

REVISTA

**ABRV**

Associação Brasileira de Pavimentação



**PAVIMENTAÇÃO**

Ano V – Nº 19 – Out/2010 – Fev/2011 – www.abpv.org.br – ISSN 1809-1865

# **Considerações sobre pavimentos de passagens subterrâneas e túneis viários urbanos**

**Carlos Yukio Suzuki, Caio Rubens Gonçalves Santos,  
Santi Ferri, Flaviane Melo Lopes,  
Angela Martins Azevedo e Raphael Daibert**

# 17ª

18 a 20 | outubro | 2011

Hotel Plaza São Rafael  
Porto Alegre | RS

## REUNIÃO DE

# PAVIMENTAÇÃO URBANA



Participe e conheça as novidades em materiais, técnicas e estudos da pavimentação!

### Temas:

- Financiamento a municípios;
- Materiais para pavimentação;
- Estudos e projetos de pavimentos;
- Manutenção, restauração e gerência de vias;
- Técnica de construção e controle de qualidade de pavimentos;
- Segurança e meio ambiente em vias;
- Abertura e reaterro de valas de redes subterrâneas;
- SMS (Saúde do Trabalho, Meio Ambiente e Segurança do Trabalhador);
- Preparação das cidades para a Copa 2014.

### Trabalhos:

- 15/04 - entrega de resumo, enviar para: [17rpubana@gmail.com](mailto:17rpubana@gmail.com)
- 30/04 - notificação de aceite do resumo
- 17/06 - prazo final para entrega de trabalho em Word
- 31/07 - notificação de aceite de trabalho
- 27/08 - prazo final para trabalho revisto

Para acessar o arquivo padrão de trabalho técnico acesse o endereço abaixo:

[http://www.rpu.org.br/Normas\\_de\\_Trabalhos\\_ABPv17RPU.doc](http://www.rpu.org.br/Normas_de_Trabalhos_ABPv17RPU.doc)



Realização



Secretaria Executiva



Informações

51 3231.0311

[rpu17@specialitaeventos.com.br](mailto:rpu17@specialitaeventos.com.br)

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

## REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano V – Nº 19 – Out/2010 – Fev/2011

ISSN 1809-1865



Rua Miguel Couto, 105 – Sobrelomas 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>a</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

#### GESTÃO 2008-2010

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>o</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>a</sup> GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

#### GESTÃO 2011-2013

Presidente: Eng<sup>o</sup> JOSÉ PEDRO DOS SANTOS VIEIRA COSTA

Vice-Presidente: Eng<sup>o</sup> EDUARDO ALBERTO RICCI

Diretor Administrativo: Eng<sup>o</sup> FERNANDO AUGUSTO JÚNIOR

Diretor Técnico: Eng<sup>a</sup> MICHÉLE DAL TOÉ CASAGRANDE

Diretor Financeiro: Arq<sup>a</sup> GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

Diretor de Divulgação: Eng<sup>o</sup> CRISTIANO DA COSTA MOREIRA

### COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng<sup>o</sup> Alfredo Monteiro de Castro Neto; Eng<sup>o</sup> Antônio Fortunato Marcon; 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> Djalma Rocha A. M. Pereira; Eng<sup>o</sup> Douglas Fadul Villibor; Eng<sup>o</sup> Dulcevir Guerreiro Vilar de Melo; Eng<sup>o</sup> Edinaldo Afonso Marques de Melo; Eng<sup>o</sup> Eduardo Alberto Ricci; Eng<sup>o</sup> Fernando Augusto Jr.; Eng<sup>o</sup> Genésio Almeida da Silva; Arq<sup>a</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> José Leomar Fernandes Junior; Eng<sup>o</sup> José Tadeu Balbo; Eng<sup>a</sup> Laura M<sup>a</sup> Goretti da Motta; Eng<sup>o</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> Márcio Muniz de Farias; Eng<sup>o</sup> Marcílio Augusto Neves; Eng<sup>a</sup> Maria da Conceição M. Azevedo; Eng<sup>o</sup> Nilton de Souza Campelo; Eng<sup>o</sup> Paulo Romeu Assunção Gontijo; Eng<sup>o</sup> Prepredigna D. E. Almeida da Silva; Eng<sup>a</sup> Rita Moura Fortes; Eng<sup>o</sup> Salomão Pinto; Eng<sup>o</sup> Silvío Rodrigues Filho; Eng<sup>o</sup> Saul Birman; Eng<sup>o</sup> Walter Canales Sant'ana; Eng<sup>o</sup> Washington Pérez Nuñez.

Tradução: Mariana Ricci

Editoração: MURO Produções Gráficas – Revisão: Ellis Pinheiro

Periodicidade: Trimestral – Tiragem: 5.000 exemplares

Impressão: Gráfica e Editora Cruzado Ltda



### Nossa capa:

Tunel Rodovia Carvalho Pinto

Foto: Georgina Libório Azevedo

## Sumário

- 2 Editorial
- 3 Palavra do Presidente
- 4 Solenidade no Rio marca a posse da nova diretoria da ABPv
- 7 Seção de notas
- 9 Reunião Anual de Pavimentação

### ESPAÇO JURÍDICO

- 12 Mais um aspecto polêmico entre a pavimentação e o licenciamento ambiental: o montante da compensação

Victor Athayde

### ARTIGOS TÉCNICOS

- 14 Considerações sobre pavimentos de passagens subterrâneas e túneis viários urbanos  
Carlos Yukio Suzuki, Santi Ferri, Caio Rubens Gonçalves Santos, Flaviane Melo Lopes, Angela Martins Azevedo e Raphael Daibert
- 31 Subsídios para a tomada de decisão quanto à manutenção da Infraestrutura Viária Urbana: Aplicação nos pavimentos asfálticos em Pato Branco-PR  
Jairo Trombetta, Adalberto Pandolfo, Alessandro Goldoni  
Aline P. Gomes e Luciana M. Pandolfo
- 46 Estudo sobre ensaios de deformação permanente em misturas asfálticas por métodos adotados no Brasil e na Espanha  
Bruno Maia Correia, Felipe Coutinho Onofre, Verônica T. F. Castelo Branco, Jorge Barbosa Soares e Angel Mateos
- 60 Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado  
Raquel Luísa Pereira Carnin, Cláudio Oliveira Silva, Ricardo José Pozzi, Dirceu Cardoso Junior, Marilena Valadares Folgueras e Wendel Malkowski

### OPINIÃO – CONTINUAÇÃO

- 72 Conceitos fundamentais para utilização de bases com predominância de solo fino laterítico

Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami

# Editorial

---

**N**ós da Revista PAVIMENTAÇÃO, em sua edição de número 19, iniciamos os trabalhos editoriais propostos para 2011 e, como tarefa primeira das atividades queremos, de antemão, agradecer a todos que se dedicaram ao envio de artigos, aos anunciantes, aos colunistas, aos sócios e leitores, cuja participação nos permite uma visão crítica de nosso trabalho.

Em 2011, a Revista completa 5 anos, data que merece ser comemorada com novos projetos editoriais e outras novidades das quais a equipe de coordenação e divulgação da ABPv vem se dedicando a fim de mantê-la sempre atual e em consonância com o meio profissional e acadêmico.

Nesta edição, nosso artigo de capa traz considerações sobre pavimentos de passagens subterrâneas e túneis viários urbanos. Um relevante trabalho dos engenheiros Carlos Yukio Suzuki, Caio Rubens Gonçalves Santos, Santi Ferri, Flaviane Melo Lopes, Angela Marins Azevedo e Raphael Daibert.

O segundo artigo desta edição discorre sobre subsídios para a tomada de decisão quanto à manutenção da Infraestrutura Viária Urbana: aplicação nos pavimentos asfálticos em Pato Branco, PR. Um estudo dos engenheiros Jairo Trombetta, Adalberto Pandolfo, Alessandro Goldini, Aline P. Gomes e Luciana M. Pandolfo.

Outro estudo que apresentamos resulta dos ensaios de deformação permanente em misturas asfálticas por métodos no Brasil e na Espanha. Seus autores são os engenheiros Bruno Maia Correia, Felipe Coutinho Onofre, Verônica T. F. Castelo Branco, Jorge Barbosa Soares e Angel Mateos.

O quarto e último artigo desta edição aborda o desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado. Este artigo é resultado do estudo dos engenheiros Raquel Luísa Pereira Carmin, Cláudio Oliveira Silva, Ricardo José Pozzi, Dirceu Cardoso Junior, Marilena Valadares Folgueras e Wendel Malkowski.

Outro destaque é a coluna Espaço Jurídico, onde o advogado Victor Athayde traz mais um aspecto polêmico entre a pavimentação e o licenciamento ambiental, trata-se do montante da compensação.

Em outubro passado ocorreu na cidade do Rio de Janeiro a 40ª edição da Reunião Anual de Pavimentação, o maior evento do setor no Brasil. A Revista apresenta a cobertura dos principais fatos e acontecimentos do encontro que reuniu profissionais, acadêmicos, autoridades e empresários de todas as regiões do País.

Outro evento que apresentamos é a cobertura da cerimônia de posse da nova diretoria da ABPv para a gestão 2011-2013, que ocorreu no dia 7 de fevereiro na cidade do Rio de Janeiro.

Finalmente, aproveitamos para desejar a todos os leitores um excepcional ano de 2011, com muita saúde, amor, sucesso e grandes realizações no campo pessoal e profissional, pois as grandes obras dos homens só logram sucesso quando precedidas por momentos e situações que lhes ensejam prazer naquilo em que se empenham.

*Conselho Editorial*

# Palavra do Presidente

## Gestão 2008-2010



**Eduardo Alberto Ricci**

**D**esde o ano 2000 estive à frente da Diretoria da ABPV, sempre procurando fazer jus à confiança em mim depositada através dos mandatos que me foram conferidos.

Foram, portanto, dez anos de muita dedicação, compromisso e respeito com esta Associação que tanto nos orgulha, inscreve o passado glorioso, constrói o presente edificante e projeta um futuro auspicioso.

Quero agradecer a todos pelo apoio e pela confiança a mim dispensada. E neste ato me dirijo aos associados, à comunidade acadêmica, às autoridades, aos empresários, enfim, a todos que em maior ou menor grau contribuíram com suporte inestimável para a minha gestão. Aos entes governamentais, civis e militares externo meus protestos de profunda admiração e respeito pela dedicação sempre primorosa junto à ABPV.

