

REVISTA

ABRV

Associação Brasileira de Pavimentação



# PAVIMENTAÇÃO

Ano III – Nº 12 – Dezembro de 2008 – [www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br) – ISSN 1809-1865

BELO HORIZONTE

**Linha Verde** é o novo corredor viário da capital mineira

Envelhecimento em concreto asfáltico com resíduo de aréa verde de fundição

Raquel Luísa Perreira Carnin  
Carlos Jorge da Cunha

# 16<sup>ª</sup> RPU

## Reunião de Pavimentação Urbana

BELO HORIZONTE - MG

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

De 28 a 30 de abril de 2009

Local: Centro de Convenções Minascentro

### Temário

- Materiais para Pavimentação Urbana
- Estudos e Projetos de Pavimentos urbanos
- Manutenção, Restauração e Gerência de Vias Urbanas
- Técnicas de Construção e Controle de Qualidade de Pavimentos Urbanos
- Sinalização e Meio Ambiente em vias Urbanas

### Cronograma

15/02/2009 - Submissão do trabalho completo

10/03/2009 - Prazo do parecer do Comitê Técnico Científico sobre  
aceitação de trabalhos técnicos





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

**CONSELHO EDITORIAL**  
Diretoria da ABPv

COORDENAÇÃO GERAL

Arq<sup>ta</sup> Georgina Libório Azevedo  
georgina@abpv.org.br

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago  
MTb 27170-RJ

redacao@revistapavimentacao.org.br

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO**

Presidente: Eng<sup>o</sup> EDUARDO ALBERTO RICCI  
Vice-Presidente: Cel Eng<sup>o</sup> PAULO ROBERTO DIAS MORALES  
Diretor Administrativo: Eng<sup>o</sup> JOÃO MENESCAL FABRÍCIO  
Diretor Técnico: Eng<sup>a</sup> LAURA M<sup>a</sup> GORETTI DA MOTTA  
Diretor Financeiro: Eng<sup>o</sup> ATAHUALPA SCHMITZ DA SILVA PREGO  
Diretor de Divulgação: Arq<sup>ta</sup> GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

**COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO**

Eng<sup>o</sup> Alexandre Zupolini Neto; Eng<sup>o</sup> Alfredo Monteiro de Castro Neto; Eng<sup>o</sup> Alvaír Pinto Barbosa; Eng<sup>o</sup> Antônio Fortunato Marcon; Eng<sup>o</sup> Armando Martins Pereira; Eng<sup>o</sup> Armando Morilha Junior; Eng<sup>o</sup> Atahualpa Schmitz da S. Prego; Eng<sup>o</sup> Carlos Yukio Suzuki; Eng<sup>o</sup> Cássio Eduardo Lima de Paiva; Eng<sup>o</sup> Chequer Jabour Chequer; Eng<sup>o</sup> Djalma Rocha A. M. Pereira; Eng<sup>o</sup> Douglas Fadul Villibor; Eng<sup>o</sup> Dultevir Guerreiro Vilar de Melo; Eng<sup>o</sup> Edinaldo Afonso Marques de Mélo; Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci; Eng<sup>o</sup> Ernesto Simões Preussler; Eng<sup>o</sup> Fernando Augusto Jr.; Eng<sup>o</sup> Francisco Samuel Pithon Barreto; Eng<sup>o</sup> Genésio Almeida da Silva; Arq<sup>ta</sup> Gilda Collet Bruna; Eng<sup>o</sup> Glicério Trichês; Eng<sup>o</sup> Heitor Roberto Giampaglia; Eng<sup>o</sup> Jacques de Medina; Eng<sup>o</sup> João Menescal Fabrício; Eng<sup>o</sup> João Virgílio Merighi; Eng<sup>o</sup> Jorge Augusto Pereira Ceratti; Eng<sup>o</sup> Jorge Henrique Ribeiro; Eng<sup>o</sup> Jorge Paulo Moro; Eng<sup>o</sup> José Franklin Moreira; Eng<sup>o</sup> José Leomar Fernandes Junior; Eng<sup>o</sup> José Pedro dos Santos Vieira Costa; Eng<sup>o</sup> José Tadeu Balbo; Eng<sup>o</sup> Laiz de Souza; Eng<sup>a</sup> Laura M<sup>a</sup> Goretti da Motta; Eng<sup>a</sup> Leni F. M. Leite; Eng<sup>o</sup> Leto Momm; Eng<sup>a</sup> Liedi Legi B. Bernucci; Eng<sup>a</sup> Luciana Nogueira Dantas; Eng<sup>o</sup> Luiz Miguel de Miranda; Eng<sup>o</sup> Marcello Roberto Rangel Pestana; Eng<sup>o</sup> Maria da Conceição M. Azevedo; Eng<sup>o</sup> Márcio Muniz de Farias; Eng<sup>o</sup> Marçílio Augusto Neves; Eng<sup>o</sup> Mario Henrique Furtado Andrade; Eng<sup>o</sup> Nilton de Souza Campelo; Eng<sup>o</sup> Otacílio Alves de França Junior; Eng<sup>o</sup> Paulo Roberto Belisário S. de Souza; Eng<sup>o</sup> Paulo Romeu Assunção Gontijo; Eng<sup>o</sup> Prepedigna D. E. Almeida da Silva; Eng<sup>a</sup> Rita Moura Fortes; Eng<sup>o</sup> Salomão Pinto; Eng<sup>o</sup> Silvio Rodrigues Filho; Eng<sup>o</sup> Saul Birman; Eng<sup>o</sup> Walter Canales Sant'ana; Eng<sup>a</sup> Wanda Trigo Loureiro; Eng<sup>o</sup> Washington Pérez Nuñez.

Editoração Eletrônica: MURO Produções Gráficas

Revisão: Ellis Pinheiro

Impressão: GRAFITTO Gráfica e Editora Ltda

Tiragem: 5.000 exemplares – Periodicidade: Trimestral



**Nossa capa:**

Linha Verde, novo corredor viário da capital mineira, registrada pela lente da fotógrafa Bernadete Amado

# Sumário

- 2 Editorial
- 3 Seção de notas
- 5 Cartas dos leitores
- 6 Concluída a Linha Verde, maior corredor viário da Grande Belo Horizonte

**NOTAS TÉCNICAS**

- 8 Notícia sobre projeto de harmonização das especificações de cimento asfáltico de petróleo na América Latina

*Neide Taboada e Leni Figueiredo Mathias Leite*

- 14 Aspectos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança (SMS) nas atividades do setor de asfalto

*Margareth Cravo, Rosana Azevedo e Ronaldo Monteiro*

**ARTIGOS TÉCNICOS**

- 21 Uma proposta para dimensionamento e avaliação de pavimentos de aeroportos utilizando-se de análise crítica de decisão (MCDA) dentro de uma visão econômica de ciclo de vida (LCCA)

*Silvio Rodrigues Filho e Cassio Eduardo Lima de Paiva*

- 29 Comportamento mecânico de algumas misturas asfálticas com dois tipos de asfalto e diferentes teores de ligante, com ênfase na fadiga

*Marcos Antonio Fritzen, Laura Maria Goretti da Motta, Sandra Oda, Valéria Faria e Mario Escudeiro*

- 44 Controle de homogeneidade na construção de camadas de pavimentos por medidas de reflexão

*Salomão Pinto e Régis Martins Rodrigues*

- 52 Ensaio de envelhecimento em concreto asfáltico contendo resíduo de areia verde de fundição

*Raquel Luísa Pereira Camin e Carlos Jorge da Cunha*

**FATOS HISTÓRICOS**

- 62 Na carta de um colega, as informações técnicas

# Editorial

---

**N**o encerramento do ano de 2008 e no vislumbre dos primeiros meses do próximo ano, a Revista PAVIMENTAÇÃO traz uma reportagem especial sobre as obras de vulto que estão sendo feitas pelos governos estaduais. Notadamente, nesta edição, apresentamos as obras da Linha Verde, o corredor viário que liga o centro da capital mineira, Belo Horizonte, ao Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins.

A matéria traz as informações como a importância da obra para a terceira maior metrópole do Brasil, os números e os benefícios que ela trará à população e suas obras de arte. Toda pujança da Linha Verde e seus aspectos visuais de pavimentação podem ser apreciados nas imagens da fotógrafa Bernadete Amado.

Fatos Históricos apresenta a correspondência de um amigo e colega de profissão do colunista que lhe relata fatos e conhecimento técnico relevantes e, que por isso, tal registro se faz histórico.

Ainda nesta edição quatro artigos técnicos são apresentados: Uma proposta para dimensionamento e avaliação de pavimentos de aeroportos utilizando-se de análise crítica de decisão (MCDA) dentro de uma visão econômica de ciclo de vida (LCCA), de autoria dos engenheiros Silvio Rodrigues Filho e Cássio Eduardo Lima de Paiva; Comportamento mecânico de algumas misturas asfálticas com dois tipos de asfalto e diferentes teores de ligante, com ênfase na fadiga, dos engenheiros Marcos Antonio Fritzen, Laura Maria Goretti da Motta, Sandra Oda, Valéria Faria e Mário Escudeiro; Controle de homogeneidade na construção de camadas de pavimentos por medidas de deflexão, dos engenheiros Salomão Pinto e Régis Martins Rodrigues; e finalmente de autoria dos engenheiros Raquel Luísa Pereira Carnin e Carlos Jorge da Cunha, Ensaio de envelhecimento em concreto asfáltico contendo resíduo de areia verde de fundição.

Os nossos votos para 2009 são de um ano promissor, de muito trabalho e estudo no sentido de promover a engenharia de pavimentos, e em tudo o mais que possa fazer deste País uma terra de paz, ordem e grandeza.

*Conselho Editorial*

# Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

## Professor Jacques de Medina recebe título de Professor Emérito

No dia 17 de dezembro, o Conselho Universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro outorgou a quatro ilustres nomes do corpo docente do Instituto de Pesquisa e Pós-graduação Luiz Alberto Coimbra (COPPE/ UFRJ) o título de professor emérito. Este é



um título honorífico que uma entidade de ensino confere a seus professores aposentados que se distinguiram no exercício da atividade acadêmica. É um profissional da educação que se destacou na sua área.

Entre os contemplados está o professor e pesquisador Jacques de Medina, Mestre pela Universidade de Purdue, em Indiana, nos Estados Unidos, que ingressou na COPPE em 1967. Professor titular aposentado, é autor do livro *Mecânica dos Pavimentos*, uma referência na área. O docente recebeu o Prêmio Terzaghi, concedido pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, Honra ao Mérito e Homenagem Especial da Associação Brasileira de Pavimentação.

Medina é sócio número 04 da ABPv e membro de sua primeira diretoria, tendo ainda sido diretor-presidente da Associação.

Também receberam o título de professor emérito da UFRJ os professores Amaranto Lopes Pereira, Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Toulouse, na França; Luiz Bevilacqua, fundador dos programas de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica da COPPE, onde ingressou em 1967, Doutor em Mecânica Teórica e Aplicada pela Universidade de Stanford; e Martin Schmal,

referência internacional na área de catálise, é Doutor pela Universidade Técnica de Berlim. Ingressou como professor em 1970 na COPPE, onde implantou o Núcleo de Catálise do Programa de Engenharia Química (Nucat), em 1991, considerado um dos principais centros de catálise do mundo.

A sessão solene realizada no Centro de Tecnologia, no Campus do Fundão, no Rio de Janeiro, foi presidida pelo magnífico reitor da UFRJ, Prof. Aloísio Teixeira.



## Diretora da ABPv é homenageada pela Aeronáutica

A Diretora Técnica da ABPv e professora do programa de Engenharia Civil da COPPE, Laura Maria Goretti da Motta, recebeu a comenda da Ordem do Mérito Aeronáutico, no Grau de Oficial, no dia 23 de outubro, durante solenidade alusiva ao Dia do Aviador e da Força Aérea Brasileira. O agraciamento é devido à cooperação de longa data que a professora mantém com a Aero-



náutica, por meio de projetos e formação de alunos da Força Aérea Brasileira.

Criada em 1943, a Ordem do Mérito Aeronáutico é destinada a premiar os militares da Aeronáutica que tenham prestado notáveis serviços ao País, organizações

e personalidades civis que se destacam em sua área de atuação, a exemplo da professora Laura Goretti, coordenadora do Laboratório de Misturas Asfálticas, da área de Geotecnia da COPPE.



## Assembléia dá início às comemorações dos 50 anos da ABPv

Em assembléia geral extraordinária realizada no dia 26 de novembro, a ABPv deu início às comemorações do seu meio século de existência.

Com a presença do diretor-presidente da Associação, Eng. Eduardo Alberto Ricci, e dos demais diretores, a assembléia contou também com a participação do presidente da Fundação DER-RJ (Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro), Eng. Henrique Alberto Santos Ribeiro, que proferiu uma palestra sobre o Arco Metropolitano do Estado do Rio de Janeiro (BR-493/RJ-109).

O público presente no auditório da sede da ABPv era composto, além dos sócios e diretores, por 62 representantes de diversas empresas.

Na ocasião, com a presença dos sócios coletivos patrocinadores e sócios efetivos, a assembléia também deliberou sobre o reajuste da taxa de anuidade para 2009.



## AutoBAN é a melhor concessionária do País, segundo a NTC&Logística

A AutoBAN conquistou o prêmio "NTC



Fornecedores do Transporte", na categoria concessionária de rodovias, conferido pela NTC&Logística. A premiação aconteceu no dia 9 de dezembro, na capital paulista. Essa foi a terceira vez que a concessionária das rodovias

Anhangüera e Bandeirantes é reconhecida pelos transportadores de carga, os outros prêmios foram nos anos de 2002 e 2004. A pesquisa foi realizada pelo Instituto DataFolha, por meio de questionário com 30 perguntas foram avaliados alguns atributos e imagem das marcas. Foram ouvidas 400 empresas de transporte e logísticas associadas à NTC&Logística.

A AutoBAN é responsável, desde 1º de maio de 1998 pela administração das rodovias Anhangüera e Bandeirantes, um sistema rodoviário integrado, que representa um importante vetor de desenvolvimento dos municípios que estão em sua área de influência, além de um significativo corredor para escoar a produção de uma das regiões economicamente mais ativas do Estado de São Paulo.

A concessionária gerencia 316,75 quilômetros de rodovias, compreendendo a SP-330 (Via Anhangüera), de São Paulo a Cordeirópolis, com extensão de 147,04 quilômetros; a SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes), de São Paulo a Cordeirópolis, com 159,67 quilômetros de extensão; a SP-300 (Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto), com extensão de 2,6 quilômetros; e a interligação SPI-102/330 (Rodovia Adalberto Panzan), com extensão de 7,44 quilômetros. A AutoBAN foi a quinta concessionária a integrar o Grupo CCR.



## Dia 11 de novembro, dia do Engenheiro e do Arquiteto

Responsáveis diretos pelo progresso, o trabalho dos engenheiros e arquitetos está presente no dia-a-dia de toda população, afinal são eles que projetam e constroem a infraestrutura das cidades, estradas, terminais rodoviários, hidroportuários e aeroportuários. Podem ser chamados de coautores da história do progresso.

A missão destes profissionais é criar mecanismos facilitadores e transformadores para a vida das pessoas.

O dia 11 de dezembro foi escolhido para homenagear a categoria, pois foi nesta data, em 1933, que a profissão foi regulamentada no Brasil. Em 1966, esse decreto foi revogado e entrou em vigor a Lei nº 5.194/66, que atualmente rege a profissão. É essa lei que estabelece

as condições e regras para o exercício da atividade, os direitos e deveres, além de garantir proteção à sociedade em relação a maus profissionais e serviços.

A Associação Brasileira de Pavimentação tem a honra de congregar em seus quadros muitos destes profissio-

nais que construíram a infra-estrutura deste País e as novas gerações que têm se dedicado integralmente a implementar as bases de um futuro auspicioso para a nação.

Parabéns aos engenheiros e arquitetos brasileiros de todos os tempos!



## Cartas dos leitores

A Seção de Cartas destina-se a colher opiniões dos leitores sobre as matérias veiculadas na Revista, bem como críticas, elogios e manifestações de assuntos inerentes ao objeto da publicação. A Coordenação da Revista reserva-se, no entanto, o direito de publicar o conteúdo das cartas no todo ou em parte, bem como fazer uma seleção das mesmas devido às limitações de espaço.

e-mail: [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br)



A cobertura da 39ª RAPV, no Recife, deixa registrado um momento de grande satisfação profissional que é estar na companhia de nossos pares, podendo abordar de forma tão integrada os temas que nos interessam e estreitar os laços de amizade.

*Manfredo Egberto Silva – Vitória, ES*

Muito oportuno a nota técnica sobre a acessibilidade das calçadas. Acho que o próximo passo seria um artigo técnico. O tema ainda tem muito o que ser aprofundado. É preciso também que existam políticas para educar pedestres, ciclistas e motoristas sobre as infrações cometidas nas calçadas. Educação é também um componente fundamental nesta temática.

*Fabício Lorentino Barros – Brasília, DF*

Os artigos da última edição da Revista PAVIMENTAÇÃO (Set/2008) realmente são primorosos. Parabéns pela qualidade técnica. Muito embora eu não concorde com tudo, as questões são de extrema valia, pois proporcionam a dialética acadêmica. Que bom que temos excelentes pesquisadores neste País!

*Mariano Chaves de Siqueira – São Paulo, SP*

Quero cumprimentá-los pelo conteúdo da edição em epígrafe (Set/2008) com os artigos de excelente nível, os quais confirmam a Revista PAVIMENTAÇÃO como referência para os profissionais envolvidos com o ensino, o projeto e a construção de rodovias. Parabéns!

*Professor Hostilio Xavier Rattón Neto – Rio de Janeiro, RJ*



FOTOS | BERNADETE AMADO

# Concluída a **LINHA VERDE,** maior corredor viário da Grande Belo Horizonte

## Obra abre caminho para o tráfego extra e integra BH ao aeroporto de Confins

As principais capitais brasileiras vêm fazendo nos últimos tempos investimentos consideráveis na sua pavimentação urbana. Em maio passado, a capital paulista inaugurou a Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira, como parte do complexo viário Real Parque, no bairro do Brooklin. A obra tem caráter fundamental na integração da zona oeste da cidade à zona sul, onde há intenso tráfego de veículos.

Neste mês de dezembro foi a vez da capital mineira, que acaba de ganhar de forma definitiva a via expressa Linha Verde. Trata-se de um complexo viário que tem 35,4 quilômetros e liga o Centro da capital ao Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins. Ao todo são 20 viadutos, duas trincheiras e 20 passarelas e travessias de pedestres para atender quem mora ou trafega em 100 bairros de Belo Horizonte e nos 10 municípios da área de influência da via.

A Linha Verde, como é chamada, foi construída em três etapas. A primeira, entregue em março de 2007, foi a implantação do Bulevar Arrudas e a revitalização da Praça Rui Barbosa, mais conhecida como Praça da Estação. No trecho de 1,4 quilômetro de extensão, foram investidos R\$ 40 milhões, e a Avenida dos Andradas ganhou novos projetos paisagístico e de iluminação, mais quatro faixas de tráfego em cada sentido e cobertura de parte do Ribeirão Arrudas. Depois de ampliada em 640 metros quadrados, a Praça da Estação teve o aspecto original, da década de 1920, recuperado com resgate de pisos, fontes luminosas, peças de arte e palmeiras imperiais.

A segunda fase, concluída em junho de 2007, foi a MG-010, principal via de acesso à porção norte da região

metropolitana e ao aeroporto internacional de Confins. Os 22,4 quilômetros da rodovia foram duplicados e outros 35 quilômetros de vias marginais, ruas laterais e interseções foram construídos. Orçado em R\$ 130 milhões, o trecho abriga o símbolo da Linha Verde: dois viadutos em forma de ferradura e a Praça Marco, com 20 mil metros quadrados. Em todo o percurso, foram erguidos seis viadutos e uma trincheira para os 60 mil carros que circulam pela região diariamente, além de 14 passarelas e travessias de pedestres.

A terceira e última fase foi também a mais complexa em função das intervenções na Avenida Cristiano Machado. Em 12 quilômetros de pista, foram construídos 14 viadutos e quatro passarelas. A primeira fase concluída nesse trecho foi o conjunto de viadutos sobre a Rua Jacuí e a Avenida Silviano Brandão. As peças de concreto usadas no local – 46 pilares, 24 travessas e 180 vigas – são as maiores de toda a Linha Verde. No cruzamento da Cristiano Machado com a Avenida José Cândido da Silveira, foi erguida a primeira interseção em três níveis de Minas,

## A LINHA VERDE EM NÚMEROS



### INVESTIMENTO

■ **Total:**  
**R\$ 400 milhões**

■ **Complementar:**

**R\$ 29 milhões**, assim distribuídos:

**R\$ 17 milhões** para obras de segurança viária,

**R\$ 10 milhões** para recapeamento da

Avenida Cristiano Machado e **R\$ 2 milhões** na implantação do Sistema de Assistência Integrada (SAI).



### OBRAS

■ **20** viadutos,  
**2** trincheiras, **14** passarelas,  
**6** travessias de pedestres.

■ **125 mil** toneladas de concreto betuminoso,  
**49 mil** toneladas de asfalto,  
**26 mil** toneladas de massa asfáltica para recapeamento, **6 mil** toneladas de aço em fundações, **20 mil** metros cúbicos de pavimento rígido, **50 mil** metros cúbicos de concreto, **1.375 vigas** pré-moldadas, **2,4 milhões** de metros cúbicos de terra movimentada.



### PAISAGISMO

■ **2.381** árvores,  
**11 mil** arbustos,  
**6 mil** metros de cerca viva

**767** palmeiras imperiais, **370 mil** metros quadrados de grama, **150** bancos de concreto e madeira, **43** jardineiras.



### ILUMINAÇÃO

■ **1.047** postes e  
**1.919** luminárias

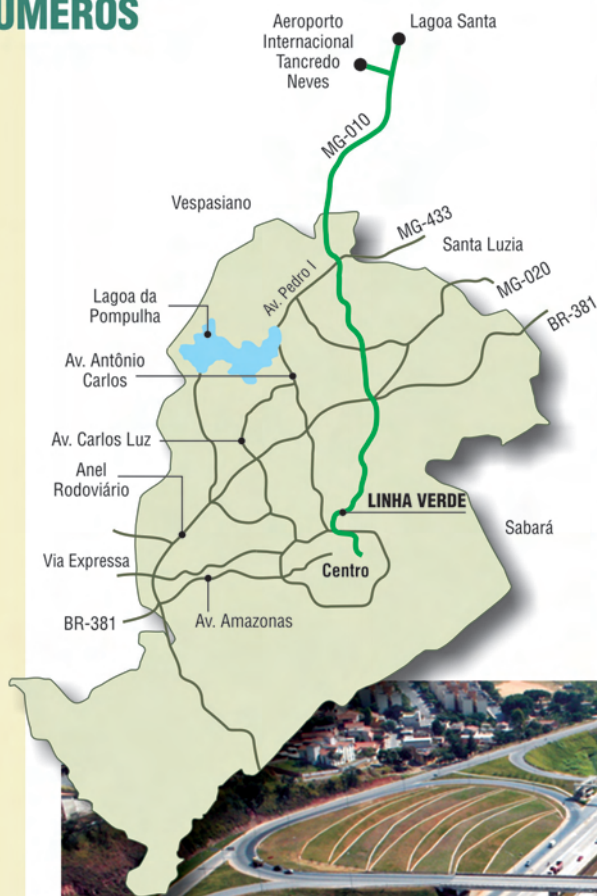


### BENEFÍCIOS

■ **3,5 milhões** de pessoas beneficiadas em **100** bairros da capital e de **10** municípios

■ Circulação de **120 mil** carros por dia na Avenida Cristiano Machado e de **60 mil** carros na MG-010

■ Geração de **20 mil** empregos diretos e indiretos durante a execução das obras.



sendo dois viadutos de acesso aos bairros Cidade Nova e Silveira e uma trincheira para quem percorre o sentido Centro-bairros.

No cruzamento com a Avenida Bernardo Vasconcelos, a via ganhou um viaduto em forma de "Y", e, no entroncamento com o Anel Rodoviário, foram construídos sete viadutos, passarelas e novas travessias. Ao todo, foram investidos R\$ 122 milhões no novo traçado da Cristiano Machado, além de R\$ 10 milhões usados para o recapeamento do asfalto. As obras permitem o escoamento de 120 mil veículos por dia e a ligação da avenida com o Anel Rodoviário, a Via 240 (saída para a cidade de

Santa Luzia), a Estação BHBus São Gabriel e o Terminal de Integração Venda Nova.

Ao longo da Linha Verde está sendo erguido o novo centro administrativo do Governo do Estado de Minas Gerais. A obra está em pleno andamento e quando inaugurada mudará o mapa administrativo da metrópole, que hoje concentra sua administração no centro da cidade.

No Rio de Janeiro também há obras de vultosa importância, trata-se do Arco Metropolitano, uma obra viária de vital importância para a economia fluminense. E esta obra será abordada na próxima edição desta Revista.

Fonte: Estado de Minas, 10/12/2008

# Notícia sobre projeto de harmonização das especificações de cimento asfáltico de petróleo na América Latina

**Neide Taboada**

Petrobras / Área Internacional

**Leni Figueiredo Mathias Leite**

Cenpes / Petrobras

## Introdução

O mundo globalizado em que vivemos tem levado a que, em várias áreas do conhecimento e do comércio, surjam iniciativas de conciliar as especificações de produtos entre países vizinhos como forma de facilitar a circulação de técnicas e mercadorias, entre outros aspectos. Na área de pavimentação, é bastante corrente na prática a adoção de normas de ensaios e especificações de produtos, materiais e serviços vindas de outros países, com adaptações pertinentes à realidade local. Por exemplo, várias das normas do DNER ou do DNIT e mesmo da ABNT são baseadas em normas da ASTM ou da AASTHO americanas. Técnicas de pavimentação atuais, como exemplo as misturas asfálticas do tipo SMA (*Stone Matrix Asphaltic*) empregadas nos anos recentes em algumas obras rodoviárias, têm se valido de experiências em outros países para embasar as especificações nacionais ou estaduais, como visto na ET-DE-P00/031 de 2006 do DER de São Paulo.

Com a criação da Comunidade Econômica Européia, esta experiência de circulação livre dos conhecimentos, normas e especificações passou para um novo estágio que foi a fase de compatibilização dos conteúdos e das várias formas de apresentação destas especificações de modo a garantir a livre circulação entre os países de produtos e de serviços, em todos os setores das engenharias e também da pavimentação. Foram formados grupos de trabalho que, durante alguns anos,

se debruçaram sobre as normas e especificações de cada país membro e daí obtiveram uma forma final consensual para cada uma delas, que passou a ser adotada como exigências mínimas a serem atendidas em todos os países membros.

No âmbito da América Latina não estamos tão avançados como os europeus, mas algum entendimento formal já existe com o Mercosul, por exemplo, que já nos obriga, na parte de pavimentação, a estar preocupados e trabalhando na compatibilização da Lei da Balança, por exemplo, visto que a legislação sobre cargas transportadas é diferente nos vários países membros.

Na questão de produtos asfálticos, a queda do monopólio do petróleo e do refino há alguns anos e a extensão da atuação da Petrobras em outros países da América Latina, induziu a busca por alternativas de harmonização das especificações pertinentes entre países vizinhos.

Para viabilizar este objetivo de compatibilização entre as especificações de produtos e serviços de pavimentação na América Latina, foi feito um primeiro encontro entre técnicos brasileiros e latino-americanos no Rio de Janeiro em março de 2007: nascia assim o chamado "Projeto de harmonização das especificações de cimento asfáltico de petróleo (CAP) na América Latina", tomando-se o CAP como primeiro desafio para o grupo de trabalho.

Esta Nota Técnica relata um pouco da história do Projeto, seus objetivos e motivações, relaciona os países participantes e mostra a primeira proposta de especi-

ficação da CAP latino-americana que está em fase de aprovação em cada

## O que é o projeto

O Projeto de Harmonização pretende:

1. Fazer a seleção de um elenco de ensaios e respectivos valores limites, que venham a se constituir numa especificação latino-americana de cimento asfáltico de petróleo, semelhante ao que ocorreu na Europa com a criação de especificações europeias de ligantes asfálticos aplicadas a todos os países do Mercado Comum Europeu.
2. Implantar no continente latino-americano um projeto comum de normas e especificações de materiais e serviços ligados à pavimentação asfáltica;
3. Contribuir para o crescimento da infra-estrutura viária nos países da região;
4. Criar um projeto piloto de normalização de produtos de petróleo;
5. Liderar o processo de integração técnica entre os países da região;
6. Atender ao interesse por parte de todos os países pelo projeto de normalização.

