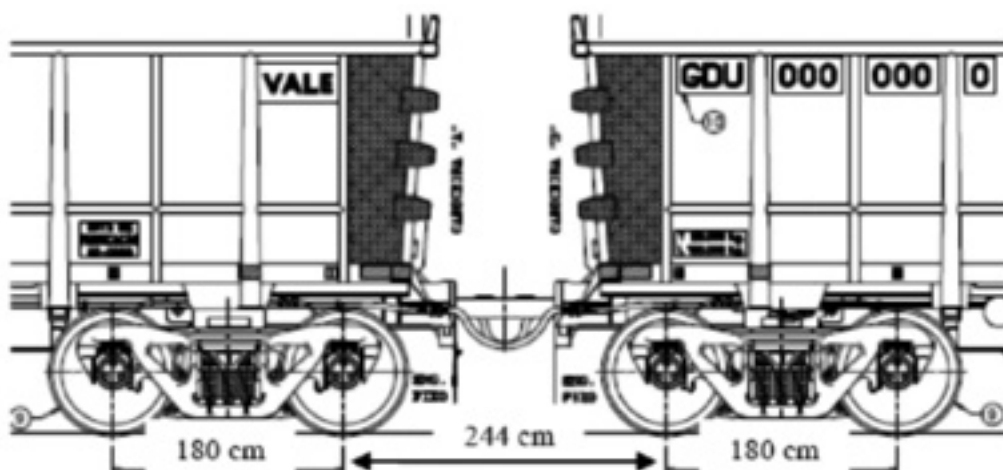
O sublastro foi modelado como material elástico não-linear perfeitamente plástico. Utilizou-se o modelo de Drucker-Prager Estendido (EDP) em conjunto com o modelo multilinear elástico (MISO) para tensões desviatórias de modo a simular uma curva tensão-deformação dependente do estado de tensões do material, obedecendo ao modelo de módulo de resiliência coesivo de solos areno-argilosos (equação 1), sendo os coeficientes: K1 = 2.196 e K2 = -0,37.

$$MR = K1 \cdot \sigma_d^{K2} \tag{1}$$

A avaliação do modelo foi feita para cargas de roda dos vagões tipo GDU e HFT, aplicadas como forças concentradas no boleto. A região de engate de dois vagões foi considerada como o de maior esforço mecânico para o pavimento (SILVA FILHO, 2013). As cargas por roda são apresentadas na Tabela 3 e as distâncias entre rodas e truques são ilustradas na figura 1.

**Tabela 3 - Cargas aplicadas ao modelo**

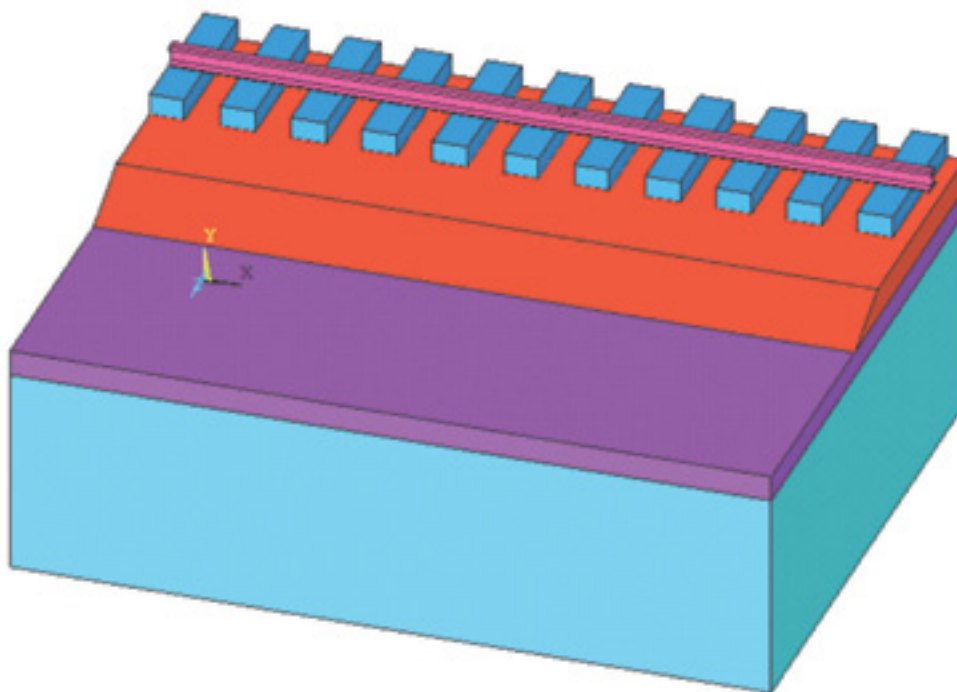
Vagão	Carga por roda (tf)
GDU	20,00
HFT	16,25



**Figura 1 - Dimensões do carregamento utilizado (Fonte: SILVA FILHO, 2013)**

O problema foi modelado com elementos sólidos, representando uma concepção de plataforma ferroviária de 22 dormentes com total de 8 carregamentos de rodas. O modelo numérico foi reduzido para 11 dormentes em razão da simetria, confor-

me Figura 2. O carregamento de rodas foi aplicado simetricamente (em relação ao engate de vagões) no plano de simetria entre os dormentes 11 e 12 (este último omitido na Figura 2). A malha utilizada totaliza 57.154 elementos.



**Figura 2 - Modelo utilizado na simulação numérica**

As camadas de subleito, sublastro e lastro foram modeladas com elementos tridimensionais quadráticos SOLID186, que são compostos por 20 nós com 3 graus de liberdade cada. Trilhos e dormente foram modelados com elementos SOLID187, que apresentam vantagem em malhas com formatos irregulares. Trata-se de um tipo de elemento com formulação quadrática composto por 10 nós com três graus de liberdade cada.

A interface entre dormentes e topo da camada de lastro foi modelada através de elementos de contato, CONTA175 e TARGE170, respectivamente. O contato ocorre quando os elementos de superfície (CONTA175) penetram as fronteiras

de elementos finitos do tipo alvo (TARGE170). Foi aplicada a formulação da Penalidade (Penalty) com coeficiente de rigidez de contato  $FK = 5,0$  e tolerância de penetração de  $0,001$  m para a simulação não-linear do contato, não sendo permitida a penetração inicial dos elementos.

As hipóteses e aproximações empregadas no modelo proposto são:

- trilhos e dormentes possuem ligação perfeita entre si;
- a grade (trilho e dormentes) não possui grau de liberdade lateral;
- carga aplicada de maneira concentrada no boleto.

## 4 • RESULTADOS

Foram obtidos os resultados para as simulações com vagões GDU e HFT. Neste trabalho é dado maior foco aos deslocamentos dos trilhos e às tensões verticais efetivas no topo do sublastro, no topo e na face inferior do subleito.

Os resultados das simulações no ANSYS (A-HFT e A-GDU) são representados através de gráficos, sendo apresentados em conjunto com aqueles do Ferrovía (F-HFT e F-GDU) como parâmetro de comparação. Os dados das análises através do Ferrovía foram obtidos do trabalho de Silva Filho (2013).

Em razão dos diferentes sistemas de coordenadas empregados no ANSYS e no Ferrovía, os dados são expostos em relação ao eixo de simetria do carregamento, ou seja, em relação ao engate entre vagões. Todos os resultados estão no SI.

### 4.1 • Deslocamentos nos trilhos

As deflexões no trilho remetem à bacia de deformação do pavimento, que é um importante parâmetro utilizado para retroanálise, dada a viabilidade de medição em campo. Segundo Rodrigues (1994), a melhor maneira de aferir um modelo estrutural é comparar seus resultados com parâmetros que sejam confiáveis, como os deslocamentos verticais.

Na Figura 3 estão representados os resultados obtidos através do modelo proposto com o uso do software ANSYS (A-GDU e A-HFT) e aqueles que Silva Filho (2013) disponibiliza para deslocamentos da grade para os vagões GDU e HFT, obtidos a partir de simulações através do programa Ferrovía (F-GDU e F-HFT). As deflexões no topo dos trilhos foram obtidas através dos deslocamentos nodais dos elementos finitos do modelo.