Rendo ainda um agradecimento especial aos patrocinadores dos grandes eventos da ABPV, como as Reuniões de Pavimentação Urbana – RPU, Reuniões Anuais de Pavimentação – RAPv e os Simpósios Internacionais. A estes empreendedores devemos parte do sucesso dos eventos, pois sem eles não poderíamos levar a tantas capitais e cidades brasileiras o nome da nossa Associação.

O resultado desse esforço conjunto é uma ABPV cada vez mais fortalecida e que se renova sempre, acompanhando os ditames de um mundo em contínuo processo de mutação. Os frutos desses dez anos de trabalho estão à disposição de todos os profissionais da engenharia de pavimentação e de toda a sociedade. Assim, atendemos ao objetivo maior de

difundir as técnicas da pavimentação, zelando por seu cumprimento e fomentando a sua modernização constante. A história da ABPV é cercada de glórias, mas tivemos períodos de enfrentamento de grandes dificuldades. Períodos que demandaram esforços valorosos para seguir em frente. Mas, com a ajuda de todos os que a ela se dedicaram, a ABPV hoje se encontra pujante, fato que muito nos orgulha.

Uma das conquistas que gostaria de mencionar é a Revista PAVIMENTAÇÃO, que foi um passo ousado de um ideal que só recentemente foi concretizado. A Revista é um sucesso, um veículo de difusão do conhecimento e espaço aberto para profissionais e acadêmicos do setor de pavimentação do Brasil. Tal publicação demanda uma dedicação muito grande de nossos colaboradores para mantê-la em circulação. Porém, mais uma vez fomentamos o apoio de todos, e assim a Revista se aproxima dos seus 5 anos de circulação ininterrupta sendo distribuída a todos os sócios, aos órgãos da administração pública nas esferas federal, estadual e municipal, ao meio acadêmico e a algumas entidades correlatas no exterior.

Preciso é que se pense grande. Que o progresso do Brasil não pode ser engessado. O País carece de novas estradas, de uma malha eficiente que faça a ligação intermodal a fim de permitir o escoamento da produção e da riqueza. Não é possível operar portos sem estradas que cheguem até eles. A ABPV tem tocado nessa ferida há anos no afã de ensejar o desenvolvimento sustentado brasileiro.

Fizemos nossa parte no que concerne à confiança que nos foi depositada nestes anos à frente da Diretoria da ABPV. Agradeço uma vez mais a todos e conclamo a seguirmos juntos com o mesmo apoio e dedicação à nova Diretoria que assume os nobres compromissos da Associação.

Por fim, deixo meu abraço, respeito e admiração aos companheiros que fizeram parte dos mandatos que cumпри como diretor-presidente. Acredito que os resultados são frutos do trabalho e da abnegação de todos.

Que os ventos de 2011 soprem a favor do desenvolvimento do País e continuem a embalar a Associação Brasileira de Pavimentação na sua tarefa de difusão do conhecimento e transferência de tecnologia sempre a favor do Brasil.

# Solenidade no Rio marca a posse da nova diretoria da ABPv



**A** diretoria da ABPv – gestão 2011-2013 – tomou posse no dia 7 de fevereiro em solenidade realizada no auditório do Hotel São Francisco, na cidade do Rio de Janeiro. O evento foi marcado de grande emoção e contou com a presença de muitos convidados entre associados, representantes de órgãos públicos, entidades de classe de diversos seguimentos, profissionais e acadêmicos.

O início da solenidade foi marcado pela fala do engenheiro Eduardo Alberto Ricci, que transmitiu o cargo de diretor-presidente da ABPv para o engenheiro José Pedro dos Santos Vieira Costa. Ricci agradeceu a presença de todos naquela tarde, falou dos 10 anos que ficou à frente da Associação e o quanto foi importante a colaboração de seus companheiros de diretoria. Lembrou ainda de sua amizade com o atual diretor e quão satisfeito passava o cargo para alguém que dará continuidade aos avanços conquistados na ABPv e agregará muito mais.

Em seguida o engenheiro José Pedro dos Santos Vieira Costa fez seu pronunciamento já na qualidade de diretor-presidente da ABPv para a gestão de 2011 a 2013. Em sua fala, ressaltou a importância da Associação no

setor da pavimentação no Brasil, nas escolas técnicas, na academia e na sociedade como um todo. Disse estar muito orgulhoso em presidir um entidade com a história que ostenta a ABPv. Agradeceu ao engenheiro Eduardo Alberto Ricci pela confiança e lembrou que ele continua a colaborar, pois agora é o novo diretor vice-presidente. Agradeceu a engenheira e professora Laura Maria Goretta da Motta, ex-diretora técnica que se fazia presente no evento, pelo incentivo e apoio à sua chapa e, também, ao Eng<sup>o</sup> Laiz de Souza que, pela manhã, parabenizou toda a diretoria que se encontrava reunida na ABPv.

O novo diretor administrativo engenheiro Fernando Augusto Junior falou orgulhoso por atuar nesta nova gestão, pois a ABPv tem papel fundamental no setor da pavimentação brasileira. O engenheiro Cristiano Costa Moreira, novo diretor de divulgação, falou da importância social que a Associação possui e o quanto isto deve estar a serviço da sociedade e dos governos nas esferas municipal, estadual e federal para a implantação de políticas públicas.

Compondo a mesa da solenidade estavam ainda os demais eleitos, a diretora financeira, arquiteta Georgina



Libório Azevedo; a diretora técnica, engenheira Michéle Dal Toé Casagrande. No conselho fiscal – sócio coletivo – estavam presentes os engenheiros Ronaldo Vizzoni, da Associação Brasileira de Cimento Portland; e o engenheiro João Menescal Fabrício, da ECL – Engenharia e Consultoria Ltda. No conselho fiscal – sócio individual – estavam presentes a engenheira Dilma dos Santos Guarçoni e o engenheiro João Vicente Falabella Fabrício.

### **Empresas e entidades prestigiaram a solenidade**

O público presente de cerca de 70 pessoas representava diversos seguimentos, empresas, governos e órgãos de classe. Destacamos a presença do presidente da ABDER – Associação Brasileira dos Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem, engenheiro Romualdo Theophanes de França Júnior; Mário Hamaoka, da Sobratema – Associação Brasileira de Tecnologia para Equipamentos e Manutenção; Roberto Mesquita Lage, da Petrobras; Pedro da Cunha Pedrosa, da Promáquinas; José Tadeu da Silveira e Duaia Vargas da Silva, da Febrae – Federação Brasileira de Associações de Engenheiros; Eduardo Henrique D’Ávila da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland; José Luiz Salgueiro, subchefe da DTE de Transportes, representando Francis Bogossian, do Clube de Engenharia; Juan Daniel Valdivia, da Paviservice; Joseph Youg, diretor editorial da revista O Empreiteiro; Washington Luiz Pinto Machado e Elza Soares Ribeiro, Presidente e Vice-Presidente do Sindicato dos Jornalistas do Município do Rio de Janeiro; Hélio Antônio Moreira, presidente da Indutil; Cláudio Macedo Nasser, da Soma Engenharia; o Cel. Ubirajara Dias José – ESG e o engenheiro Chequer Jabour Chequer, diretor do IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

### **Deputado Federal Aldo Rebelo foi o palestrante**

A solenidade foi marcada pela palestra “A Importância da Engenharia no Desenvolvimento Nacional” proferida pelo deputado federal Aldo Rebelo, do PCdoB de São Paulo. Na qualidade de convidado especial, o



deputado falou sobre a importância da infraestrutura no desenvolvimento brasileiro e a necessidade de formar novos engenheiros, pois a carência de profissionais nesta área poderá prejudicar o cronograma de obras que se farão necessárias nos próximos anos, como o PAC, a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016 entre outras. Assim sendo a engenharia será gradualmente uma profissão mais valorizada incentivando os jovens a optarem em maior número por ela, coisa que não ocorre atualmente. Resgatou aspectos históricos do desenvolvimento rodoviário brasileiro para explicar sobre a logística de transporte assim como a necessidade de aumento de energia para o crescimento de um país que possui um papel singular no contexto internacional, o nosso Brasil. Relembrou a célebre frase do ex-presidente Washington Luis: “Governar é construir estradas” e acrescentou que não apenas construir, mas também conservar.

O deputado, que é jornalista, agradeceu o convite feito pelo novo diretor-presidente, recordando da amizade de longa data com o engenheiro José Pedro dos Santos Vieira Costa. E ainda se propôs a buscar mecanismos de apoio à ABPv e à Revista PAVIMENTAÇÃO.

Ao final da palestra foi oferecido um coquetel aos convidados, proporcionando um momento de descontração e interação.

A ABPv recebeu dezenas de telegramas e e-mails saudando e parabenizando a nova diretoria. Registramos os seguintes cumprimentos:

#### SENADOR

**Renan Calheiros**

#### GOVERNADORES

**Roseana Sarney** – Governadora do Estado do Maranhão

**Geraldo Alckmim** – Governador do Estado de São Paulo

**João Raimundo Colombo** – Governador do Estado de Santa Catarina

**Jaques Wagner** – Governador do Estado da Bahia

**Confúcio Aires Moura** – Governador do Estado de Rondônia

**Antonio Augusto Junho Anastásia** – Governador do Estado de Minas Gerais

**Teotônio Vilela Filho** – Governador do Estado de Alagoas

**Beto Richa** – Governador do Estado do Paraná

**Wilson Nunes Martins** – Governador do Estado do Piauí

**Marconi Perillo** – Governador do Estado de Goiás

**Sergio Cabral** – Governador do Estado do Rio de Janeiro

**Renato Casagrande** – Governador do Estado do Espírito Santo

**André Puccinelli** – Governador do Estado do Mato Grosso do Sul

**Simão Jatene** – Governador do Estado do Pará

**Tião Viana** – Governador do Estado do Acre

#### VICE-GOVERNADOR

**Luiz Fernando de Souza – Pezão** – Vice-Governador do Estado do Rio de Janeiro

#### PREFEITOS

**Eduardo Paes** – Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro

**Anderson Adauto** – Prefeito de Uberaba

#### DEMAIS AUTORIDADES

**Valmor Barbosa Bezerra** – Secretário de Infraestrutura do Estado de Sergipe;

**Antonio Sérgio Ferrari Vargas** – Subsecretário de Habitação e Programas Especiais do Estado de Sergipe

**Raul Zucatto** – Presidente do CREA – SC;

**João Antonio Conte** – Dir. Executivo da ABENDI;

**Laurence Casagrande Lourenço** – Dir. Presidente da DERSA;

**Gilson de Carvalho Queiroz Filho** – Presidente do CREA - MG;

**Roberto Campos e equipe** – Engesolo

**Lidia Castro** – Petrobras;

**Dulcevir Guerreiro Vilar de Melo** – C.R. Almeida;

**Elzo Jorge Nassaralla** – Enecon;

**Luiz Carlos Caggiano Santos** – Presidente ABCEM;

**Patrícia Nunes Davidson** – Dir. Executiva ABCEM;

**Jose Marcos de Macedo Santos** – CTENG;

**Jose Leandro Resende** – Presidente SICOOB;

**Claudenor Santos** – Petrobras;

**Wilson Brumer** – Presidente USIMINAS;

**Francis Bogossian** – Presidente do Clube de Engenharia;

**Rocio Ferreira Pedalino** – Empresa Londrinense de Engenharia;

**Luiz Alberto Dias Mendes** – Dir. Operações DER - MG;

**Augusto Franco Alencar** – Dir Geral da FIRJAN;

**José Wellington Costa** – Dir. Presidente da MUTUA;

**Afonso Mamede** – Presidente da SOBRATEMA;

**Gilberty Miglioli** – Engesul - MS;

**Sergio Watanabe** – Presidente do SindusCon - SP.

**Fernando Antonio da Costa Jannatti** – Prefeitura de Belo Horizonte

**Alberto José Salum** – Presidente do SICEPOT-MG

# Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

## Sindicato dos Jornalistas do RJ tem nova diretoria



FOTO | ALEXANDRE CAMPOS

A nova diretoria do Sindicato dos Jornalistas do Município do Rio de Janeiro tomou posse no dia 18 de novembro em cerimônia realizada no salão nobre da Câmara Municipal da capital. O Sindicato será presidido pelo jornalista Washington Luiz Pinto Machado e vice-presidido pela jornalista Elza Soares Ribeiro. A Revista PAVIMENTAÇÃO, como veículo de comunicação, parabeniza a nova diretoria do triênio 2010/2013.

.....

## Brazil Road Expo: São Paulo sedia evento internacional de Infraestrutura Viária e Rodoviária em 2011

Com o objetivo de apresentar novas soluções em sistemas, métodos para construção e infraestrutura de vias e rodovias, o Brazil Road Expo surge como um grande ponto de encontro de especialistas, empresários e autoridades. Organizado pelo Quartier Feiras e Eventos, o evento acontecerá de 4 a 6 de abril de 2011, no Expo Center Norte, em São Paulo

A primeira edição do Brazil Road Expo terá 150 expositores nacionais e internacionais que ocuparão uma área de exposição de 11 mil m<sup>2</sup>, onde receberão cerca

de 8 mil profissionais especializados que atuam diretamente no segmento de vias e rodovias – construtoras, concessionárias, locadoras de equipamentos, empreiteiros e órgãos públicos. Os visitantes encontrarão as principais novidades em asfalto, sinalização, equipamentos, iluminação pública, aditivos, caminhões, concreto, sistema de gestão e informação, ferramentas, e equipamentos de precisão, medição e de proteção individual, entre outros.

Além da área de exposição, o Brazil Road Expo contará também com uma vasta programação de palestras, congresso e seminários, onde serão discutidos os principais gargalos do segmento. “Seguindo uma tendência mundial de feiras, o programa de conferências é a principal forma de promover a transferência de tecnologia entre expositores, visitantes e congressistas”, explicou o engenheiro Ramos, diretor da Quartier Feiras e Eventos.

.....

## 5ª Conferência Internacional de Misturas Betuminosas e Pavimentos

Para aqueles que têm interesse em grandes eventos do setor de pavimentação no exterior e querem se programar com bastante antecedência, a 5ª Conferência Internacional de Misturas Betuminosas e Pavimentos é uma oportunidade excepcional. O evento ocorrerá nos dias 2 e 3 de junho de 2011 na cidade de Tessalônica, região da Macedônia Central, na Grécia.

O foco da conferência são as novas pesquisas e tecnologias que estão mudando os processos no mundo todo de utilização das misturas betuminosas e pavimentos. Também serão explorados o desenho geométrico, a construção, a manutenção, a administração, a produção e o uso dos materiais e misturas betuminosas. Mais informações no site de notícias do setor de pavimentação [www.trb.org](http://www.trb.org).

## **GIF – Global Infrastructure Forum Brazil 2011**

A UBM Sienna em parceria com a UBM Internacional trará para o Brasil em 2011, como parte integrante ao Concrete Show South America, o Global Infrastructure Forum, maior fórum internacional de debates. O GIF reunirá grandes palestrantes de várias partes do mundo que dissertarão sobre os investimentos para o desenvolvimento rápido e eficaz de infraestrutura no Brasil. O evento, que conta com o apoio da ABPv, acontecerá nos dias 1 e 2 de setembro no Centro de Exposições Imigrantes São Paulo.

## **Coordenador da 15ª RPU é indicado para a Medalha Defesa Civil Nacional**

O engenheiro Luiz Edmundo Prado de Campos recebeu, no dia 16 de dezembro em Brasília, a Medalha Defesa Civil Nacional, agraciada pelo Ministério da Integração Nacional.

Esta comenda foi criada em 2002 para homenagear personalidades civis ou militares, nacionais ou estrangeiras, e instituições e bandeiras civis ou militares que tenham prestado serviços ao País e à comunidade nacional em assuntos de Defesa Civil. O enge-

neiro Luiz Edmundo Prado de Campos sócio da ABPv, foi o coordenador da 15ª Reunião de Pavimentação Urbana, realizada em Salvador em 2008.

## **XVI CILA**

De 10 a 25 de novembro de 2011, no Rio de Janeiro, será realizado a 16ª edição do Congresso Ibero-Latino-americano do Asfalto. A chamada dos trabalhos técnicos já está em execução.

Mais informações no site [www.xvicila.com.br](http://www.xvicila.com.br).

## **Congresso Mundial de Rodovias**

A Associação Mundial de Rodovias (World Road Association) promoverá entre os dias 26 e 30 de setembro de 2011 o XXIV Congresso Mundial de Rodovias. O evento acontecerá na Cidade do México.

Com o lema “Caminhos para viver melhor”, o congresso vai premiar trabalhos, papers e projetos de pesquisa. Para tanto é preciso observar o prazo de entrega dos trabalhos para que possam ser submetidos ao comitê técnico do evento. As informações completas podem ser obtidas no site: [piarcMexico2011.org](http://piarcMexico2011.org)

**20 ANOS DE SUCESSO**  
**E UM EMOCIONANTE CAMINHO PELA FRENTE**

Ao longo deste período a Quimigel criou grandes parcerias. Investimos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação visando o desenvolvimento tecnológico e de produtos no setor de pavimentação asfáltica. Buscamos soluções inovadoras para os problemas e necessidades do setor, através de um desenvolvimento sustentável.



**Quimigel Ltda.**  
DIVISÃO QUÍMICA

[WWW.QUIMIGEL.COM.BR](http://WWW.QUIMIGEL.COM.BR)  
[QUIMIGEL@QUIMIGEL.COM.BR](mailto:QUIMIGEL@QUIMIGEL.COM.BR)

# Reunião Anual de Pavimentação

26 a 28 de outubro de 2010  
Horário: 09h00 as 20h00



A 40ª RAPv teve início dia 26 de outubro no auditório do Centro de Convenções SulAmérica no Centro do Rio de Janeiro, às 9h, com a apresentação da 1ª sessão técnica. Sua abertura oficial se deu às 18h com a mesa formada pelos engenheiros Eduardo Alberto Ricci, Diretor-presidente da ABPv, Marcelo Cotrim Borges, superintendente regional do DNIT no Estado do Rio de Janeiro, representando o Sr. Ministro de Estado dos Transportes Paulo Sérgio Passos, Angelo Monteiro Pinto, diretor de obras da região metropolitana, representando o DER-RJ, Alberto Ermida Franco, gerente de comércio interno de asfalto, representando a Petrobras, Romualdo Theophanes de França Junior, Presidente da ABDER, Adriano Borges Gulate, secretário adjunto da Secretaria Municipal de Obras e Viação da Prefeitura de Porto Alegre e Presidente da comissão organizadora da 17ª RPU da ABPv, Chequer Jabour Chequer, diretor do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR e Francis Bogossian, Presidente da Associação das Em-

presas de Engenharia do Rio de Janeiro e Presidente do Clube de Engenharia-RJ.

O Engenheiro Eduardo Alberto Ricci falou sobre o encerramento do cinquentenário da ABPv resumindo os grandes feitos da entidade e prestando uma homenagem ao saudoso Prof. Armando Martins Pereira, grande amigo e colaborador.

“A ABPv foi, é e sempre será o palco de discussões e debates congregando técnicos na busca de um bom pavimento, nesse enfoque queremos que continue assim por mais 50 anos. Muitas foram nossas conquistas desde congressos como esse, cursos, a criação de nossa revista PAVIMENTAÇÃO, que com 4 anos de existência já auxilia a muitos profissionais em sua busca por novas técnicas e soluções”. Disse Ricci.

Explanou ainda sobre a denominação dada ao Brasil de ser um país rodoviário e indagou se realmente o seria, pois para ter essa conotação todos os produtos teriam que ser transportados por rodovia e isso



ção ocorre. Mostrou que para cada quilômetro de ferrovia são necessários 20 quilômetros de rodovia para que esta funcione a contento. "Não devemos nos esquecer que a falta de integração intermodal pode acarretar grandes perdas econômicas. Nossa luta resume-se em um pensamento: não podemos postergar o progresso do país." Acrescentou.

Encerrou seu discurso agradecendo a todos os sócios, colaboradores e a todos aqueles que acreditaram na ABPv.

Marcelo Cotrim Borges, superintendente regional do DNIT, falou sobre a expansão da malha rodoviária, sobre os modais hidroviário e ferroviário, destacando a ligação com portos e aeroportos que incrementam a economia circulante e dão estímulo às novas tecnologias.

Angelo Monteiro Pinto, diretor de obras da região metropolitana, DER-RJ, discursou sobre a importância dos projetos desde seu desenho geométrico até sua execução e mencionou a deficiência de grandes projetos na área.

Alberto Ermida Franco, gerente de comércio interno de asfalto, da Petrobras, exaltou sua satisfação com a parceira ABPv-Petrobras, agregando toda cadeia produtiva na área da pavimentação.