Segundo informações da empresa de Petróleo GALP ENERGIA de Portugal, pode-se elencar os seguintes ganhos na Europa em três anos de harmonização das especificações de produtos asfálticos:

1. Diminuíram as barreiras técnicas à circulação de produtos;
2. Diminuíram as necessidades de estoque de petróleos específicos para produções ótimo-econômicas, por país;
3. Aumentou a amortização de investimentos, devido à ampliação do mercado;
4. Aumentou a confiança dos consumidores em termos de recepção de matérias-primas;
5. Aumentou a competitividade de exportação em países limítrofes;
6. Aumentou a velocidade de troca de tecnologia entre técnicos com diferentes problemas;
7. Propiciou o intercâmbio na cadeia produtiva rela-

tivo aos aspectos toxicológicos e impactos ambientais (Segurança – Meio ambiente – Saúde – SMS).

Espera-se ter o mesmo ganho aqui, ou similar, propiciando mais um passo para a real integração latino-americana que ajudará a fortalecer todos os países participantes.

## Porque harmonizar

As principais motivações para este projeto podem ser resumidas nas seguintes perspectivas:

1. Obter uma linguagem comum de normas, ensaios e valores limites para os produtos e serviços de pavimentação entre os países latino-americanos;
2. Estabelecer padrões de SMS entre os países da região;
3. Permitir trocas de tecnologia e experiência no ramo rodoviário;
4. Ter um campo mais amplo para estudos e projetos (interação entre centros de pesquisas e universidades);
5. Facilitar as relações comerciais entre países, principalmente com a expansão da Petrobras na região.

Os resultados de médio e longo prazos esperados com este projeto são os que seguem:

1. Consolidar a idéia de **Integração Regional**;
2. **Criação de valor** pela ampliação do mercado de trocas, devido à quebra de barreiras;
3. Capitalização junto aos meios rodoviários nacionais e estrangeiros da iniciativa da Petrobras;
4. Agilidade no atendimento aos consumidores em termos de denominação e valores especificados;
5. Maior praticidade nas negociações técnicas e comerciais;
6. Exigências de desempenho crescentes para as pavimentações de estradas, ruas e aeroportos;
7. Intercâmbio tecnológico e comercial.

No escopo do Projeto, já existem várias propostas de projetos conjuntos em continuidade a esta etapa concernente ao ligante asfáltico, tais como:

1. Criação de fichas de dados de segurança de CAP: *Material Safety Data Sheet (MSDS)* dos Cimentos Asfálticos.

2. Especificações de tipos de misturas asfálticas já usadas regionalmente e em estudo (Ex.: densas, SMA, módulo elevado, misturas drenantes, misturas descontínuas);
3. Caracterização dos ligantes asfálticos regionais por ensaios modernos ou não constantes na especificação atual negociada, tais como ensaios de reologia e química;
4. Lista de ensaios comuns de caracterização dos agregados;
5. Compatibilização de normas de ensaios de caracterização mecânica de misturas asfálticas (módulo de resiliência, resistência a tração, *Wheel tracker*, ensaio de fadiga, entre outros);
6. Compatibilização de normas de medidas de textura em pavimento (mancha de areia, pêndulo britânico, *grip test* etc.);
7. Especificação de norma de medidas de ruído pela interação pneu pavimento;
8. Desenvolvimento de planos interlaboratoriais para ensaios mecânicos de misturas asfálticas;
9. Promover Cursos e Seminários em cada país participante;
10. Criar mecanismos que favoreçam de forma intensiva a transferência de tecnologia entre os técnicos e pesquisadores dos países participantes.

## O que já aconteceu

Desde o surgimento da idéia, alguns passos já foram dados, e a seguir enumera-se um breve histórico das ações realizadas:

- 1) Início do projeto é considerado como sendo a realização de um Seminário no Rio de Janeiro, nos dias 26 e 27 de março de 2007, com a presença dos seguintes países: Espanha (convidado para relatar a experiência européia neste setor), México, Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela e Costa Rica;
- 2) A segunda reunião foi realizada em Cancún, no dia 27/08/2007, com a presença dos representantes do Brasil, México, Venezuela, Colômbia e Argentina;
- 3) A terceira reunião foi realizada em Cuba, no dia 22/11/2007, com a presença dos representantes do

- Brasil, Argentina, México, Venezuela, Colômbia, Peru, Uruguai, Equador, Honduras, El Salvador, Chile e Cuba;
- 4) A quarta reunião foi realizada no Rio de Janeiro, no dia 12/06/2008, com a presença dos representantes do Brasil, Argentina, México, Uruguai, Colômbia e Venezuela;
  - 5) A quinta reunião foi realizada na Colômbia/Bucaramanga, no dia 08/08/2008, com a presença dos representantes do Brasil, Argentina, México, Colômbia, Peru e Venezuela;
  - 6) A sexta reunião foi realizada no dia 13/11/2008, na Argentina/Rosário com a presença dos representantes de Argentina, México, Peru, Venezuela, Chile, Uruguai e representantes das empresas petrolíferas Petrobras, Pesa, Shell, Ipiranga e PDVSA.
  - 7) A próxima reunião será realizada em Santiago/Chile, em abril de 2009.
  - 8) As principais ações já realizadas podem ser resumidas em:
    - Criação de um fórum eletrônico (página web) para troca de informações e registro dos trabalhos efetuados;
    - Apresentação de cada país dos tipos de ligante usados no local (Figura 1) e Mercados de Asfalto na América Latina;
    - Levantamento das Especificações e seus métodos de ensaio de cada país participante;
    - Seleção dos ensaios que consensualmente deveriam ser utilizados na especificação harmonizada de ligante asfáltico e decisão de utilizar como base os Métodos de Ensaio da ASTM;
    - Definição do tipo de classificação a ser adotada – todos os países, com exceção do Brasil, elegeram a Viscosidade Brookfield como parâmetro por ser um avanço científico em relação à Penetração;
    - Seleção dos tipos de CAP a serem harmonizados (CAPs) e definição dos valores limites baseados na ASTM 3381;
    - Definição do organismo que irá endossar e propor a especificação harmonizada que foi a Associação Latino-Americana de Asfalto (ALA).

A escolha da viscosidade em substituição ao ensaio de penetração como parâmetro definidor das classes deve-se a que a Viscosidade Brookfield ser uma medida científica do escoamento do ligante a diferentes rotações e geometrias

de haste (*spindle*) e também permitir o cálculo de tensão, viscosidade e taxa de cisalhamento. Correlaciona-se melhor com o desempenho no campo. É sabido que a penetração, adotada largamente pela facilidade de execução do ensaio relativamente a outros, é um ensaio muito empírico, que nasceu a partir da agulha de uma máquina de costura inventada em 1909, a máquina Singer (Figura 2).

A título de exemplo do que foi estabelecido na Europa, na Tabela 1 está apresentada a classificação europeia de cimento asfáltico de petróleo adotada por consenso

entre os países participantes da Comunidade Européia. Além destes ensaios básicos comuns a todos os países, que compõem os critérios mínimos a serem atendidos pelos fabricantes e empresas que comercializam o CAP, cada país pode acrescentar mais algum ensaio particular de seu interesse regional, o que vem mostrado na Tabela 2.

Na Tabela 3 está apresentada a proposta na forma atual de Especificação Latino-americana que resultou dos trabalhos deste Projeto nas várias reuniões presenciais que ocorreram, como indicado antes. Nada impede que



Figura 1 – Classes de cimento asfáltico de petróleo comercializadas nos países participantes deste Projeto de Harmonização

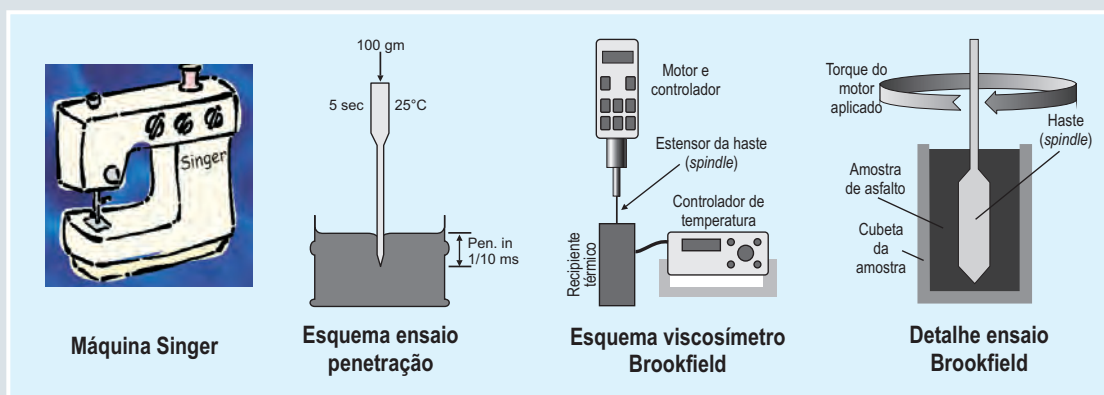


Figura 2 – Modelo de ensaios de penetração usado na classificação brasileira atual e de viscosidade Brookfield, proposto para a Especificação Latino-americana de CAP.

o Brasil ou outro país também acrescenta outros ensaios ou critérios adicionais, como visto no exemplo da Comunidade Européia. Esta tabela está em fase de consulta interna em cada país participante do Projeto de Harmonização. A proposta da especificação harmonizada, a exemplo da especificação européia, é ampla e pouco restritiva. As especificações de cada país poderão ser mais restritivas que a harmonizada.

### As próximas etapas

Vislumbram-se para acontecer em curto prazo as seguintes etapas a serem cumpridas por todos os países participantes do Projeto de Harmonização latino-americana:

- 1) Validação do protótipo de especificação de CAPs, em cada país, no seu órgão normativo ou no Fórum de decisões pertinente;
- 2) Divulgação e adoção da especificação harmonizada nos países membros;
- 3) Inclusão de outros produtos asfálticos na busca de consenso de especificação, tendo sido escolhidos como prioritários o asfalto modificado por polímero (AMP) e as emulsões para a harmonização seguintes.

### Participantes

Informa-se a seguir a lista de membros participantes permanentes, por país, além das autoras desta Nota Técnica

Tabela 1 – Especificação de asfaltos para pavimentação da Comunidade Européia (EN12591: 2000)

Ensaio	Unidade	Método	Designação da classe								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Penetração a 25°C	dmm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Ponto de Amolecimento	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
Resistência ao envelhecimento a 163°C											
Varição em massa, máx (±)	%	EN12607 -	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
Penetração retida, mínimo	%	1	55	53	53	50	50	46	43	37	35
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	ou 3	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Ponto de Fulgor, mínimo	°C	EN22592	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Solubilidade, mínimo	%	EN12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Tabela 2 – Complementação particular da especificação européia adotada por alguns países membros – ensaios complementares de cada país

Ensaio	Unidade	Método de ensaio	Designação das classes								Países onde os ensaios se aplicam
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	
Teor de parafina máx.	% (m/m)	EN 12606-1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	AT, DK, DE, FR, GR
Viscosidade dinâmica a 60°C, mín	Pa.s	EN 12596	440	260	225	175	145	90	55	30	AT, DK, IS, NL, NO, CH, SE
Viscosidade cinemática a 135°C, mín	mm <sup>2</sup> /s	EN 12595	530	400	370	325	295	230	175	135	AT, BE, DK, GB, IS, FI, NL, NO, PT, CH, SE
Ponto de ruptura Fraass (PF)	°C	EN 12593	-	-5	-5	-7	-8	-10	-12	-15	AT, BE, DK, GB, IS, FI, NL, NO, PT, CH, SE
<b>Resistência ao envelhecimento (uma das seguintes alternativas)</b>											
Aumento do ponto amolecimento (PA)	°C	EN 1427	8	8	8	9	9	9	10	11	AT, DK, FR, DE, IS, NO, PT, SE
Aumento do PA e do PF	°C	EN12593	10	11	11	11	11	11	12	12	CZ, IT
Aumento do PA e Índice de penetração min max	°C	EN 1427	10	11	11	11	11	11	12	12	BE, E S, NL, CH, GR
			-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	-1,5 +0,7	

que representam o Brasil e outros membros da Comissão de Asfalto do IBP (Brasil), que participam do grupo de trabalho interno nacional:

Javier Herrera Lozano (MÉXICO)  
Presidente da ALA (Associação Latino-Americana de Asfalto)

Jorge O. Agnusdei (ARGENTINA)  
Secretário da ALA / Secretário Permanente do CILA  
Vice-Presidente da Comissão Permanente de Asfalto da Argentina

Helio Farah (BRASIL)  
Secretário da ALA / Secretário Permanente do CILA

Gustavo Corredor (VENEZUELA)  
Presidente do Instituto Venezuelano de Asfalto

José Salvador Uzategui (EQUADOR)  
Professor da Pontifícia Universidade Católica do Equador

Jorge Justiniano (BOLÍVIA)  
Presidente da Câmara de Construção da Bolívia

Luis Enrique Sanabria (COLÔMBIA)  
Diretor da Corasfaltos (Corporação de Asfalto da Colômbia)

Nestor Huamán Guerrero (PERU)  
Professor da Universidade Ricardo Palma, Lima/Peru

Fabian Elizondo (COSTA RICA)  
Pesquisador do Laboratório Nacional de Materiais e Modelos Estruturais da Costa Rica (Lanname)

Juan Dioverti (PARAGUAI)  
Direção Nacional de Vialidad do Paraguai

Jorge Grgich (URUGUAI)  
Chefe do Laboratório de Asfaltos do Laboratório Tecnológico do Uruguai – Latu

Roberto Orellana (CHILE)  
Gerente do Instituto Chileno de Asfalto

Luis Emilio Serrano (CUBA)  
Ministério de Transporte de Cuba

**Tabela 3 – Proposta de especificação de cimento asfáltico de petróleo harmonizada para a América Latina**

Ensaio	CA 5	CA 10	CA 20	CA 30	CA 40	Método s ASTM
Viscosidade a 60°C, P	400-800	800-1600	1600-2400	2400-3600	3600-4800	D2171 D4402
Viscosidade 135°C, cP mín.	175	250	300	350	400	D2170 D4402
Densidade a 25°/25°C	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	D70
Penetração a 25°C, mín.	100	70	50	40	30	D5
Ponto de Fulgor, °C mín.	200	230	230	230	230	D92
IST	-1,5 a 1	-1,5 a 1	-1,5 a 1	-1,5 a 1	-1,5 a 1	
<b>Após RTFOT</b>						
Varição em massa, % m/m, máx.	1,5	1	1,0	1,0	1,0	D2872
Viscosidade a 60°C, P, máx	3000	5000	8000	12000	20000	D2171 D4402
Ductilidade a 25°C, cm, mín.	100	75	50	40	25	D113

**Tabela 4 – Proposta de Especificação Latino-americana de CAP – Exemplo de requisitos adicionais nacionais (que poderão ser feitas por alguns países membros)**

Ensaio	CA 5	CA 10	CA 20	CA 30	CA 40	Métodos ASTM	Países onde os ensaios se aplicam
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 1/10mm	150-200	85-100	50-70	30-45	-	D05	BR, X, Z, ...
Solub. em tricloroetileno, % mín.	99,5	99,5	99,5	99,5	-	D2042	BR, X, T, ...
Ponto de amolecimento, °C mín.	37	43	46	52	-	D 36	BR
Ensaio da mancha	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	AASHTO 302	X, Y, ...
Viscosidade 1 50°C, cP mín.	81	97	112	203	-	D4402	BR, X, Z, ...
Viscosidade 177°C, cP mín.	28 a 114	28 a 114	57 a 285	76 a 285	-	D4402	BR, X, Z, ...
Dutibilidade a 25°C, cm mín.	100	100	60	60	-	D 113	BR, X, T, ...
IST	-1 a +1	-1 a +1	-1 a +1	-1 a +1	-1 a +1	-1 a +1	T, Z, ...
<b>Após RTFOT</b>							
Varição em massa, % m/m, máx.	1,5	1	0,5	0,5	0,5	D2872	BR
Aumento de pto de amolecimento, °C max	8	8	8	8	-	D36	BR, X, T, ...
Penetração retida, %	50	55	55	60	-	D05	BR, Z, K, ...

BR- Brasil, X- ..., T-..., Z-...(outros países)

# Aspectos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança (SMS) nas atividades do setor de asfalto

**Margareth Cravo**

**Rosana Azevedo**

Centro de Pesquisas da Petrobras – Cenpes

**Ronaldo Monteiro**

Petrobras / Comissão de Asfalto do IBP GT-SMS

## Introdução

A Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) é uma das mais antigas comissões em atividade permanente e conta com a presença de aproximadamente 40 membros, compostos de técnicos colaboradores, representantes de produtores e distribuidores de asfalto, consumidores, concessionárias, órgãos do governo, universidades e um representante da ABPv. A Comissão de Asfalto organiza suas atividades de normalização e especificação de materiais asfálticos em duas instâncias: por grupos de trabalho e por plenário.

Os grupos de trabalho são compostos por um número pequeno de membros (GT) que discutem assuntos específicos até obter uma proposta consensual sobre cada tema, que é levada ao plenário para votação e finalmente encaminhamento, quer seja a Agência Nacional de Petróleo (ANP), caso se trate de especificação de materiais asfálticos, ou a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), caso se trate de normas de ensaios pertinentes ao setor. No ano de 2008, a Comissão de Asfalto é coordenada pelo Engenheiro Alexander Vivoni, da Petrobras Distribuidora, e conta com os seguintes grupos de trabalho:

- Asfalto Borracha;
- Emulsões Asfálticas;
- *Saúde, Meio Ambiente e Segurança (SMS)*;
- Misturas Asfálticas;

- Equipamentos de Pavimentação;
- Revisão do Boletim “Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos”.

## GT de SMS no Segmento Asfalto

O Grupo de Trabalho de SMS foi criado durante o 17º Encontro de Asfalto que ocorreu em 2004, com o objetivo de disseminar a cultura de SMS nos procedimentos envolvidos na área de asfalto. É coordenado pelo Engenheiro Edson Araújo da empresa Disbral. É composto por 20 membros, a maioria pertencente à Comissão de Asfalto do IBP, mas também contando com participação de outros profissionais de apoio, tais como a autora desta Nota Técnica, e tendo o suporte do Coordenador da Subcomissão de Saúde do IBP, o médico Newton Richa.

O principal objetivo tem sido desenvolver um plano de ação para sensibilizar a cadeia produtiva (produtor, distribuidor e aplicador de asfalto) quanto à necessidade de implantação de procedimentos relativos a SMS no setor de pavimentação. Isso envolve apresentação de palestras e *workshops*, bem como a elaboração de um documento contendo requisitos básicos de SMS a serem seguidos durante a execução de obras, orientando quanto aos impactos causados pela manipulação dos ligantes e materiais asfálticos.

As primeiras ações realizadas para a sensibilização das empresas produtoras, distribuidoras e aplicadoras de

ligante asfáltico nas questões de SMS foram: um *workshop* no Rio de Janeiro em março de 2007 e um em junho de 2007 em São Paulo, palestras realizadas no 19º Encontro de Asfalto do IBP e na 15ª Reunião de Pavimentação Urbana da ABPv realizada em Salvador, em 2008.

Atualmente tem-se desenvolvido orientações para constar nos PPRA, PCMSO, FISPQ e PPR; planejamento de capacitação nos modelos da Universidade Petrobras; elaboração de cartilhas básicas para técnicos do setor de pavimentação; orientações para EIA/RIMA na pavimentação asfáltica; trabalhos de tradução de textos pertinentes e estudos para resolver tecnicamente os problemas e propor soluções para o aquecimento de asfalto, tais como as misturas mornas.

Como sabido, os EIA/RIMA são instrumentos de fiscalização do Estado sobre as ações das empresas. Sempre que a atividade de uma empresa possa ter um impacto ambiental, ela precisa apresentar ao órgão governamental competente estes dois documentos, que levam em conta o fato que a natureza é um bem finito, e os recursos naturais se esgotam, portanto é preciso agir sempre com responsabilidade ambiental, e que ar puro e água potável são essenciais para a sobrevivência da humanidade.

A busca por textos técnicos internacionais para tradução mostrou que já existem muitas publicações e pesquisas nessa área lá fora. Em muitos países nada é feito sem se pensar em SMS antes.

Resumidamente, a missão do GT de SMS foi definida como: “Contribuir para compatibilizar as operações das empresas do segmento de asfalto com a promoção e a proteção da saúde dos trabalhadores e das populações vizinhas às instalações industriais, a segurança das instalações e equipamentos e a proteção do meio ambiente”.

No conceito principal reforça-se a ação centrada nas pessoas: a promoção e a proteção da saúde dos trabalhadores e das populações vizinhas às instalações industriais.

O GT – SMS do IBP pretende ser uma das referências nacionais na emissão de diretrizes e disseminação de boas práticas nas áreas de SMS no segmento de asfalto.

Como diretrizes do GT – SMS foram estabelecidas as seguintes atividades:

- Dar suporte técnico às políticas de SMS das empresas do segmento de asfalto;

- Enfatizar a adoção de medidas preventivas de SMS o mais rapidamente possível no setor de pavimentação brasileiro.

Como estratégias do GT – SMS foram estabelecidas as seguintes ações:

- Desenvolver atividades de SMS de interesse da Comissão de Asfalto;
- Acompanhar a evolução da legislação e da normatização técnica de SMS;
- Acompanhar a evolução dos trabalhos de instituições internacionais e estrangeiras relacionadas às áreas de SMS;
- Acompanhar o desenvolvimento das atividades de SMS em empresas de asfalto no Brasil e no exterior.

Existe um plano de Política Nacional de Segurança e Saúde do trabalhador que é uma articulação entre três Ministérios – Saúde, Trabalho e Previdência Social – para garantir que o trabalho (base da organização social e direito humano fundamental) seja realizado em condições que contribuam para a melhoria da qualidade de vida, realização pessoal e social sem prejuízo para a saúde e integridade física e mental do trabalhador.

Portanto, as ações do GT – SMS devem estar coerentes com este plano e contribuir para que o Setor de Pavimentação seja um dos mais engajados com esta missão, seguindo a tendência mundial observada no campo das aplicações asfálticas.

## **Plano de Trabalho de SMS**

O GT de SMS do IBP vem desenvolvendo o seguinte plano de trabalho para alcançar os objetivos propostos:

- Preparação de uma palestra padrão para divulgação dos conceitos básicos;
- Organização de Acervo de Informações Técnicas de SMS;
- Elaboração de estudos e artigos técnicos;
- Elaboração e proposição de diretrizes nas áreas de SMS;
- Promoção de treinamentos e eventos técnicos;
- Promoção de intercâmbio de experiências em SMS.

São necessários mecanismos que incentivem as medidas de prevenção e possibilitem melhor gerencia-

mento dos fatores de riscos operacionais do setor de pavimentação asfáltica.

## Alguns Trabalhos Apresentados

Dentro da estratégia de agregar conhecimentos ao grupo de trabalho e a partir deste a todos os participantes da cadeia produtiva da pavimentação asfáltica, já foram apresentados algumas contribuições que serão resumidas a seguir.

### 1. Qualificação em SMS

*Geraldo de O. Santos*

O apresentador deste tema foi o engenheiro que trabalha na Universidade Petrobras, em cursos de capacitação em SMS dado para os funcionários terceirizados da Petrobras. Apresenta um modelo de análise de causas de uma não conformidade (acidente), que são resumidamente:

Modelo de Análise de Causas de Não-conformidade:

Causas Básicas:

- Supervisão e Gerência insuficientes;
- Fiscalização incorreta;
- Procedimentos e normas inadequados.

Causas Imediatas:

- Desvios – Disciplina operacional e comportamento:
  - 50% por não uso de EPI;
  - 25% por erro em procedimentos;
  - Falta de percepção de risco;
  - Falta de postura consciente.

Neste estudo apresentado foi observado que as causas imediatas de um acidente são em geral associadas à falha humana, tais como falta de uso de EPI e procedimentos técnicos inadequados. É necessário que o funcionário tenha visão crítica e percepção de risco da tarefa a ser executada. Deve ter ainda uma postura consciente, trazendo atitudes seguras para o seu dia-a-dia. Funcionário consciente trabalha com responsabilidade e profissionalismo, ou seja, entende que a sua vida e a do próximo são preciosas.

### 2. Medidas de Engenharia na Proteção da Saúde dos Trabalhadores na Pavimentação Asfáltica

*Oswaldo Tuchumantel Júnior*

O apresentador deste tema foi o engenheiro da Betunel Distribuidora e discorreu sobre tópicos vinculados às misturas asfálticas resumidos a seguir:

- Quanto aos agregados: emissões de partículas finas durante a transferência e manuseio dos agregados podem penetrar nos pulmões atingindo os alvéolos, com risco de chegarem à corrente sanguínea se forem menores que 2,5 micra. Os finos dos agregados podem causar a silicose, doença que provém desse pó fino que chega até os pulmões causando uma pequena cicatriz e fica ali retido, causando o seu endurecimento, caracterizado pelos seguintes sintomas: cansaço, falta de ar, tosse, tontura e fraqueza.
- Quanto ao ligante: emissões de fumos do asfalto durante a usinagem e compactação devido às altas temperaturas, podendo gerar também misturas frágeis; envelhecimento excessivo do ligante asfáltico; aumento do consumo de combustível e excesso de fumaça com liberação de compostos químicos.

O **benzo(a)pireno** é um dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) que se destaca na toxicologia humana. As vias de penetração do benzopireno no organismo são por inalação e pela epiderme. Quando os trabalhadores estão aplicando o asfalto quente, seja isolado, seja na mistura, não apenas inalam esse agente químico, mas também são atingidos pelo mesmo na pele do corpo. O benzo(a)pireno é um agente químico com potencial para desenvolver câncer de pele, assim, os trabalhadores que atuam na pavimentação de ruas e estradas nunca devem trabalhar de camiseta e bermuda.

### 3. Low Energy Asphalt – LEA

*Fernando Leal*

O apresentador deste tema é Técnico Colaborador da Comissão de Asfalto do IBP e trata de algumas técnicas das chamadas misturas mornas que são Misturas Asfálticas à quente, processadas em temperaturas da ordem de 50-60°C mais baixas que as usuais, com uma grande redução nos custos com aquecimento e na emissão de vapores tóxicos, fumos e particulados.

### 4. Programas de SMS da Ipiranga Asfaltos S.A.

*José Marcelo*

O apresentador explicou que conceitos de Qualidade do Produto e a Satisfação do Cliente são os principais objetivos do Sistema de Gestão ISO 9001:2000, porém, a Norma exige também o atendimento aos requisitos que

incluem Saúde, Meio Ambiente e Segurança no Trabalho. Assim, é preciso prever:

- recursos para implementar e melhorar os processos do sistema;
- recursos humanos investindo em competência dos profissionais com base na educação apropriada, treinamento e experiências;
- ambiente de trabalho adequado: a empresa deve manter as unidades limpas e seguras, identificar riscos das instalações e das atividades.

### Estudo Toxicológico dos CAPs Brasileiros

Esta pesquisa está sendo desenvolvida pela equipe composta por: Leni Leite, Margareth Cravo, Ronaldo Monteiro e Rosana Azevedo da Petrobras/Cenpes

O objetivo principal é determinar a composição química, especialmente em relação aos HPAs, dos fumos emanados dos asfaltos, durante sua aplicação em pavimentação por intermédio de simulação em laboratório.

Sob condições normais, os ligantes asfálticos são sólidos e não apresentam perigos à saúde ou ao ambiente. Porém, a maioria de suas aplicações é realizada em temperaturas acima de 130°C (exemplos mostrados na Figura 1), o que pode gerar fumos contendo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que têm potencial efeito carcinogênico. Existe na Petrobras preocupação com as questões ocupacionais, e como o petróleo é uma matriz complexa em sua composição, se faz necessário estudar os fumos dos ligantes asfálticos dos próprios petróleos obtidos e processados pela empresa. Hábitos, estilo de vida, predisposição genética e questões de exposição ocupacional são pontos a serem levados em conta com relação aos efeitos dos fumos no trabalhador.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos comumente encontrados em fumos de asfalto são:

Naftaleno	Benzo(a)antraceno
Acenaftileno	Fluoranteno
2-bromonaftaleno	Benzo(b)fluoranteno
Acenafteno	<b>Benzo(a)pireno</b>
Fluoreno	Indeno(123-cd)pireno
Fenantreno	Dibenzo(a, h)antraceno
Antraceno	Benzo(ghi)perileno
Pireno	Criseno

Foi desenvolvido um sistema para geração e coleta de fumos de asfalto, junto com a Universidade Federal de Santa Maria no Rio Grande do Sul e mais estudos estão em andamento para precisar melhor a composição destes fumos provenientes dos asfaltos. Como ações de continuidade desta pesquisa têm-se: realizar estudo em campo; estudar as atividades biológicas dos fumos dos CAPs; pesquisar outros compostos além dos HPAs e estudo com cobaias vivas (ratos). Outros compostos contidos no fumo que preocupam são, por exemplo, compostos sulfurados e nitrogenados, que porventura também possam causar algum dano à saúde.