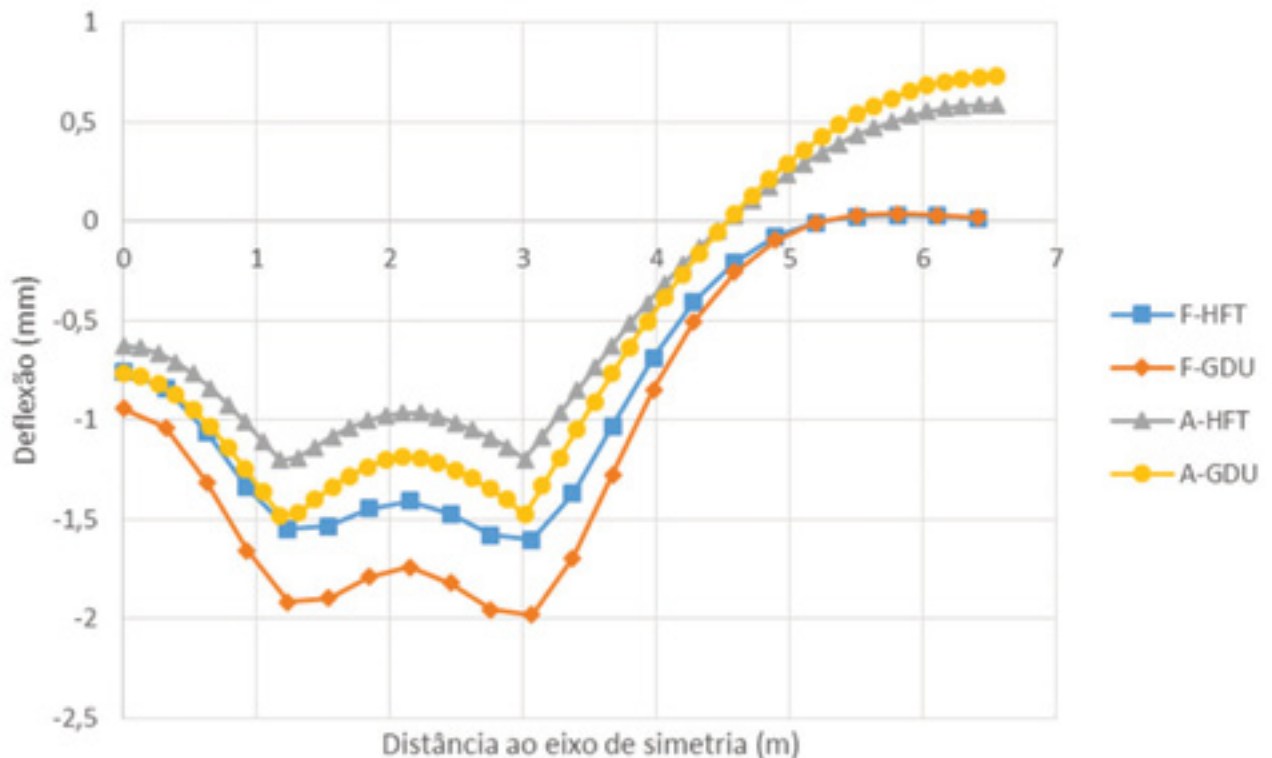


Figura 3 - Deflexões nos trilhos

Os dados obtidos apontam que o vagão GDU provoca as maiores deflexões, conforme esperado, uma vez que transmite maior carga por roda. O modelo desenvolvido no ANSYS indica que os deslocamentos máximos absolutos nos trilhos são de  $-1,20 \times 10^{-3}$  m e  $-1,45 \times 10^{-3}$  m para os cenários HFT e GDU, respectivamente.

O Ferrovía calcula os mesmos deslocamentos como  $-1,57 \times 10^{-3}$  m e  $-1,98 \times 10^{-3}$  m, portanto 30% e 36% maiores, nesta ordem. Também cabe ressaltar que os modelos ANSYS solicitam menor número de dormentes e possuem maior flecha positiva.

## 4.2 • Tensões efetivas nas camadas do pavimento

Nesta etapa são apresentadas e avaliadas as distribuições das tensões efetivas nas camadas de sublastro e subleito do pavimento em estudo. O software Ferrovía fornece resultados pontuais de tensões nas camadas de infraestrutura, não abrangendo todo o modelo, enquanto o sistema modelado em ANSYS permite a obtenção do estado de tensões em qualquer ponto do modelo.

As Figuras 4, 5 e 6 consolidam os resultados em termos de tensões efetivas para as camadas do pavimento na seção vertical abaixo dos trilhos.

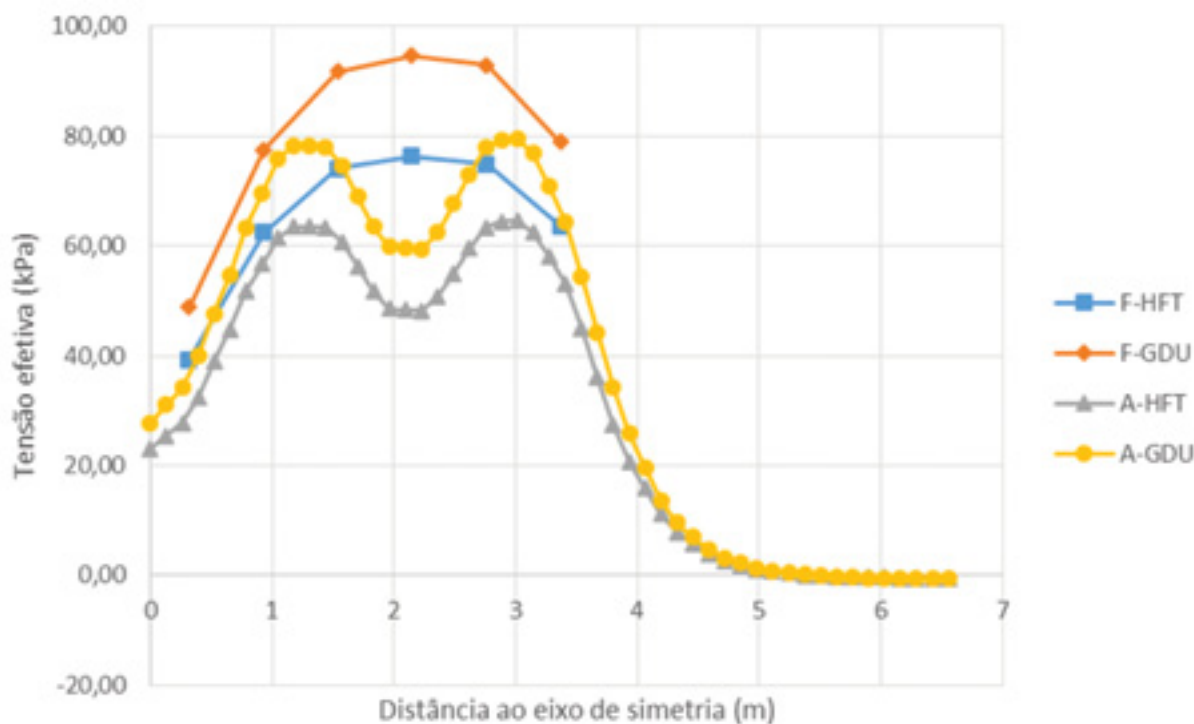


Figura 4 - Tensão no topo do sublastro

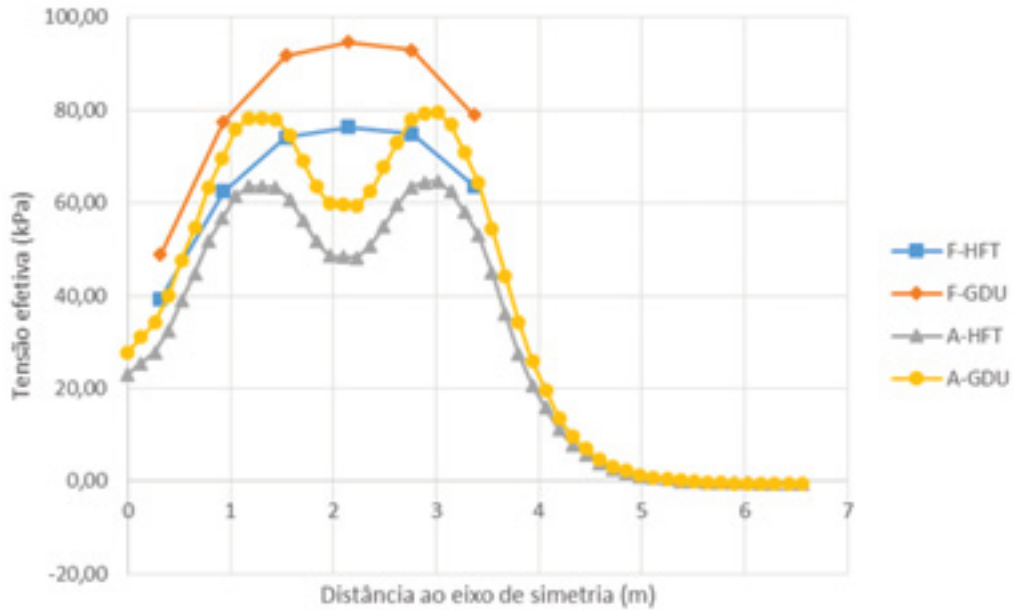


Figura 5 - Tensão no topo do subleito

As tensões verticais calculadas no topo das camadas de sublastro e subleito, conforme Figuras 4 e 5, mostram que o modelo ANSYS exibe maior sensibilidade no cálculo de esforços, enquanto o modelo Ferrovia calcula maiores tensões na seção analisada. De fato, os valores de saída de ambos os modelos apresentam convergência, embora, conforme exposto, o Ferrovia mostre picos de tensão em locais onde o modelo ANSYS expõe a existência de alívio de esforços em forma de vale, entre 1,5 m e 3 m do centro de simetria.