Romualdo Theophanes de França Junior, Presidente da ABDER, agradeceu a parceria com a ABPv

ressaltando que ela terá continuidade. Falou que a melhora da instituição pública, no setor de transportes, se dá graças a esse fórum de debates, que se torna essencial para reduzir a distância entre a pesquisa e a execução.

Adriano Borges Gularte, secretário adjunto da Secretaria Municipal de Obras e Viação da Prefeitura de Porto Alegre e Presidente da comissão organizadora da 17ª RPU da ABPv, diz estar feliz por sua participação e pela qualidade dos trabalhos apresentados. Enalteceu a ABPv pelo papel que desempenha para melhoria de nossa malha rodoviária.

Falou ainda sobre o crescimento que temos visto em função da Copa do Mundo e Olimpíadas, esperando que seja constante e atinja um nível de excelência, através do desenvolvimento crescente e não bolhas de desenvolvimento. Convidou a todos, em nome do prefeito e secretário de obras, a participarem da 17ª RPU que se realizará em Porto Alegre de 18 a 20 de outubro de 2011.

Chequer Jabour Chequer, diretor do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR, disse sentir-se prestigiado em compor a mesa ressaltando que a ABPv é a tradução da casa do engenheiro dedicada à pavimentação. A dedicação do Presidente Eduardo Ricci à ABPv mostra um novo cenário da pavimentação rodoviária. Deseja sucesso à 40ª RAPv.

Francis Bogossian, Presidente da Associação das Empresas de Engenharia do Rio de Janeiro e Presidente do Clube de Engenharia-RJ, congratulou a ABPv e disse que esta associação faz parte da história da engenharia brasileira e é tradicional por seus eventos técnicos realizados em todo território nacional, congregando professores, projetistas e engenheiros.

Antes de encerrar os trabalhos da mesa, o Engº Eduardo Alberto Ricci falou sobre o Prêmio Engenheiro Mario Kabalem Restom que homenageia os profissio-



nais que prestaram relevantes contribuições na área de pavimentação. Os homenageados foram: Eng<sup>a</sup> Dilma dos Santos Guarçoni, Eng<sup>a</sup> Leni Figueiredo Mathias Leite, Eng<sup>o</sup> Salomão Pinto e o Eng<sup>o</sup> Angelo Giovani Ribeiro de Almeida.

O jantar de confraternização, realizado no Porcão Rio's, famosa churrascaria carioca, foi embalado ao som da Banda Rock Story. O que proporcionou aos presentes uma noite agradabilíssima. A parte cultural também contou com apresentação folclórica infantil da ONG Espaço Logos que se dedica à educação, saúde e cultura de crianças de comunidades carentes.

No dia 28 a tarde foi encerrada a 40<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação com a mesa formada pelos: diretor presidente Eduardo Ricci, diretora técnica Prof<sup>a</sup> Laura Motta e o Eng<sup>o</sup> Alberto Ermida Franco da Petrobras.

Foi falado da importância do Prêmio Pontes Corrêa que, a pedido do Prof. Jacques de Medina, voltou a fazer parte da Reunião, porém, como foi explicado pelo Presidente Ricci, foi criado um comitê técnico científico específico para este prêmio, que é considerado de maior importância na área. O vencedor desta edição foi o trabalho "Operação de sistemas MS/WIM de pesagem", dos autores Gustavo Garcia Otto, Leto Momm e Amir Mattar Valente, todos da UFSC.

O público participante foi de aproximadamente 600 pessoas. Foram apresentados 80 trabalhos de 196 autores, 3 palestras internacionais, 10 palestras nacionais, 2 painéis e 54 posters.

Ao final Ricci agradeceu a todos os participantes, à Comissão Organizadora, em especial às secretarias Gloria Maria Reis Vaz e Elizabeth Pascoal, aos patrocinadores e expositores: DER-RJ / Petrobras / Craft / Betunel / Delta / Macadame Construtora / MJRE / Oriente Construção Civil / Colares Linhares / Silo Engenharia / ABCR-Assoc Bras de Concessionárias de Rodovias / Solotest / Imperpav / IME / PUC-RJ / COPPE / Abeda / ABDER / Rubber Pavement Association / ABCP / Ciber / Dynatest / Engefoto / Fugro In Situ / Harsco / Huesker / Indutil / Kanaflex / Klama / Keller / Lanxess / Lenc / Mangels / Promáquinas / Queiroz Galvão / Romanelli / Solocap / Sotreq / SP Clever Reinforcement / Terex / Tichel / Trigonal, que contribuiram para o sucesso do evento.

# Mais um aspecto polêmico entre a pavimentação e o licenciamento ambiental: o montante da compensação

Victor Athayde\*



Em edição anterior, já temos alguns comentários em relação à “Judicialização do Licenciamento Ambiental” (Revista ABPv, nº 17, Abr/Mai/Jun/2010).

Lá foi dito que os empreendimentos de infraestrutura, em sua grande maioria, são submetidos ao exame prévio que se faz através do procedimento administrativo de licenciamento ambiental, inclusive, em alguns casos, sendo sujeitos ao EIA/RIMA.

Pois bem, neste momento voltamos ao tema licenciamento ambiental, pois é fonte de diversas controvérsias, assim, trazemos ao conhecimento dos leitores outras informações que julgo pertinentes.

Como não poderia deixar de ser, novamente, vemos relação com o artigo anteriormente publicado, pois trataremos do famoso “meio por cento do SNUC”, jargão que é popular nos meios de discussão ambiental, mas que exige breve explicação.

A Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, trouxe ao mundo jurídico o Sistema Nacional de Uni-

dades de Conservação – SNUC<sup>1</sup>, onde se disciplinou a “compensação ambiental” de forma preventiva<sup>2</sup>, assim:

Art. 36. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente<sup>3</sup>, com fundamento em estudo de impacto ambiental e respectivo relatório – EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, de acordo com o disposto neste artigo e no regulamento desta Lei. (Regulamento)

§ 1º O montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para esta finalidade não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento, sendo o percentual fixado pelo órgão ambiental licenciador, de acordo com o grau de impacto ambiental causado pelo empreendimento.

§ 2º Ao órgão ambiental licenciador compete definir as unidades de conservação a serem beneficiadas, considerando as propostas apresentadas no EIA/RIMA e ouvido o empreendedor, podendo inclusive ser contem-

\* Membro da Câmara Técnica para Assuntos Jurídicos do Conselho Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo – CONSEMA, ex-Assessor Jurídico do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA, idealizador do blog [www.direitodo-meioambiente.blogspot.com/](http://www.direitodo-meioambiente.blogspot.com/) / email: [victorathayde@walmirbarroso.com.br](mailto:victorathayde@walmirbarroso.com.br)

<sup>1</sup> Já tivemos a oportunidade de escrever, também, sobre essa norma, no ensaio “O direito de empreender no entorno de Unidades de Conservação e os conflitos legais” (Revista ABPv, nº 16, Jan/Fev/Mar/2010)

<sup>2</sup> Antes, já havia a disciplina sobre o tema nas Resoluções CONAMA 10/1987 e na que a revogou, a 002/1996.

<sup>3</sup> Com o perdão de ser repetitivo, novamente remeto-lhes ao ensaio sobre a “Judicialização do Licenciamento Ambiental” (Revista ABPv, nº 17, Abr/Mai/Jun/2010), onde traço panorama sobre a competência de caracterização dos empreendimentos como se significativo impacto ambiental, ou não.

plada a criação de novas unidades de conservação. § 3º Quando o empreendimento afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento a que se refere o caput deste artigo só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias da compensação definida neste artigo.

Podemos resumir o texto legal acima da seguinte forma: empreendimentos sujeitos a EIA/RIMA (assim definidos pelo órgão competente), estão (ou estariam) obrigados a destinar no mínimo meio por cento do custo do mesmo às Unidades de Conservação que possam ser afetadas, direta ou indiretamente, pelo impacto gerado.

Em que pese a discricionariedade e subjetividade conferida ao órgão ambiental para fixar montantes e destinação de recursos, de origem privada, que oneram o custo da obra, não é este o alvo de nossa reflexão, ainda que, *un passant*, já se tenha feito o mesmo.

Em verdade, e o assunto causa calafrios à administração ambiental, o que se quer trazer à lume é a Ação Direta de Inconstitucionalidade (Adin) Nº 3378-DF, movida pela Confederação Nacional da Indústria – CNI, em face do artigo supra transcrito.

O problema é muito grave.

Para o conhecimento de vocês, se, por exemplo, essa ação fosse julgada procedente em todos os termos requeridos, o art. 36 do SNUC será inconstitucional, com isso seus efeitos retroagiriam (voltam ao passado), e, como consequência, todo o valor repassado com base nessa lei, deveria retornar aos cofres de quem dispôs dos mesmos. Verdadeiro caos.

Isso porque, se inconstitucional fosse, em verdade, jamais teria existido no mundo jurídico e todos os atos que dela se originam deveriam ser considerados nulos de pleno direito e os repasses, inconstitucionais.

Deixando de lado a conjecturação, voltemo-nos para a ação, e a forma como foi julgada, com publicação da decisão em 26/06/2008.

O Supremo Tribunal Federal – STF, que é quem dá a última palavra em relação à interpretação da Consti-

tuição Federal e se há conflito, ou não, das Leis Ordinárias com aquela, julgou a Adin parcialmente procedente, dando o seguinte entendimento, em relação à inconstitucionalidade arguida:

Inconstitucionalidade da expressão “não pode ser inferior a meio por cento dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento”, no § 1º do art. 36 da Lei nº 9.985/2000. O valor da compensação-compartilhamento é de ser fixado proporcionalmente ao impacto ambiental, após estudo em que se assegurem o contraditório e a ampla defesa. Prescindibilidade da fixação de percentual sobre os custos do empreendimento.

Isso implica dizer duas coisas: (1) não é mais a Lei que define percentual da compensação, é o órgão ambiental, durante a fase de apreciação do EIA/RIMA; (2) não há mais valor mínimo de 0,5%, tampouco o percentual definido pelo órgão deve ter como base o custo do empreendimento.

A decisão caiu como uma bomba para o setor público, que temia a paralisação de todos os processos de licenciamento, e pior, temeu a revisão de todas as licenças já concedidas, nas quais os empreendedores já haviam destinado os valores até então legais (0,5%).