Figura 1 – Exemplos de aplicação de misturas asfálticas a temperaturas que provocam fumos e exposição de operários a estes.



### Panorama Mundial

Alguns eventos internacionais nos quais este tema foi abordado de forma efetiva são os seguintes:

*Health Effects of Occupational Exposure to Emissions from Asphalt/Bitumen Symposium – June 7-8, 2006 – Dresden, Germany*

## Estudos Epidemiológicos Internacionais

Entidades como a Concawe, Eurobitume, Eapa, Napa, Arma e NRCA tiveram a iniciativa de financiar recentemente um estudo epidemiológico, que está sendo elaborado e gerenciado pela IARC, na França, para tratar esta questão.

Estudos realizados anteriormente foram considerados precários e apresentaram alguma inconsistência nas informações sobre a real situação da saúde do trabalhador, não levando em consideração seus hábitos (tanto alimentares quanto a exposição não ocupacional) e predisposição genética, por exemplo. Com isto houve atraso na preocupação sobre o potencial de risco da atividade de pavimentação asfáltica e também, a partir daí, tomar ações preventivas para reduzir a exposição aos fumos. Houve então consenso internacional sobre a necessidade de um estudo epidemiológico bem conduzido, levando-se em consideração a composição química, estudos em animais e conhecimento sólido sobre o grupo de controle dos trabalhadores.

## Boas Práticas de SMS

Alguns exemplos de boas práticas de SMS na aplicação de misturas asfálticas nas obras rodoviárias podem ser vistas na Figura 2 onde os operários estão protegidos convenientemente e utiliza-se o princípio das Misturas Mornas descrito, por exemplo, em Nota Técnica nesta Revista PAVIMENTAÇÃO nº 11. Na Figura 3, mostra-se um quadro de prevenção que pode ser afixado nos laboratórios de Ligantes e Misturas Asfálticas para orientação de como proceder no caso de queimaduras por ligantes asfálticos aquecidos.

Algumas orientações básicas a serem fornecidas aos trabalhadores em geral e especialmente àqueles envolvidos durante as atividades de pavimentação com misturas asfálticas a quente são as seguintes:

- Ter atenção ao executar suas tarefas;
- Sempre que tiverem dúvidas devem perguntar ao encarregado ou supervisor;

- Usar os equipamentos de proteção individual (EPIs) específicos de cada atividade;
- Solicitar ajuda dos companheiros sempre que acharem necessário;
- Ter treinamento para as tarefas;
- Conhecer os riscos de cada tarefa;
- Planejar as tarefas antes de executar os serviços.



Figura 2 – Exemplos de operação de aplicação de concreto asfáltico com cuidados adequados de SMS



## Considerações finais

A principal ação que o grupo de trabalho de SMS da Comissão de Asfalto do IBP tem feito neste momento, e que motivou também a preparação desta Nota Técnica, é a sensibilização da cadeia produtiva de asfalto sobre os aspectos de SMS vinculados ao setor como forma de valorizar a vida humana e melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores e de todos os profissionais envolvidos na cadeia produtiva da pavimentação. Muitas pessoas estão colaborando nesta missão, evitando-se neste momento nomeá-las por questão de espaço. Espera-se cada vez mais a participação coletiva nesta tarefa que é de todos.

# QUEIMADURAS COM LIGANTES ASFÁLTICOS FUNDIDOS

## ESFRIE IMEDIATAMENTE AS PARTES AFETADAS DO CORPO PELOS SEGUINTE MÉTODOS PREFERENCIALMENTE

1. Mergulhar completamente a área afetada em um recipiente com água e gelo.
2. Mergulhar completamente a área afetada em um recipiente com água fria.
3. Colocar a área afetada embaixo da água corrente fria.



## PEQUENAS QUEIMADURAS COM LIGANTE ASFÁLTICO

Lesões em pequenas áreas do corpo absolutamente insensibilizadas, envolvendo uma pequena quantidade de ligante asfáltico.

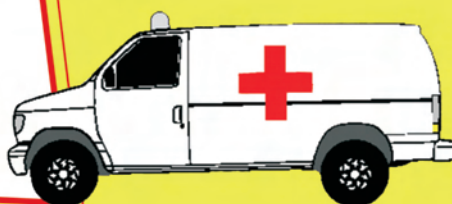
Levar a vítima ao médico após os primeiros socorros.



## QUEIMADURAS GRAVES COM LIGANTE ASFÁLTICO

Lesões na cabeça, rosto ou extremidades; Lesões envolvendo grandes quantidades de cimento asfáltico; Evidências de náuseas, palidez ou desmaio.

Levar a vítima o mais rápido possível a um hospital, clínica ou consultório médico.



## TRATAMENTO PARA ESTADO DE CHOQUE

Caso ocorra estado de choque, proceder da seguinte forma:

1. Manter a vítima acordada e quieta;
2. Manter a vítima coberta por uma manta ou algo similar, para manter a temperatura normal do corpo;
3. Manter a cabeça da vítima mais baixa que o corpo, para estimular a circulação sanguínea na cabeça e no tórax.

## NÃO TENTAR REMOVER O LIGANTE ASFÁLTICO COM PRODUTOS QUE CONTEM SOLVENTES OU AMONÍACO

A separação natural ocorrerá dentro de 48 a 72 horas.

Se for necessário remover o ligante antecipadamente, embeber uma atadura em óleo mineral farmacêutico puro e colocar sobre a área afetada por duas a três horas. Outros produtos que podem ser utilizados para a remoção do ligante, em substituição ao óleo farmacêutico puro, manteiga, vaselina e óleo vegetal.



Lembre-se: após tomar as medidas de primeiros socorros levar a vítima ao hospital mais próximo

Fonte: National Asphalt Pavement Association (Napa) Shell Bitumen Handbook

**BR** PETROBRAS

Figura 3 – Cartaz de atuação em acidentes com queimaduras com ligantes asfálticos

Este espaço destina-se à publicação de artigos encaminhados à Revista pelos profissionais que se dispõem a colaborar promovendo com os demais técnicos o debate de diversos temas atuais e relevantes. Os artigos devem ser enviados para [redacao@revistapavimentacao.org.br](mailto:redacao@revistapavimentacao.org.br) de acordo com as normas vigentes no sítio [www.revistapavimentacao.org.br](http://www.revistapavimentacao.org.br).

Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor toda a informação nele contida.

# Uma proposta para dimensionamento e avaliação de pavimentos de aeroportos utilizando-se de análise crítica de decisão (MCDA) dentro de uma visão econômica de ciclo de vida (LCCA)

**Silvio Rodrigues Filho**

Eng. Civil, M.Sc.

[esasistemas@alternex.com.br](mailto:esasistemas@alternex.com.br)

**Cassio Eduardo Lima de Paiva**

Eng. Civil, D.Sc, Professor livre docente

[celpaiva@fec.unicamp.br](mailto:celpaiva@fec.unicamp.br)

## RESUMO

A configuração do trem de pouso de aeronaves tem sido objeto de alterações ao longo dos anos em função da evolução tecnológica destas, dos materiais que compõem a estrutura de um pavimento e da necessidade constante de uma distribuição de esforços aos pavimentos de forma a otimizar os custos envolvidos na melhoria de sua performance em seu ciclo de vida.

Nessa linha, estão sendo desenvolvidos estudos em escala 1:1 no National Airport Pavement Test Facility (NAPTF), localizado no William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, EUA. Tais estudos têm demonstrado que a iteração configuração de trem de pouso / pavimento, contudo, ainda “esbarra” no problema de análise de desempenho decorrente da não linearidade das estruturas de pavimentos, dos efeitos das cargas atuantes (Peso máximo de decolagem, configuração de trem de

pouso e número de solicitações previstas), do meio ambiente, da drenagem e dos materiais utilizados.

Previsões de performance não têm se concretizado em função da entropia do banco de dados ou ainda, “se aproximam da realidade campo”, função da tecnologia usada nas equações de desempenho, desde que se consiga uma constância na realimentação dos dados ou se evite a entropia. Além disso, os processos convencionais de coleta de dados de campo, quanto às características do pavimento e do solo local são morosos e difíceis de serem compatibilizados com os horários operacionais de um aeroporto.

Esse trabalho, então, tem como objetivo apresentar uma proposta para o dimensionamento, avaliação e definição de momentos de intervenção em pavimentos de aeroportos onde as ferramentas utilizadas no meio técnico – metodologias empíricas, semi-empíricas e mecanísticas, com dados de campo obtidos por processos não destrutivos – são objeto

de análise crítica de decisão (*Spatial Multicriteria Decision Analysis – MCDA*), dentro de uma visão econômica (*Life Cycle Cost Analysis – LCCA*), na qual o tomador de decisão participa efetivamente da política adotada na implantação e acompanhamento da vida útil do empreendimento desafiador que são os pavimentos de aeroportos.

#### PALAVRAS-CHAVES

Pavimentos, aeroportos, trem de pouso, análise crítica de decisão (MCDA), Life Cycle Cost Analysis (LCCA).

#### ABSTRACT

The configuration of the landing gear of aircrafts has been object of alterations along the years in function of the technological evolution of these, of the materials that compose the structure of a pavement and of the constant need of a distribution of efforts to the form pavements to optimize the costs involved in the improvement of performance life cycle. In that line, studies are being developed in scale 1:1 in National Airport Pavement Test Facility (NAPTF), located in William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, USA. Such studies have been demonstrating that the iteration landing gear configuration / pavement, however, it still “comes up” against the problem of acting analysis due to the non linearidade of the structures of pavements, of the effects of the active loads (maximum of

#### INTRODUÇÃO

Ações quanto a procedimentos de manutenção preventiva e corretiva e o momento necessário de uma intervenção em um pavimento de aeroporto, quer seja quanto aos aspectos funcionais quer seja quanto aos aspectos estruturais, têm sido realizados baseados única e exclusivamente em necessidades imediatas ou em alguns casos raros, na experiência de observações de desempenho que podem levar a necessidade de intervenções imediatas.

Ainda que tais ações ocorram, a configuração do trem de pouso das aeronaves tem sido objeto de alterações ao longo dos anos, em função da evolução tecnológica dos materiais que compõem a estrutura dos pavimentos, da necessidade de aumentar a quantidade de passageiros e carga a serem transportados e de se dispor

takeoff Weight, landing gear configuration and number of foreseen requests), of the environment, of the drainage and of the used materials.

Performance forecasts don't have if rendered in function of the entropy of the database or still, they approach the reality field, function of the technology used in the acting equations since constancy is gotten in the feedback of the data or the entropy is avoided. Besides, the conventional processes of collection of field data, as the characteristics of the pavement and of the soil place they are slow and difficult of they be appropriate with the operational schedules of an airport. That work then, has as objective, to present a proposal for the design, evaluation and definition of moments of intervention in pavements of airports where the tools used in the technical middle – methodologies empiric, semi-empiric and mechanistic, with field data obtained by processes no destructive, they are object of critical analysis of decision (*Spatial Multicriteria Decision Analysis – MCDA*), inside of an economical vision (*Life Cycle Cost Analysis – LCCA*), where the decision maker participates indeed of the politics adopted in the implantation and attendance of the useful life of the enterprise challenging that are the pavements of airports.

#### KEY-WORLDS

Pavements, Airports, Landing gear, decision critical analysis (MCDA), Life Cycle Cost Analysis (LCCA).

uma distribuição do peso máximo de decolagem de forma a otimizar a indução de esforços à estrutura de um pavimento, visando à redução dos custos de manutenção, intervenção e construção inicial.

Estudos desenvolvidos em escala 1:1, como é o caso do National Airport Pavement Test Facility (NAPTF), localizado no William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey, EUA, têm demonstrado que a iteração configuração de trem de pouso / pavimento, contudo, ainda “esbarra” no problema de análise de desempenho decorrente da não linearidade das estruturas de pavimentos, dos efeitos das cargas atuantes (Peso máximo de decolagem, configuração de trem de pouso e número de solicitações previstas), do meio ambiente, da drenagem e dos materiais utilizados. Previsões de performance não têm se concretizado em fun-

ção da entropia do banco de dados ou ainda “se aproximam da realidade campo”, função da tecnologia usada nas equações de desempenho, desde que se consiga uma constância na realimentação dos dados ou se evite a entropia. Além disso, os processos convencionais de coleta de dados de campo, quanto às características do pavimento e do solo local, são morosos e difíceis de serem compatibilizados com os horários operacionais de um aeroporto.

Esse trabalho, então, tem como objetivo apresentar uma proposta para o dimensionamento, avaliação e definição de momentos de intervenção em pavimentos de aeroportos onde as ferramentas utilizadas no meio técnico (metodologias empíricas, semi-empíricas e mecanísticas) são objeto de análise crítica de decisão (*Spatial Multicriteria Decision Analysis – MCDA*), dentro de uma visão econômica (*Life Cycle Cost Analysis – LCCA*), na qual o tomador de decisão participa efetivamente da política adotada na implantação e acompanhamento da vida útil do empreendimento desafiador que são os pavimentos de aeroportos.

## PROPOSTA DE USO DA ANÁLISE CRÍTICA DE DECISÃO

O que se busca nesse trabalho é a utilização de análise crítica de decisão (*Spatial Multicriteria Decision Analysis – MCDA*), dentro de uma visão econômica de ciclo de vida (LCCA) de um pavimento.

O que se propõe, então, é a aplicação da MCDA, considerando a “gama” de metodologias empíricas, semi-empíricas e mecanísticas disponíveis, em uma avaliação estrutural, em conjunto como uma avaliação funcional envolvendo o PCI (Pavement Condition Index), o PSI (Pavement Smoothness Index) e o atrito.

As recomendações como resultados de aplicação da MCDA, em função das “preferências de quem decide ou pesos decorrentes”, então são definidas para cada capacidade de suporte de subleito, tráfego, custo/m<sup>2</sup> total (custo inicial + custo de intervenções para determinada taxa de interesse), deflexões limites, irregularidade e atrito admissíveis, obtendo-se, assim, o pavimento mais econômico. A figura 1 a seguir apresenta o fluxograma de decisão. Segundo Keeney e Raiffa (1976), Pitz e Mckillip (1984),

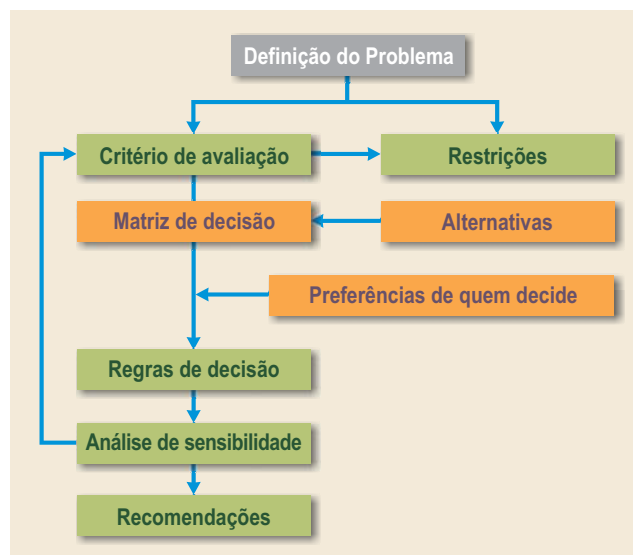


Figura 1 – Fluxograma de análise crítica de decisão Adaptado de Malczewski (1999)

e Galves (2004), problemas de aplicação da MCDA envolvem, em geral, seis componentes:

1. Uma meta ou um conjunto de metas que o tomador de decisão precisa perseguir;
2. Envolve no processo de decisão um único tomador de decisão ou um grupo de tomadores de decisão com suas preferências com relação aos critérios de avaliação adotados;
3. Um conjunto de critérios de avaliação (atributos naturais, construídos ou indiretos);
4. Conjunto de alternativas de decisão;
5. Conjunto incontrolável de variáveis (independente ou em estado natural (decisões que envolvem o meio ambiente));
6. Conjunto de resultados ou consequência associados a cada par de atributo alternativo.

Portanto, a função dessa abordagem com a MCDA é auxiliar o tomador de decisão com base em seus objetivos fundamentais de forma a criar atributos mensuráveis (passíveis de serem medidos e/ou observados, em campo e por modelos estocásticos, visando identificar freqüências ligadas a mesmas condições de contorno), operacionais (como, com que freqüência, quais os locais, os tipos de equipamentos a utilizar) e compreensíveis (ligados a forma de apresentar).

A figura 2 a seguir apresenta, então, os objetivos fundamentais propostos incluindo os atributos decorrentes.

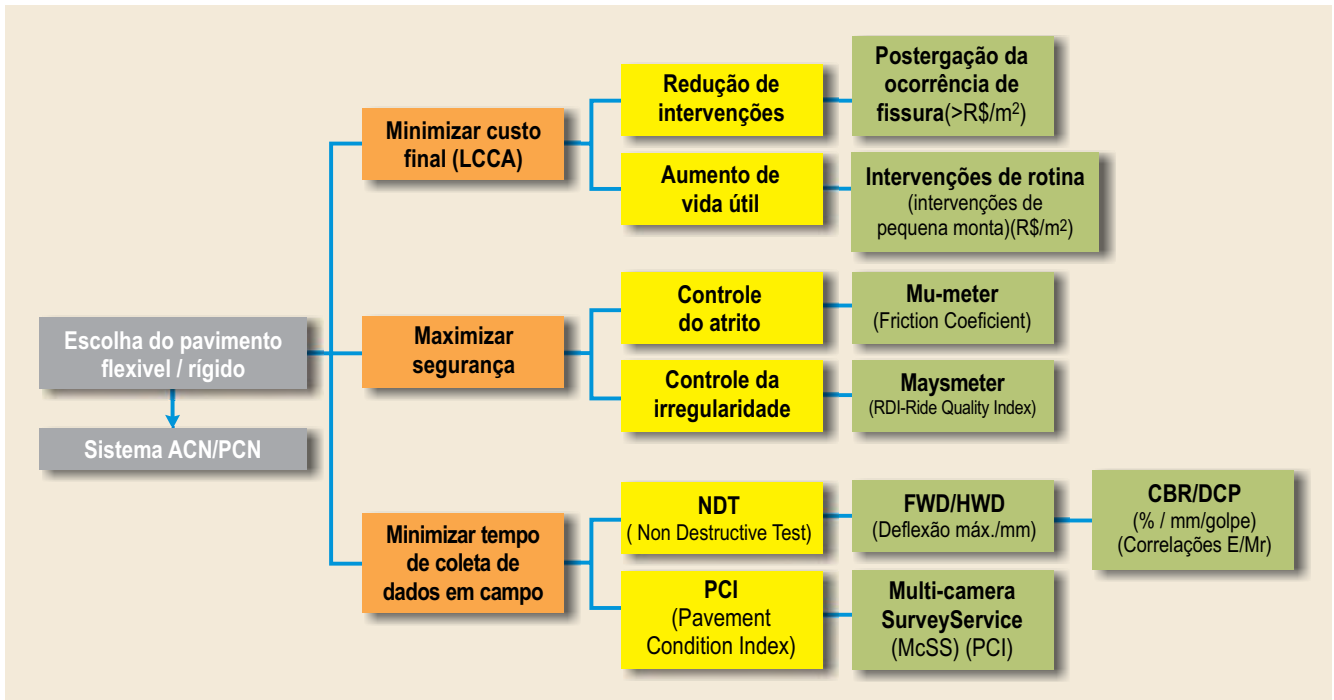


Figura 2 – Objetivos fundamentais da MCDA e atributos decorrentes

Um ferramental importante no uso da MCDA está na flexibilidade da função utilidade do atributo. Pode-se “escolher” entre um resultado menos desejável e um resultado mais desejável no qual o avaliador estabelece essa possibilidade por intermédio de uma curva da função utilidade do atributo. Portanto, em uma minimização de custo final, por exemplo, pode se ter um valor mais desejável e um menos desejável caracterizado pela estrutura de pavimento baseado em um método empírico ou semi-empírico e um método mecanístico.

## PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS DE AEROPORTOS

A proposta dessa metodologia é lançar mão de dados de campo obtidos por processos não destrutivos (NDT – Non Destructive Testing) e aplicá-los ao dimensionamento, avaliação e definição de momentos de intervenção em pavimentos de aeroportos, como elementos alimentadores da análise crítica de decisão (Spatial Multi-criteria Decision Analysis – MCDA).

A grande vantagem do uso de dados de campo obtidos por processos não destrutivos sobre os demais está, basicamente, em sua maior quantidade, acurácia, repre-

sentatividade e qualidade de informações disponíveis na definição de uma estrutura de pavimento.

A experiência tem demonstrado que a iteração configuração de trem de pouso / pavimento ainda “esbarra” no problema de análise de desempenho decorrente da não linearidade das estruturas de pavimentos, dos efeitos das cargas atuantes (Peso máximo de decolagem, configuração de trem de pouso e número de solicitações previstas), do meio ambiente, da drenagem e dos materiais utilizados.

Prova disso está no experimento do *National Airport Pavement Test Facility (NAPTF)*. Este centro de pesquisa “second to none” observou que:..... “the determination of pavement thickness requirements is a complex engineering problem. Pavement are subject to a wide variety of loading and climatic effects. the design process involves a large number of interacting variables, which are often difficult to quantify.” e que em linhas gerais:.... “Airport pavement design today is very much the result of extrapolating empirical methods of highway engineering origins, some 50 years old”.

Recomenda ainda o NAPTF em seus estudos que, por mais que se disponha de metodologias e/ou critérios se aproximando da realidade de campo,... “os materiais

aplicados, a construção e manutenção, devem atender especificações decorrentes do método proposto”, ensejando ao tomador de decisão considerar o problema de análise de ciclo de vida útil (LCCA – Life Cycle Cost Analysis) de cada estrutura de pavimento como singular.

Portanto, reforça o entendimento do meio técnico que, para cada estrutura de pavimento, há uma resposta que irá permitir o estabelecimento de consistência e coerência entre os dados de campo e as metodologias empregadas no dimensionamento, avaliação e definição de momentos de intervenção, de forma a se estabelecer um padrão de comportamento capaz de ser caracterizado por uma avaliação funcional periódica e uma avaliação estrutural – quando indicado pela avaliação funcional.

Por outro lado, as vantagens do uso de processos não destrutivos (NDT) sobre os processos destrutivos de coleta de dados em campo são inúmeras, principalmente em se tratando de aeroportos.

O mais importante no uso de processos não destrutivos na coleta de dados de campo está no fato de este proporcionar ao engenheiro e ao tomador de decisão uma referência confiável, levando em consideração as seguintes vantagens sobre o processo destrutivo, tradicional de coleta de dados em campo:

1. As propriedades do pavimento e do subleito são determinadas sob condições de carregamento atual e em serviço e/ou operação;
2. Testes são conduzidos nas mesmas condições dinâmicas sob as quais o pavimento estará sujeito durante toda a sua vida útil;
3. A quantidade de dados que têm influência na confiabilidade das informações sobre as características locais de uma estrutura de pavimento ou de um subleito e a rapidez na coleta de tais dados permitem uma análise mais acurada se considerado o processo estatístico envolvido;
4. Se considerarmos que os testes não destrutivos são rápidos (200-300 testes/dia são comuns), seu custo unitário é extremamente baixo. Por exemplo, 50 testes não destrutivos equivalem a um teste de laboratório para definição do CBR do subleito. Tal correlação pode ser válida tanto para o DCP quanto para o FWD.

5. Testes de campo são conduzidos com a mínima interferência ao tráfego de aeronaves. Normalmente um teste dinâmico pontual leva de um a dois minutos.

Uma importante ferramenta que vem sendo usada em avaliações funcionais é a filmagem de superfície em pavimentos. Trata-se da *Multi-camera Survey Service-McSS*, que permite realizar a filmagem de superfície por meio de veículos automotores com velocidade de até 80 km/h.

Como *diagnóstico inicial*, o uso de filmagem de superfície é mais do que recomendável, em face de dificuldade em se observar com o devido cuidado a superfície de pavimento em aeroportos em função do tempo necessário e o conflito de interesse operacional das companhias aéreas.

Portanto, desenvolver uma avaliação funcional dentro dos procedimentos tradicionais, utilizando-se, por exemplo, o consagrado e conhecido *método PCI*, torna-se, senão impraticável, “penoso”.

O método PCI, como elemento de decisão inicial, *proposto nesse trabalho*, com o uso de filmagem da superfície do pavimento permite um menor tempo de interferência no tráfego, maior tempo de visualização de defeitos e constante consulta, inclusive para futuras comparações, uma vez que tais informações são registradas em meio magnético, podendo diagnosticar-se rapidamente:

1. Condições operacionais do pavimento;
2. A necessidade ou não de uma avaliação estrutural; e
3. A priorização de intervenções e/ou construções imediatas.

Esse *diagnóstico inicial*, então, permite estabelecer a priorização dos aeroportos em termos de rede de forma a estabelecer a política de dimensionamento e avaliação a fim de evitar/otimizar os esforços financeiros em pavimentos onde se verifica a não necessidade de avaliações estruturais em curto prazo.

Diversas são as ferramentas que serão utilizadas na *proposta dessa metodologia com dados de campo obtidos por processos não destrutivos* e aplicados a dimensionamento, avaliação e definição de momentos de intervenção em pavimentos de aeroportos, como alimentadores da análise crítica de decisão (*Spatial Multicriteria Decision Analysis – MCDA*).

Segundo Berti & Paiva (2006), o DCP, como ferramenta dessa proposta, tem se revelado como um equipa-

mento versátil cujo emprego pode ser tanto *in situ* quanto em laboratório. Com a aplicação do DCP, é possível avaliar camadas da estrutura do pavimento e subleito em termos de capacidade de suporte e grau de compactação.

Contudo, as correlações do DCP com CBR e Módulo de elasticidade estático e dinâmico variam de acordo com o material ensaiado, as condições do ensaio e com o tipo de equipamento DCP e devem ser objeto de calibração, caso a caso.

Uma outra *ferramenta dessa proposta*, extremamente útil, é o *Heavy Weight Deflectometer* – HWD. Este tem sido utilizado pelo NAPTF com o propósito de estudar os efeitos do tráfego na estrutura do pavimento. As bacias de deflexão são caracterizadas pelas medidas de deflexão no centro da placa (Do) a distâncias de 30cm, 60cm, 90cm, 120cm e 150cm (D1, D2, D3, D4 e D5).

As deflexões na superfície dos pavimentos são mensuradas através de três diferentes níveis de carga (53.4, 106.8 e 160.2 kN).

No Brasil se tem utilizado níveis de carga de 40kN e 80kN, placa de 30cm, com medidas de deflexão no centro da placa (Do) a distâncias de 20cm, 30cm, 45cm, 65cm, 90cm e 120cm (D1, D2, D3, D4, D5 e D6).

Uma das preocupações do tomador de decisão está na segurança das operações na área de movimento de aeronaves. As maiores preocupações estão relacionadas a *atrito* e *irregularidade*.

O *atrito* diz respeito à resistência à derrapagem e conseqüentemente a problemas de macrotextura e microtextura. Relacionam-se, normalmente, a pista molhada ou ao fenômeno *aquaplaning* ou hidroplanagem. Trata-se, portanto, da perda de contato do pneu com o pavimento na superfície de rolamento de uma pista de pouso e decolagem decorrente da existência de uma lâmina d'água quando a aeronave alcança uma velocidade crítica que resulta em perda de aderência.

Segundo Toan (2004), os dados de *atrito* somente são relevantes quando obtidos por meio da média das distâncias de 100 – 150m, as quais são comensuradas com velocidades de pouso de aeronaves com 250km/h.

Segundo Cenek (2003), o lapso de tempo entre a última chuva e um longo período seco tem influência no resultado dos valores de *atrito* devido aos efeitos de

acúmulo de sujeiras na superfície do pavimento. Segundo Bennis (2003), após um período seco, o *atrito* pode por um curto período (0,5 a 1,0 hora) vir a reduzir drasticamente, ocorrendo uma chuva pesada.