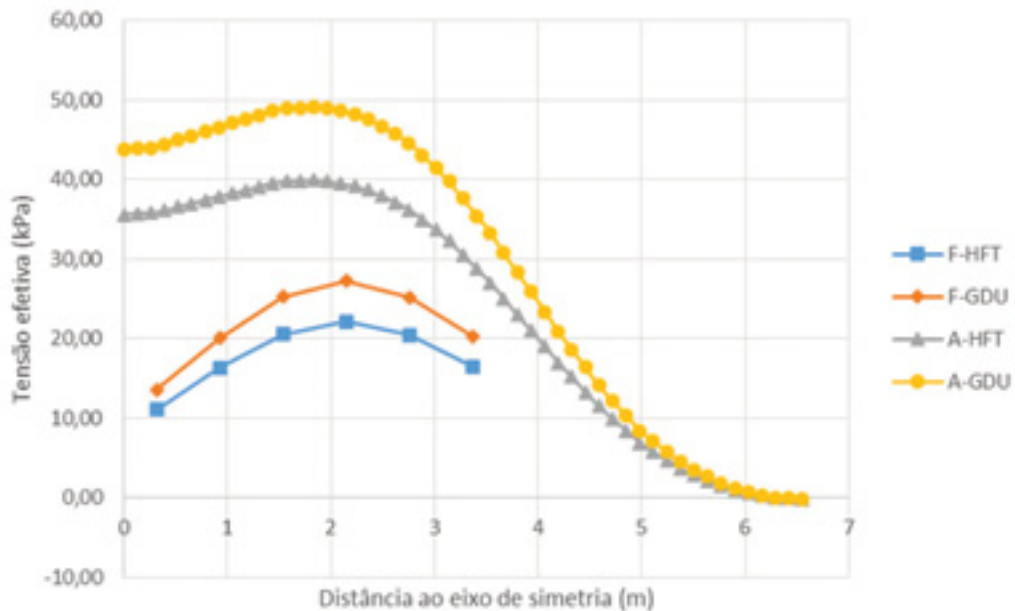


Figura 6 - Tensão na face inferior do subleito

Em relação à face inferior do subleito (Figura 6), o modelo ANSYS apresenta tensões superiores ao calculado pelo Ferrovia, com diferenças absolutas superiores a 30 kPa junto ao eixo de simetria do carregamento. Os resultados tendem para a convergência à medida que a distância ao eixo de simetria aumenta, conforme esperado.

### 5 • CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação proposta neste trabalho para pavimento ferroviário apresentou comportamento físico e resultados coerentes em relação aos dados da bibliografia para simulações realizadas com o software Ferrovía.

Foram observadas diferenças de 30% e 36% nas deflexões máximas dos trilhos para carregamentos dos vagões HFT e GDU, respectivamente. As tensões calculadas no topo das camadas de sublastro e subleito apresentam convergência junto ao eixo de simetria do carregamento. Por outro lado, no fundo do subleito os esforços calculados por ambos os métodos tendem para a convergência à medida que a distância ao eixo de simetria aumenta.

As divergências de valores obtidas podem ser justificadas pelas aproximações e hipóteses de modelagem adotadas em ambos os métodos. O modelo ANSYS utiliza elementos finitos tridimensionais, enquanto o Ferrovía foi programado com elementos do tipo viga e com camadas finitas.

Por fim, existe a necessidade de aplicar o modelo ora proposto em outros cenários de carregamento e configuração de plataforma. Podem ser utilizados dados de vias existentes e trechos experimentais para validá-lo. Ressalta-se a necessidade de desenvolvimento e validação de novas técnicas de projeto e retroanálise para a via permanente.

### Referências Bibliográficas

- ANSYS Inc. ANSYS USER Material Subroutine USERMAT. Mechanics Group Development Department. Pensilvânia: Estados Unidos da América 1999.
- CNT, Confederação Nacional do Transporte: Boletim Estatístico. Disponível em:
- <<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%ADstico/201409%20-%20Boletim%20Estatistico%20CNT%20-%20Agosto.pdf>>. Acessado em 30/03/2015.
- ESVELD, C. Modern Railway Track. Segunda edição. Zaltbommel: MRT productions, Holanda, 2001.

- HAY, W.W., Railroad Engineering. Segunda edição. John Wiley and Sons, Inc., Nova Iorque, Estados Unidos da América, 1982.
- HUANG, Y. H. Pavement Analysis and Design. Primeira edição. Nova Jersey, Estados Unidos da América: Prentice Hall, 1993.
- INDRARATNA, B., SALIM, W., RUJIKIATKAMJORN, C. Advanced rail geotechnology – Ballasted Track. Taylor & Francis Group, Londres, Reino Unido, 2011.
- LOGAN, D. A First Course in the Finite Element Method. 4ª ed. Estados Unidos da América: Thomson, 2007.
- MARQUES, F.L., SPADA, J.L.G. e MOTTA, L.M.G. Comportamento mecânico do lastro com a utilização de palmilhas subdormentes. Submetido ao XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET. Belém, Brasil, 2013.
- OSTEN, F.B.V.D., Avaliação de quarto solos tropicais para sublastro da Estrada de Ferro Carajás. Dissertação de mestrado. IME, Rio de Janeiro, 2012.
- RODRIGUES, R.M. Um modelo para análise estrutural de Vias permanentes ferroviárias sobre lastro. X COBRAMSEF, Volume 3, pp. 755-762, Foz do Iguaçu. 1994.
- SELIG, E.T., WATERS, J.M., Track Geotechnology and Substructure Management. Thomas Telford, Londres, 1994.
- SILVA FILHO, J.C., Análise numérica do comportamento mecânico de um pavimento ferroviário para diferentes tipos de veículos de via. Dissertação de Mestrado, NUGEO/UFOP, Ouro Preto, Brasil, 2013.
- SHI, X., Prediction of Permanent Deformation in railway track. Tese de Doutorado, Universidade de Nottingham, Nottingham, Reino Unido, 2009.
- SPADA, J.L.G., Uma abordagem de mecânica dos pavimentos aplicada ao entendimento do mecanismo de comportamento tensão-deformação da via férrea. Tese de Doutorado, COPPE/UFRRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003. 📄



# MODELO DE PREVISÃO DA DEFLEXÃO EM TRECHO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

*Aline Calheiros Espíndola<sup>1</sup>  
Ben-Hur de Albuquerque e Silva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas - AL  
aline.espindola@ctec.ufal.br

<sup>2</sup> Instituto Militar de Engenharia  
benhur@ime.eb.br

## RESUMO

Pesquisas Rodoviárias Brasileiras mostraram, em 2012, que o investimento público em rodovias no país foi insuficiente para solucionar gargalos de infraestrutura rodoviária. A utilização de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) pelos organismos rodoviários e concessionárias surge como alternativa para reversão do quadro atual do setor e proporcionar melhorias no desempenho dos pavimentos, e principalmente, conforto e segurança aos usuários. Os modelos de previsão de desempenho do pavimento são uma das principais ferramentas do SGP. O conhecimento do modelo que represente a situação real de desempenho do pavimento permite à gerência de pavimentos melhores condições de realizar planejamento de manutenções e maior eficácia na aplicação dos recursos. Nesta pesquisa foi desenvolvida equação para prever a deflexão do pavimento de uma rodovia situada no Rio de Janeiro. A equação desenvolvida apresentou melhor aproximação, ao se comparar com dados reais e previsões calculadas por outros modelos da literatura, reforçando a importância do desenvolvimento de modelos específicos para cada rodovia. Fator importante observado foi a necessidade de montar um banco de dados com informações confiáveis, para minimizar erros incorporados na regressão, aumentar a quantidade de variáveis independente para a elaboração de um modelo mais confiável e efetuar análise com base no intervalo de confiança.

**Palavras-chave:** Sistema de Gerência de Pavimentos, Previsão de Desempenho, Deflexão elástica.

## ABSTRACT

*Road Brazilian Research showed, in 2012, that public investment in highways in the country was insufficient to solve problems of road infrastructure. Using of Pavement Management System (PMS) by road agencies and highway managers are alternatives to reverse the current situation of the sector and to provide improvements in the performance of pavements, and better yet, comfort and safety for users. Predictive models of pavement performance are one of the principal tools of a PMS. The knowledge of the model that best represents the real situation of a pavement performance allows the pavement manager perform better maintenance plannings for roads and more efficient application of resources. This research developed an equation to predict the elastic deflection of the pavement of a highway located in Rio de Janeiro. The equation developed showed the best approach, when compared with actual data and forecasts calculated by other models existent in the Brazilian literature, reinforcing the importance of developing specific models for each highway. An important factor observed was the need to get a database with trustworthy information to minimize errors in regression, increase the amount of independent variables for the development of more reliable models and perform analysis based on the confidence interval.*

**Keywords:** Pavement Management System, Performance Prediction, Elastic Deflection.

## 1 • INTRODUÇÃO

Os Modelos de Previsão de Desempenho são uma das principais ferramentas de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP). Lytton et al. apud Soncim (2011) afirmaram que eles são absolutamente essenciais à gerência de pavimentos, tanto em nível de rede quanto em nível de projeto, seja para decisões técnicas ou econômicas.

No entanto, especificamente no Brasil, o processo de calibração e validação desses modelos não é plenamente difundido. Acaba-se por adotar modelos genéricos, obtidos em condições diferentes das existentes na malha administrada.

Outro fato que não pode ser ignorado é a restrição de recursos para a coleta de dados e informações necessários para o gerenciamento de uma rede de rodovias no Brasil, principalmente as estaduais. Por ser um país de grande área territorial e dependente de extensa malha rodoviária, necessita de mudanças no sentido de se incentivar as pesquisas, os investimentos e também a cultura de coleta e manutenção das informações necessárias para o gerenciamento de suas rodovias.