O Ministro do Meio Ambiente, Carlos Minc, chegou a se reunir com o Relator do processo no STF, Ministro Carlos Ayres Brito, clamando por uma definição e flexibilização da decisão, especificamente “que essa decisão não seja retroativa e que haja um prazo de, por exemplo, seis meses para adequação dos estados e indústrias à nova regra”.

Tanto a Advocacia da União quanto os advogados da CNI recorreram da decisão, em 27/06/2008, visando esclarecer pontos obscuros, notadamente em relação retroação ou não da decisão e da sua aplicabilidade, pois, segundo a CNI, deve haver regulamentação de metodologia para se exigir a compensação.

O Supremo até hoje não se manifestou, permanecem, por isso, as obscuridades, temores e insegurança em relação à compensação ambiental imposta pelo SNUC.

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.

# Considerações sobre pavimentos de passagens subterrâneas e túneis viários urbanos

**Carlos Yukio Suzuki**

[suzuki@planservi.com.br](mailto:suzuki@planservi.com.br)

**Santi Ferri**

[santi@planservi.com.br](mailto:santi@planservi.com.br)

**Caio Rubens Gonçalves Santos**

[caiorubens@planservi.com.br](mailto:caiorubens@planservi.com.br)

**Flaviane Melo Lopes**

[flaviane@planservi.com.br](mailto:flaviane@planservi.com.br)

**Angela Martins Azevedo**

[angela@planservi.com.br](mailto:angela@planservi.com.br)

**Raphael Daibert**

[raphael.daibert@planservi.com.br](mailto:raphael.daibert@planservi.com.br)

## RESUMO

Nos grandes centros urbanos, é crescente a implantação de túneis e passagens subterrâneas para eliminar os conflitos de tráfego no sistema viário que se encontra quase sempre congestionado nos períodos de pico. Além da importância estratégica sob o ponto de vista de engenharia civil, tais obras de elevado custo de construção devem proporcionar permanentemente ao longo do tempo boas condições de conforto, fluidez e segurança do tráfego. Os pavimentos dos túneis podem ter revestimentos asfálticos ou de concreto de ci-

mento Portland, sendo que a escolha do tipo apropriado para cada caso deve basear-se não só no custo inicial de construção, como também na frequência dos serviços de manutenção e restauração ao longo de sua vida útil, uma vez que isto pode refletir em aumento de custos operacionais aos usuários, em decorrência da necessidade de fechamento temporário dessas passagens para execução das obras de reparos. Os principais aspectos que normalmente condicionam a escolha do tipo de pavimento são o método construtivo, a dificuldade de preparo da fundação em função

do espaço reduzido, as condições hidrogeológicas do local e os sistemas de drenagem e impermeabilização eventualmente previstos para a obra. O presente trabalho tem por objetivo mostrar as principais patologias verificadas através de um levantamento expedito efetuado em alguns pavimentos de túneis em serviço no Município de São Paulo e apresentar as prováveis causas de sua degradação. Com base nos resultados, pretende-se apresentar sugestões para o aprimoramento na definição da escolha e da concepção dos proje-

tos, bem como recomendar procedimentos para avaliar e monitorar as condições funcional e estrutural dos pavimentos existentes, visando à implantação de um banco de dados integrante de um sistema de gerência de pavimentos de túneis e passagens subterrâneas para vias urbanas.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

*Túneis Viários Urbanos. Pavimento de Concreto de Cimento Portland. Pavimento Asfáltico. Gerência de Pavimentos.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas obras executadas na Região Metropolitana de São Paulo tem sido recomendado o pavimento de concreto simples ou armado por sua maior durabilidade teórica, menor necessidade de manutenção e suposta maior segurança contra sinistros do tipo incêndio.

Tem-se constatado que a patologia manifestada precocemente nos pavimentos em serviço não tem se relacionado exclusivamente com o aspecto estrutural de solicitação das cargas do tráfego, mas também com o processo construtivo, à falta de conhecimento apropriado da tecnologia dos materiais empregados, à falta de estanqueidade da fundação e das paredes laterais e com as condições de drenagem subsuperficial previstas.

Estas observações são pertinentes, uma vez que a superfície de diversos pavimentos mostrou-se trincada mesmo sem tráfego ou com passagem apenas de veículos de passeio em muitas situações.

À luz do levantamento das concepções de execução adotadas, da análise expedita dos defeitos superficiais observados e da avaliação das condições funcionais efetuada, apresentam-se neste trabalho sugestões para subsidiar a escolha e detalhamento do tipo de pavimento mais adequado para cada situação de projeto encontrada.

Em função de revisão bibliográfica elaborada, constatou-se que não existe uma única boa estrutura típica a ser recomendada para os pavimentos dos túneis, sendo que a escolha e sucesso da concepção funcional mais adequada dependerão de aspectos estruturais e tam-

bém do método construtivo do túnel a ser adotado. Além disso, dependerão ainda da disponibilidade de equipamentos de execução disponíveis, do conhecimento da tecnologia dos materiais empregados e, principalmente, das condicionantes geotecnológicas do local, que normalmente são negligenciadas.

## **2. CONCEITOS GERAIS**

A partir da década de 1990, houve um vertiginoso crescimento no ritmo de construção de túneis viários urbanos, principalmente no Estado de São Paulo.

Neste período foram concluídas as obras dos túneis da pista descendente da rodovia dos Imigrantes, da duplicação do túnel da Mata Fria na rodovia Fernão Dias, dos túneis do Rodoanel Mario Covas na RMS, além de inúmeros túneis distribuídos no Município de São Paulo, destacando-se entre eles: Complexo Viário Ayrton Senna, túneis Presidente Jânio Quadros e Sebastião Camargo sob o rio Pinheiros, túneis Tribunal da Justiça sob a Av. Santo Amaro e túnel Maria Maluf no Mini Anel Viário.

Os pavimentos da grande maioria dos túneis e passagens inferiores urbanas foram executados com placas de concreto de cimento Portland, devido à sua maior durabilidade, maior segurança quanto ao risco da ocorrência de incêndios no interior das obras e menor interrupção do tráfego para serviços de reparos e manutenção na infraestrutura viária.

Apesar de grande evolução e aprimoramento da tecnologia no projeto e construção civil de túneis, verificou-se

que os respectivos pavimentos não têm apresentado desempenhos funcional e estrutural satisfatórios, exigindo frequentes serviços de manutenção e restauração ao longo do tempo.

Ressalta-se que os pavimentos, independentemente de superfície ou de túneis, devem ser de maneira geral resistentes, seguros, de custo eficiente, sustentáveis e principalmente confortáveis ao rolamento.

Descrevem-se de maneira resumida algumas características relacionadas aos aspectos funcionais exigidos para cada tipo de pavimento, visando atender aos objetivos mencionados específicos para seção de túneis.

### **2.1. Conforto**

As irregularidades longitudinais e transversais são menos pronunciadas nos revestimentos asfálticos, diminuindo as vibrações nos veículos e melhorando o nível de conforto ao rolamento. Esta característica poderia ser mais significativa caso as velocidades operacionais nestes trechos viários fossem maiores. Ressalta-se que a geometria da superfície acabada é resultante dos equipamentos e procedimentos executivos adotados, grande parte relacionada ao espaço reduzido para execução dos serviços.

O ruído no interior dos túneis é decorrente da interação pneu/pavimento e depende do tipo de revestimento adotado e das condições de irregularidade da superfície. Devem-se buscar sempre materiais que apresentem melhor qualidade para absorver o som, principalmente em regiões mais densamente urbanizadas.

### **2.2. Segurança**

A resistência ao atrito no contato pneu/pavimento é de suma importância na segurança viária. Esse item torna-se significativo em caso de túneis longos, já que a borracha do pneu fica impregnada devido ao desgaste por mais tempo na superfície do revestimento. Em pavimentos a céu aberto, as ações da intempérie (vento e chuva) promovem a autolimpeza da superfície do pavimento, melhorando as condições de atrito.

A resistência contra o fogo e geração de gases tóxicos em caso de ocorrência de incêndios no interior constitui hoje medida de extrema importância, princi-

palmente para os casos de túneis de grande extensão. Os materiais empregados no revestimento e demais camadas do pavimento não devem ser facilmente inflamáveis, nem desagregar a altas temperaturas e devem apresentar baixo coeficiente de transmissão de calor. Condições adversas de calor, excesso de fumaça e fuligem dificultam a saída rápida dos usuários durante eventuais sinistros de incêndio.

Uma questão importante no interior do túnel é a boa visibilidade para os usuários em qualquer hora do dia, permitindo não só enxergar obstáculos como também tomar rápidas decisões quanto ao direcionamento do veículo. Considerando que as névoas e sprays de água devido à água de chuva que prejudicam a visibilidade não são relevantes dentro dos túneis, a questão da iluminação passa a ser o fator de destaque. Na iluminação devem ser consideradas a refletividade de luz e o contraste entre cores de objetos e da sinalização, em decorrência dos diferentes tipos de luminárias e fontes de energia natural ou artificial.

A Norma Directiva 2004/54/EC apresenta os requisitos mínimos de segurança exigidos pela União Europeia para os túneis da malha transeuropeia, com atenção especial aos túneis com extensão superior a 500m. Nesta norma é elaborada uma classificação para os túneis baseada em três aspectos: sentido da circulação, intensidade do tráfego e comprimento do túnel. Contudo, a norma não possui aspectos diretamente relacionados à resistência ao fogo do pavimento, exigindo que na ocorrência de incêndio as obras devam estar em conformidade com as exigências em relação à capacidade da estrutura de resistir ao fogo por um período de tempo. Sabe-se que a resistência ao fogo do pavimento poderá afetar indiretamente a geração e propagação do fogo no túnel.

### **2.3. Custos**

Os pavimentos devem ser concebidos e projetados utilizando técnicas e materiais que considerem os investimentos iniciais e os custos de manutenção e restauração ao longo do seu ciclo de vida útil. Além das questões de impermeabilização e drenagem subsuperficial, os materiais empregados deverão ser

insensíveis à ação deletéria da presença de água livre na estrutura.

Devem ser preferidas as soluções alternativas mais duráveis, objetivando diminuir o número de restaurações e, conseqüentemente, a necessidade de fechamento frequente e duradouro dos túneis para execução dos trabalhos de manutenção, fator que, sem dúvida, provoca o aumento do custo total dos usuários devido ao atraso e dos custos operacionais dos veículos. Para as soluções de restauração e reparos localizados têm sido empregados mais frequentemente os recapamentos asfálticos, em vista de possibilidade de liberação rápida do tráfego logo após a conclusão dos serviços.