Talvez nessas observações de Cenek (2003) e de Bennis (2003) estejam o conflito de conceitos entre *atrito* e os *groovings*.

Em superfícies de rolamento, *groovings* transversais com declividade mínima de 1% têm sido usados para reduzir a ocorrência do fenômeno de hidroplanagem ou *aquaplaning*.

“Contudo, não se pode confundir a finalidade dos *groovings* com a finalidade do *atrito*, haja vista que os *groovings* são elementos auxiliares de retirada de lâmina d'água da pista e não estão relacionados ao conceito de *atrito* que envolve a derrapagem e conseqüentemente a problemas de macrotextura e microtextura.

Modelos tridimensionais têm sido usados para simular o fenômeno da hidroplanagem com ou sem *groovings* transversais.

As considerações teóricas envolvem modelos de simulações que fazem uso da teoria de Dinâmica dos Fluidos. Pode se utilizar da equação de continuidade de “Navier-Stokes” e do modelo de turbulência padrão  $\kappa$ - $\epsilon$  para modelagem da hidroplanagem.

O modelo empírico desenvolvido pela NASA aplicado a simulações em superfícies de rolamento suaves e planas tem boa correlação com situações reais de campo. O modelo é aplicado para analisar superfícies de pavimentos com diferentes tipos de *grooving* transversal, comparando-as com resultados apresentados na literatura técnica. A análise também permite ressaltar o desempenho do *grooving* transversal, tendo como função básica a de retardar a ocorrência da hidroplanagem e melhorar a capacidade de frenagem durante a hidroplanagem.

Portanto, simulações usando o modelo empírico da NASA, antes de se aplicar o *grooving* são recomendadas.

O *grooving*, entretanto, torna-se mais estável quando aplicado em misturas com asfalto modificado em camada, no qual os agregados tenham dimensões máximas de 20mm, segundo Hachiyay E Mizucami. J. (2006) em seu trabalho intitulado “*Improving the functional quality*

of airport asphalt pavement”, e, no mínimo, dois meses após a aplicação da massa asfáltica.

Portanto, como ferramenta dessa proposta para se avaliar o atrito:

– MACROTEXTURA: Método da mancha de areia, considerando a macrotextura adequada entre 0,5mm - 1,0mm. Valores menores que 0,4mm são considerados fechados e inadequados, portanto prejudiciais à capacidade de frenagem da aeronave.

– MICROTEXTURA:  $\mu$  – meter, considerando o coeficiente de atrito em função da pista estar seca ou molhada.

Tais elementos estarão relacionados à intensidade de precipitação pluviométrica local de forma a permitir definir a intensidade de precipitação pluviométrica em função do atrito que irá permitir ou não a continuidade das operações de pouso e decolagem em períodos de chuva.

A irregularidade, por sua vez, está ligada à resposta dinâmica desigual do pavimento em um complexo processo de inter-relacionamento em operações de decolagem e, portanto, trata-se de problemas contrários a atrito que estão relacionadas ao pouso de aeronaves.

Aeronaves podem ter distâncias superiores a 23m entre as rodas do nariz e as rodas do trem de pouso principal e exceder a 30m, como é o caso dos Boeing 777-300.

Velocidades de decolagem superiores a 270km/h são comuns. Como consequência, aeronaves podem responder com comprimentos de onda elevados em decorrência de elevações e depressões superiores a 100m, haja vista estas não serem facilmente visíveis. A situação se complica quando múltiplos eventos de elevações e irregularidades sucessivas são introduzidos. Múltiplos eventos de irregularidade não são incomuns principalmente nas interseções entre pista de pouso e pista de táxi.

O *International Roughness Index – IRI* tem sido útil na ava-

liação de irregularidade de pistas de aeroportos em se tratando de situações nos quais ocorre resposta de aeronaves que implicam pequenos comprimentos de onda (níveis de freqüência altos). Contudo o *IRI* não é capaz de avaliar pavimentos de aeroportos onde ocorre resposta de aeronaves com grandes comprimentos de ondas (baixos níveis de freqüência).

O *IRI* talvez possa ser aplicado em pistas de táxi onde a velocidade da aeronave é relativamente baixa. Contudo, em pista de táxi também pode ocorrer resposta de aeronave que implique grandes comprimentos de onda (níveis de freqüência baixos), devido a longas distâncias entre as rodas do nariz e as rodas do trem de pouso principal.

Portanto, como ferramenta dessa proposta para se avaliar a irregularidade será utilizado o *Pavement Smoothness Index – PSI* que congrega situações nas quais ocorre resposta de aeronaves que implicam pequenos comprimentos de onda (níveis de freqüência altos) e ocorre resposta de aeronaves com grandes comprimentos de ondas (baixos níveis de freqüência).

A figura 3, a seguir, apresenta o fluxograma de dimensionamento, avaliação e momentos de intervenção

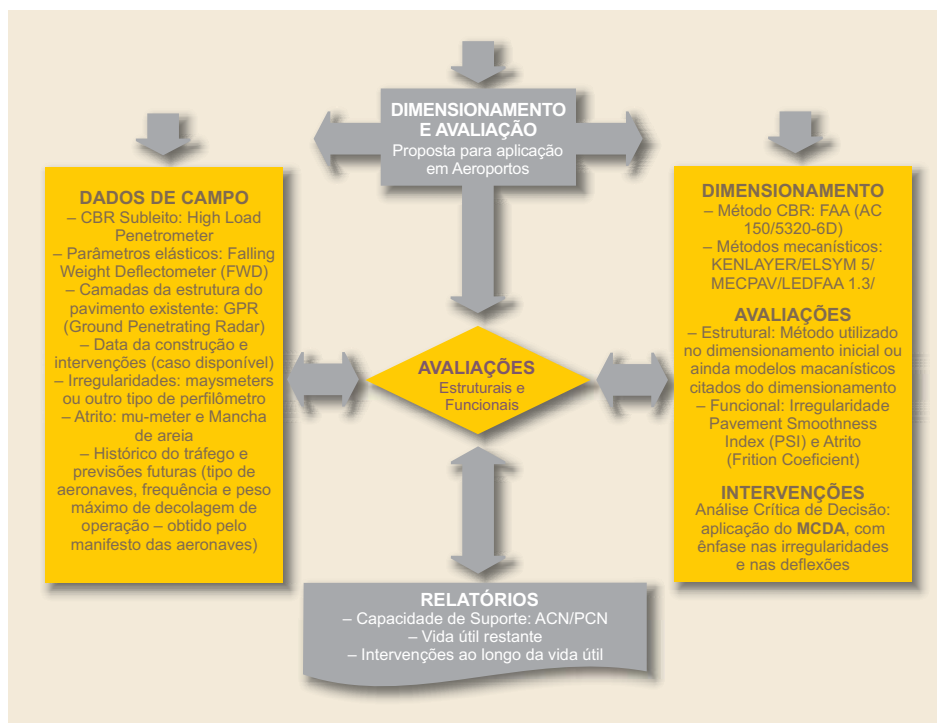


Figura 3 – Fluxograma de dimensionamento, avaliação e momentos de intervenção em pavimentos de aeroportos – proposta inicial

em pavimentos de aeroportos proposto, considerando o diagnóstico inicial, culminando com relatórios de capacidade de suporte (sistema Aircraft Classification Number – ACN / Pavemnt Classification Number – PCN), vida útil restante e intervenções ao longo da vida útil do pavimento.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em aeroportos, as intervenções na área de movimento – pista e pátios –, para realização de avaliações, levantamentos, cadastros, etc., têm se tornado cada vez mais difícil de liberação, em face do aumento da demanda do transporte aéreo. Portanto, o processo de dimen-

sionamento e avaliação de pavimentos com o uso de métodos não destrutivos tem sido de grande valia.

À medida que o avanço da tecnologia e a utilização dos modelos matemáticos e critérios necessários se tornem mais freqüentes/acurados e venham a ser objeto de confirmação, teoria e prática, aliado ao domínio dos técnicos envolvidos na área, o critério proposto poderá “facilitar a vida” do administrador do aeroporto.

Contudo, sua aplicação deve ser criteriosa e se ater aos limites e recomendações dos fabricantes dos equipamentos envolvidos de forma a se evitar o uso de determinadas tecnologia e equipamentos na contramão da boa norma de engenharia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Tiede, M.A & Cammarota S.Jr. – “Brazil Runway Evaluation, Boeing Commercial Airplane Company (A Division of the Boeing Company) D6-441304-1, MAI, 1982;
- Malczewski J. – Design PhD Thesis, “ MCDA – Problem Definition. Evaluation Criteria. Constraints. Alternatives. Decision Matrix ...”, 1999;
- Airport Pavement Course – Texas University, Austin, USA, FEV 2007.
- Berti.C & Cassio, E.L.P. “Correlações entre índices de penetração DCP e CBR disponíveis na literatura” – V Jornadas Luso-brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, 5-7 JULHO/2006.
- Amini,F. – “Potential applications of dynamic and static cone penetrometers in mdot pavement design and construction” report No. FHWA/MS-DOT-RD-03-162, Jackson State University, September 2003.
- Nazzal M.D. – “Field evaluation of in-situ test technology for qc/qa during construction of pavement layers and embankments”, Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, dissertação de mestrado, december 2003
- Toan, DV – “Runway Friction Performance in NZ”, September 2004.
- Cenek P 1<sup>st</sup>. Annual Australian Runway and Roads Friction testing Workshop, August 2003.
- Bennis, T. A. *et al*, “PIARC State-of-the-Art on Friction and IFI”, 1<sup>st</sup>. Annual Australian Runway and Roads Friction Testing Workshop, August 2003..D, *et al*, “Lessons Learned from Conducting Friction Surveys of runways and Roads”.
- Gerardi, M. “Airfield Pavement Roughness:To identify and Assess, University of Texas at Austin, Airfield Pavement Short Course, APR Consultants, 2007
- FAA- Guidelines for Constructing, assessing and maintaining Smooth airport pavement, January 14, 2002.

# Comportamento mecânico de algumas misturas asfálticas com dois tipos de asfalto e diferentes teores de ligante, com ênfase na fadiga

**Marcos Antonio Fritzen**

COPPE/UFRJ

**Laura Maria Goretti da Motta**

COPPE/UFRJ

**Sandra Oda**

COPPE/UFRJ

**Valéria Faria**

Concessionária Nova Dutra

**Mario Escudeiro**

Engellog

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar a avaliação em laboratório do desempenho de concretos asfálticos dosados pelo método SUPERPAVE e pelo método Marshall comparando resultados dos ensaios de Fadiga, Módulo de Resiliência, Resistência à Tração e Creep, de corpos-de-prova preparadas com diferentes ligantes e teores de asfalto que retratem a variação encontrada na usinagem e na aplicação nas pistas. Estes ensaios foram realizados em corpos-de-prova preparados por compactação Marshall e gi-

ratória. Este artigo apresenta parte de uma pesquisa ampla que visa verificar a influência da variação dos teores de ligante, dentro dos limites de aceitação de variação na usinagem. no desempenho das misturas com relação à resistência à fadiga e ao afundamento de trilha de roda, comparando dois tipos de moldagem com diferentes energias para uma gama de combinações de materiais e processos.

## PALAVRAS-CHAVE

Ensaio dinâmico; dosagem de misturas; fadiga.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, é visível o aumento acentuado dos volumes de caminhões e dos pesos dos mesmos nas rodovias. Também tem sido observado em campo, nos trechos de rodovias concedidas, o surgimento de afundamentos de trilhas de roda provenientes exclusivamente do revestimento, precocemente, mesmo em locais nos quais as mis-

turas asfálticas foram usinadas no intervalo de teor de ligante aceitável pelas normas vigentes.

A partir dessas observações, estruturou-se uma grande pesquisa cujo objetivo principal é avaliar o desempenho de misturas asfálticas na formação de trilhas de roda em função de diversos tipos de ligantes, variando o método de dosagem e o teor de asfalto em relação ao teor ótimo em cada mistura. A pesquisa completa conta com a

participação de três instituições: Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP; Laboratório de Geotecnia da COPPE-UFRJ – Setor de pavimentação e o CPR – Centro de Pesquisa Rodoviária da Nova Dutra.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar parte dos resultados já obtidos que consiste de diferentes misturas asfálticas dosadas por dois métodos (Marshall e SUPERPAVE), variando a faixa granulométrica e dois tipos de ligantes asfálticos, com variação de teor, utilizando recursos de equipamentos e pessoal combinados do Laboratório de Geotecnia – setor de Pavimentação e Mecânica dos Pavimentos da COPPE e do CPR – Centro de Pesquisa Rodoviária da Nova Dutra.

As variáveis e os parâmetros escolhidos no escopo desta pesquisa que são analisados no presente artigo e que foram combinados entre si são os listados a seguir:

- Faixas Granulométricas: CBUQ 12,5mm DNIT e CBUQ 9,5mm SUPERPAVE;
- Ligantes Asfálticos: CAP-50-70 e CAP-30-45;
- Energia de Compactação: SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes;
- Teores de Ligante para misturas preparadas no compactador Marshall (90 golpes): Teor de Projeto (TP); TP - 0,25%; TP + 0,25%; TP - 0,5%; TP + 0,5%.
- Teor de ligantes para misturas preparadas no compactador giratório: TP

Paralelamente estão sendo executadas as seguintes atividades no escopo da pesquisa:

- No CPR: Ensaios de fadiga com ruptura sob velocidade de deformação constante em três velocidades (0,2; 0,5 e 1,3 mm/s) para serem comparados aos ensaios de fadiga realizados na COPPE com cargas repetidas em quatro níveis de tensão;
- Ensaio de deformação permanente estática em Creep na COPPE que serão comparados com os ensaios de afundamento no equipamento LCPC da USP, dos quais uma parte está divulgada em Bernucci *et al* (2008).

## DOSAGEM SUPERPAVE

A dosagem de misturas tipo concreto asfáltico para pavimentação começou há mais de 60 anos como um

processo rudimentar. Os dois métodos mais freqüentes nos EUA até 1990 foram desenvolvidos várias décadas antes e eram os métodos Hveem e Marshall (Figura 1). A partir da década de 1990, foi proposto um novo método de dosagem chamado SUPERPAVE (Superior Performance Asphalt Pavements), que vem substituindo gradualmente os dois métodos anteriores. O SUPERPAVE é uma metodologia distinta dos dois outros citados especialmente em relação ao tipo de compactação e a alguns critérios de escolha do teor de projeto. A compactação é feita por amassamento, e o teor de projeto é estimado por intermédio da fixação do volume de vazios em 4% e estudando opções de arranjos da granulometria dos agregados disponíveis.

O método SUPERPAVE de dosagem foi desenvolvido nos EUA a partir de um Programa de Pesquisa Governamental denominado Programa Estratégico de Pesquisa em Rodovias (*Strategic Highway Research Program – SHRP*), criado para modificar os ensaios de caracterização dos ligantes e de dosagem de misturas asfálticas. Esse método impôs o uso de outro tipo de preparação de corpo-de-prova de dosagem das misturas asfálticas, que é utilizando o compactador giratório (Figura 2). Permite a estimativa do desempenho de mistura asfáltica densa a quente, permitindo controlar a contribuição da mistura para a deformação permanente nas trilhas de roda e para as trincas por fadiga, entre outros aspectos. As especificações dos ligantes e as características das misturas são baseadas, principalmente, em propriedades fundamentais de engenharia, que se relacionam diretamente com o desempenho do pavimento submetido ao tráfego e ao clima.

A forma de escolha da granulometria da mistura de agregados, de acordo com o método SUPERPAVE, incluiu os conceitos de pontos de controle e zona de restrição. Em geral admite-se que a melhor graduação para os agregados nas misturas asfálticas é aquela que fornece a graduação mais densa. A graduação mais densa acarreta maior estabilidade pelo maior contato entre as partículas e reduzidos vazios no agregado mineral. Porém, é necessária a existência de vazios que permitam a incorporação de um volume suficiente de ligante para envolver os agregados de forma conveniente, com espessura

de película adequada. Isto garante durabilidade e ainda permite algum volume de vazios na mistura após a compactação inicial e a sobrecompactação produzida pelo tráfego, evitando a exsudação.

O projeto da mistura é realizado utilizando o compactador giratório, que é um equipamento prático com boa repetibilidade e reprodutibilidade. Um exemplo de compactador giratório padronizado pelo SUPERPAVE está ilustrado na Figura 2 e apresenta as seguintes características:

- Ângulo de rotação de  $1,25 \pm 0,02^\circ$ ;
- Taxa de 30 rotações por minuto;
- Tensão de compressão vertical durante a rotação de 600kPa;
- Capacidade de produzir corpos-de-prova com diâmetros de 150 e 100mm.

Para a realização da compactação de um corpo-de-prova é necessário definir os esforços que serão utilizados para a determinação do volume de vazios da mistura, que são:

- $N_{inicial}$ , número de giros de compactação inicial;
- $N_{projeto}$ , número de giros de compactação de proje-

to (tal que o volume de vazios ( $V_v$ ) deve ser igual a 4% neste ponto de compactação);

- $N_{máximo}$ , número de giros de compactação máximo (representa a condição de compactação da mistura ao fim da vida de serviço da mesma, que deve ser sempre  $\geq 2\%$  de  $V_v$ );

Os esforços de compactação  $N_{inicial}$  e  $N_{máximo}$  são usados para avaliar a facilidade de compactação da mistura, seja sua trabalhabilidade. O  $N_{projeto}$  é usado para selecionar o teor de ligante de projeto. Estes valores variam em função do tráfego ( $N$ ) e conforme indicado na Tabela 1 (AASHTO, 2001).

Para a presente pesquisa, foi definido o  $N_{projeto}$  de 125 giros, por ser a Rodovia Presidente Dutra uma via de alto volume de tráfego. Também segundo o método SUPERPAVE, há três níveis de projeto dependendo do volume de tráfego e da importância da rodovia, conforme indicado na Tabela 2. Para volume de tráfego baixo, o projeto pode estar completo somente com o projeto volumétrico – Nível 1, mas para tráfego médio e alto é preciso realizar ensaios de previsão desempenho, a uma



Figura 1 – Exemplos de Compactadores Marshall

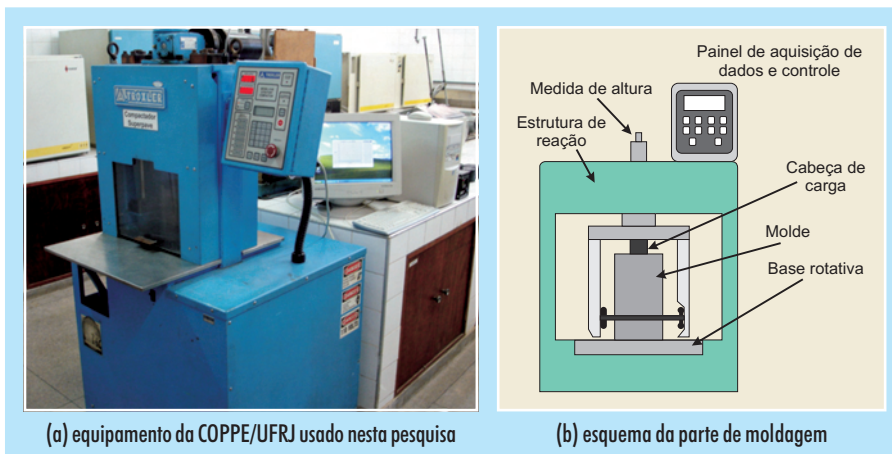


Figura 2 – Exemplo de Compactador Giratório SUPERPAVE

Tabela 1 – Número de giros especificados na norma de dosagem SUPERPAVE (AASHTO, 2001)

Parâmetros de compactação			Tráfego
$N_{inicial}$	$N_{projeto}$	$N_{máximo}$	
	50	75	Muito leve (local)
7	75	115	Médio (rodovias coletoras)
8	100	160	Médio a alto (vias principais, rodovias rurais)
9	125	205	Alto volume de tráfego (interestaduais, muito pesado)

temperatura ou a mais temperaturas. Esses ensaios de desempenho são os que permitem otimizar o projeto para evitar fadiga, deformação permanente e trincas térmicas.

Na tentativa de reproduzir situação semelhante de aumento de energia de compactação também no método tradicional de dosagem pelo compactador Marshall, foi decidido utilizar 90 golpes por face do corpo-de-prova

**Tabela 2 – Organização hierárquica do método SUPERPAVE (AASHTO, 2001)**

Nível	1	2	3
Critério	Volumétrico	Volumétrico + Ensaios de previsão de desempenho a uma temperatura	Volumétrico + Ensaios de previsão de desempenho a três temperaturas
N (AASHTO)	< 10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>

como forma de simular a condição atual de pressão de inflação dos pneus e a agressividade das cargas elevadas, muitas vezes em excesso em relação à Lei da Balança.

## ENSAIOS REALIZADOS

### Fadiga

O ensaio de laboratório de estimativa da vida de fadiga, tradicionalmente realizado no Brasil para definição do número de repetições de carga admissível de uma mistura, é feito por compressão diametral à tensão controlada (TC), utilizando equipamento pneumático. Os en-

ços do módulo de resiliência ou ainda corpos-de-prova trapezoidais como é comum na França ou barras prismáticas (vigas), mostrados na Figura 3a, b e c, respectivamente.

Embora ainda não normalizado, o ensaio de fadiga tem sido largamente realizado no país, geralmente à compressão diametral sob tensão e temperatura controladas. Utiliza-se uma frequência de 60 aplicações por minuto com 0,10 segundo de duração do carregamento repetido e 0,9 segundo de repouso. Para manter a temperatura controlada, utiliza-se uma câmara com sistemas de aquecimento e refrigeração ligados a um termostato.

Para cada mistura ensaiada determinam-se as relações entre o número de repetições à ruptura e o nível de tensões (no caso de ensaio a tensão controlada) ou deformações conforme as seguintes expressões:

$$N = k_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{n_1} \quad (1)$$

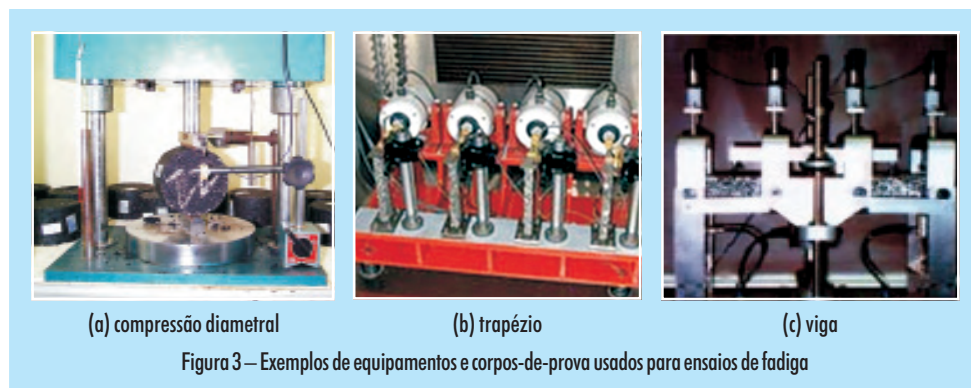
$$N = k_2 \left( \frac{I}{\Delta\sigma} \right)^{n_2} \quad (2)$$

Onde:

- N = número de repetições do carregamento necessário à ruptura completa da amostra (vida de fadiga);
- $\varepsilon_t$  = tensão de tração repetida solicitante;
- $\Delta\sigma$  = diferença algébrica entre as tensões horizontal (de tração) e vertical (de compressão) no centro da amostra;

- $k_i, n_i$  = constantes obtidas na regressão linear dos pares N e  $\varepsilon$  (ou Ds) determinados em ensaios, em escalas logarítmicas.

Existem outras representações de modelagem dos ensaios de fadiga, sendo a de número (2) mais usada na



**Figura 3 – Exemplos de equipamentos e corpos-de-prova usados para ensaios de fadiga**

saos de fadiga à deformação controlada correspondem a revestimentos mais delgados, uma vez que nestes há maior contribuição das subcamadas na absorção das tensões solicitantes. Para a determinação da vida de fadiga pode ser utilizado o mesmo equipamento de determina-

COPPE, considerada coerente com o tipo de ensaio realizado: compressão diametral e tensão controlada. Essa expressão pode ser usada em dimensionamento mecânico, adotando-se um fator – campo laboratório conveniente, tendo este parâmetro sido estudado por Pinto (1991).

A curva de fadiga é o parâmetro principal de um dimensionamento mecânico permitindo prever quantos ciclos de carga determinada estrutura poderá suportar, que será comparado com o tráfego real previsto para o segmento. De forma geral, a curva de fadiga de cada material pode ser comparada com a de outras misturas para indicar qual das misturas terá melhor comportamento em um pavimento, comparando-se estruturas iguais e analisando-se as tensões geradas com a substituição do material do revestimento em cada caso, representado pelo seu módulo de resiliência. Caso os módulos de resiliência das misturas ensaiadas a serem comparadas sejam semelhantes, é possível então uma análise imediata somente pelas curvas ou expressões numéricas da modelagem, independente das estruturas. Outro aspecto imediato de comparação entre misturas é a análise dos expoentes das expressões acima, visto que quanto maior for este expoente, mais sensível será a mistura às mudanças de estruturas e de espessuras.

### **Módulo de resiliência**

O ensaio de Módulo de Resiliência (MR) em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetidamente no plano diametral vertical de um corpo-de-prova cilíndrico regular. Essa carga gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga. Mede-se o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada, numa dada temperatura ( $T$ ). Os corpos-de-prova cilíndricos são de aproximadamente 100mm de diâmetro e 60mm de altura no caso de corpos-de-prova moldados no compactador Marshall ou SUPERPAVE, ou de 100mm de diâmetro e altura entre 35mm e 65mm, extraídos de pista, podendo ainda ser de amostras de dimensões maiores (150mm de diâmetro e altura de 110mm), no caso de corpos-de-prova SUPERPAVE. O procedimento de ensaio utilizado para a realização dos ensaios foi o usual do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da COPPE/UFRJ.

### **Resistência à tração**

O ensaio brasileiro de compressão diametral para determinação indireta da resistência à tração – RT foi desenvolvido pelo Professor Lobo Carneiro no Rio de Janeiro para concreto de cimento Portland (Carneiro, 1943). A configuração desse ensaio considera a aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, que geram ao longo do diâmetro solicitado tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro. Este ensaio se tornou muito popular no mundo todo não somente pela facilidade e rapidez de execução, como também pelo fato de utilizar o mesmo corpo-de-prova cilíndrico e o mesmo equipamento usado para a obtenção da resistência à compressão do concreto de cimento Portland. O ensaio também tem sido adotado desde 1972 para a caracterização de misturas asfálticas, porém com a aplicação das forças por meio de frisos de carga no corpo-de-prova cilíndrico Marshall convencional, visto que estes apresentam superfície lateral irregular e são bem mais deformáveis.

No ensaio de resistência à compressão diametral em misturas asfálticas, a aplicação das forças se dá por meio de frisos metálicos de 12,7mm de largura com curvatura adequada ao corpo-de-prova cilíndrico. Os métodos do DNER M 138 (1994) e da ABNT NBR 15087 não consideram a influência destes frisos no cálculo da RT. De acordo com a expressão usada por essas entidades, assume-se comportamento unicamente elástico durante o ensaio e a ruptura do corpo-de-prova ao longo do diâmetro solicitado sendo devida unicamente às tensões de tração uniformes geradas.

### **Creep**

Os pavimentos asfálticos podem apresentar dois mecanismos principais de ruptura:

–o trincamento por fadiga que é definido como o processo de deterioração estrutural que sofre um material quando submetido a um estado de tensões e deformações repetidas dos carregamentos, ou seja, é a perda de resistência que o material sofre, quando solicitado repetidamente por uma carga; e

–o afundamento que é resultante do acúmulo das deformações plásticas ou permanentes.

No caso das deformações permanentes, o afundamento de trilha de roda pode ser resultante de dois somatórios:

um é o das contribuições de todas as camadas do pavimento e também do subleito e o segundo resulta somente da contribuição do revestimento. Durante muitos anos a deformação permanente não era o principal defeito das rodovias federais brasileiras, segundo Queiroz (1981). Hoje o hábito de cargas se modificou muito, sendo o volume e o peso das cargas bem maiores do que em décadas passadas e isso vem favorecendo ao aumento da profundidade dos afundamentos de trilha de rodas, em especial na parte referente à contribuição do revestimento também por deficiências do método tradicional de dosagem.