### 1.1 • Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP)

Pode-se definir Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) como sendo:

- O conjunto de ferramentas ou métodos que tem por finalidade auxiliar os tomadores de decisão na busca de estratégias viáveis, para avaliar, prover e manter os pavimentos em uma condição aceitável durante um determinado período de tempo (AASHTO, 1993).
- Haas *et al.* (1994) informam que a gerência de pavimentos é um processo que abrange todas as atividades envolvidas com o propósito de fornecer e manter pavimentos em um nível adequado de serviço. Envolve desde a obtenção inicial de informações para o planejamento e elaboração de orçamento até a monitoração periódica do pavimento em serviço, passando pelo projeto e construção do pavimento e sua manutenção e reabilitação ao longo do tempo.

Um SGP é composto por diversos grupos de informações (Domingues, 1999). São eles: inventário da rede viária; avaliação das condições dos pavimentos; estrutura; tráfego (volumes e carregamentos); aspectos financeiros; atividades; recursos.

Através da obtenção dessas informações é possível orientar os investimentos, definindo as intervenções e serviços prioritários para a manutenção da via.

### 1.2 • Deterioração do Pavimento

Com o decorrer do período de vida útil os pavimentos sofrem interferência em sua estrutura e funcionamento por fatores como tráfego, clima, deficiências no processo construtivo e características dos materiais. A interação destes fatores resulta no surgimento de patologias de variadas gravidades (Balbo, 1997).

Domingues (1993) classificou os defeitos em duas classes: Funcionais – os defeitos desta classe são relacionados com as qualidades de conforto e segurança no rolamento;

Estruturais – relacionados ao desempenho da estrutura do pavimento para suportar a carga de projeto.

### 1.3 • Modelos de Previsão de Desempenho

Os modelos de desempenho são estabelecidos para prever a velocidade de alteração dos valores dos parâmetros controladores das condições funcional e estrutural dos pavimentos em função do tempo ou das solicitações do tráfego. A previsão do desenvolvimento de defeitos nos pavimentos é útil para o estabelecimento de estratégias de manutenção (HAAS *et al.*, 1994).

Para maximizar os efeitos da gerência de pavimentos, o uso de modelos de previsão de desempenho confiáveis é muito importante. A seleção de estratégias ótimas de manutenção depende da viabilidade de uso de modelos que reflitam as condições locais (NUÑEZ & SHAHIN, 1986).

Estes modelos devem refletir as condições às quais são aplicados, e devem ser desenvolvidos ou modificados com base em dados e experiências locais (QUEIROZ, 1982). Os melhores

## Artigo Técnico

modelos de previsão de desempenho de pavimentos são aqueles desenvolvidos diretamente a partir de dados de campo sistematicamente coletados e analisados, sendo que estes dados de observação de pavimentos restringem o uso do modelo ao ambiente de avaliação (PATERSON, 1987).

Desde a década de 70 estudos têm sido desenvolvidos no Brasil com o objetivo de criação de modelos de desempenho para utilização em gerência de pavimentos. Em relação a modelos para pavimento em concreto asfáltico (CBUQ), os principais os estudos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Apresentação dos modelos desenvolvidos**

<b>Modelos</b>	<b>Trincamento (TR)</b>	<b>Desgaste</b>	<b>Irregularidade (IRI)</b>	<b>Panela</b>	<b>Afundamento de Trilho de Roda (ATR)</b>	<b>Deflexão</b>	<b>Índice de Gravidade Global (IGG)</b>	<b>Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF)</b>
Queiroz (1981)	X	X	X					
DNER-PRO 159/85	X	X	X					
Paterson (1987)	X	X	X	X	X			
Marcon (1996)	X		X		X	X	X	
Basílio (2002)	X		X		X	X		
Yshiba (2003)			X			X		
Lerch (2003)			X					
Nakahara (2005)			X					
Benevides (2006)			X					
Albuquerque (2007)			X				X	X
Vitorello (2008)			X		X	X		
Soncim (2011)	X							X
Modelo de desempenho HDM-4	X	X	X	X	X			

Cada autor desenvolveu modelos para parâmetros de desempenho do pavimento conforme apresentado na Tabela 1. Destacando-se a irregularidade longitudinal como sendo o principal parâmetro de estudo entre os autores.

## 2 • ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento da equação de previsão de deflexão foi selecionado um trecho de uma rodovia federal situada no Rio de Janeiro, com a concepção apresentada na Figura 1. Como pode ser observado da Figura 1, o trecho é composto de 29 km no sentido Rio de Janeiro e 23 km no sentido Juiz de Fora.

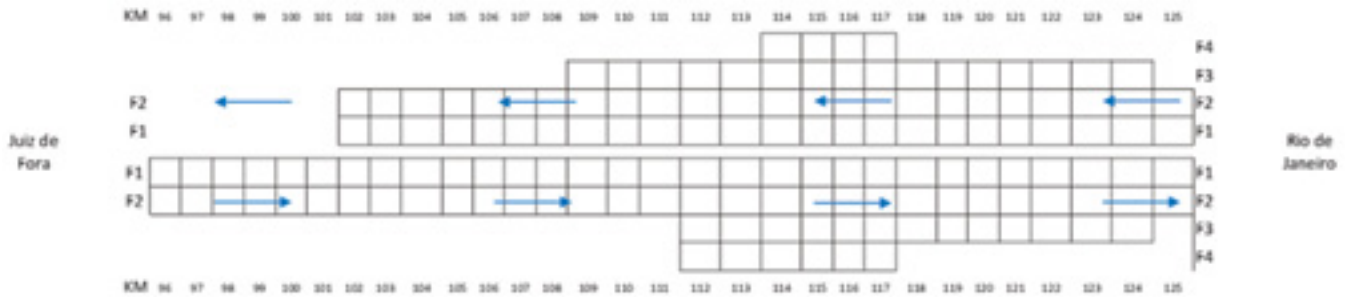


Figura 1 - Concepção do trecho de estudo

Uma característica padrão de uma rodovia de múltiplas faixas é o tráfego pesado fluir nas faixas à direita (F3 e F4), quando existentes, e o tráfego de veículos leves utilizar prioritariamente as faixas internas (F1 e F2).

### 2.1 • Característica do Tráfego

A classificação utilizada de veículos para fins de dados para o cálculo do número N é apresentada na Figura 2. Além destes foram considerados, a partir do ano de 2002, veículos com 7, 8 e 9 eixos. Ressaltando que a categoria 10 é para veículos isentos, predominantemente veículos leves e para fins de cálculo do número N foi considerado similar à categoria 1.



Figura 2 - Categorias de veículos utilizados para Cálculo do número N

Neste caso, como não se dispõem de pesagem de todos os veículos, foi considerado que 70% dos veículos trafegam com carga máxima legal e 30% dos veículos trafegam com 70% da carga máxima legal. As cargas máximas consideradas foram de 105, 180 e 255 kN para os eixos simples de roda duplas, eixo tandem duplo e eixo tandem triplo, respectivamente.

O fator de distribuição indicado pela administradora da rodovia foi de aproximadamente 95%, ou seja, se considera que 95% do tráfego comercial (que contribui para o N) utiliza a faixa considerada (da direita), o trecho de estudo existe restrição de tráfego de veículos pesados na faixa a esquerda (maior velocidade). A Tabela 2 apresenta os valores do Número N para o período estudado.

**Tabela 2 - Número N e taxa de crescimento**

ANO	N <sub>USACE</sub>	N <sub>AASHTO</sub>
2005	7,04E+06	3,15E+06
2006	6,77E+06	3,03E+06
2007	7,30E+06	3,19E+06
2008	1,17E+07	5,10E+06
2009	1,45E+07	6,31E+06
2010	1,63E+07	7,03E+06
2011	1,79E+07	7,63E+06
2012	1,86E+07	7,88E+06
2013 - Previsto	2,02E+07	8,49E+06

## 2.2 • Características do Pavimento

Para cada sentido da rodovia o pavimento possui uma constituição. A rodovia no sentido Juiz de Fora possui a constituição do pavimento de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), base de brita graduada (BGR) e sub-base de macadame hidráulico, conforme a Figura 3. No sentido oposto, Rio de Janeiro, a estrutura do pavimento é composta de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), base de macadame hidráulico, sub-base de solo estabilizado granulometricamente (SGR), conforme ilustrada na Figura 3.



**Figura 3 - Estrutura do pavimento sentido JF e RJ respectivamente.**

Foi realizada a determinação das espessuras das camadas do pavimento por meio do Ground Penetrating Radar – GPR em fevereiro de 2013. Um estudo interno desenvolvido pela concessionária consistiu na determinação dos módulos de resiliência *in situ* de cada camada do pavimento, através do processo de retroanálise das bacias de deformação medidas com o Falling Weight Deflectometer (FWD) em 2006. Como a estrutura do pavimento não sofreu nenhuma alteração significativa, foram utilizadas as informações de GPR e módulo de resiliência apresentados pela própria concessionária, a qual também se utiliza dessas informações em seus estudos sobre o pavimento.

## 2.3 • Intervenções Realizadas

Durante o período do estudo, foram levantados os segmentos e os tipos de intervenções realizadas em cada um. Constatou-se a realização de dois tipos de intervenções no pavimento, o Tipo A, com o objetivo de recuperação estrutural e o Tipo B, objetivando a melhoria funcional.

As intervenções do Tipo A contemplam a fresagem da capa asfáltica existente e execução de nova camada asfáltica, com a recomposição da mesma espessura de CBUQ convencional. As espessuras de fresagem variam, mas, são predominantemente de 4 cm. Esse tipo de intervenção pode vir a alterar as condições estruturais, funcionais e comportamentais do pavimento. Assim, na análise do presente estudo, será avaliada a possibilidade de utilização das intervenções realizadas no trecho para elaboração dos modelos.