### 3. ESTRUTURAS TIPO DE PAVIMENTO UTILIZADO NO EXTERIOR

#### 3.1. Estruturas Típicas de Pavimentos para Túneis na Áustria

Na Áustria, a especificação RVS 09.01.23 – *Austrian Construction Guideline* – prevê a utilização de estruturas típicas em função do volume de tráfego. As tabelas 3.1 e 3.2 a seguir apresentam as proposições de espessuras das camadas para utilização do pavimento de concreto de cimento Portland e do pavimento asfáltico, respectivamente. Na Áustria, principalmente para túneis com extensão superior a 1,0km e com risco nível II

Tabela 3.1 – Espessuras das camadas para pavimentos de concreto na Áustria

Material	Tráfego	
	18 < N <sup>(*)</sup> < 40	N <sup>(*)</sup> < 18
Concreto de cimento Portland (cm)	22	20
Camada betuminosa (cm)	5	5
Sub-base granular (cm)	30	30

(\*) N = 10<sup>6</sup> passagens do eixo padrão de 100 kN

Tabela 3.2 – Espessuras das camadas para pavimentos asfálticos na Áustria

Material	Tráfego		
	10 < N <sup>(*)</sup> < 25	4 < N <sup>(*)</sup> ≤ 10	N <sup>(*)</sup> ≤ 4
Concreto betuminoso (cm)	21(**)	18	14
Base granular (cm)	30	30	30

(\*) N = 10<sup>6</sup> passagens do eixo padrão de 100kN

(\*\*) Para bases cimentadas a espessura pode ser reduzida para 20cm

#### 2.4. Sustentabilidade

Buscam-se soluções e inovações tecnológicas objetivando minimizar os impactos ambientais, procurando trabalhar com pavimentos menos espessos e utilizando materiais naturais abundantes na natureza ou que possam ser reciclados e aproveitados com baixo custo de processamento.

Entre as alternativas disponíveis, devem ser preferidas aquelas que consomem menos energia para produção dos materiais e misturas utilizadas na pavimentação, e aquelas que resultem em maior economia de luz para operação do sistema viário.

de segurança quanto à resistência ao fogo e não geração adicional de fumaça em caso de incêndio, o pavimento de concreto passou a ser padrão a partir do ano 2000.

Em 1999, ocorreram catastróficos incêndios, que ocasionou uma revolução dos critérios de segurança de túneis. Entre estes incêndios destacam-se o ocorrido no Túnel Tauern (Áustria) e no Túnel Mont Blanc (entre a França e a Itália), no ano de 1999, e, em 2001, no túnel Gottard localizado na Suíça.

Outras razões pela escolha de pavimentos de concreto são a alta resistência ao atrito com o pneu dos

veículos, a refletividade da superfície da pista, a economia na iluminação, além da maior durabilidade teórica deste tipo de revestimento.

Foram verificadas em túneis que as condições de exposição dos pavimentos parecem influenciar mais a resistência ao atrito do que métodos construtivos e os materiais utilizados dentro e fora dos túneis. Os valores de resistência ao atrito nos túneis resultaram notadamente menores do que nas seções das entradas e saídas, implantadas com mesmo tipo de material (MAURER et al., [entre 2006 e 2010]).

Em meados de 1980, o pavimento de concreto havia sido substituído pelos asfálticos, tendo em vista que muitas estruturas tinham apresentado problemas de ruptura devido à não colocação de barras de transferência nas juntas transversais e pela espessura insuficiente em algumas situações.

### 3.2. Recomendações de Estruturas Típicas de Pavimento para Túneis na Espanha

As estruturas típicas recomendadas para implantação em túneis de vias espanholas são dadas em função do tráfego e do subleito previsto e são baseadas nos procedimentos propostos pela Norma 6.1 IC do Ministério de Fomento (2003) do Governo da Espanha.

O parâmetro de tráfego é representado pela Intensidade Média Diária de Veículos Pesados (IMDp) prevista de passar pela faixa mais solicitada, no ano de sua inauguração, conforme a tabela 3.3.

O subleito pode ser classificado em três categorias distintas, conforme mostrado na tabela 3.4, sendo utilizado o valor de CBR. As tabelas 3.5 a 3.7 apresentam

estruturas recomendadas para utilização na pavimentação de túneis em vias espanholas.

### 3.3. Recomendações de Estruturas Típicas de Pavimento para Túneis na Bélgica

Nos túneis da Bélgica tem sido utilizado pavimento de concreto continuamente armado (BAC – Beton Armé Continu), com espessura da ordem de 18cm, apoiado sobre camada delgada asfáltica de 4cm (BBTM – Beton Bitumineux Très Mince), sendo que a finalidade desta última é proteger o tabuleiro de trabalho e melhorar as condições de aderência. Nesta

Tabela 3.3 – Categoria de tráfego pesado (adaptada de MINISTÉRIO DE FOMENTO, 2003)

Classe	IMDp
	(veículos pesados / dia)
T00	≥ 4000
T0	2000 – 4000
T1	800 – 2000
T2	200 – 800
T31	100 – 200
T32	50 – 100
T41	25 – 50
T42	< 25

Tabela 3.4 – Classificação do subleito

Tipo de Subleito	Valores Limites de CBR (%)
E1	5 ≤ CBR < 10
E2	10 ≤ CBR < 20
E3	CBR ≥ 20

Tabela 3.5 – Pavimento de concreto (Espanha)

Material	Tipo de Subleito	Tráfego				
		T1	T2	T31 e T32	T41	T42
Concreto de cimento Portland (cm)	–	25	23	21	20	18
	E1	*	*	*	20 <sup>(2)</sup>	20 <sup>(2)</sup>
Concreto magro (cm)	E2	15	15	20 <sup>(2)</sup>	–	–
	E3	15 <sup>(1)</sup>	15 <sup>(1)</sup>	–	–	–

\*nada recomendado

(1) Se existir uma laje de fechamento ou um preenchimento de concreto de baixa resistência, a camada inferior não será aplicada.

(2) substituir o concreto magro por brita graduada

Tabela 3.6 – Pavimento asfáltico com base de solo-cimento

Material	Tipo de Subleito	Tráfego				
		T1	T2	T31 e T32	T41	T42
Concreto Asfáltico (cm)	–	20	15	10	8	5
	E1	*	*	*	30	25
Solo-cimento (cm)	E2	25	22	30	25	22
	E3	20	20	22	20	20

\* nada recomendado

Tabela 3.7 – Pavimento asfáltico com base de brita graduada

Material	Tipo de Subleito	Tráfego				
		T1	T2	T31 e T32	T41	T42
Concreto Asfáltico (cm)	–	20	18	15	10	5
	E1	*	*	*	–	35
Brita graduada (cm)	E2	–	–	–	–	25
	E3	–	–	20	20	20

\* nada recomendado

solução, além de poder melhorar o nível de conforto pela redução do número de juntas transversais e possível liberar o tráfego após cerca de seis horas de cura do material, empregando-se concreto com dosagens específicas e utilizando cimentos especiais do tipo aluminoso.

### 3.4. Recomendações de Estruturas Típicas de Pavimento para Túneis no Japão

Nos túneis japoneses têm sido empregados diversos tipos de pavimento, os quais são concebidos levando-se em consideração a durabilidade, a manutenção, a iluminação interna e a segurança viária.

Os pavimentos asfálticos têm sido recomendados para túneis em geral de pequena extensão e quando este tipo de estrutura é o mesmo da pista principal de seções em terraplenagem, dos trechos adjacentes, o que se justifica pela facilidade dos trabalhos de manutenção.

Os pavimentos de concreto têm sido normalmente utilizados há muito tempo nos túneis longos pela melhor iluminação interna que esta alternativa oferece. Outro aspecto que tem motivado a escolha de estrutura rígida é a sua maior durabilidade e menor necessidade de serviços de manutenção ao longo de sua vida útil. Além dos dois tipos mencionados, tem sido

utilizado também o pavimento composto em que o revestimento asfáltico é lançado sobre o pavimento de concreto. Nesta alternativa, para evitar a reflexão de trincas na camada betuminosa, tem sido utilizada bases de concreto continuamente armado, prevendo-se execução apenas de juntas de construção. Esta solução, apesar de ser muito mais cara em termos de investimento inicial, tem se tornado competitiva, levando-se em conta o custo total de transporte ao longo do ciclo de vida do pavimento. Outra vantagem desta alternativa é a possibilidade de se restaurar apenas o revestimento superior, sem danificar a base, caso a estrutura seja devidamente monitorada.

Para o caso de pavimentos compostos tem sido analisado o aspecto da iluminação com lâmpadas fluorescentes que requer menor reposição e a questão da eventual possibilidade de o asfalto entrar facilmente em combustão, para casos de sinistros envolvendo caminhões com carga inflamável.

## 4. DIRETRIZES GERAIS PARA ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

Apesar da similaridade com os pavimentos rodoviários clássicos de superfície, a concepção da pavimentação

de um túnel viário deve exigir atenção especial quanto aos seguintes aspectos:

- Se o greide é ou não submerso em relação ao NA original;
- Como será a fundação do pavimento, em terreno natural tipo solo ou rocha, com reforço e troca do subleito, apoiadas ou aderidas sobre lajes pré-moldadas, ou incorporada em espessa camada de concreto massa da laje de fundo, para combater a subpressão hidrostática;
- Magnitudes do volume e tipo de tráfego;
- Gradientes térmicos no interior do túnel;
- Espaço restrito e reduzido para instalação e operação dos equipamentos de construção;
- Condições de drenagem e estanqueidade do túnel na fase definitiva, após o término do rebaixamento provisório do lençol freático;
- Condicionantes geotécnicas e hidrogeológicas da região.

Na figura 6.2 é apresentado um fluxograma que ilustra os tópicos mais importantes a serem considerados nas fases de estudos, projeto, supervisão e monitoramento para o bom desempenho dos pavimentos em túneis viários.

#### **4.1. Alternativas de Concepção**

Nos túneis e passagens subterrâneas com extensão superior a 500m ocorrem condições que diferem daquelas encontradas nas vias a céu aberto, entre elas: estabilidade térmica, ausências de chuva e de radiação solar, além da frequente presença de água inevitavelmente percolada do lençol freático.

Normalmente, em função do greide, do método construtivo adotado e por questões econômicas, as seções transversais e o gabarito vertical são restritos, impedindo a implantação dos pavimentos clássicos rodoviários.