Desenvolveu-se um ensaio de compressão axial, também chamado de *Creep*, para tentar quantificar durante a dosagem de uma mistura seu potencial para desenvolver deformações permanentes. Este ensaio pode ser realizado de forma estática ou dinâmica. Vários centros de pesquisa brasileiros e estrangeiros estão realizando os ensaios de compressão axial em corpos-de-prova Marshall ou SUPERPAVE, entretanto, por não existir uma norma para este ensaio, o método utilizado é bastante diversificado entre laboratórios, impossibilitando até o momento a comparação de resultados de forma generalizada. O equipamento utilizado para a realização desses ensaios foi o mesmo dos ensaios de Módulo de Resiliência e Fadiga, porém com o corpo-de-prova colocado axialmente.

Os ensaios de compressão axial ou *Creep* são simples de serem realizados, porém o grande problema está na preparação das superfícies do CP. Para diminuir esta influência, criou-se uma alternativa técnica para obtenção das deformações nas quais as irregularidades das faces não produzem efeitos nas determinações, ficando a preocupação somente na distribuição do carregamento (Vianna *et al.* 2003). Atualmente existem duas metodologias para obtenção das deformações: uma na qual os LVDTs são colocados no topo do corpo-de-prova e a outra desenvolvida pela COPPE, que corresponde a fixar os LVDTs por intermédio de braçadeiras no centro dos corpos-de-prova.

Os ensaios de compressão axial nesta pesquisa foram realizados a 40°C por meio de uma carga estática, com uma tensão aplicada de 0,1 MPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>) durante uma hora, na seqüência o corpo-de-prova permanece durante 15 minutos em fase de descarregamento com objetivo de verificar o retorno da deformação viscosa da mistu-

ra e conseqüentemente poder avaliar somente a parcela permanente dos deslocamentos.

## RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação do sistema SUPERPAVE depende do volume de tráfego ou de outra forma de classificação funcional da rodovia e tem três níveis de projeto de misturas como já comentado. Neste projeto foi utilizado o procedimento de ensaios e a análise dos dados relativos ao projeto de mistura Nível 1 (projeto volumétrico) acrescidos de alguns testes de predição de desempenho e mecânicos exigidos nos níveis 2 citados no item anterior: MR, Fadiga, *Creep* e RT.

A dosagem foi feita por moldagem de corpos-de-prova de 10cm de diâmetro usando o compactador giratório SUPERPAVE, e a seleção do teor de ligante de projeto (“teor ótimo”) foi baseada nas seguintes características: % de vazios (Va), vazios do agregado mineral (VAM), % de vazios preenchido com asfalto (VFA) e razão filer / asfalto. Deve-se ressaltar que todos os corpos-de-prova foram moldados com aquecimento prévio da mistura asfáltica solta por duas horas em estufa, na temperatura de compactação para simular o envelhecimento provocado na usinagem e transporte.

Os agregados utilizados nesta pesquisa, provenientes da Pedreira Santa Isabel, município de Santa Isabel, SP, foram fornecidos pela Concessionária Nova Dutra. Foram utilizados agregados de tamanhos de brita 1, pedrisco, pó de pedra, areia britada e cal CH I em todas as composições.

Quanto aos ligantes utilizados na pesquisa, todas as amostras foram enviadas ao laboratório da COPPE pelo CPR – Nova Dutra, bem como as fichas de caracterização dos mesmos e as curvas de viscosidade – temperatura que permitiram determinar as temperaturas de mistura e de compactação, sendo dois ligantes convencionais, um do tipo CAP 30-45 e outro CAP 50-70 (Tabela 3).

Na Tabela 4 está apresentado um resumo com teores de projeto para as misturas dosadas pelo compactador giratório e os teores de projeto para o Marshall com 90 golpes, próximos na maioria das vezes, mas quando diferentes, como há variação de moldagem no teor de Marshall, acaba tendo valor próximo. Portanto, as diferenças dos resultados mecânicos ficam mais por conta do esqueleto mineral que se forma em cada tipo de compactação (amassamento – giratório ou impacto – Marshall).

Tabela 3 – Temperaturas de mistura e compactação dos ligantes e dos agregados

Ligante	Temperatura de mistura (°C)	Temperatura de compactação (°C)	Temperatura de agregados (°C)
CAP 30-45	152	146	165
CAP 50-70	151	139	164

Tabela 4 – Teores de ligante das misturas dosadas no método SUPERPAVE e Marshall

Tipo de Ligante	Granulometria	TP SUPERPAVE%	TP Marshall %
CAP 30-45	9,5mm SUPERPAVE	5,55	5,60
	12,5mm DNIT	4,45	4,90
CAP 50-70	9,5mm SUPERPAVE	5,35	4,80
	12,5mm DNIT	4,60	4,20

**Mistura de CAP 30-45, Granulometria 9,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes**

Os resultados de módulo de resiliência, resistência à tração e creep obtidos para os corpos-de-prova mol-

dados com CAP 30-45, granulometria 9,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes, estão apresentados nas Figuras 4 a 6, no teor de projeto no caso do SUPERPAVE e Marshall e com variação de  $\pm 0,25$  e  $\pm 0,50$  do teor de projeto no caso da moldagem Marshall.

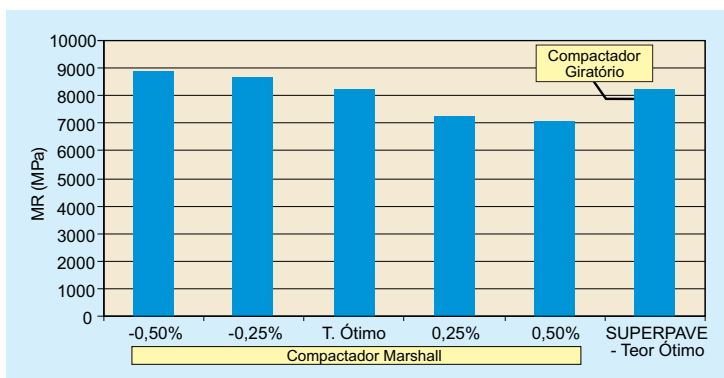


Figura 4 – Valores de Módulo de Resiliência para o CAP 30-45, granulometria 9,5mm

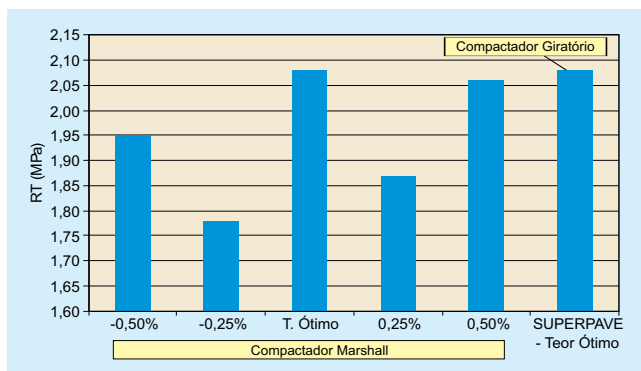


Figura 5 –Valores de Resistência à Tração para mistura com o CAP 30-45, granulometria 9,5mm

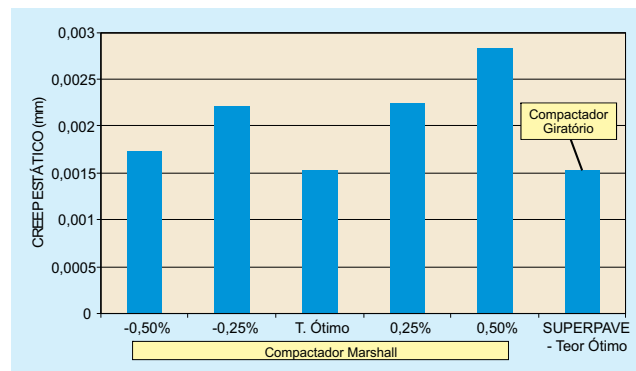


Figura 6 – Valores de Creep para misturas com o CAP 30-45, granulometria 9,5mm

**Mistura CAP 30-45, Granulometria 12,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes**

Os resultados de módulo de resiliência, resistência à tração e creep obtidos para os corpos-de-prova molda-

dos com CAP 30-45, granulometria 12,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes, estão apresentados nas Figuras 7 a 9, no teor de projeto no caso do SUPERPAVE e Marshall e com variação de  $\pm 0,25$  e  $\pm 0,50$  do teor de projeto no caso da moldagem Marshall.

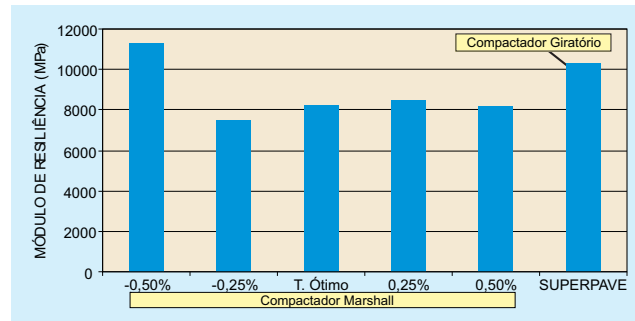


Figura 7 – Valores de Módulo de Resiliência para o CAP 30-45, granulometria 12,5mm

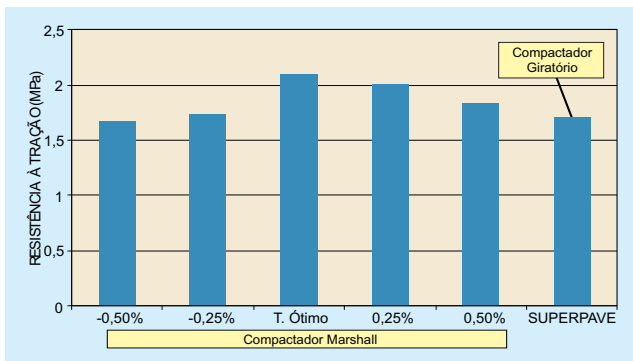


Figura 8 – Valores de Resistência à Tração para o CAP 30-45, granulometria 12,5mm

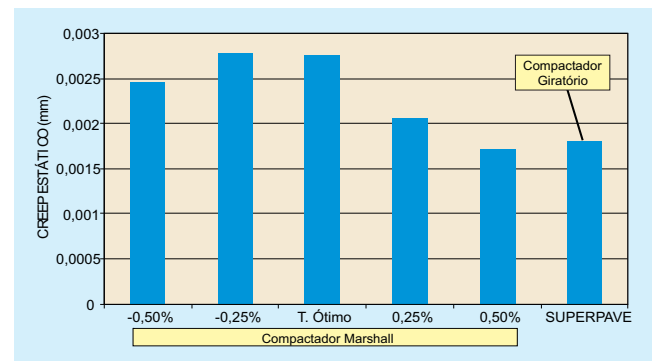


Figura 9 – Valores de Creep para mistura com o CAP 30-45, granulometria 12,5mm

**Mistura com CAP 50-70, Granulometria 9,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes**

Os resultados de módulo de resiliência, resistência à tração, creep obtidos para os corpos-de-prova moldados com

CAP 50-70, granulometria 9,5mm SUPERPAVE, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes, estão apresentados nas Figuras 10 a 12, no teor de projeto no caso do SUPERPAVE e Marshall e com variação de  $\pm 0,25$  e  $\pm 0,50$  do teor de projeto no caso da moldagem Marshall 90 golpes.

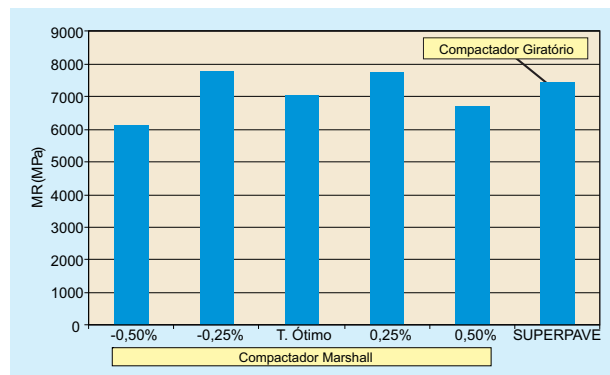


Figura 10 – Valores de Módulo de Resiliência para misturas com o CAP 50-70, granulometria 9,5mm

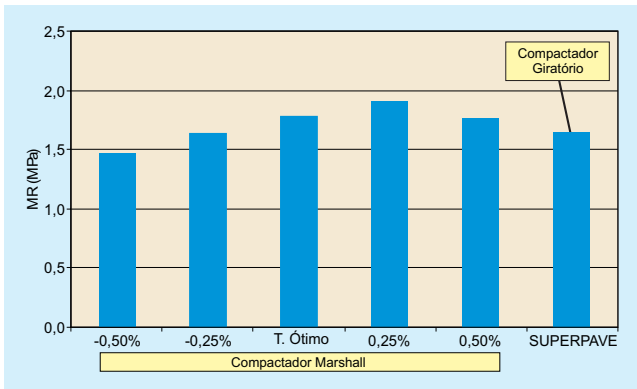


Figura 11 – Valores de Resistência à Tração para misturas com o CAP 50-70, granulometria 9,5mm

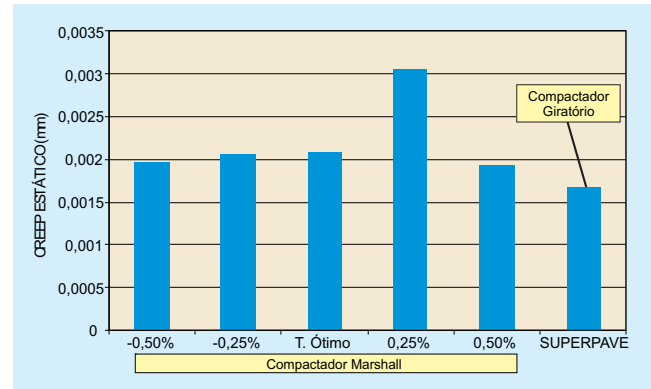


Figura 12 – Valores de Creep para misturas com o CAP 50-70, granulometria 9,5mm

**Mistura com CAP 50-70, granulometria 12,5mm, energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes**

Os resultados de módulo de resiliência, resistência à tração e creep obtidos para os corpos-de-prova moldados

com CAP 50-70, granulometria 12,5mm DNIT energia SUPERPAVE 125 giros e Marshall 90 golpes, estão apresentados nas Figuras 13 a 16, no teor de projeto no caso do SUPERPAVE e Marshall e com variação de  $\pm 0,25$  e  $\pm 0,50$  do teor de projeto no caso da moldagem Marshall 90 golpes.

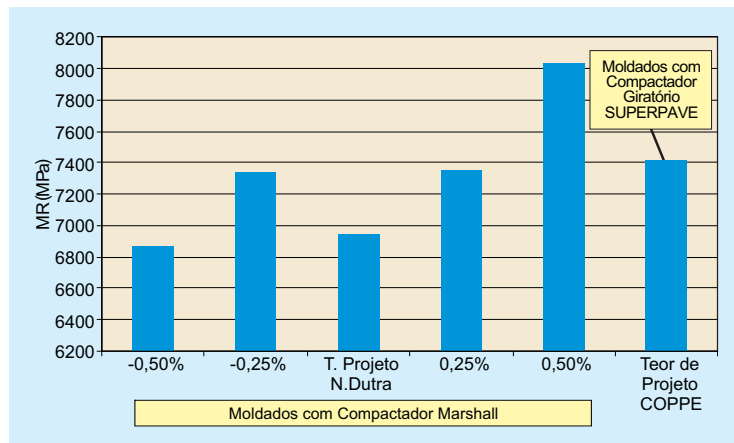


Figura 13 – Valores de Módulo de Resiliência para misturas com o CAP 50-70, granulometria 12,5mm

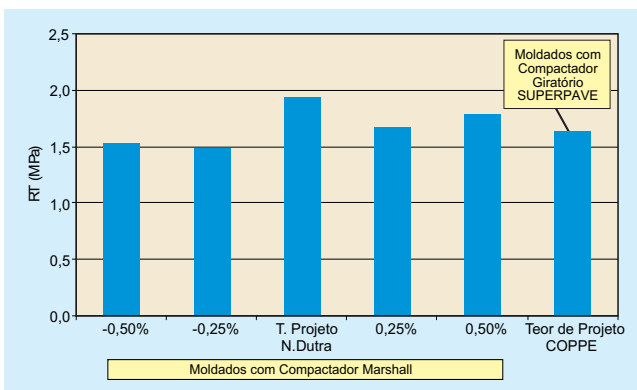


Figura 14 – Valores de Resistência à Tração para misturas com o CAP 50-70, granulometria 12,5mm

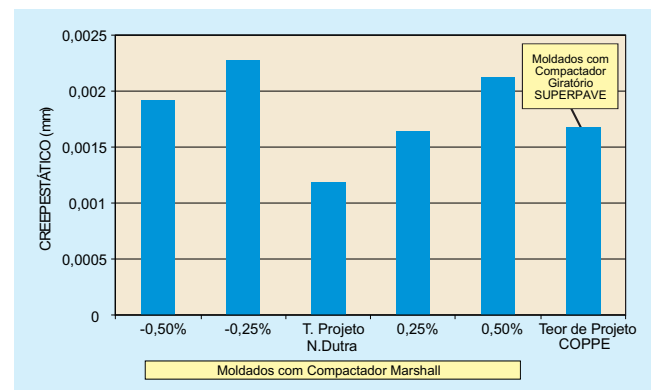


Figura 15 – Valores de Creep para misturas com o CAP 50-70, granulometria 12,5mm

## VIDA DE FADIGA ANÁLISE MECANÍSTICA

Os modelos de fadiga foram determinados utilizando-se as diferenças de tensões ( $\Delta\sigma$ , diferença entre tensões de tração e compressão) e as deformações resilientes ( $\epsilon$ ), com as curvas exponenciais expressas nas Equações 1 e 2. As constantes de regressão  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  são parâmetros de caracterização dos materiais. O programa computacional ELSYM5 foi utilizado para comparar os resultados dos ensaios de fadiga com pavimentos hipotéticos representados por duas estruturas. Nas Tabelas 5 a 8, estão apresentadas as expressões das curvas de fadiga das misturas ensaiadas, para as duas granulometrias analisadas no presente trabalho.

Como já comentado, para se interpretar corretamente as reais influências das diferenças observadas entre o comportamento mecânico de módulo de resiliência e de fadiga nos vários teores e nas duas energias de moldagem, é necessário se fazer uma análise estrutural levando em conta as outras camadas do pavimento.

A título de exemplo desta possível influência no dimensionamento de um pavimento, com os resultados obtidos, fez-se a comparação das misturas avaliadas (com CAP 30-45 e CAP 50-70) pela simulação de duas estruturas de pavimento hipotéticas indicadas na Tabela 9. A análise de tensões foi feita com o programa ELSYM 5 e os resultados são apresentados nas Tabelas 10 a 13 e nas Figuras 16 a 19. Comparam-se o número de repetições de carga do eixo padrão para cada situação representada na análise paramétrica. Num dimensionamento real, este número de repetições deve ser multiplicado por um Fator Campo – Laboratório para ser comparado com o N de projeto. Aqui não se fez esta consideração, visto que o objetivo é discutir a influência da forma de preparação dos corpos-de-prova, bem como das possíveis variações de teores de ligante durante a usinagem, lembrando que é praxe na maioria das especificações de serviço admitir até  $\pm 0,3\%$  do teor “ótimo” como aceitável numa obra.

Tabela 5 – Modelos de fadiga para misturas com CAP 30-45 – granulometria 9,5mm DNIT

Teor de ligante	Modelos de Fadiga	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
-0,5%	N = 13555 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,0416</sup>	0,9753	13555	3,0416
	N = 2,0 x 10 <sup>-10</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,0416</sup>	0,9753		
-0,25%	N = 28447 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,061</sup>	0,9890	28447	4,061
	N = 1,0 x 10 <sup>-14</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,061</sup>	0,9890		
Teor de Projeto	N = 44217 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,161</sup>	0,9806	44217	4,161
	N = 8,0 x 10 <sup>-15</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,161</sup>	0,9806		
+0,25%	N = 20356 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,7088</sup>	0,9461	20356	3,7088
	N = 6,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,7088</sup>	0,9461		
+0,5%	N = 24965 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,418</sup>	0,9752	24965	4,418
	N = 5,0 x 10 <sup>-16</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,418</sup>	0,9752		

Tabela 6 – Modelos de fadiga para misturas com CAP 30-45 – granulometria 12,5mm DNIT.

Teor de ligante	Modelos de Fadiga	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
-0,5%	N = 22660 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,352</sup>	0,9173	22660	3,352
	N = 6,0 x 10 <sup>-12</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,352</sup>	0,9173		
-0,25%	N = 21963 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,7165</sup>	0,9846	21963	3,7165
	N = 5,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,7165</sup>	0,9846		
Teor de Projeto	N = 98795 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,3279</sup>	0,9788	98795	4,3279
	N = 4,0 x 10 <sup>-15</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,3279</sup>	0,9788		
+0,25%	N = 46344 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,7898</sup>	0,9910	46344	3,7898
	N = 3,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,7898</sup>	0,9910		
+0,5%	N = 78931 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,891</sup>	0,9794	78931	3,891
	N = 2,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,891</sup>	0,9794		

Tabela 7 – Modelos de fadiga para misturas com CAP 50-70 – granulometria 9,5mm SUPERPAVE

Teor de ligante	Modelos de Fadiga	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
-0,5%	N = 11650 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,9457</sup>	0,9871	11650	3,9457
	N = 6,0 x 10 <sup>-14</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,9457</sup>	0,9871		
-0,25%	N = 19156 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,6889</sup>	0,9922	19156	3,6889
	N = 5,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,6889</sup>	0,9922		
Teor de Projeto	N = 56630 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,7364</sup>	0,9822	56630	4,7364
	N = 5,0 x 10 <sup>-17</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,7364</sup>	0,9822		
+0,25%	N = 70780 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,3703</sup>	0,9957	70780	4,3703
	N = 2,0 x 10 <sup>-15</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,3703</sup>	0,9957		
+0,5%	N = 47508 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,9793</sup>	0,9794	47508	3,9793
	N = 1,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,9793</sup>	0,9794		

Tabela 8 – Modelos de fadiga para misturas com CAP 50-70 – granulometria 12,5mm DNIT

Teor de ligante	Modelos de Fadiga	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
-0,5%	N = 14685 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,9997</sup>	0,9814	14685	3,9997
	N = 3,0 x 10 <sup>-14</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,9997</sup>	0,9814		
-0,25%	N = 56868 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,7998</sup>	0,8424	56868	4,7998
	N = 2,0 x 10 <sup>-17</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,7998</sup>	0,8424		
Teor de Projeto	N = 51624 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,8513</sup>	0,9611	51624	4,8513
	N = 1,0 x 10 <sup>-17</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,8513</sup>	0,9611		
+0,25%	N = 56658 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>3,9574</sup>	0,9403	56658	3,9574
	N = 1,0 x 10 <sup>-13</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>3,9574</sup>	0,9403		
+0,5%	N = 31494 (1/ $\Delta\sigma$ ) <sup>4,2971</sup>	0,9652	31494	4,2971
	N = 1,0 x 10 <sup>-15</sup> (1/ $\epsilon$ ) <sup>4,2971</sup>	0,9652		

Tabela 9 – Estruturas de pavimento hipotéticas 1 e 2

Estrutura	Camada	Espessura (cm)	Coef. de Poisson	MR (MPa)
1	Capa	10	0,30	Variável
	Base	20	0,34	340
	Sub-base	20	0,38	210
	Subleito	Semi-infinito	0,42	85
2	Capa	7,5	0,30	Variável
	Base	20	0,30	450
	Subleito	Semi-infinito	0,40	60

Tabela 10 – Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 – CAP 30-45 granulometria 9,5mm – moldados com compactador Marshall.

Estrutura 1					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	9088	1,340	-0,117	1,457	4.317
-0,25%	8596	1,307	-0,120	1,427	6.719
Teor de Projeto	8018	1,260	-0,124	1,384	11.437
+0,25%	7209	1,187	-0,131	1,317	7.324
+0,5%	7123	1,180	-0,131	1,311	7.538
Estrutura 2					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	9088	1,593	-0,177	1,770	2.387
-0,25%	8596	1,533	-0,181	1,715	3.184
Teor de Projeto	8018	1,460	-0,187	1,647	5.541
+0,25%	7209	1,353	-0,196	1,549	4.013
+0,5%	7123	1,340	-0,197	1,537	3.741

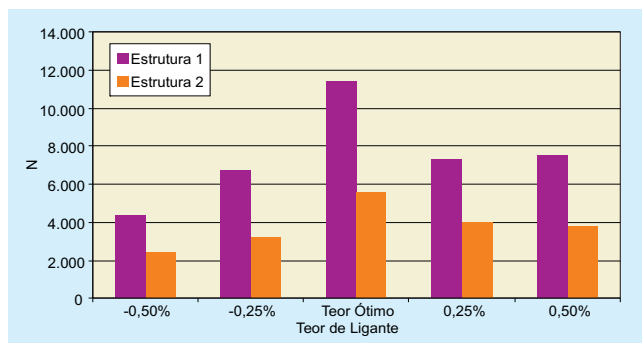


Figura 16 – Resultados da análise de vida de fadiga com misturas com CAP 30-45 e granulometria 9,5mm

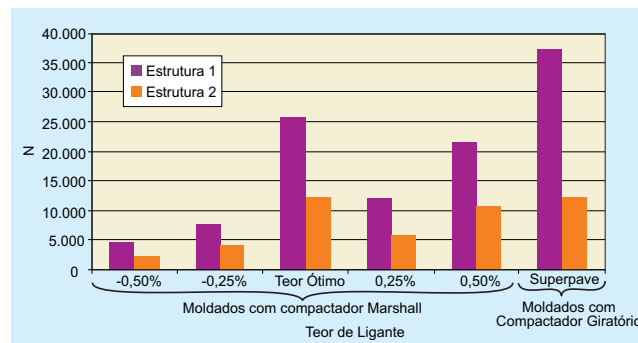


Figura 17 – Resultados da análise de vida de fadiga com CAP 30-45 e granulometria 12,5mm

Tabela 11 – Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 – CAP 30-45 – granulometria 12,5mm

Estrutura 1					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	11211	1,487	-0,105	1,592	4.768
-0,25%	7345	1,200	-0,129	1,329	7.624
Teor de Projeto	7795	1,240	-0,126	1,366	25.616
+0,25%	8610	1,307	-0,120	1,427	12.054
+0,5%	8227	1,273	-0,123	1,396	21.553
Superpave	10318	1,433	-0,110	1,543	37.402
Estrutura 2					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	11211	1,827	-0,161	1,987	2.267
-0,25%	7345	1,373	-0,194	1,567	4.134
Teor de Projeto	7795	1,433	-0,189	1,623	12.159
+0,25%	8610	1,533	-0,181	1,715	6.005
+0,5%	8227	1,487	-0,185	1,671	10.698
Superpave	10318	1,733	-0,167	1,901	12.145

Tabela 12 – Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 – CAP 50-70 granulometria 9,5mm – moldados com compactador Marshall.

Estrutura 1					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	6083	1,080	-0,141	1,221	5.293
-0,25%	7935	1,247	-0,125	1,371	5.976
Teor de Projeto	7075	1,173	-0,132	1,305	16.030
+0,25%	7369	1,200	-0,129	1,329	20.398
+0,5%	6743	1,140	-0,135	1,275	18.087
Estrutura 2					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	6083	1,187	-0,210	1,397	3.118
-0,25%	7935	1,447	-0,188	1,635	3.126
Teor de Projeto	7075	1,333	-0,197	1,531	7.540
+0,25%	7369	1,373	-0,194	1,567	9.931
+0,5%	6743	1,287	-0,201	1,488	9.771

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;  $\sigma_t$  = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;  
 $\sigma_c$  = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;  
 $\Delta\sigma$  = diferença entre as tensões de tração e compressão ( $\sigma_t - \sigma_c$ ); N = número de ciclos.

Tabela 13 – Resultados da análise mecânica com as estruturas 1 e 2 – CAP 50-70 granulometria 12,5mm – moldados com compactador Marshall.