A intervenção do Tipo B possui objetivo de melhorar características funcionais, corresponde à aplicação de uma camada de micro-revestimento asfáltico a frio (MRAF). Segundo Bernucci *et al.* (2006), o micro-revestimento age como elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento em revestimentos com desgaste superficial, pequeno grau de trincamento, repõe a condição de atrito superficial e resistência à aquaplanagem. Entretanto, irregularidades e deformações plásticas não serão alteradas com a aplicação do micro-revestimento e não haverá aumento da capacidade estrutural do pavimento, embora a impermeabilização da camada de revestimento possa reduzir as deflexões pelo fato de evitar a penetração de água às camadas subjacentes. Assim, na análise do presente estudo não será considerado esse tipo de intervenção para o desenvolvimento dos modelos.

## 3 • MÉTODO

### 3.1 • Regressão Linear Múltipla

A regressão linear múltipla é uma técnica multivariada, cuja finalidade principal é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes).

A regressão linear múltipla refere-se a uma situação em que a reta ajustada não descreve bem o conjunto de dados e, com isso, podem ser levadas em consideração outras variáveis independentes, que possivelmente influenciam no valor de Y, a variável dependente. Ou seja, a regressão múltipla pode ser usada no intuito de melhorar o modelo desenvolvido para explicar o comportamento das variáveis do banco de dados que estão sendo estudadas.

### 3.2 • Variáveis Dependentes

O estudo abrangeu os parâmetros de deflexão. O histórico de dados de deflexão compreende dos anos de 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, sendo desenvolvido o modelo com base nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2012 e efetuada a comparação com os dados reais de 2013.

### 3.3 • Variáveis Independentes

As variáveis foram selecionadas com base nos fatores que influenciam o desempenho do pavimento. Para tal, no desenvolvimento da regressão foi verificado o nível de significância das variáveis independentes disponíveis. As variáveis que possuíram valor-P menor que 5% foram utilizadas para o desenvolvimento da regressão. As variáveis verificadas foram as seguintes:

- Número N - para caracterizar o carregamento do tráfego foi utilizado o número N calculado pela metodologia da USACE. Não foi possível a utilização do número NAcumulado devido à construção do trecho ter sido na década de 70 e não haver informações de contagem tráfego à época, como também não está disponível o histórico de restaurações significativas. Logo, o número N utilizado foi dos anos de coleta de dados das variáveis dependentes.

- Número estrutural corrigido (SNC) - foi considerado o número estrutural corrigido do ano anterior ao dado de estudo. A determinação do valor de SNC se deu a partir da formulação Marcon (1996).

- Intervenções - para o desenvolvimento da regressão foi utilizada a informação de realização de intervenções do Tipo A, fresagem com recomposição, no ano anterior do período da coleta das variáveis dependentes. Essa variável é de característica qualitativa do pavimento, a variável dummy. Nos segmentos e anos que ocorreram intervenções do Tipo A, apresentar valor 1 (um), nos demais apresentar valor 0 (zero).

- Modulo de Resiliência (MR) - uma característica que representa a elasticidade das camadas do pavimento é o seu módulo de resiliência. Foram utilizadas as informações dos MR do revestimento, base + sub-base e subleito, determinados pela retroanálise realizada pela concessionária em 2006.

- Espessuras do Pavimento por GPR - a informação disponível das espessuras da camada de revestimento e base + sub-base, obtida por GPR, foi analisada para verificar se estatisticamente possuía influência no desempenho do pavimento.

- Deflexão Inicial (Dmed0) - para se prever o comportamento do pavimento quanto à evolução da deflexão, foram coletadas as deflexões iniciais. A determinação do Dmed0 ocorreu ao se analisar o Dmed de um ano X. O Dmed0 seria a última informação de Dmed disponível no banco de dados da empresa.

- Intervalo de tempo entre o Dmed0 e D - devido ao banco de dados não estar completo, ano a ano, ou seja, em alguns anos em que não foram realizadas ou não foram disponibilizadas as coletas, e a característica do carregamento do tráfego não considera o valor acumulado, foi incluído a variável tempo entre Dmed0 e D.

## 4 • MODELO

### 4.1 • Regressão de Deflexão

Inicialmente foi realizada uma regressão com todas as variáveis disponíveis para verificar o nível de significância e definir quais seriam incorporadas na regressão final. As variáveis consideradas na regressão inicial foram as seguintes: espessuras GPRRevestimento e GPRBase+SubBase; MRRevestimento; MRBase+Sub-Base; MRSubleito; NUSACE; intervenção no ano anterior (0/1); Dmed0; intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão; SNC.

Nas primeiras regressões de deflexão foram excluídas as variáveis de espessura do revestimento e base + sub-base e módulo de resiliência da base+sub-base, devido ao Valor-P correspondente as variáveis ser superior a 5%.

A regressão final apresentou-se na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resumo dos resultados da regressão – deflexão**

Estatística de regressão						
R múltiplo	0,91					
R-Quadrado	0,84					
R-quadrado ajustado	0,83					
Erro padrão	5,74					
Observações	707,00					
ANOVA		gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	7,00	117267,23	16752,46	<b>509,09</b>	1,66E-269	
Resíduo	699,00	23001,74	32,91			
Total	706,00	140268,97				

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	Valor-P
Interseção	57,760	6,378	9,056	0,0%
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,043	0,497	-2,100	3,6%
MR - Revestimento	-2,48E-03	0,000	-9,332	0,0%
MR - Subleito	-8,17E-02	0,015	-5,598	0,0%
N <sub>USACE</sub>	5,23E-07	0,000	9,104	0,0%
Dmed0	0,355	0,050	7,165	0,0%
Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	5,182	0,592	8,753	0,0%
SNC	-19,857	3,293	-6,031	0,0%

Com os resultados obtidos da regressão linear múltipla foram analisados para verificar a aceitação do modelo. Conforme apresentado na Tabela 4, a regressão foi aceita nas duas análises estatísticas adotadas.

**Tabela 4 - Verificação da regressão de deflexão**

Valor - F Calculado	509,09
Valor - F Tabelado	2,19
Critério de Aceitação	$F_{cal} > 5 * F_{tab}$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>
R <sup>2</sup>	0,83
Critério de Aceitação	$R^2 > 0,50$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>

Com a aceitação da regressão final de deflexão, foi gerada a equação de previsão de desempenho a seguir:

$$D_{FWD} = 57,760 - 1,043 \cdot \beta_1 - 2,48 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_2 - 8,17 \cdot 10^{-2} \cdot \beta_3 + 5,23 \cdot 10^{-7} \cdot \beta_4 + 0,355 \cdot \beta_5 + 5,182 \cdot \beta_6 - 19,857 \cdot \beta_7$$

$$R^2 = 0,83$$

As variáveis contempladas na previsão podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Variáveis contempladas na previsão de deflexão variáveis independentes intervenção no ano anterior (0/1)

Variáveis Independentes	Coefficientes
Intervenção no ano anterior (0/1)	$\beta_1$
MR - Revestimento	$\beta_2$
MR - Subleito	$\beta_3$
NUSACE	$\beta_4$
Dmed0	$\beta_5$
Intervalo de tempo entre Dmed0 e a previsão	$\beta_6$
SNC	$\beta_7$

Como os coeficientes da equação estão coerentes, verificou-se a percentagem de pontos dentro do intervalo de confiança da regressão, a serem apresentados no item a seguir.

## 5 • COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS

Com o objetivo de avaliar o comportamento das equações de desempenho desenvolvidas por meio das regressões, foi efetuada a comparação dos resultados da previsão com os dados reais coletados em 2013, conforme mostrado na Figura 4.

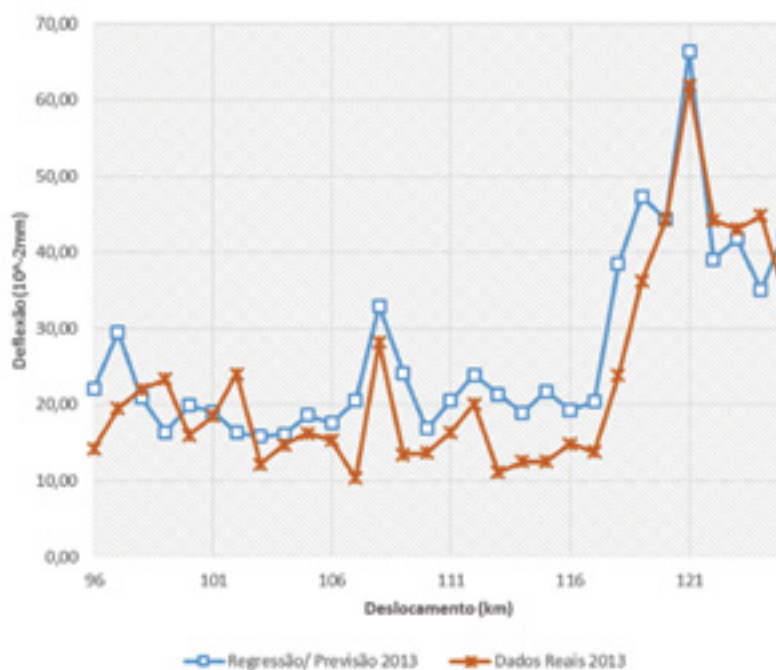


Figura 4 - Comparação do modelo de deflexão e dados reais

Foi realizada a comparação com outros modelos de previsão de deflexão da literatura técnica, os resultados podem ser visualizados na Figura 5.