O pavimento deve ser concebido e dimensionado levando em conta a restrição de escavação para o preparo adequado do subleito e da necessidade ou não de se prever laje estrutural na fundação.

##### **4.1.1. Pavimento Clássico Rodoviário**

Sempre que as condições geométricas e hidrogeológicas forem favoráveis, é preferível executar o pavi-

mento clássico rodoviário e, em caso contrário, uma das alternativas descritas a seguir independentemente do tipo de revestimento escolhido.

##### **4.1.2. Pavimento Não-Aderido**

Nesta alternativa, o pavimento de concreto simples com espessura da ordem de 20cm é lançado sobre a laje colocando-se uma manta isolante, filme plástico ou mesmo uma camada delgada de mistura betuminosa para evitar a aderência entre os dois materiais.

##### **4.1.3. Pavimento Aderido**

Quando o pavimento é lançado sobre lajes maciças ou pré-moldadas de concreto, é necessário verificar se o apoio está devidamente nivelado e ancorado.

No caso do pavimento aderido, o concreto do revestimento sobrejacente é lançado quando o concreto da laje estrutural está praticamente curado.

Assim sendo, para conseguir a máxima aderência entre as camadas, é necessário que a superfície subjacente seja rugosa e para isto normalmente recomenda-se o tratamento com limpeza energia, aplicando-se jatos de ar areia, utilização de argamassa de cimento ou epóxi e em alguns casos emprego de grampos de espera ou conectores para ancorar a armadura metálica do revestimento final.

Considerando que o concreto da camada de rolamento deva ser durável e resistente a abrasão e proteja eficazmente a armadura, recomenda-se a utilização de concreto de consistência seca e denso com emprego de aditivos especiais entre eles sílica e látex. Em algumas situações, tem sido empregado concreto com espessura delgada e reforçado com fibras de aço.

##### **4.1.4. Pavimento Incorporado**

Nesta solução, a laje estrutural deve receber de forma monolítica um revestimento final de concreto com espessura da ordem de 5 a 8cm que apresente resistência e textura superficial adequada, compatível com a solicitação do tráfego previsto.

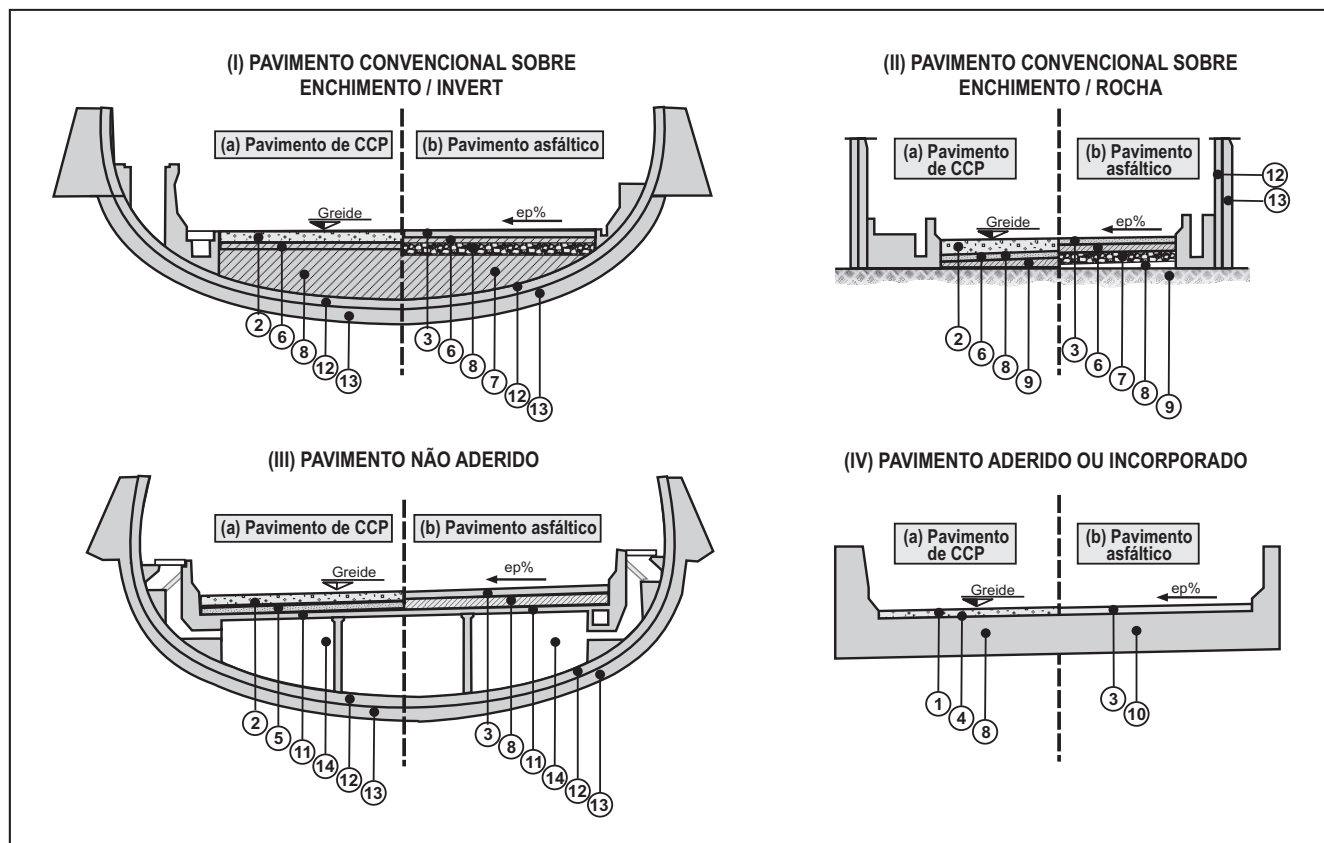
Neste caso, é recomendável a participação de um tecnologista de materiais, já que normalmente o concreto estrutural da laje é bem distinto em termos de dosagem e composição de aditivos em relação ao do

revestimento final, podendo às vezes surgir problemas de aderência e fissuração na última camada.

A aderência entre a camada de apoio e o pavimento de concreto deve ser garantida mantendo-se a superfície subjacente rugosa, através de apicoamento e limpeza energética complementar. Pode-se em muitos casos utilizar camadas intermediárias de argamassa e epóxi ou ainda empregar pequenos ganchos de espera para ancorar a armadura da camada superior. A cama-

da de revestimento com espessura da ordem de 10cm deve ser normalmente armada, e o concreto utilizado poderá ser simples ou com aditivos tipo fibra de aço, microssilica, entre outros, que permitam boa trabalhabilidade e apresente resistência final compatível com a de projeto.

Na figura 4.1 são apresentadas algumas seções transversais típicas de pavimentos em túneis viários e passagens subterrâneas.



Legenda	Descrição	Legenda	Descrição	Legenda	Descrição
1	Revestimento Delgado de Concreto Armado	6	Material de Base Estabilizado com Ligante Asfáltico ou Cimento Portland	11	Laje Estrutural Moldada <i>in loco</i> ou Pré-Moldada
2	Placa de Concreto de Cimento Portland Simples	7	Material de Sub-Base Granular ou Granular Estabilizado com Cimento Portland	12	Revestimento Primário da Estrutura do Túnel
3	Revestimento em Concreto Asfáltico	8	Material de Enchimento Granular ou Granular Estabilizado com Cimento Portland*	13	Revestimento Final da Estrutura do Túnel
4	Tratamento de Superfície para Garantia de Aderência	9	Rocha / Solo Competente	14	Vazio para Ventilação ou Instalação de Rede de Serviço Público
5	Camada de Nivelamento	10	Laje Estrutural ou Laje de Fundo		

Nota: \*quando sobre rocha, o material de enchimento deverá ser drenante.

Figura 4.1 – Seções transversais típicas de pavimentos em túneis viários e passagens subterrâneas

## 4.2. Vida Útil

A vida útil a ser considerada no dimensionamento estrutural dos pavimentos deve variar entre 25 e 40 anos. Assim, para a seleção da melhor alternativa, recomenda-se a elaboração de estudo de avaliação econômica que considere os investimentos iniciais de construção e também os custos de manutenção e restauração da estrutura, além dos benefícios decorrentes de operação e interrupção do tráfego no período de obras.

Os principais elementos a serem considerados na análise são:

- Frequência e duração dos serviços de manutenção e restauração;
- Atrasos e custos decorrentes da interrupção e desvio do tráfego durante os períodos de restauração;
- Volume e composição do tráfego nos períodos de análise;
- Número de recapeamentos admissíveis sem afetar o gabarito vertical da passagem inferior.

## 4.3. Tipo de Revestimento

A seleção e escolha do tipo de revestimento mais apropriado para o pavimento dependerá dos seguintes aspectos, além de avaliação técnica e econômica desenvolvida no subitem anterior:

- Do potencial de hidroplanagem;
- Da resistência ao atrito pneu/pavimento requerida;
- Da capacidade de absorção do ruído;
- Da suscetibilidade ao óleo diesel derramado;
- Da resistência ao afundamento na trilha de roda e aos esforços de cisalhamento nas rampas dos emboques de entrada e saída do túnel;
- Da resistência à combustão e emissão de gases tóxicos na possibilidade de ocorrência de incêndio no interior do túnel;
- Contribuição à proteção ambiental e ao desenvolvimento sustentável.

## 4.4. Dimensionamento Estrutural

O método de dimensionamento a ser adotado dependerá do tipo e concepção da estrutura selecionada. Em princípio recomenda-se a utilização de um dos seguintes procedimentos:

- Método do DNIT – para pavimentos flexíveis apoiados sobre terrapleno ou pedrapleno, similares aos pavimentos de superfície;
- Método da PCA/84 – para pavimentos de concreto simples de cimento Portland apoiados sobre terraplenagem ou pedrapleno, similares aos pavimentos de superfície;
- Revestimento delgado com espessura da ordem de 10cm, constituído de placas de concreto armado para combater fissuração, aderidas e sobrepostas a pré-lajes moldadas de concreto;
- Revestimento de concreto com espessura da ordem de 20cm, não aderida, executado sobre a laje estrutural e inclusão de camada intermediária ou manta de impermeabilização;
- Revestimento delgado com 5 a 10cm de espessura de concreto simples/armado incorporado na laje estrutural de fundação.