Estrutura 1					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	6845	1,153	-0,134	1,287	5.347
-0,25%	7599	1,220	-0,127	1,347	13.596
Teor Projeto	6878	1,153	-0,133	1,287	15.198
+0,25%	7479	1,213	-0,128	1,341	17.723
+0,5%	8003	1,253	-0,124	1,377	7.957
Estrutura 2					
Teor de ligante	MR (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	N
-0,5%	6845	1,300	-0,200	1,500	2.901
-0,25%	7599	1,407	-0,191	1,598	5.994
Teor de Projeto	6878	1,307	-0,200	1,507	7.067
+0,25%	7479	1,387	-0,193	1,579	9.286
+0,5%	8003	1,460	-0,187	1,647	3.687

MR = módulo de resiliência obtido no ensaio de laboratório;  $\sigma_t$  = tensão de tração no revestimento obtida no programa ELSYM 5;  
 $\sigma_c$  = tensão de compressão no revestimento obtida no programa ELSYM 5;  
 $\Delta\sigma$  = diferença entre as tensões de tração e compressão ( $\sigma_t - \sigma_c$ ); N = número de ciclos.

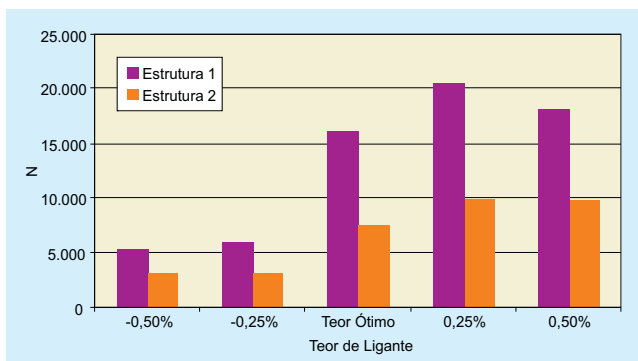


Figura 18 – Resultados da análise de vida de fadiga para misturas com CAP 50-70 e granulometria 9,5mm

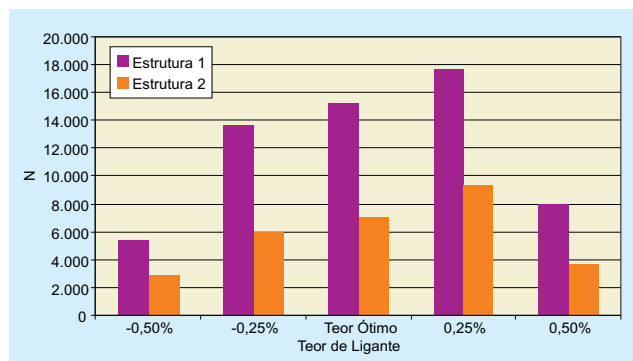


Figura 19 – Resultados da análise de vida de fadiga para as misturas com CAP 50-70 e granulometria 12,5mm

Considerando a Estrutura 1, podem ser feitas as seguintes observações sobre o comportamento das misturas analisadas neste artigo:

#### **CAP 30-45 – Granulometria 9,5mm**

Todas as misturas fora do TP apresentaram vidas de fadiga menores se comparadas com a mistura produzida no teor de projeto. Para a mistura com -0,5% de ligante, a diferença é de cerca de 62%, enquanto que a mistura com -0,25% de ligante apresentou metade da vida de fadiga da mistura com teor de projeto. As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga cerca de 35% menor do que as misturas com teor de ligante de projeto, sendo que as misturas com teor de projeto +0,5% apresentaram uma vida de fadiga ligeiramente mais alta do que a de 0,25.

#### **CAP 30-45 – Granulometria 12,7mm**

Pode-se verificar que todas as misturas com -0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga menor que as misturas com teor de ligante de projeto. No entanto, a mistura preparada no compactador giratório apresentou vida de fadiga maior do que a mistura com o teor de projeto preparada no compactador Marshall (~46%). Além disso, pode-se observar que as misturas com -0,5% de ligante apresentaram uma vida de fadiga 81% menor, enquanto que nas misturas com -0,25% essa diferença é aproximadamente 70% menor. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga cerca de metade da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto, enquanto que a mistura com +0,5% apresentou vida de fadiga 16% menor do que a mistura com teor de projeto.

#### **CAP 50-70 – Granulometria 9,5mm**

As misturas com -0,5% e -0,25% de ligante apresentaram uma vida de fadiga cerca de 67% e 63% menor que as misturas com teor de ligante de projeto. Enquanto que as misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga maior (cerca de 27% e 13%, respectivamente) do que as misturas com teor de ligante de projeto, sendo que a mistura com teor de projeto +0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas.

#### **CAP 50-70 – Granulometria 12,5mm**

A mistura com -0,5% de ligante apresentou vida de fadiga cerca de 70% menor que a mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com -0,25% de ligante apresentou vida de fadiga 10% menor. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga maior (~17%) do que a mistura com teor de ligante de projeto, enquanto que a mistura com +0,5% apresentou vida de fadiga 48% menor do que a mistura com teor de projeto, e a mistura com teor de projeto +0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, talvez indicando que este possa ser o teor "ótimo" verdadeiro.

Quando considerado a Estrutura 2, pode-se observar o seguinte comportamento das misturas:

#### **CAP 30-45 – Granulometria 9,5mm**

Todas as misturas apresentaram vidas de fadiga inferiores comparadas com a mistura produzida no teor de projeto. Para a mistura com -0,5% de ligante, a diferença é de cerca de 43%, enquanto que a mistura com -0,25% de ligante atingiu aproximadamente 57% da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto. As misturas com +0,25% e +0,5% de ligante atingiram 72% e 67,5%, respectivamente, da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto.

#### **CAP 30-45 – Granulometria 12,7mm**

Pode-se verificar que todas as misturas (-0,5%, -0,25%, +0,25% e +0,5% de ligante) apresentaram vida de fadiga menor que a mistura com teor de ligante de projeto. Além disso, pode-se verificar que as misturas preparadas no teor de projeto independente do tipo de compactador empregado (Marshall ou giratório) praticamente não apresentaram diferença. Analisando a influência dos teores de ligante, pode-se verificar que misturas com menor teor apresentaram uma grande redução na vida de fadiga, sendo de 81% para -0,5% e 66% para -0,25% de ligante. Em relação às misturas com maior teor de ligante, pode-se observar uma redução de 50% para mistura com +0,25% e de 12% para mistura com +0,5%.

#### **CAP 50-70 – Granulometria 9,5mm**

As misturas com -0,5% e -0,25% de ligante apresentaram vida de fadiga cerca de 31% menor que a mistura

com teor de ligante de projeto, enquanto as misturas com +0,25% e +0,5% de ligante apresentaram vida de fadiga maior (cerca de 32% e 30%, respectivamente) do que as misturas com teor de ligante de projeto, sendo que a mistura com teor de projeto + 0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, talvez indicando que o teor dito de projeto pode ter sido subestimado.

#### **CAP 50-70 – Granulometria 12,5mm**

A mistura com -0,5% de ligante atingiu 41% da vida de fadiga da mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com -0,25% de ligante apresentou vida de fadiga 15% menor. A mistura com +0,25% de ligante apresentou vida de fadiga maior (~31%) do que a mistura com teor de ligante de projeto, enquanto a mistura com +0,5% atingiu somente 48% da vida de fadiga da mistura com teor de projeto, sendo que a mistura com teor de projeto + 0,25% apresentou a maior vida de fadiga de todas as misturas, talvez podendo ser feito o mesmo comentário anterior.

É possível também perceber diferenças entre o desempenho previsto para as duas granulometrias e para os dois tipos de ligantes, em geral a granulometria mais grossa leva a uma vida de fadiga maior, e, para a estrutura com espessura maior, o CAP mais duro leva a previsão de maior número de ciclos. Porém o mais importante é ressaltar que não há como generalizar estas observações e é fundamental em cada projeto de uma estrutura de pavimentos, para um determinado trecho, em função do tipo de base e subleito, adaptar a dosagem da mistura asfáltica a ser utilizada no revestimento. A dosagem não pode se esgotar somente na análise volumétrica e independente da estrutura que vai recebê-la no campo.

Somente aplicando os princípios da Mecânica dos pavimentos, vai-se melhorar os projetos estruturais, diminuir os insucessos e tornar os pavimentos asfálticos mais duráveis e hoje já temos no país todas as condições de aplicar na prática o dimensionamento mecânico de pavimentos nos projetos das rodovias (Medina e Motta, 2005).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AASHTO, 2001, *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP2, Washington, D.C.

#### **CONCLUSÕES**

Este estudo mostra a importância de considerar os ensaios mecânicos de módulo de resiliência, resistência à tração, creep e fadiga no projeto de uma mistura asfáltica densa tipo concreto asfáltico.

O teor de projeto escolhido como “ótimo” somente levando em conta os parâmetros volumétricos nem sempre garante a maior vida de fadiga ao mesmo tempo prevenindo a deformação permanente ou a exsudação durante a vida útil do revestimento asfáltico. A análise conjunta dos aspectos volumétricos e mecânicos é que vai conduzir a uma dosagem adequada e mais compatível com a estrutura do pavimento onde esta mistura for ser aplicada.

Foi possível também perceber diferenças de comportamento de corpos-de-prova moldados no compactador tradicional Marshall e no compactador giratório, embora na maioria das vezes os teores de projeto possam ser próximos, dependendo da granulometria e da energia.

De forma geral, pode-se verificar que o teor de ligante influencia na vida de fadiga das misturas asfálticas, ocorrendo em alguns casos, com o aumento do teor em relação ao dito ótimo sob o ponto de vista puramente volumétrico, um pequeno aumento da vida de fadiga. Pode-se verificar, na maioria dos casos, que um teor de ligante menor que o de projeto é pior do ponto de vista da fadiga. Algumas misturas apresentaram redução de até 70% da vida de fadiga quando diminuído o teor em -0,25% (valor dentro da faixa aceitável na prática) e de até 81% quando reduzido o teor de ligante em -0,5%. Estas diferenças dependem também da estrutura total do pavimento considerado.

Cabe lembrar ainda que, apesar de pequeno aumento do teor de ligante proporcionar, em alguns casos, um aumento de vida de fadiga, é importante analisar as misturas estudadas quanto ao comportamento à deformação permanente e também à exsudação, uma vez que o excesso de ligante pode originar esses tipos de defeitos no pavimento, analisados indiretamente pelo ensaio de creep.

- AASHTO, 2001, *Standard Practice for SUPERPAVE Volumetric Design for Hot-Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO PP28, Washington, D. C.
- AASHTO, 2001, *Standard Specifications for SUPERPAVE Volumetric Mix Design*. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO MP2, Washington D.C.
- BERNUCCI, L. L. B.; MOURA, Edson de; Furlan, Ana Paula; MOTTA, Rosângela dos Santos ; LEITE, Fabiana da Conceição ; FARIA, V. . Efeito do Teor de Tipo de Ligante na Formação de Trilhas de Roda em Misturas Asfálticas. In: 19<sup>o</sup> Encontro de Asfalto, 2008, Rio de Janeiro. 19<sup>o</sup> Encontro de Asfalto, 2008. v. 1. p. 215-224.
- CARNEIRO, Fernando L. Lobo (1943) – Um novo método para a determinação da resistência à tração dos concretos. 5<sup>a</sup> Reunião da ABNT. Rio de Janeiro
- MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G da (2005). *Mecânica dos Pavimentos* 2<sup>a</sup> Edição. ISBN 85-905987-1-3. Rio de Janeiro.
- PINTO, S. (1991) *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- QUEIROZ, César A. Vieira. *Performance prediction models for pavement management in Brazil*. (Ph.D., Civil Eng.), Univ. Texas, Austin, 1981. 334p. (Traduzido para o português: Modelos de previsão de desempenho para a gestão de pavimentos no Brasil. Brasília. GEIPOT, 1984. 366p).
- VIANNA, Álvaro A. D; MOTTA, Laura M. G. e DOMINGUES, Ricardo G. (2003) - Ensaio de compressão axial de CBUQ – uma nova técnica de medição das deformações - XVI ANPET – novembro de 2003 – Rio de Janeiro.

# Controle de homogeneidade na construção de camadas de pavimentos por medidas de deflexão

Prof. Salomão Pinto – IME/RJ

Prof. Régis Martins Rodrigues – ITA/SP

## RESUMO

Este relato faz algumas considerações julgadas importantes sobre o uso dos equipamentos Falling Weight Deflecto-

meter (FWD), viga de Benkelman e Light Weight Deflectometer (LWD), no controle deflectométrico de camadas de pavimentos flexíveis, por ocasião de suas construções.

## 1 – INTRODUÇÃO

O levantamento deflectométrico em camadas de pavimentos nas fases de construção com a viga de Benkelman tem sido utilizado no país como critério estrutural de controle tecnológico e, portanto, de liberação das camadas de solos e de materiais granulares caso atinjam as chamadas deflexões admissíveis.

Neste relato, são mostrados e discutidos os conceitos e cuidados que devem ser tomados nesse tipo de abordagem, quanto ao nível de tensão suportado pela camada, bem como o modo de aplicação de cargas e método de medição, com os equipamentos tradicionalmente utilizados no nosso país.

## 2 – CONCEITUAÇÃO

Um dos aspectos importantes na construção de um pavimento é a verificação de que os módulos elásticos das camadas constituintes de estrutura, adotados por ocasião do projeto mecânico, são efetivamente os encontrados.

Tradicionalmente, a viga de Benkelman e o FWD (*Falling Weight Deflectometer*) são utilizados para avaliar a capacidade estrutural de pavimentos existentes. Julga-se que

ambos os equipamentos podem ser usados para quantificar os módulos das camadas durante a fase de construção.

Sabe-se, por outro lado, que as características e os resultados obtidos pelos dois equipamentos são diferentes.

Um dos fatores importantes a serem considerados durante a construção das camadas, principalmente de solos e materiais granulares, é a sua dependência de comportamento quanto ao grau de compactação, teor de umidade e estado de tensões a que são submetidos durante o ensaio *in-situ*. Assim, quando são realizados testes nas camadas terrosas e granulares, é importante a aplicação de níveis de tensões próximos dos que essas camadas virão a sofrer, após a construção do pavimento como um todo, decorrente do hábito de cargas previstas durante um determinado período de tempo.

O modo de aplicação da carga e o método de medição, considerando a viga e o FWD, são também bastante distintos. As medições com a viga de Benkelman, devido ao modo de aplicação das cargas de roda, podem provocar deslocamentos ascendentes nos materiais de pavimentação (Figura 1).

Esse comportamento é observado quando marcas são deixadas por caminhões que passam sobre o material de

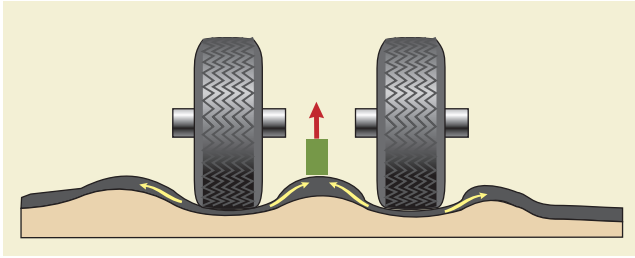


Figura 1 – Deslocamentos do material durante aplicação da carga com caminhão

sub-base e/ou subleito, mesmo quando bem compactados. Essas marcas são indicadoras de movimentos de partículas de materiais que afetam as medições.

A configuração de aplicação de cargas com o FWD se caracteriza por cargas dinâmicas que solicitam uma placa circular com um sensor no centro de placa e que, na maioria dos casos, os outros sensores afastados do carregamento aplicado é que medem os deslocamentos provocados pela carga, portanto, não existe qualquer influência de singularidade. Há uma vantagem, que é a verificação de uniformidade de propriedades na profundidade. Por outro lado, deve-se ter o devido cuidado na interpretação dos resultados do FWD em camadas de solos e de materiais granulares, levando em consideração que, para solos de fundação, deve ser utilizada a placa de 45cm de diâmetro e não a de 30cm.

É conveniente lembrar ainda que, mesmo com o uso do FWD, a análise do resultado deve ser criteriosamente interpretada levando em conta que esse tipo de controle ainda não é feito de modo corrente no país. O que se tem conhecimento no âmbito internacional são as boas correlações obtidas quando os dados de levantamentos com o FWD são comparados com as propriedades dos materiais (Figura 2).

Não se tem conhecimento de boas correlações com o uso da viga, certamente devido a problemas intrínsecos às suas características e do modo de operação. Trata-se, portanto, de um ensaio quase-estático, no qual o módulo de resiliência obtido no laboratório, por carregamento repetido de curta duração, não pode ser considerado na avaliação de desempenho do subleito e/ou de camadas granulares quando são medidos deslocamentos verticais recuperados nestas camadas por intermédio do procedimento normalizado para o levantamento com a viga de Benkelman.

Preussler (1978) realizou ensaios triaxiais estáticos e dinâmicos do tipo UU – não drenado, não adensado, em

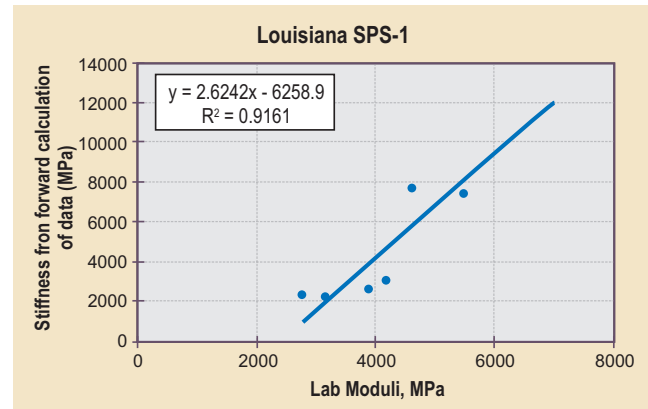


Figura 2 – Módulo obtido no laboratório e no campo

solo argilo arenoso, em três condições de umidade (ótima e abaixo da ótima), para o material compactado na energia intermediária. A tensão confinante em ambos os ensaios variou entre 0,35 a 1,4 kgf/cm<sup>2</sup>, para relação entre tensões principal maior ( $\sigma_1$ ) e menor ( $\sigma_3$ ), igual a 4,0. Os ensaios estáticos foram executados com quatro ciclos de carregamento e descarregamento. O módulo de deformação estático correspondeu ao módulo tangente do último ciclo de carregamento, para o nível de tensão igual a 50% da tensão axial máxima do ciclo ( $E_{50}$ ).

Os resultados mostraram uma diferença significativa entre o módulo de deformação estático e o de carregamento repetido, reforçando a importância de testar os materiais sob condições de carregamentos similares às de campo.

As relações entre o módulo de deformação resiliente ( $M_R$ ) e o módulo de deformação ou de elasticidade no ensaio estático variaram de:

$$M_R = 3 \text{ a } 7E_{50}$$

Acredita-se, por outro lado, que os objetivos principais de uso de equipamentos capazes de medir deflexões em camadas de pavimentos durante a construção sejam as seguintes:

1 – Avaliar a homogeneidade de construção das camadas. O traçado do perfil deflectométrico, por segmento homogêneo, permite detectar as anomalias ocorridas durante o processo construtivo por ocasião das obras, e que podem ser corrigidas, possibilitando verificar, também, se houve mudança da natureza dos materiais envolvidos;

2 – Formatar um banco de dados com as propriedades físicas e mecânicas dos materiais, com a finalidade de estabelecimento de parâmetros para os materiais

envolvidos e, assim, subsidiar outras obras onde materiais similares podem ser especificados;

3 – Identificar deficiências de compactação e excessos de umidade, que reduzem a capacidade estrutural da camada e, conseqüentemente, promovem elevados níveis de deformabilidade;

4 – Subsidiar o órgão rodoviário de elementos capazes de priorizar a manutenção preventiva de segmentos com elevado nível de deflexões.

### 3 – CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO DE CONSTRUÇÃO

Aplicando a teoria de camadas elásticas (programa FLAPS), a Tabela 3.1 ilustra um caso no qual as deflexões médias e características são previstas no topo de cada camada, para controle da construção usando a viga Benkelman, estando o revestimento asfáltico à temperatura de 25°C. As deflexões características de projeto ( $D_c$ ) foram obtidas a partir das deflexões médias esperadas, considerando um coeficiente de variação igual a 25%, o qual é um valor que tem sido observado dentro de segmentos homogêneos quando um elevado padrão de qualidade é obtido na construção.

A deflexão característica de um segmento (média + desvio padrão) deverá ser, no máximo, igual à  $D_c$  na Tabela 3.1, para que a expectativa de projeto, quanto aos módulos de elasticidade dos materiais das camadas, seja atendida. Deve-se observar que as deflexões aqui indicadas para o topo das camadas granulares referem-se às condições de leituras ideais, quando se prepara o topo da camada, para que a ponta de prova da viga Benkelman não sofra os efeitos de rotação de agregados devido o movimento da carga de eixo e/ou trepidação gerada pelo motor do veículo em funcionamento. Uma aplicação de gesso na área onde a ponta de prova será

posicionada pode resolver o problema. Alternativamente, podem-se efetuar as leituras após a cura da imprimação betuminosa aplicada no topo da camada de base.

O cálculo das deflexões ( $\delta$ ) no topo do solo de subleito foi efetuado utilizando os valores mostrados na Tabela 3.2, na qual é apresentada a determinação dos parâmetros da fórmula:

$$\delta = \frac{\beta}{CBR}$$

que fornece a deflexão máxima entre rodas na prova de carga com o eixo-padrão de 8,2 tf quando executada sobre um solo de um certo tipo (de acordo com os códigos do USCS da Tabela 3.2).

Os resultados da Tabela 3.2 explicam a variação encontrada no estudo da Shell, que faz parte do MS-1, no qual se verificou que a relação módulo/CBR dos solos

Tabela 3.1 – Deflexões médias e características previstas

Local	Camada	Dmed (0,01mm)	Dc (0,01mm)
Pista			
	Capa (4,7 cm)	58	73
	Base Estabilizada Granulometricamente (20cm)	77	96
	Sub-base Estabilizada Granulometricamente (20cm)	147	184
	Subleito (CBR = 9)	256	320
Acostamentos			
	Capa (3cm)	105	131
	Base Estabilizada Granulometricamente (15cm)	192	240
	Subleito (CBR = 9)	256	320

Tabela 3.2 – Parâmetros para previsão da deflexão no subleito

Solo	$F_{din}$	$\epsilon_r$ (%)	$K = M_r/CBR$	$\beta = 3 \times 8 \times 10^4 / K$
SW	1,4	1,5	49	4898
SP	1,6	1,6	52	4615
SM	1,8	1,7	55	4364
SC	2	1,8	58	4138
ML	3	1,9	82	2927
CL	4	2,0	104	2308
MH	5	2,3	113	2124
CH	7	2,5	146	1644

varia de 50 a 150. Resultados da teoria de camadas elásticas (programa FLAPS) levam à seguinte relação entre a deflexão entre rodas do eixo-padrão e o módulo de elasticidade do subleito:

$$\delta = \frac{8 \times 10^4}{E_{creep}}$$

para a deflexão  $\delta$  em  $10^{-2}$ mm e o módulo de elasticidade ( $E_{creep}$ ) em  $\text{kgf/cm}^2$ . Refere-se aqui ao módulo de elasticidade em *creep* para indicar que se trata do módulo sob o carregamento lento, quase-estático, da prova de carga com a viga Benkelman. Este módulo é dado por:  $E_{creep} = M_R/3$ , onde  $M_R$  é o módulo de resiliência. Dessa forma:

$$\beta = \frac{3\alpha}{K}$$

onde  $K = M_R/CBR$  e  $\alpha = 8 \times 10^4$ . A relação módulo/CBR  $K$  foi calculada por:

$$M_R = F_{din} E_{est}$$

$$E_{est} = 2E_{sec}^R$$

$$E_{sec}^R = \frac{R_{CS}}{\epsilon_R}$$

$$R_{CS} = 0,26 \times CBR$$

onde:

$F_{din}$  = fator dinâmico do solo, que relaciona o módulo de resiliência ao módulo de elasticidade estático ( $E_{est}$ );

$E_{sec}^R$  = módulo secante na ruptura;

$\epsilon_R$  = deformação de ruptura em compressão do solo;

$R_{CS}$  = resistência à compressão simples, estimada pela correlação  $0,26 \times CBR$  em, ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

Associando-se estas fórmulas, resulta:

$$K = \frac{M_R}{CBR} = F_{din} \times 2 \times \frac{0,26}{\epsilon_R}$$

Os valores da Tabela 3.2 foram obtidos admitindo-se que o solo de subleito, quando apresentava CBR de projeto igual a 13, era do tipo CL (argila de baixa plasticidade) e que era um solo do tipo SC (areia argilosa), quando o CBR atingia valores mais elevados, da ordem de 30. Considerando também para o caso de  $CBR = 13$ , que o solo é da classe SC, a deflexão média esperada no topo do subleito passa de  $177 \times 10^{-2}$ mm para  $318 \times 10^{-2}$ mm, ou seja, o critério de deflexões se torna menos restritivo, de modo que a Tabela 3.2 pode ser adotada como referência, a favor da segurança. Mesmo com a mudança da natureza do solo de subleito, as deflexões no topo das demais camadas são as mesmas da Tabela 3.2, pois a construção de uma ou mais camadas sobre o subleito atenua o seu estado de tensões, de modo a fazer do módulo de resiliência o módulo de elasticidade de trabalho da camada, em vez do módulo de *creep*, associado aos níveis elevados de deformação. É apenas o módulo de *creep* que é altamente dependente da natureza do solo, como foi expresso na Tabela 3.1, quando solos com mesmo CBR são comparados.

Este aspecto é ilustrado na Figura 3.1, que mostra as definições dos parâmetros:

$E_{est}$  = módulo de elasticidade estático (medido sob deformações recuperáveis elevadas, ao longo de ciclos de carga-descarga);

$E_{sec}^R$  = módulo secante na ruptura;

$E_0$  = módulo tangente inicial, medido sob deformações muito baixas, praticamente recuperáveis integralmente, e que é, essencialmente, igual ao módulo dinâmico do solo.

Quando a carga é aplicada diretamente sobre o topo do subleito, mobiliza-se o módulo em *creep*, que é próximo de  $E_{est}$  e pode ser obtido a partir dele pelas fórmulas já apresentadas, que levam a:

$$E_{creep} = \frac{K \epsilon_R}{1,56} E_{est}$$

Assim, um solo que tenha, por exemplo,  $K = 100$  e  $\epsilon_R = 1,56 \times 10^{-2}$  obedecerá à relação:  $E_{creep} = E_{est}$ .

Quando uma camada granular de sub-base é construída, o módulo de elasticidade de trabalho do solo de subleito tende a  $E_0$ , em face do alívio do nível de deformações a que o solo é submetido. O parâmetro  $E_0$  é praticamente igual ao módulo dinâmico do solo, mesmo que medido sob carregamento lento, devido ao efeito preponderante do nível de deformações sob o qual o módulo é medido. Os efeitos dinâmicos acrescentam

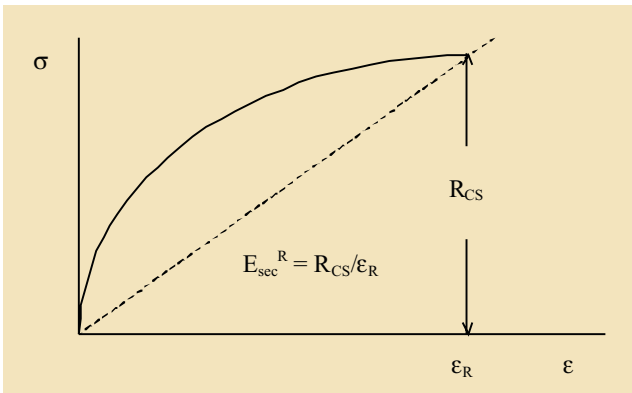
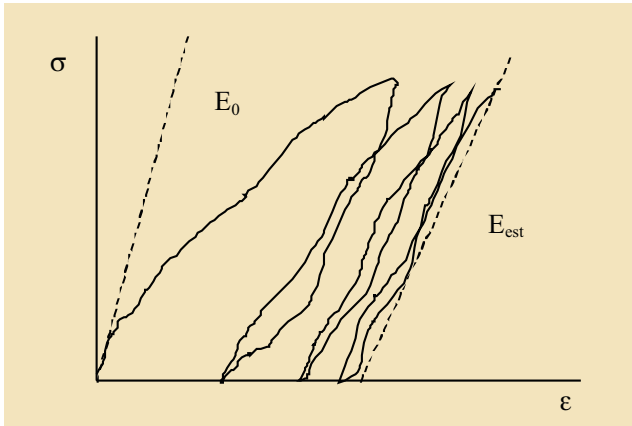


Figura 3.1 – Definições dos módulos de deformação dos solos

apenas alguns componentes inerciais que não afetam o módulo de elasticidade de forma significativa.