A verificação da eficiência da equação de deflexão, desenvolvida pela regressão, foi realizada por meio da comparação da previsão da deflexão em 2013, dados reais de 2013 e previsão por meio dos modelos de Marcon (1996), Basílio (2002), Yshiba (2003), Albuquerque (2007) e Vitorello (2008).

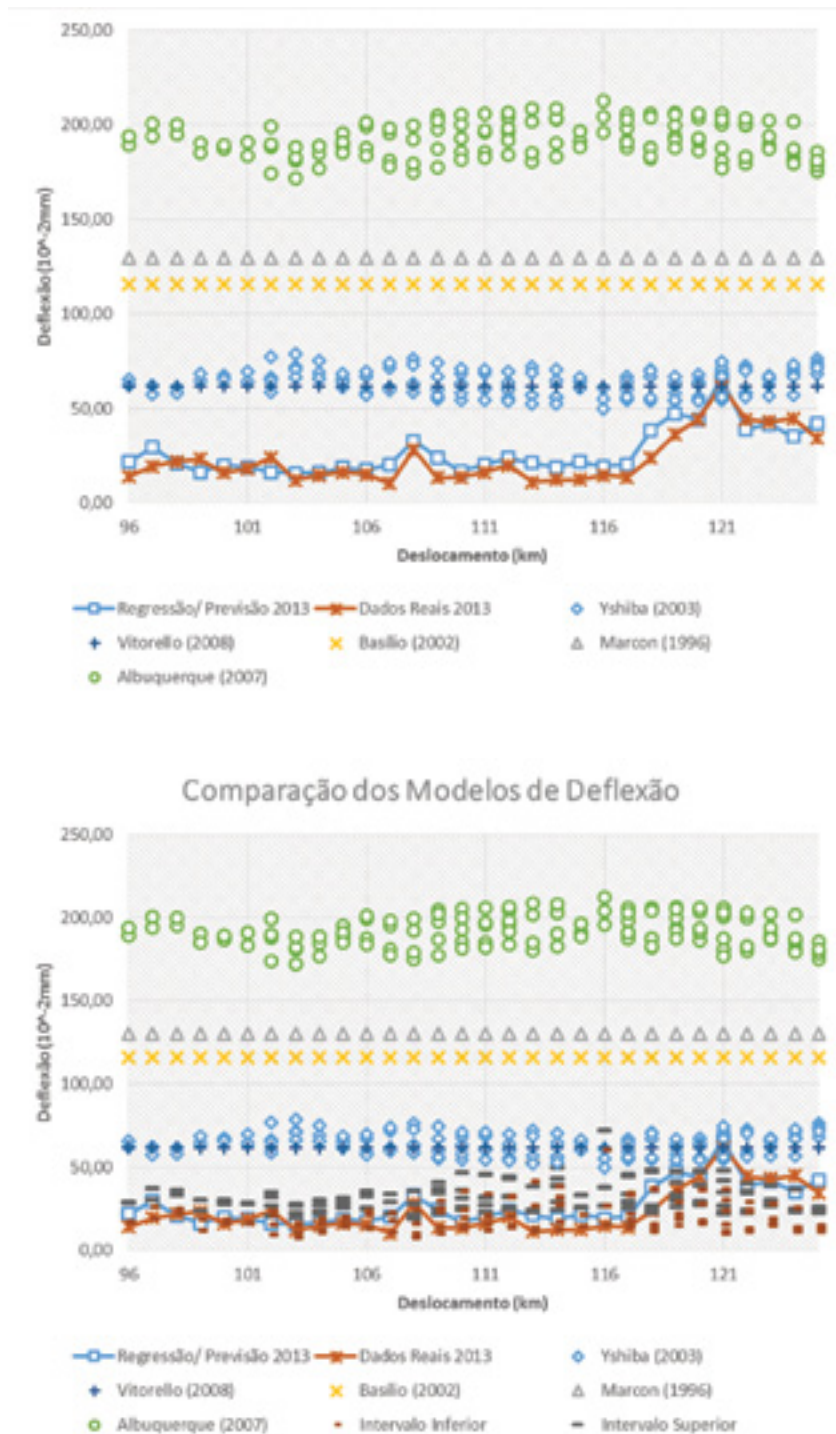


Figura 5 - Comparação dos modelos de previsão da deflexão

A Figura 4 e a Figura 5 ilustram a importância do desenvolvimento de modelos/previsões particulares para cada rodovia, pois, como podem ser observados, os demais modelos apresentaram deflexões bem superiores aos valores reais. Os valores estimados pela equação desenvolvida pela regressão obtiveram a melhor aproximação aos valores reais.

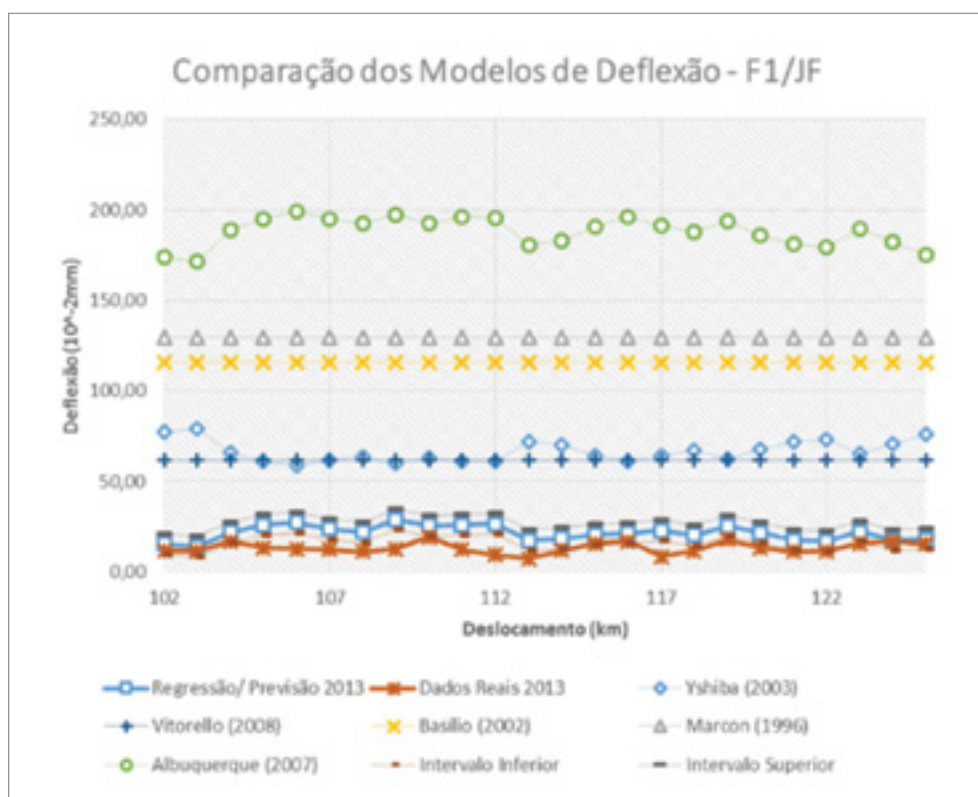
Os modelos que apresentaram maiores discrepâncias entre os valores reais e os estimados foram Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002), respectivamente. Os modelos de Yshiba (2003) e Vitorello (2008), dentre os modelos da literatura, obtiveram os melhores resultados, porém não representaria uma boa previsão de desempenho para o SGP da rodovia em análise, pois os mesmos anteciparam a realização das intervenções. Importante salientar que os modelos que mais se aproximaram da realidade foram aqueles que levaram em consideração mais de uma variável independente.

Para a regressão foi definido o intervalo de predição de novas observações, para verificar a eficiência da regressão em prever as deflexões futuras. Ao analisar os resultados das deflexões levantadas em 2013 pelo intervalo de confiança, obtiveram-se 84% dos valores reais introduzidos no interior do intervalo, conforme resumo apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Eficiência da regressão em prever as deflexões de 2013**

Pontos dentro do Int. de Conf.	Pontos fora do Int. de Conf.	TOTAL
107	20	127
84%	16%	100%

Foi realizada análise em todas as faixas com dados disponíveis (faixas 1, 2 e 3) e em ambos os sentidos. As Figura 6 e Figura 7 ilustram que os modelos Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002), independente de sentido ou faixa, não se aproximam dos valores reais. Os modelos de Yshiba (2003) e Vitorello (2008) se aproximam dos valores reais na faixa de rolamento 3, em ambos os sentidos. A equação desenvolvida por regressão apresenta uma boa previsão de desempenho, para todas as faixas de rolamento e em ambos os sentidos, principalmente a faixa 2, a qual obteve 100% dos valores incorporados no intervalo de confiança da regressão, podendo ser utilizada em um SGP.



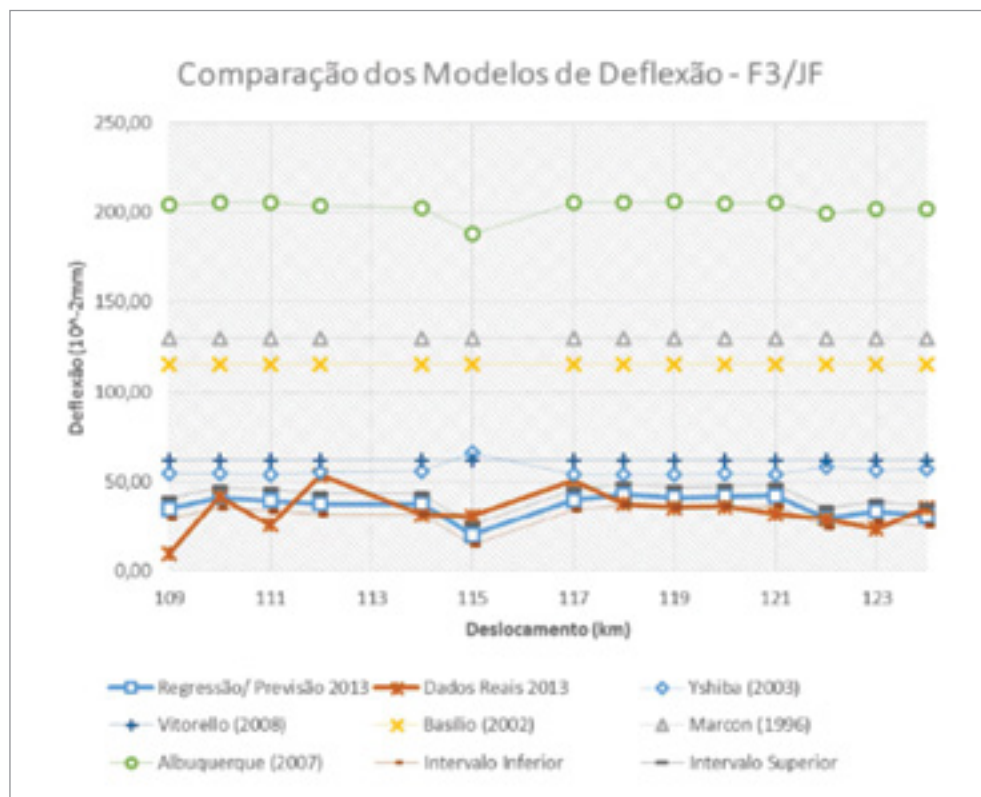
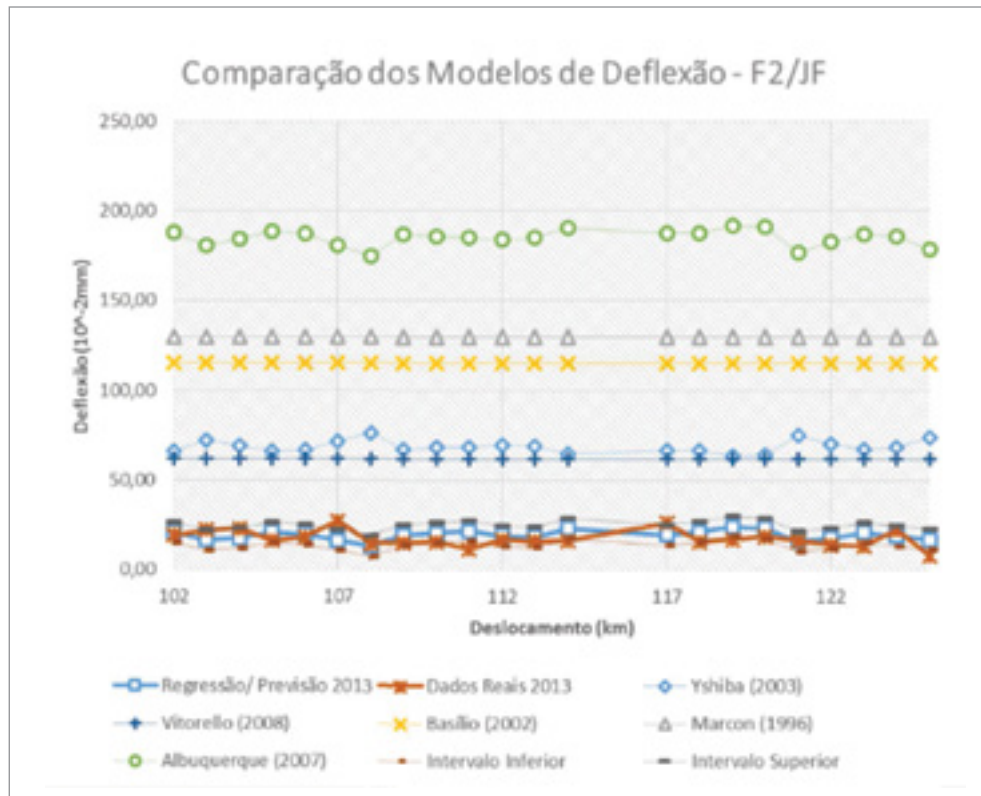
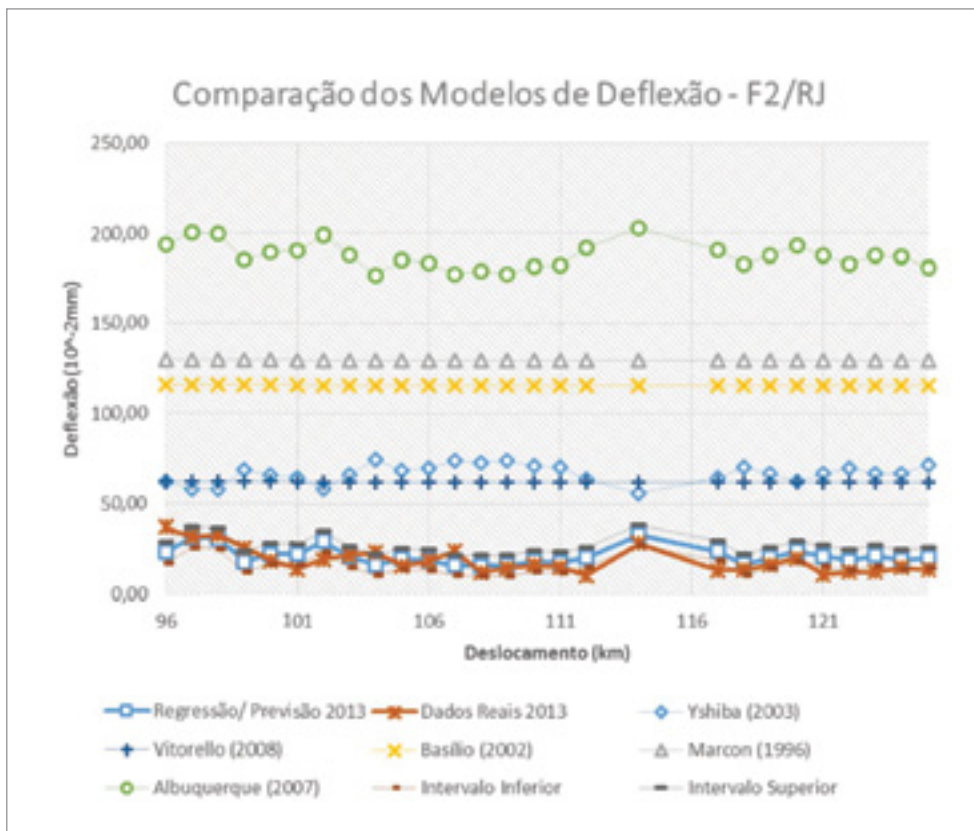
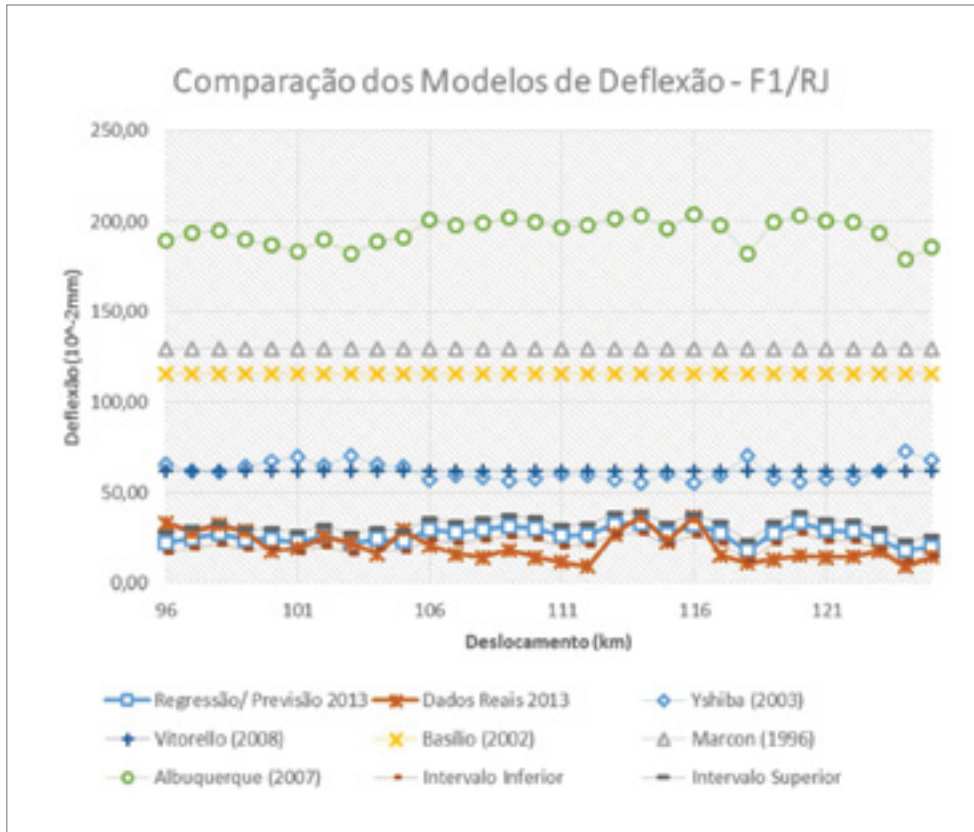


Figura 6 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido JF.