Ensaio triaxiais executados em laboratório mostram que o módulo de elasticidade dos materiais de pavimentação, à parte as dependências usualmente reportadas com relação ao estado de tensões, decresce com o aumento da deformação elástica sofrida pelo corpo-de-prova durante a aplicação das tensões, de acordo com a tendência geral mostrada na Figura 3.2.

O modelo que sintetiza esses resultados é dado por:

$$\frac{E}{M_r} = 1,3 \exp \left[ -0,0486 \left( \frac{\epsilon}{10^{-4}} \right) \right]$$

para  $\epsilon > 10^{-4}$ , e

$$\frac{E}{M_r} = 1,238$$

para  $\epsilon < 10^{-4}$ , onde:

$E$  = módulo de elasticidade, correspondente ao nível de deformação específica elástica  $\epsilon$ ;

$M_r$  = módulo de resiliência.

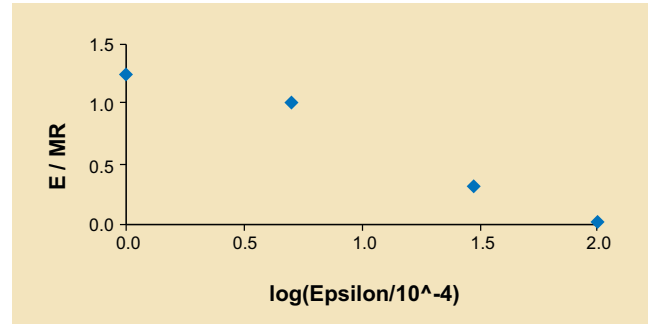
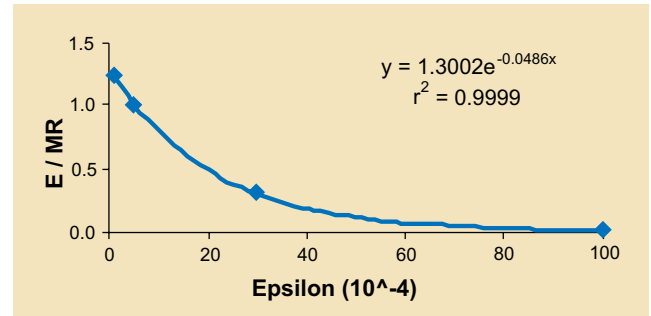


Figura 3.2 – Efeito do nível de deformações no módulo de elasticidade

Este modelo indica que, sob níveis de deformação muito baixos, tendendo a  $10^{-4}$ , o módulo de elasticidade tende a um valor máximo  $E_d = 1,238 M_r$ , correspondente ao módulo dinâmico, enquanto que sob níveis de deformação elevados, da ordem de  $3 \times 10^{-3}$ , o módulo de elasticidade tende a  $0,303 M_r$ , valor que é praticamente idêntico ao módulo de elasticidade estático do material. Sob níveis de deformação indicativos de ruptura (da ordem de  $\epsilon \approx 10^{-2}$ ), o módulo de elasticidade tende a zero.

A utilização de um modelo como este, capaz de descrever o comportamento não-linear dos materiais, é de crucial importância quando se procura estabelecer valores para as deflexões a serem controladas durante a construção de um pavimento, à medida que a carga de teste, estando aplicada diretamente sobre uma camada de solo ou uma camada granular, induzirá estados de tensão e de deformação muito diferentes daqueles que esta mesma carga produzirá quando aplicada na superfície do pavimento concluído. Isto significa que os módulos de elasticidade de trabalho das camadas não podem ser considerados constantes, independentes das condições de carregamento, sob pena de se estabelecer valores absurdos para as deflexões a serem observadas no campo. Para o módulo dinâmico dos materiais granulares e dos solos, será

aplicado o seguinte modelo, desenvolvido utilizando resultados de ensaios realizados pelo TRRL da Inglaterra:

$$\frac{E_d}{CBR} = \frac{250}{1 + 1,007A^{-0,4738} CBR^{0,7947}}$$

onde A é a percentagem de argila em peso do solo. Este modelo, ilustrado na Figura 3.3, é mais geral que a correlação de Heukelom & Klomp:  $E_d = 100 \times CBR$ , a qual consiste apenas de uma média, à medida que a relação  $E_d/CBR$  variou de 50 a 200 nos próprios ensaios que levaram à média  $E_d/CBR = 100$ .

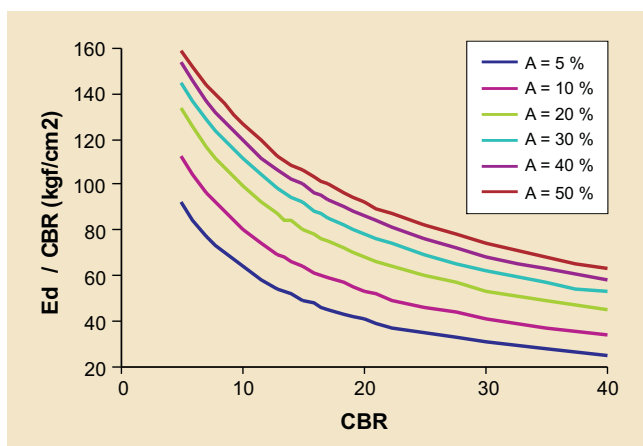


Figura 3.3 – Relação Módulo Dinâmico – CBR para materiais granulares e solos

No caso de uma brita graduada, ensaios triaxiais de cargas repetidas mostram que o módulo de resiliência pode ser descrito pelo seguinte modelo (Perez, 1987):

$$M_R = 1520^{0,631} \varepsilon^{-0,319}$$

onde  $M_R$  é dado em  $\text{kgf/cm}^2$ ,  $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$  é a soma das tensões principais (tensão de confinamento total) e  $\varepsilon$  é a deformação axial resiliente sofrida pelo corpo-de-prova sob a tensão cíclica aplicada.

Outra possibilidade para se prever o módulo de elasticidade de trabalho de uma camada de brita graduada é o modelo da Shell:

$$\frac{E_2}{E_3} = 0,2h_2^{0,45}$$

onde  $E_2$  é o módulo de elasticidade da camada granular de espessura  $h_2$  em mm construída sobre uma plataforma com módulo de elasticidade  $E_3$ . A fórmula vale para

$2 \leq E_2/E_3 \leq 4$  e indica a importância, para o módulo de elasticidade de uma camada granular, da rigidez da plataforma sobre a qual ela será construída.

#### 4 – EQUIPAMENTO PORTÁTIL

O levantamento deflectométrico com o equipamento portátil LWD (*Light Weight Deflectometer*) permite avaliar as características de deformabilidade dos solos e materiais granulares durante o processo construtivo de modo rápido e bastante simples, sob carregamento dinâmico (Figura 4.1). O equipamento é constituído basicamente de um soquete que aplica cargas até 1,0tf em uma placa circular. Uma célula de carga mede o valor da força de impacto devido à queda de pesos de 10, 15 ou 20kgf em uma placa com 10, 20 ou 30cm de diâmetro. O valor máximo da força dinâmica é de cerca de 1.000kgf, para pulsos de carga de 30 $\mu$ s. Os deslocamentos (deflexões) são captados por geofones em tempo real e graficados na *Palm Top*, assim como o cálculo do módulo de resiliência. Permite, portanto, avaliar o comportamento não linear *in situ* dos materiais ensaiados, bem como possibilita, de modo rápido e viável, o levantamento transversal da plataforma da rodovia em construção de modo contínuo, com pequenos espaçamentos entre as estações de ensaio, com o objetivo de auxiliar a operação de compactação, otimizando o processo por meio da observação da variação das deflexões LWD com o número de passadas do equipamento de compactação, para definição do grau de compactação exigido nas especificações de serviço.

É fundamental que se proceda a um controle estatístico para avaliar o desempenho da camada, estabelecendo limites entre a deflexão pontual e a máxima observada no segmento selecionado. Pode ser utilizado o procedimento simplificado contido nos métodos DNER/DNIT PRO10 e PRO11, com a finalidade de definir segmentos homogêneos e detectar, em tempo hábil, possíveis deficiências de natureza construtiva. Sugere-se a extensão dos panos (segmentos) de 300m, com no mínimo 15 determinações iniciais. A estação de ensaio deverá, sempre que possível, situar-se verticalmente no mesmo local e imediatamente após a construção da camada



Figura 4.1 – Equipamento LWD

do pavimento, de modo a considerar, também, a faixa de umidade do material compactado, uniformizando, assim, o procedimento do ensaio.

Os procedimentos estatísticos estabelecem, portanto, o intervalo de aceitação para os valores individuais das deflexões definindo os limites mínimo e máximo para o segmento levantado, de modo a caracterizar a homogeneidade do trecho.

Um coeficiente de variação da ordem de 25% prevê um limite máximo aceitável para estudos de campo.

Lembramos que, no caso de solos, é recomendado considerar o tipo de material por meio de um sistema de classificação USCS ou MCT, no qual couber, ressaltando que o ensaio *in situ* com carregamento repetido de curta duração é o mais adequado para avaliar de modo expedito o desempenho da camada, no que tange a homogeneidade do processo construtivo.

## 5 – CONCLUSÃO

### ➤ Viga Benkelman

- A viga Benkelman tem sido utilizada como um instrumento de avaliação estrutural e de projeto de reforço, com base em critérios deflectométricos de pavimentos asfálticos já construídos;
- O carregamento quase-estático, nas medições com a viga Benkelman, induz deflexões mais elevadas que qualquer equipamento que simule a carga transiente dos veículos na rodovia;
- Não permite determinação confiável da forma e tamanho da deformada de superfície. Se a bacia de

deflexão é grande, o ponto de referência pode se encontrar dentro dela;

- Não simula a condição de solicitação do pavimento e tem elevada variabilidade das medidas, não permitindo, de modo viável, variar a carga aplicada durante o ensaio, o que é fundamental para a determinação do comportamento não linear de materiais constituintes da estrutura do pavimento. A viga não é, portanto, muito indicada para medir a capacidade de carga, no ensaio convencional, de subleitos ou de camadas sobrepostas não cimentadas;
- A viga de deflexão automatizada reproduz melhor os resultados dos ensaios de campo.

### ➤ Falling Weight Deflectometer

- O *Falling Weight Deflectometer* – FWD é um deflectômetro de impacto, desenvolvido na Dinamarca e aperfeiçoado nos Estados Unidos da América, projetado para simular o efeito da passagem da carga de um veículo nas condições de tráfego reais. O aparelho é montado sob um *trailer* que é conduzido durante a realização dos ensaios por um automóvel com capacidade média de carga;
- O ensaio consiste na queda de um conjunto de massas, a partir de uma altura prefixada, sob um sistema de amortecedores de borracha que transmite a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento. A carga de impulso pode ser variada, pela modificação da altura de queda ou pela configuração de massas utilizada. Na placa circular existe uma célula de carga que mede a carga do impacto proveniente da queda do conjunto de massas; a duração do pulso de carga varia de 0,25s a 0,30s, o que equivale aproximadamente a um veículo em movimento a cerca de 70km/h;
- Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por sete geofones (transdutores de velocidade), instalados na placa de carga e ao longo de uma barra metálica;
- Em cada estação de ensaio, é possível obter a variação ao longo do tempo das deflexões lidas em cada geofone, a forma do pulso de carga aplicado

na placa e a temperatura ambiente na superfície do pavimento;

- As vantagens do FWD resumidamente são:
  - ✓ Grande precisão na medida de deflexões;
  - ✓ Baixa dispersão das medidas;
  - ✓ Possibilidade de aplicação de vários níveis de carga num mesmo ponto;
  - ✓ Rapidez e facilidade de operação sob condições de tráfego;
  - ✓ Medida e registro automático da temperatura do ar e da superfície do pavimento, além das distâncias percorridas entre os pontos de ensaio;
  - ✓ Operação independente das condições de tempo;
  - ✓ Indicado para o controle estrutural das camadas do pavimento desde o subleito até a camada de revestimento;
  - ✓ Determinação das bacias de deflexões de forma rápida e com bastante precisão, proporcionando a análise dos módulos de elasticidade das camadas constituintes do pavimento.

Estudos de Hoffman e Thompson (1982) mostraram que a resposta produzida pelo FWD é a que mais se aproxima dos deslocamentos na superfície (deflexões) gerados por um caminhão carregado em movimento, além disso, verificaram que as deflexões medidas pela viga Benkelman, que

ocorrem sob uma carga quase estática, tendem a superestimar aquelas que ocorrem sob cargas de roda em movimento. A explicação deste fato está associada à mobilização de efeitos visco elástico que predominam no ensaio com a viga Benkelman devido à velocidade extremamente baixa do “caminhão de prova” durante a execução do ensaio. Isto significa que, da forma com que os ensaios de viga Benkelman são conduzidos, os módulos elásticos mobilizados são menores do que aqueles mobilizados durante o ensaio com o FWD, no mesmo nível de carga.

#### ➤ LWD

- Grande abrangência da área que está sendo levantada tanto no sentido longitudinal como em seções transversais, permitindo, portanto, a realização de um grande número de determinação de modo muito rápido.
- Permite otimizar o processo de compactação do material, indicando correções em áreas localizadas de modo imediato, garantindo a homogeneidade no processo executivo e aumentando a produtividade dos serviços.
- Permite de modo rápido e viável realizar medições em vários níveis de espessuras das camadas, pela remoção em pequenas áreas do material anteriormente ensaiado.

## Bibliografia

- Paterson, W.D.O. (1987) – *Road Deterioration and Maintenance Effects - models for planning and management*. The World Bank, Washington, D.C.
- Rodrigues, R.M. (1998) - *Performance prediction model for asphalt overlays with geotextile interlayers on cracked pavements*. Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, EUA, 25-29 March. 1998.
- Bonnaure, F., Gravois, A. & Udron, J. (1980) – *A new method for predicting the fatigue life of bituminous mixes*. Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 49.
- Marcon, A, F. (1996) – *Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*. Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos, SP, dezembro.1996..
- OCDE (1991) – *Essai OCDE en Vraie Grandeur des Superstructures Routières*, Rapport DIRR N° 125145, Organisation de Coopération et de Développement Économiques, Paris, France.
- Pinto, S, (1991). – *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*.Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ.
- Preussler, E. S. (1978). – *Ensaio Triaxiais Dinâmicos de um Solo Arenoso*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ.
- Pinto, S, Preussler,E,S. (2002). – *Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis*, Copiarte – Artes Gráficas Ltda, 2ª Edição. 2002.
- Hoffman,M.S. & Thompson, M.R. (1982). – *Comparative study of selected undestructive testing devices*, TRR-852.1982.
- Silva, C, A, R. (1994) – *Controle Deflectométrico na Execução de Camadas de Pavimentos*, MG. 1994.

# Ensaio de envelhecimento em concreto asfáltico contendo resíduo de areia verde de fundição

**Raquel Luísa Pereira Carnin, DSc.**

Universidade Federal do Paraná – Departamento de Química  
raquel@tupy.com.br

**Carlos Jorge da Cunha, DSc.**

Universidade Federal do Paraná – Departamento de Química  
cjcunha2003@yahoo.com.br

## RESUMO

A possibilidade do reaproveitamento do resíduo areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas pode contribuir tanto para reduzir o volume de material descartado quanto para atender à grande demanda regional de pavimentação de ruas e estradas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Nesse estudo serão analisados os envelhecimentos de corpos-de-prova do Concreto Asfáltico, contendo 15% do resíduo areia verde de fundição, bem como as análises ambientais com o objetivo de verificar se este material irá causar dano ao meio ambiente ou à saúde humana após o seu envelhecimento.

## PALAVRAS-CHAVE

Resíduo Areia Verde de Fundição, Classificação de Resíduos, Envelhecimento.

## ABSTRACT

The reclaiming foundry green sand as aggregate in asphaltic mixes contributes to the reduction of the volume of discarded material, helps meeting the large regional demand for street and road paving services and contributes to the sustainable development. This study evaluates the aging of Hot Machined Asphalt Concrete containing 15% of foundry green sand residues, as well as leaching tests in order to verify if this material would cause damage to the environment or to human health after aging.

## KEYWORDS

Foundry green sand residue, industrial residue classification, aging.

## 1 – INTRODUÇÃO

Vários resíduos industriais já são usados em materiais para construção civil e vários outros têm tido a sua viabilidade analisada. A reutilização do resíduo de areia de fundição como agregado na construção civil é atraente do

ponto de vista econômico e da proteção ao meio ambiente e justifica investimentos em estudos sobre possíveis alterações de processos e substituições de matérias-primas. Alguns estudos preliminares sobre o uso de areia verde de fundição como agregado para aplicações na construção civil já foram feitos no Brasil [COUTINHO, 2004;

STEFENON, 2003; BONET, 2002, BONIN, 1995 e BINA *et al*, 2000] e nos EUA [ABICHOU *et al*, 1999; MILLER *et al*, 1998] com resultados satisfatórios.

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são gerados cerca de 1.500.000m<sup>3</sup> por ano [MARIOTTO, 2001]. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros industriais com custos para os geradores e impactos para o meio ambiente.

Em relação aos aspectos ambientais do reaproveitamento da areia de fundição, devemos inicialmente classificá-la quanto à sua potencialidade de agressão ao ambiente e à saúde pública de acordo com a Norma da ABNT NBR 10.004.

Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados do estudo da incorporação de 15% do resíduo areia verde de fundição em misturas asfálticas envelhecidas e comparar os resultados com a norma de Classificação de Resíduos da ABNT NBR 10.004/2004.

Neste estudo o resíduo areia verde de fundição será denominado RAVF, e a areia verde de fundição será denominada de AVF.

## 1.1 – REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1.1 – A Problemática dos Resíduos de Fundição

As indústrias são consideradas como grandes geradoras de efeitos nocivos ao meio ambiente, pela própria transformação dos recursos naturais em bens e pela geração de enorme quantidade de resíduos. Considerando-se a diversidade e o porte do parque industrial brasileiro, pode-se afirmar que a quantidade e a qualidade dos resíduos sólidos gerados assumem uma importância considerável no processo de degradação do meio e de exploração de recursos naturais.

A ABNT NBR 10.004 [2004] define que resíduos sólidos são os resíduos que se apresentam no estado sólido ou semi-sólido, resultantes das atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Os resíduos sólidos são considerados como perigosos quando suas características apresentarem risco à saúde pública, provocando doenças e até a

morte ou riscos ao meio ambiente, quando gerenciado de forma inadequada.

A classificação de resíduos de acordo com a ABNT NBR 10.004 [2004] compreende desde a identificação do processo que gerou este resíduo, as características de seus constituintes e a comparação destes constituintes com as listagens de substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente já é conhecido.

A norma NBR 10.004 de 2004 classifica os resíduos nas duas classes segundo sua composição e propriedades:

- a) resíduos classe I – Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
  - resíduos classe II A – Não inertes.
  - resíduos classe II B – Inertes.

Entre as indústrias, as de fundição, em particular, geram vários tipos de resíduos, dentre eles um tipo de resíduo sólido proveniente do descarte das chamadas “areias verde de fundição”, as quais respondem pela maior parcela de peças fundidas no Brasil, sendo que aproximadamente 80% das fundições nacionais utilizam tais areias [PABLOS, 1996].

Várias pesquisas mostram que o reaproveitamento do resíduo areia verde como subproduto em outros processos é viável técnica e ambientalmente, uma vez que a adição do resíduo de areia não interferiu nas características funcionais dos produtos e o extrato lixiviado obtido nas análises das amostras não apresentou limites superiores aos da NBR 10.004. Entretanto, este procedimento ainda não é permitido pelos órgãos ambientais, uma vez que as areias de fundição são classificadas segundo a ABNT NBR 10.004 como resíduos Classe II-A (não inertes).

O RAVF é classificado como resíduo classe II A, porque apresenta no ensaio de solubilização alumínio, ferro e manganês acima do valor máximo permitido da norma ABIFA [2006].

SILVA [2007] relata em seu estudo que a norma da ABNT NBR 10.004 foi baseada no Código Federal de Registros – CFR 40 – Proteção do Meio Ambiente – Part 261 – Hazardous waste management. Este documento orienta a classificação dos resíduos em duas classes apenas: perigosos e não-perigosos; e não menciona o ensaio de solubilização de resíduos. Entretanto, a norma

brasileira classifica os resíduos sólidos em duas classes e exige o teste de solubilização que é o principal responsável pela classificação do RAVF em classe IIA.

Os órgãos ambientais do Brasil (exceção o estado de São Paulo e de Santa Catarina) utilizam a norma NBR 10.004 como parâmetro único para decidir o que fazer com o RAVF. Por isso as empresas têm de enviar para aterros comerciais ou construir aterros próprios. Isto ocorre apesar de esta Norma ter o objetivo de ser uma referência e não tem a finalidade de definir se o RAVF pode ser reaproveitado.

As areias de moldagem são extraídas da natureza, e a extração destas ocasiona um impacto ambiental. Devido a isso o reaproveitamento do RAVF deve ser incentivado de modo a extrair a menor quantidade possível da natureza, conservando as areias de rios e cavas.

### 1.1.2 – Estudo do Envelhecimento

Em decorrência das adversidades climáticas às quais os pavimentos estão sujeitos no dia-a-dia, a vida do pavimento fica prejudicada. As intempéries a que estão sujeitos os pavimentos colaboram para que a duração do pavimento seja reduzida.

É importante conhecer o comportamento mecânico do pavimento, mas também quando seu desempenho é alterado em função do envelhecimento sofrido.

O ensaio de envelhecimento é realizado a curto e a longo prazo para simular, respectivamente, o envelhecimento da mistura na fase de pré-compactação (usina, transporte e lançamento) no processo de construção e o envelhecimento que ocorre ao longo da vida em serviço (7 a 10 anos) do pavimento.

## 2 – DESCRIÇÃO GERAL E MÉTODOS INVESTIGATIVOS

O objetivo deste estudo é demonstrar que a aplicação do resíduo areia verde de fundição em Concreto Asfáltico envelhecido não apresenta riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

### 2.1 – Material e Métodos

O resíduo foi gerado no processo de moldagem de fundição de ferro, de uma empresa de fundição localiza-

da em Joinville. Os agregados utilizados neste estudo foram doados pela Rudnick Minérios, na região de Joinville, SC, já empregados na pavimentação, os quais estavam devidamente ensacados, posteriormente os mesmos foram armazenados em temperatura ambiente. Na Figura 2.1 pode-se visualizar os materiais usados no trabalho.



Figura 2.1 Materiais utilizados no Concreto Asfáltico.

### 2.2 – Preparo dos corpos-de-prova

Com base na análise granulométrica do RAVF e dos agregados, foram projetados quatro corpos-de-prova contendo 15% de areia natural e 15% de RAVF. A porcentagem ótima de asfalto foi obtida através da média aritmética dos três valores seguintes: % de asfalto correspondente à máxima densidade; % de asfalto correspondente à máxima estabilidade; e % de asfalto correspondente à porcentagem média de vazios prevista para o tipo de mistura.

Na confecção de cada corpo-de-prova, os teores projetados de frações de agregado e asfalto foram aquecidos separadamente, sendo que o ligante foi aquecido até a temperatura de 135°C e os agregados em 145°C e depois misturados, mantendo-se constante a temperatura da mistura. A mistura foi então colocada em molde cilíndrico (100mm de diâmetro e 63mm de altura) e compactada com soquete. Após resfriada à temperatura ambiente, o corpo-de-prova foi desenformado (retirado do molde metálico) e enviado para o ensaio de envelhecimento.

## 2.3 – Ensaio de Envelhecimento

Para simular o envelhecimento em curto prazo, a mistura é condicionada em uma estufa ( $135 \pm 3^\circ\text{C}$ ) com ventilação por um período de 4 horas  $\pm$  5 minutos e em longo prazo, os corpos-de-prova deverão ser colocados em estufa com ventilação ( $85 \pm 3^\circ\text{C}$ ) por um período de 120 horas (5 dias)  $\pm$  30 minutos.

Conforme Coutinho [2004], os procedimentos para o envelhecimento em curto prazo (AASHTO PP2-00), em linhas gerais, são:

- ✓ Colocar a mistura em uma bandeja e espalhá-la em camada uniforme, com espessura de 25 a 50mm;
- ✓ Condicionar a mistura, devidamente espalhada, em estufa ventilada, a uma temperatura de  $135 \pm 3^\circ\text{C}$ , por um período de 4 horas  $\pm$  5 minutos;
- ✓ Mexê-la a cada 60 minutos  $\pm$  5 minutos, para garantir o acondicionamento uniforme;
- ✓ Retirar a mistura da estufa, após o período de acondicionamento. A mistura, envelhecida em curto prazo, está pronta para ser condicionada na temperatura de compactação e ser compactada, posteriormente.

Os procedimentos para o envelhecimento em longo prazo (AASHTO PP2-00) são:

- ✓ Compactar os corpos-de-prova, conforme o método especificado (Marshall);
- ✓ Após compactação, deixar os corpos-de-prova em temperatura ambiente por um período de  $16 \pm 1$  hora. Extraí-los do molde, após um período de duas a três horas do término da compactação. O esfriamento dos corpos-de-prova, geralmente, é programado para a noite, contudo pode ser adiantado, com a colocação de um ventilador em frente ao corpo-de-prova;

Para simular o envelhecimento em longo prazo, condicionar os corpos-de-prova em estufa ventilada, a uma temperatura de  $85 \pm 3^\circ\text{C}$ , por um período de 120  $\pm$  0,5 horas;

- ✓ Após este período, desligar a estufa, abrir as portas para permitir o esfriamento dos corpos-de-prova em temperatura ambiente, por um período de, aproximadamente, 16 horas. Não tocar ou remover as amostras durante este período;

- ✓ Após esfriamento, em temperatura ambiente, remover os corpos-de-prova da estufa. Os corpos-de-prova estão prontos para serem ensaiados.

## 2.4 – Análises Ambientais

A fim de verificar o comportamento ambiental do material envelhecido, contendo 15% de RAVF, foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização segundo normas ABNT, aplicada aos resíduos 100% sólidos, no laboratório TASQA, em Paulínia-SP. Também foi realizada a análise de toxicidade aguda. Os corpos-de-prova de concreto asfáltico foram triturados, antes do preparo dos extratos, para expor os possíveis contaminantes ao líquido extrator simulando o pior cenário de risco ambiental.

### • Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)

Uma amostra do resíduo seco é peneirada em malha de 9,5mm, e 100g do material passante são transferidos para um frasco de lixiviação contendo 2.000 mL de solução de extração com agitação de  $(30 \pm 2)$  rpm durante  $(18 \pm 2)$ h à temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . O filtrado obtido é denominado de extrato lixiviado. No extrato lixiviado são analisados diversos parâmetros selecionados por procedimentos específicos.

### • Ensaio de Solubilização (NBR 10.006)

Uma amostra do resíduo seco é peneirada em malha de 9,5mm, e 250g do material passante são transferidos para um frasco contendo 2.500 mL de água deionizada. O frasco é coberto e deixado em repouso por sete dias, em temperatura até  $25^\circ\text{C}$ . O filtrado obtido é denominado de extrato solubilizado. No extrato solubilizado são analisados diversos parâmetros selecionados por procedimentos específicos.

### • Ensaio de Toxicidade (*Daphnia magna*)

Os ensaios ecotoxicológicos para a determinação da toxicidade aguda de amostras líquidas foram realizados pela Assessoria Ambiental UMWELT Ltda, localizada em Blumenau-SC. Os ensaios foram baseados na Norma ABNT NBR 12.713, a qual faz uso do organismos-teste (bioindicador): o microcrustáceo *Daphnia magna*. O ensaio consiste na exposição do bioindicador à amostra em diluições sucessivas,

sob condições experimentais estritamente controladas, e na avaliação do efeito tóxico da mesma, que se manifesta por meio da inibição da capacidade natatória do microcrustáceo.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3.1, são mostrados os resultados do ensaio de solubilização dos materiais utilizados no estudo, com exceção dos agregados graúdos. O cimento asfáltico de petróleo – CAP 20 e os corpos-de-prova atendem aos parâmetros estabelecidos na norma de classificação de resíduos.

Nas Tabelas 3.3 e 3.4, estão apresentados os resultados do ensaio de solubilização e lixiviação dos corpos-de-

sentam riscos ao meio ambiente. No entanto, os ensaios descritos na norma da ABNT NBR 10.004 classificam o RAVF como não inerte, porém, a areia natural (usada em pavimentação) também apresentou parâmetros acima do permitido pela legislação.