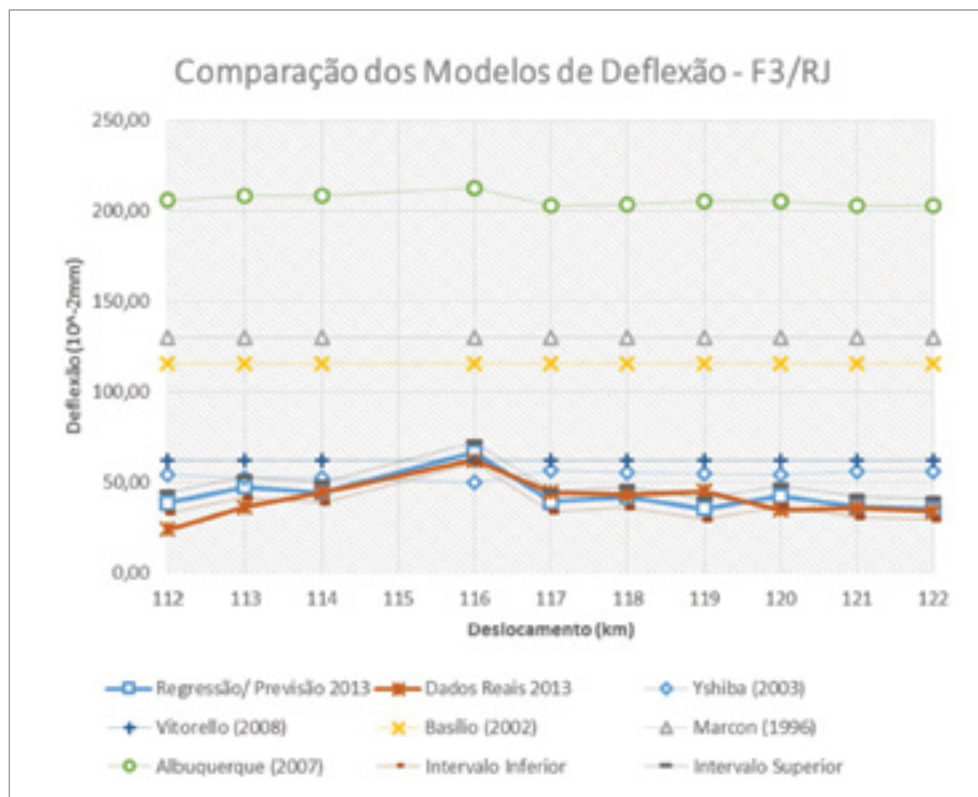


Figura 7 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido RJ.

## 6 • CONCLUSÕES

Os resultados das regressões permitiram a elaboração de equações de desempenho de acordo com as condições/características específicas da rodovia (materiais, clima, tráfego, etc), possibilitando a elaboração de um modelo que permitirá maior eficiência no Sistema de Gerência de Pavimento (SGP). A seguir, estão apresentadas as principais conclusões obtidas no estudo.

- A montagem/organização do banco de dados, com informações reais e confiáveis dos parâmetros de desempenho e variáveis que influenciam na previsão do desempenho do pavimento. O banco de dados criado possibilitou o desenvolvimento da equação de previsão de desempenho estrutural (deflexão), elemento fundamental para a implantação de um SGP na rodovia;
- Importante constatação foi a necessidade de aumentar o número de variáveis independentes, não sendo recomendado o uso exclusivo da variável independente número N;

- A variável independente qualitativa, “intervenções”, necessita de informações consistentes, não apenas como variável qualitativa, mas também quantitativa, representando a porcentagem da extensão que sofreu intervenção;
- Em relação ao parâmetro estudado, a regressão da deflexão atendeu aos dois critérios estatísticos de aceitação;
- Mais importante que a equação desenvolvida, é a verificação da eficiência do intervalo de confiança da regressão.
- As previsões de deflexão não apresentaram comportamento similar a nenhum dos modelos já apresentados em estudos anteriores, ressaltando a importância do desenvolvimento de modelos particulares para cada rodovia (tráfego, clima, região e materiais);
- As equações desenvolvidas podem dar suporte e subsídio ao sistema de gerência de pavimento da rodovia em estudo, determinando em quais condições e períodos de tempo se atingirá o limite aceitável de capacidade estrutural, com o parâmetro de deflexão e nortear os futuros investimentos.

## Referências Bibliográficas

AASHTO. *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 1993.

ALBUQUERQUE, F. S. *Sistema de Gerência de Pavimentos para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro*. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2007.

BALBO, J. T. "Pavimentos Asfálticos – Patologias e Manutenção" Editora Plêiade, São Paulo, 103 p. 1997.

BASÍLIO, R. *Análise do Comportamento de Pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás – Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

FERNANDES, Jr. J. L. *Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo. 293 p. 1994.

\_\_\_\_\_. *Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos para Cidades de Médio Porte*. São Carlos/SP: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.

GEIPOP - EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. *Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias*. Brasília – DF, Ministério dos Transportes, 12 v., 1981.

GONÇALVES, F. P., *O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis – apostila*. Novembro de 1999.

HAAS, R.; HUDSON, W. R. ZANIEWSKI, J. *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida/USA, 581p. 1994.

IPR-745. *Manual de Gerência de Pavimentos*. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF, 2011.

MARCON, A. F. *Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*. Tese (Doutorado em Infra-Estrutura Aeronáutica), Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos – SP, Brasil. 1996.

MONTGOMERY, D. C.; RUGER G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros*. LTC 5ª Ed. 476 p. 2012.

NUÑEZ, M. M. SHAHIN, M. Y. *Pavement Condition Data Analysis and Modeling*. Transportation Research Record 1070, Transportation Research Board, Washington-DC, USA, 1986.

PATERSON, W. D. O. *Road Deterioration and Maintenance Effects*. World Bank Publications, Washington-DC, USA, 1987.

QUEIROZ, C. A. V. *Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil*. Dissertation for the Degree of Philosophy Doctor, University of Texas, Austin – Texas, USA. 317 p. 1981.

\_\_\_\_\_. *Modelos de Previsão do Desempenho de Pavimento: Desenvolvimento e Aplicação*. Publicação 692/50, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro - RJ, 66 p. 1982.

\_\_\_\_\_. *Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil*. Ministério dos Transportes – Empresa Brasileira de planejamento de Transportes (GEIPOP), Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), Brasília - DF, 1984.

QUEIROZ, C. A. V., HUDSON, W. R., HAAS, R. *A Standardization of Pavement Management Systems in Brazil and other Developing Countries*. Transportation Research Record 1344, Transportation Research Board, Washington-DC/USA, 1992.

SONCIM, S.P. *Desenvolvimento de Modelos de Pavimentos Asfálticos com Base da Rede de Rodovias do Estado da Bahia*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes – Infraestrutura de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 197 p. 2011.

VITORELLO, T. *Análise de Desempenho de Estrutura de Pavimento Flexível da Rodovia BR-290/RS no Trecho Osório - Porto Alegre*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre. 2008.

YSHIBA, J. K. *Modelo de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias do Estado do Paraná*. 2003. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SP. 📌



## UM CAMINHO DE HISTÓRIA E TRADIÇÃO

A Sotreq celebra e parabeniza a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO pelos 56 anos de contribuição à infraestrutura do Brasil.

**CONSTRUÍDA PARA FAZER.**

# NOVOS CAMINHOS LEVAM À SOTREQ

## RECICLADORA DE ASFALTO CAT® RM500



Sistema de espargimento de água otimizado - 60 a 600L/min (configuração padrão Sotreq).



Deslocamento lateral total da cabine para os dois lados, que permite excelente visibilidade (configuração padrão Sotreq).



Barra desagregadora (Break Bar) na câmara do rotor para melhor fragmentação do material reciclado (configuração padrão Sotreq).

As exigências do mercado fazem com que você opte pelo melhor caminho para garantir a qualidade dos seus serviços. Por isso, a Sotreq está presente em cada quilômetro dos seus projetos de pavimentação com equipamentos Cat® e o suporte ao produto ideal para o seu negócio.

A tecnologia embarcada nas máquinas contribui para uma produtividade mais efetiva, isso sem contar que o investimento está mais atrativo com condições especiais.

**Fale com um de nossos representantes e tenha uma consultoria completa em suas obras.**

**CONSTRUÍDA PARA FAZER.™**

**FINANCIE**  
COM AS MELHORES  
TAXAS DO MERCADO.

**CAT**  
Financial



DÚVIDAS, SUGESTÕES OU RECLAMAÇÕES:

0800 084 8585

[www.sotreq.com.br](http://www.sotreq.com.br) | [sotreqcat](https://www.facebook.com/sotreqcat) | [sotreqcat](https://www.instagram.com/sotreqcat) | [@sotreqcat](https://twitter.com/sotreqcat) | [gruposotreqbr](https://www.youtube.com/gruposotreqbr)

SUPORTE TÉCNICO E VENDAS:

Capitais e regiões metropolitanas:  
3003 1920

Demais Localidades:  
0800 940 1920

**Sotreq**

**CAT**