Os teores de sódio, alumínio e sulfato, no RAVF, excedem os valores máximos permitidos. A fonte destes parâmetros é a água de abastecimento urbano utilizada na produção da areia de moldagem, que é tratada por sulfato de alumínio, hidróxido de cálcio, fluorsilicato de sódio e ortopolifosfato de sódio. Os teores originais destes parâmetros na água de abastecimento não são elevados, porém, a água adicionada continuamente à areia de fun-

**Tabela 3.1 – Resultados de Solubilização dos Materiais Utilizados no Estudo e dos Corpos-de-prova Não Envelhecidos.**

Parâmetros	Areia Natural	RAVF	CAP-20	Corpo-de-prova 15% Areia Natural	Corpo-de-prova 15% RAVF	LQ <sup>(1)</sup>	VMP <sup>(2)</sup>
Alumínio	14,9	55,45	0,013	0,025	0,17	0,05	0,2
Bário	0,10	0,5	0,053	0,059	0,064	0,003	0,7
Cádmio	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,004	0,005
Cromo	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,013	0,05
Fenóis	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,004	0,001	0,01
Ferro	4,55	20,7	< LQ	0,041	< LQ	0,02	0,3
Manganês	0,052	0,13	< LQ	0,025	< LQ	0,02	0,1
Sódio	0,94	210	0,35	0,72	5,98	0,1	200
Sulfato	4	300	< LQ	< LQ	< LQ	1	250

<sup>(1)</sup> LQ = Limite de Quantificação / <sup>(2)</sup>VMP = Valor Máximo Permitido

prova envelhecidos. Os resultados da análise de lixiviação atenderam a todos os parâmetros estabelecidos, demonstrando que o corpo-de-prova envelhecido contendo 15% de RAVF não é perigoso. A Tabela 3.3 mostra os resultados de toxicidade aguda. Neste estudo apenas serão mostrados os parâmetros alumínio, cromo, ferro, manganês, sódio e sulfato, por serem os elementos que ultrapassam os valores máximos permitidos na norma da ABNT NBR 10.004 quando o RAVF é submetido ao ensaio de solubilização.

Conforme mostra a Tabela 3.5, o RAVF se enquadra na categoria de indústria metal-mecânica de acordo com a Portaria 017/02 FATMA.

Os resultados dos ensaios ambientais realizados em amostras de areia natural e em massa asfáltica com 15% de RAVF concluem que estes são materiais que não apre-

dição é evaporada, mas estes constituintes não. Ao longo do tempo há um aumento da concentração destes parâmetros, atingindo os patamares encontrados. Este processo é semelhante ao da salinização de solos irrigados com água potável. Os parâmetros ferro e manganês no RAVF são provenientes do ferro fundido que contamina o RAVF. Os resultados das análises ecotoxicológicas

**Tabela 3.2 – Resultados do Ensaio de Toxicidade Aguda com *Daphnia magna* dos Materiais não Envelhecidos**

Amostras	Resultado	VMP <sup>(1)</sup> FATMA <sup>(2)</sup>
RAVF	FT <sub>D</sub> = 2	4
Corpo-de-prova c/ 15% RAVF	FT <sub>D</sub> = 1	4

<sup>(1)</sup>VMP para empresas do ramo metal-mecânico <sup>(2)</sup>FATMA = Órgão Ambiental de Santa Catarina

Tabela 3.3 – Resultados de Solubilização dos Corpos-de-prova Envelhecidos

Parâmetros	Corpo-de-prova 15% Areia Natural	Corpo-de-prova 15% RAVF	LQ <sup>(1)</sup>	VMP <sup>(2)</sup>
Alumínio	0,18	0,25	0,05	0,2
Ferro	0,1	0,1	0,02	0,3
Manganês	< LQ	< LQ	0,02	0,1
Sódio	2,41	13,9	0,1	200
Sulfato	< LQ	13	1	250

<sup>(1)</sup> LQ = Limite de Quantificação / <sup>(2)</sup> VMP = Valor

Tabela 3.4 – Resultados de Lixiviação dos Corpos-de-prova Envelhecidos

Parâmetros	Corpo-de-prova 15% Areia Natural	Corpo-de-prova 15% RAVF	LQ <sup>(1)</sup>	VMP <sup>(2)</sup>
Alumínio	0,21	0,19	0,005	0,2
Ferro	0,69	0,48	0,02	0,3
Manganês	0,1	0,15	0,02	0,1
Sódio	1207	1230	0,01	200
Sulfato	< LQ	< LQ	2	250

<sup>(1)</sup> LQ = Limite de Quantificação / <sup>(2)</sup> VMP = Valor Máximo Permitido

confirmaram que tanto o RAVF quanto a massa asfáltica contendo 15% de RAVF não apresentam riscos toxicológicos e também confirmam que os íons presentes no solubilizado da massa asfáltica foram aprisionados pelo CAP-20.

Conforme os resultados expostos na Tabela 3.2, o corpo-de-prova envelhecido contendo RAVF apresentou o parâmetro alumínio acima do permitido pela norma, porém, em estudos preliminares realizados com a areia natural, esta também apresentou alumínio acima do permitido.

Os resultados de toxicidade dos corpos-de-prova envelhecidos mostram que não houve liberação de contaminantes que pudessem comprometer o meio ambiente e a saúde humana.

#### 4 – CONCLUSÕES

Os estudos de classificação dos corpos-de-prova com RAVF demonstraram que as espécies químicas dos parâmetros críticos foram todas encapsuladas no concreto asfáltico, de tal modo que nenhum deles extrapolou os limites máximos estabelecidos na lei, mesmo quando o corpo-de-prova foi envelhecido e triturado. A única ex-

Tabela 3.5 – Resultados do Ensaio de Toxicidade Aguda com *Daphnia magna*.

Amostras Envelhecidas	Resultado	VMP <sup>(1)</sup> FATMA <sup>(2)</sup>
Corpo-de-prova c/15% de areia natural	FT <sub>D</sub> = 2	4
Corpo-de-prova c/15% RAVF	FT <sub>D</sub> = 1	4

<sup>(1)</sup> VMP para empresas do ramo metal-mecânica / <sup>(2)</sup> FATMA = Órgão Ambiental de Santa Catarina

ceção foi o parâmetro alumínio, que extrapolou ligeiramente o limite máximo no teste de solubilização, realizado no corpo-de-prova envelhecido. O RAVF e o corpo-de-prova com RAVF não apresentaram toxicidade aguda ao organismo de referência *Daphnia magna*.

#### 5 – AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho gostariam de registrar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições: Tupy S.A., Universidade Federal do Paraná, Rudnick Minérios, Ipiranga Asfaltos (em especial Marcos Moreira e Humberto do Nascimento), Unicamp – Ceset de Limeira em SP (em especial aos professores Ednéia Parada e Adilson Rossini).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHOU, Tarek; BENSON, Craik; EDIL, Tuncer. Beneficial Reuse of Foundry By-Products. American Foundrymen's Society, Inc. Research Report. University of Wisconsin-Madison, Madison, 1999, 50p.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. ASSTHO DESIGNATION: PP2-00: Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA). Washington, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – ABIFA. Areias de Fundição de Ferro Descartadas: A Visão da ABIFA. Revista Fundição e Matérias-primas. Edição 78, p. 54 – 61, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10.004/2004. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10.005 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10.006 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. Amostragem de Resíduos Sólidos. NBR 12007. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. Água – Ensaio de Toxicidade Aguda com Daphnia similis Claus, 1876 (Cladocera, Crustácea). NBR 12.713. Rio de Janeiro, 1993.
- BINA, Paulo; ALVES, José H.; BONIN, André L.; YOSHIMURA, Humberto N. Metodologia de Análise e Aprovação de Utilização de Rejeitos Industriais na Construção Civil: Estudo de Caso de Uso de Areia de Fundição de Descarte para Pavimentação. Monobeton Soluções Tecnológicas Ltda – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. São Paulo, 2000.
- BONET, Ivan Ideraldo. Valorização do Resíduo Areia de Fundição (RAF). Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo CBUQ. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
- BONIN, André Luís. Reutilização da Areia Preta de Fundição na Construção Civil. Congresso de Fundição. São Paulo, p-203-221. Setembro, 1995.
- COUTINHO, Benedito Neto. Avaliação do Reaproveitamento de Areia de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Tese de Doutorado (Engenharia de Transportes). Universidade de São Carlos. São Carlos, 2004.
- MARIOTTO, L. C. Regeneração de Areias de Fundição. São Paulo: IPT, 2001.
- MILLER, E.; BAHIA, H.; KHATRI, A.; WINTER, M. Utilization of Foundry Sand in Hot Mix Asphalt. University of Wisconsin at Madison, July 1998. Final Report submitted to University-Industry Relationships.
- PABLOS, Javier Mazariegos. Utilização do resíduo sólido gerado pelo descarte em matriz de cimento. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Paulo – USP, 1996.
- SILVA, Tatiane da. Comparativo Entre os Regulamentos Existentes para Reutilização de Resíduos de Fundição. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.
- STEFENON, Fernando. Incorporação de Resíduos Industriais em Concreto Betuminoso Usinado à Quente. Universidade de Caxias do Sul. Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Caxias do Sul, 2003.

## Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

1. A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.
2. A Revista pode também apresentar eventualmente matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.
3. Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte dependendo do número de matérias selecionadas.
4. Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.
5. Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:
  - (I) O trabalho é aceito para publicação;
  - (II) O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
  - (III) O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.
6. Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.
7. O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição, que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.
8. O autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais, já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.
9. As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor(es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura.
10. As contribuições podem ser de no mínimo duas e de no máximo 15 páginas em formato A4, editoradas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica. As referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras e indicar de três a cinco palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente ser aceitos a critério da Editoria da revista.
12. Estas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material.

## Basic Guidelines for submitting articles and technical contributions

1. PAVIMENTAÇÃO Journal is a technical-scientific publication by ABPv. All contributions to the Periodical must be exclusively technical and must be open to partners and professionals of the Road, Railroad and Airport Engineering, both national and international.
2. The Journal may eventually also present special contents, written by your editorial technical staff and by the board of directors of ABPv, as a way of publishing opinions or comments that are considered relevant as the “voice” of ABPv.
3. All articles and contributions such as unpublished technical notes may be sent all year long so that they can be published in one of the four annual editions or in the following year, depending on the number of selected contents.
4. All papers, whether scientific, technical or any other issue forwarded to eventual publication will be evaluated by three professionals who are members of the Technical-Scientific Committee of the Journal, and will be chosen according to the profile of the content to be evaluated. Those who evaluate the papers will not be able to know either authors or papers before the evaluation, and authors will not be allowed to know the identity of those who will be chosen to evaluate their papers.
5. The experts who evaluate papers receive from ABPv a questionnaire that indicate the items to be evaluated in each contribution/paper sent to PAVIMENTAÇÃO Journal, and they may suggest three options in order to forward them:
  - (I) The paper is accepted and sent to publication;
  - (II) The paper is not accepted to publication and will be sent back to the author;
  - (III) The paper might be accepted, if the author agrees with making some changes which may be suggested by one or more experts.
6. It is up to the Board of Directors to judge all negligent cases and allow the publication of papers and contributions that are not all technical, eventually, due to approached subjects and space availability.
7. The evaluation result of any contents sent to PAVIMENTAÇÃO Journal will be informed to the authors and they will also be informed of what will happen to their contribution, which could be: immediate publication in the next edition; publication in the following editions, due to excessive papers; no publication at all.
8. Author or authors of the accepted contributions must agree with publicizing their contents with no copyrights, since ABPv is a non-profitable entity and PAVIMENTAÇÃO Journal is preferably destined to its partners and it won't be used to make profits.
9. All contributions to PAVIMENTAÇÃO Journal must be preferably sent over the internet, and they may be written in PDF format, only while the Committee evaluates the papers. All the original papers must be produced in Microsoft Word. All figures must be on separated sheets, and at least 300dpi resolution. If it's a digital figure, then the resolution must be that of at least 3.2 mega pixels. If those figures do not belong to the author, they will be responsible for both credits and references and authorization for publicizing them. On graphics, authors must not use colors and must use symbols which can clearly distinguish all relevant information of the figure.
10. Contributions must be of at least 2 pages and 15, at most, in A4 format, Times New Roman, size 12, single spacing. A bigger number of pages might be accepted in extraordinary cases, depending on the Journal's Editor.
11. Foreign papers should be sent in their native language, and it is up to the author to translate it into Portuguese. Writing and language must be appropriated and correct, and authors are responsible for proofreading and bibliographic references. Articles must also present an abstract of about 200-300 words and indicate up to 5 keywords.
12. These specifications might eventually be reviewed, at any-time, by the Journal's Editor and by the Board of Directors of ABPv, being necessary for all sent articles to have followed the existing rules at the time they were submitted.

## Normas básicas para la admisión de artículos y contribuciones técnicas

1. La Revista PAVIMENTAÇÃO es una publicación técnica y científica de divulgación de la ABPv. Las contribuciones para la revista deben ser de carácter exclusivamente técnico y están abiertas a los socios y profesionales de Ingeniería de Carreteras, Ferroviaria y Aeroportuaria nacional e internacional.
2. La Revista también puede presentar eventualmente notas especiales redactadas por su cuerpo técnico editorial y por la dirección de ABPv como forma de divulgación de opiniones o comentarios considerados relevantes como “voz” de la ABPv.
3. Los artículos y contribuciones como nota técnica, inéditos, pueden ser enviados en cualquier época del año para que sean publicados en una de las cuatro ediciones anuales o incluso en el año siguiente dependiendo del número de notas seleccionadas.
4. Los trabajos, sean científicos, sean técnicos o de otra naturaleza enviados para una eventual publicación, serán sometidos a la evaluación de tres profesionales que componen el Comité Técnico Científico de la Revista, elegidos de acuerdo con el perfil del material a ser examinado. A los evaluadores no les será dado a conocer los autores del artículo o trabajo antes de la evaluación y también será vedada la divulgación de los evaluadores para los autores.
5. Los evaluadores reciben de la ABPv un cuestionario indicativo de los ítems a ser examinados en cada contribución para la Revista PAVIMENTAÇÃO, pudiendo sugerir tres opciones de encaminamiento:
  - (I) El trabajo es aceptado para publicación;
  - (II) El trabajo no es aceptado para publicación y entonces será devuelto a los autores;
  - (III) El trabajo podrá ser aceptado caso los autores concuerden en hacer algunas modificaciones sugeridas por uno o más evaluadores.
6. Cabe a la Dirección de la ABPv dictaminar los casos omisos y autorizar la publicación de contribuciones de carácter no técnico, eventualmente, en función de los asuntos abordados y de la disponibilidad de espacio.
7. El resultado de la evaluación de cualquier material encaminado a la Revista PAVIMENTAÇÃO será llevado al conocimiento de los autores de los mismos informando el destino que se le dará a su contribución que puede ser: publicación inmediata en el próximo número a ser lanzado, publicación en número subsiguiente debido al exceso de contribuciones o la no publicación.
8. El autor de las contribuciones aceptadas para publicación debe concordar con la reproducción de su material sin ningún derecho a cualquier costo de derechos de autor ya que la ABPv es una entidad sin fines de lucro y la Revista PAVIMENTAÇÃO se destina preferentemente a los socios y no será utilizada para la venta con fines de lucro.
9. Las contribuciones para la Revista PAVIMENTAÇÃO deben ser dirigidas preferentemente a través de medio digital, pudiendo estar en formato PDF solamente en la fase de examen del Comité. Los originales deberán ser producidos en programa Microsoft Word. Las figuras deberán entregarse por separado, con resolución mínima de 300dpi. Caso la foto sea digital, la resolución deberá ser como mínimo de 3.2 mega pixels. No siendo las fotos de el(los) autor(es), este(estos) será(n) responsable(s) por declarar los créditos de las mismas y obtener la autorización para la publicación. En los gráficos, evitar utilizar colores y dar preferencia a símbolos que puedan diferenciar claramente las informaciones relevantes de la figura.
10. Las contribuciones pueden ser como mínimo 2 y como máximo 15 páginas en formato A4, editadas en fuente Times New Roman, tamaño 12, espacio simple. Número mayor de páginas podrá ser aceptado en casos excepcionales según criterios de la Editora de la Revista.
11. Los artículos extranjeros deberán ser enviados en el idioma original, quedando facultativo al autor encaminar la debida traducción para el idioma portugués. El lenguaje debe ser adecuado y correcto, siendo responsabilidad de el(los) autor(res) la revisión ortográfica y las referencias bibliográficas. Los artículos también deberán presentar resumen de 200 a 300 palabras e indicar de 3 a 5 palabras claves.
12. Estas especificaciones pueden ser eventualmente revisadas según criterio de la Editorial de la Revista y la Dirección de la ABPv a cualquier tiempo, cabiendo a los artículos y contribuciones ya sometidos adecuarse siguiendo las reglas existentes a la época de la admisión de su material.

# Na carta de um colega, as informações técnicas



FOTO: GEORGINA LIBERIO MEYER

## Atahualpa Schmitz da Silva Prego

Certa ocasião, no DVO/DCP, discutia-se o esquema de montagem da fiscalização de obra. O volume de concreto pretendido e de concreto armado era muito grande, de forma que o controle da concretagem demandaria trabalho especializado para obtenção de resultados rápidos e satisfatórios, permitindo o fluir da concretagem.

Fiquei por algum tempo pensando em nome, até que veio-me à mente o do Eng. Toscano. Lembrei-me do ilustre engenheiro porque ele falava o francês, razoavelmente o inglês, o português e o italiano, sua língua mater. Esta-va, portanto, apto para assistir às aulas no Laboratório de Concreto do Ponts e Chaussés em Paris. O curso abordaria as medidas de resistividade do concreto capazes de fornecer valores de resistência à compressão.

Aprovada a idéia, o engenheiro preparou-se para a viagem, freqüentou o curso e na ocasião, na capital francesa, teve contato com o Eng. Antônio Pimenta, conhecedor profundo do capítulo Geotecnia das Geociências.

Na oportunidade, Toscano transmitiu ao colega que vi-ria falecer alguns anos depois na trágica queda de aeronave em Tocantins as diferentes questões e indagações que lhe havia feito sobre solos lateríticos e/ou laterisados. Antônio Pimenta juntou aos seus esclarecimentos pessoais a carta que recebi no Brasil, cujo texto manuscrito reproduzo e transcrevo:

*“Prezado colega Atahualpa,*

*Pela presente venho responder-lhe sua carta de 20/8 próximo passado. Aliás, já o conhecia de muito, primeira-mente através de meu cunhado Rafael Gontijo, e posteri-ormente por intermédio das referências do Toscano, refe-rências, aliás, muito elogiosas.*

*Quanto ao principal assunto de sua carta, ou seja, o ensaio de expansibilidade, informo-lhe o seguinte: 1) O colega português que lhe foi apresentado no Rio de Janei-ro foi o Eng. Ulpio Nascimento, atual chefe da seção de Geotecnicado LNEC; 2) O ensaio de expansibilidade não procura controlar a plasticidade dos solos laterísticos. Tenta medir a propriedade expansiva das argilas de maneira mais precisa que os métodos usados comumente. Consideran-do-se que os solos lateríticos não expandem, ou expandem pouco, tentou-se uma maneira de classificar o grau de laterisação pela sua propriedade de expandir mais ou me-nos. Aliás, é ponto pacífico de que tem pouco sentido a plasticidade nos solos lateríticos. 3) Quanto ao ensaio de expansibilidade, ele já foi totalmente modificado e norma-lizado um pequeno aparelho. Trouxe comigo esse e ofere-ço-lhe quer seja para executar algum ensaio ou para servir de modelo para executar um aparelho para seu uso pes-soal. Quando trouxe o aparelho de Lisboa comprometi-me de deixar que esse servisse como matriz para outros que seriam executados aqui. Sendo assim, com maior razão ponho-o à sua disposição.*

*Pelo Toscano fiquei sabendo que você se interessa pela estabilização com cal. Em encontro próximo que pos-samos ter, espero que troquemos impressões sobre o pro-blema. Assim, rapidamente, posso lhe informar o seguinte. A experiência européia sobre o assunto é mais laboratorial que de canteiro. Na França, o assunto em certas áreas tor-na-se até ‘tabu’. Não sei se em razão do ‘todo poderoso’ grupo do cimento.*

*Em Portugal, deixei uma pesquisa bastante interessante sobre o assunto. Aqui também estou querendo trabalhar no mesmo problema, mas meio que na surdina. Trouxe comigo alguma bibliografia sobre o assunto que considero quase completa. De tudo o que vi e conversei sobre o assunto, posso resumir o seguinte: as misturas com solo-cal têm sido usadas com sucesso para correção de plasticidade, correção*

aparelhos e operaco - lle quer seja para executar - ll al  
 que ensaio ou para servir de modelo para executar  
 um aparelho para ser uso pessoal. Quando houve  
 o aparelho de Lisboa comprometi-me a deixar que esse  
 servisse como matriz para outros que seriam exo-  
 cutados aqui. Pendo assim, com melhor razao fo-  
 ulho-o à sua disposicao.

Falo Roseano ficou sabendo que voce se interessa  
 muito pela estabilizacao com cal. Em um encontro  
 proximo que fossamos ter espero que te queiramos  
 prestar sobre o problema. Assim rapidamente, foz  
 informar-lhe o seguinte:

a experiencia europeia sobre o assunto e mais  
 laboratorial que de canteiro. Na Franca o assunto  
 razeo do "todo poderoso" quefo do cimento,  
 em Portugal deixei uma pessoa bastante adian-  
 tado sobre o assunto. Aque tambem esta queren-  
 do trabalhar, mais no sentido no mesmo proble-  
 ma. Trouxe como que alguma bibliografia sobre o  
 assunto que considero completa. De tudo que vi e  
 conversei sobre o assunto fozo resumir no seguinte: -  
 As misturas solo-cal tem sido usadas com sucesso  
 para correcao de plasticidade, correcao de expansao e  
 correcao granulometrica. Nesse ultimo caso ha um peq-  
 ueno fisico-quimico que diminui a quantidade do mate-  
 rial passando na peneira 200. Como elemento estabi-  
 lizador a experiencia e ainda discutivel.

Como se temos assuntos para conversar muito,  
 Deixo entretanto para em "tete a tete".

Aqui fico a seu inteiro dispor e com um  
 forte abraço,

Antônio Pimenta

de expansão e correção granulométrica. Nesse último caso há um fenômeno físico-químico que diminui a quantidade de material passando na peneira 200. Como elemento estabilizador, a referência ainda é discutível.

Como se vê temos assunto para conversar muito. Deixo, entretanto, para um 'tête-à-tête'.

Aqui fico ao seu inteiro dispor e com um forte abraço,

Antônio Pimenta"

Na carta sucedeu pequeno engano quando Pimenta se refere ao encontro com o Eng. Ulpio, que ocorreu em Brasília no final do primeiro semestre de 1959. Falou-me ele da curiosidade em saber do trato geotécnico dado nas lateritas de Brasília, a maneira de compactá-las, os serviços de nosso laboratório nos estudos e controle. As lateritas afri-

canas foram exaustivamente estudadas, fizeram 10.000 m<sup>2</sup> no mesmo prazo de um ano, no qual a NOVACAP construiu um milhão de m<sup>2</sup>.

Expliquei da impossibilidade nos- sa em reunir todas as informações, dado o enorme volume de trabalho que havíamos de realizar até 21 de abril de 1960. Minhas atribuições estavam no limite. Sobre a estabilização química solo-cal, inteirei-me na literatura técnica inglesa relatando ser- viços na Índia.

Na ocasião, em 1956, li também artigo em revista técnica sobre o ani- versário de 40 anos de barragem cons- truída de solo-cal. As duas fontes fize- ram-me realizar algumas misturas no laboratório da Mendes Junior – bem aparelhado e operado por pessoal ca- paz –, bem como construir, em 1967, três trechos experimentais de base es- tabilizada na plataforma da BR-020, defronte à cidade satélite de Sobradi- nho/DF, sob fiscalização do DER-DF. Naqueles ensaios e experimentos cons- tatamos a capacidade da cal, hidratada e finalmente pulverisada, de agrupar em

partículas maiores os finos do solo. Passados 20 anos volta- mos aos trechos experimentais, com o pessoal do Laborató- rio de Solos e Revestimentos da NOVACAP, realizando verifi- cações, medidas laboratoriais, obtendo dados valiosos. Ha- via como obstáculo a falta de uniformidade e pureza indus- trial da cal. Naqueles experimentos importamos a cal de Belo Horizonte.

Em 1987, realizamos uma série de verificações cons- tatando bons resultados sob tráfego pesado crescente de caminhões e carretas. Quanto ao aparelho para medida cômoda e rápida da expansibilidade, deixei-o no labo- ratório da NOVACAP, após pequeno número de tes- tes, passou ao uso rotineiro. Relacionava a baixíssima expansibilidade da laterita com o índice de plasticidade, que deixaria de existir por falta de umidade suficiente.



**50 ANOS**



# ABPv2009

## IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço

Comemoração dos 50 Anos da ABPv

— FORTALEZA - CE / BRASIL —

De 7 a 9 de outubro de 2009

### TEMAS

- Avaliação de Pavimentos
- Equipamentos e Métodos
- Métodos de Projeto de Reforço
- Retroanálise de Bacias de Deflexão
- Sistema de Gestão de Pavimentos
- Reciclagem de Pavimentos
- Técnicas de Reforço de Pavimentos
- Uso de Geossintéticos em Reforço de Pavimentos
- Técnicas de Anti-reflexão de Trincas
- Equipamentos de Construção e sua Utilização
- Novas Metodologias

Envio de Resumo:  
31 de março de 2009  
Resultado da avaliação dos resumos:  
20 de abril de 2009  
Envio do artigo completo:  
18 de maio de 2009  
Aceite final:  
30 de maio de 2009

### THEMES

- Pavements Evaluation
- Equipments and Methods
- Methods on Pavement Evaluation and Overlay Design
- Retro-Analysis of Pavement Deflection Basin
- Pavement Management
- Pavement Recycling Technologies
- Techniques of Reinforcement of Pavements
- Geosynthetic Pavement Reinforcement
- Anti-Reflection Crack's Techniques
- Construction Equipments
- New methodologies

Accepting abstracts:  
March 31, 2009  
Publishing the results (abstract):  
April 20, 2009  
Receiving full paper in DOC format:  
May 18, 2009  
Publishing the final results:  
May 30, 2009

### TEMAS

- Evaluación de Pavimentos
- Equipamientos y Métodos
- Metodologías de Refuerzo de Pavimentos
- Retroanálise de Deformadas
- Gerenciamento de Pavimentos
- Reciclaje de Pavimentos
- Técnicas para el refuerzo de pavimentos
- Uso de Geossintéticos en Pavimentos
- Soluciones Técnicas para Trincas de Reflexión
- Equipo de construcción y su uso
- Nuevas metodologías

Envío de resúmenes:  
31 de marzo de 2009  
Resultado de la evaluación de los resúmenes:  
20 de abril de 2009  
Envío del artículo completo em formato DOC:  
18 de maio de 2009  
Resultado final:  
30 de maio de 2009

Local: Hotel Gran Marquise

Av. Beira Mar - Nº 3980 - Fortaleza, CE

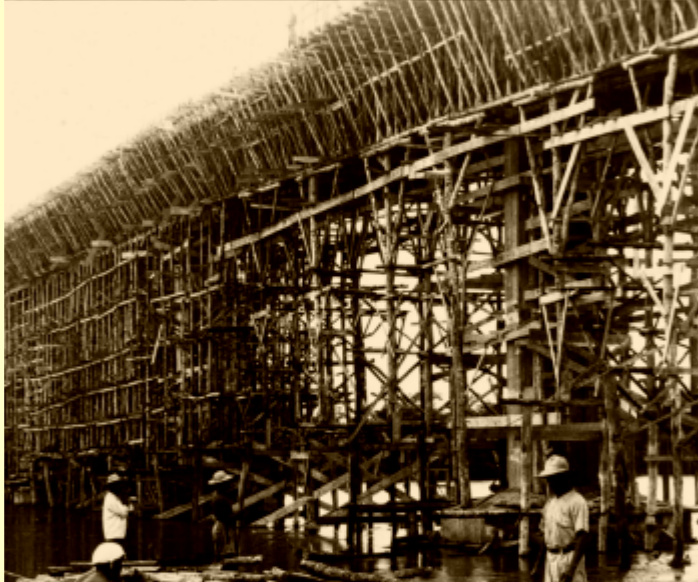
## ABPv

Há 49 anos promovendo  
a técnica  
da pavimentação



Maiores informações  
[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br)

# FORTALEZA



Há 50 anos ...  
As dificuldades que enfrentavam os nossos engenheiros,  
no desbravamento do país.