## 4.5. Detalhes e Cuidados Complementares

Além dos aspectos do dimensionamento estrutural deverão ser levados em consideração os seguintes itens:

- Dispositivos de drenagem superficial de eventual contribuição externa de águas pluviais e de limpeza e lavagem dos túneis para manutenção;
- Dispositivos de drenagem profunda e subsuperficial para drenar a água livre percolada e proveniente do lençol freático, não só longitudinal como transversal à pista de rolamento;
- Detalhes de transição longitudinal dos diferentes tipos de pavimento função da provável diferença de concepção e rigidez de fundação das estruturas;
- Detalhamento de juntas e geometria das placas no caso de pavimentos de concreto de cimento Portland simples ou dotados de armadura.

## 4.6. Sistemas de Impermeabilização

Quando o túnel é construído em terreno totalmente seco, são melhores as condições de segurança, ocorrem menores impactos ambientais e verifica-se redução significativa nos custos de operação e manutenção da obra.

Nos túneis submersos, apesar do avanço ocorrido na tecnologia de projeto e construção de sistema de

impermeabilização nas últimas décadas no exterior, tem-se verificado ocorrência de gotejamentos e vazamentos generalizados em inúmeros pontos das seções longitudinais e transversais do túnel.

Os sistemas de impermeabilização constituídos de diversos elementos e materiais têm por objetivo evitar a infiltração de água do lençol freático para o interior das escavações subterrâneas. O projeto do sistema deve levar em consideração as condições hidrogeológicas do local, *layout* e geometria da obra, os métodos executivos a serem utilizados e os diferentes estágios de construção.

No Brasil têm sido empregados basicamente dois tipos de sistemas de impermeabilização: drenado (aberto) e não drenado (fechado), conforme ilustrado nas figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

#### 4.6.1. Sistema Aberto

No sistema aberto é permitida a entrada de água para o sistema de drenagem do túnel reduzindo as cargas hidrostáticas na estrutura e tornando os revestimentos mais leves e menos espessos. Tipicamente a área da abóboda da seção é protegida por um sistema que funciona como um guarda-chuva aberto que coleta a água infiltrada no arco superior, conduz lateralmente pelas paredes, até atingir o sistema de drenagem localizado na parte inferior de sustentação do túnel.

Este sistema é normalmente utilizado para túneis em rocha ou solos de baixa permeabilidade, onde o fluxo de água a ser infiltrado é relativamente pequeno e o nível do lençol freático não seja sensivelmente afetado.

Este sistema é comumente instalado entre os revestimentos primário e final, resultando em menores custos de construção, uma vez que as pressões hidrostáticas atuantes no revestimento final e no *invert* são drasticamente reduzidas ou eliminadas.

#### 4.6.2. Sistema Fechado

No sistema fechado deve-se evitar qualquer infiltração de água ao longo de todo o perímetro da seção, não sendo necessário, portanto, alterar o regime do lençol freático envolvente nas imediações. Nesta situação os revestimentos secundários, as lajes de fundo e os *inverts*

são mais robustos, pois devem ser dimensionados para suportar toda pressão hidrostática.

Este sistema é normalmente aplicado para solos permeáveis e para situações em que a descarga do lençol freático pode ser muito grandes o que viria possibilitar a ocorrência de recalques significativos na superfície de sua respectiva área de influência.

Cuidados especiais de impermeabilização devem ser tomados para túneis executados com elementos estruturais pré-moldados, ou através de sistemas de vala a céu aberto, que exijam juntas de construção que deverão ser devidamente seladas e todo o conjunto encapsulado pelo sistema de impermeabilização.

Nesta situação, quanto melhor a qualidade inicial dos serviços de construção menores serão os custos de operação e manutenção, decorrentes da necessidade de bombeamentos através do sistema de drenagem do túnel e limpeza de materiais sólidos acumulados no interior devido ao carreamento pelo fluxo de água.

#### 4.6.3. Considerações Gerais

Apresenta-se a seguir, nas figuras 4.2 e 4.3, seções transversais típicas mostrando esquematicamente o sistema de impermeabilização, onde uma membrana flexível e contínua (normalmente PVC) é instalada entre as duas camadas de revestimento normalmente executadas com concreto projetado.

Na figura 4.4 são mostradas duas geometrias, uma com a parte inferior arredondada à direita e outra à esquerda plana. A seção típica arredondada é recomendada para túneis executados em solo mole, enquanto a outra é sugerida para condições de solo competente, ou de maciços rochosos. Nota-se que na seção curva ocorre a necessidade de escavação adicional e posterior enchimento de material que poderá influir na definição da concepção do tipo de pavimento a ser executado posteriormente. Em algumas situações a parte inferior da seção é deixada vazada para permitir a passagem de rede de serviços públicos, exigindo o fechamento da parte superior com placas pré-moldadas de concreto e posterior execução da pavimentação.

Mesmo que o concreto dos revestimentos utilizados nos sistemas de impermeabilização seja de elevada

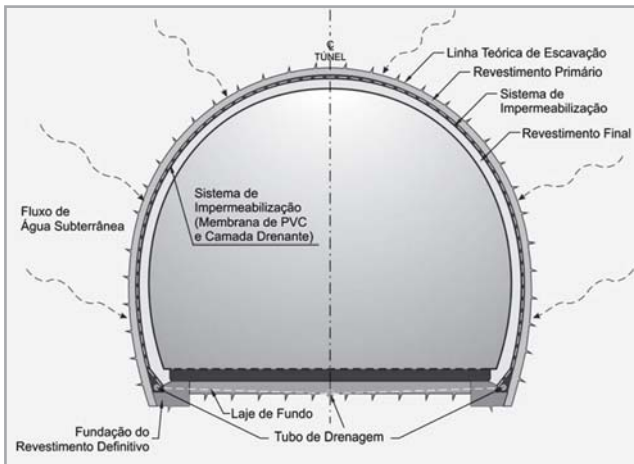


Figura 4.2 – Sistema drenado

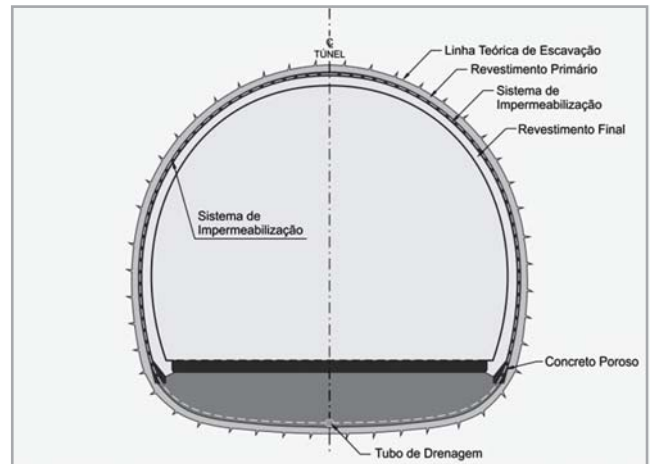


Figura 4.3 – Sistema não-drenado

qualidade, ele pode ser considerado poroso, pois durante sua hidratação a água evaporada deixa milhões de poros capilares no material.

As zonas entre o cimento e o agregado também estão propensas a fissuração devido à retração hidráulica, tensões relacionadas ao gradiente térmico e outras forças intrínsecas que podem ocorrer.

Outros fatores que podem contribuir para eventual fissuramento estrutural do revestimento do túnel são as constantes movimentações e forças atuantes decorrentes de acomodação das cargas geostáticas sobrejacentes, redistribuição de tensões e em algumas situações até abalos sísmicos.

Assim sendo, mesmo com ou sem a impermeabilização completa, é possível verificar pequena quantidade de água infiltrada percolando entre as juntas de construção e gotejando nas partes superiores do túnel, que por sua vez vão caminhar pela superfície do pavimento.

## 4.7. Recomendações Construtivas

### 4.7.1. Quanto ao sistema de impermeabilização

Um dos fatores que mais contribui para a redução da vida útil de um pavimento de túneis é a presença de água em qualquer uma de suas camadas constituintes, o que dependerá fundamentalmente de eventuais falhas na impermeabilização ou no sistema de drenagem subsuperficial previsto.

Como ressaltado, a geologia tem uma importância decisiva na escolha do procedimento construtivo e no

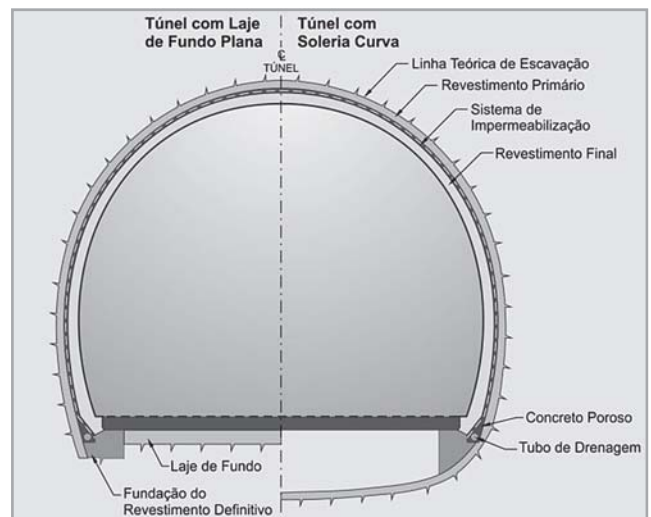


Figura 4.4 – Seções transversais tipo esquemáticas

tipo de revestimento do túnel, o que reflete na eficiência do sistema de impermeabilização.

Os túneis podem estar situados em zonas de águas subterrâneas, em zonas de saturação ou de franja capilar, e as técnicas de impermeabilização devem ser adaptadas a cada uma dessas situações.

Em alguns túneis, ocorrem importantes infiltrações na parte inferior da seção, as quais podem afetar não só o subleito como todos os materiais que constituem a estrutura do pavimento.

Caso a infiltração seja localizada, a melhor solução é executar uma vala ou trincheira e preencher com material drenante, conduzindo e coletando a água através de conexão com o sistema de drenagem da via. É interessante colocar uma camada impermeável entre

o aterro drenante e o pavimento, constituindo um reforço sobrejacente à camada impermeabilizante.

Se a infiltração é muito generalizada, podem ser empregadas duas soluções. Caso não haja restrição orçamentária, é aconselhável executar uma impermeabilização completa na seção, com o objetivo de desviar o fluxo de água. Isto pode ser feito mediante a combinação de um geotêxtil (normalmente uma manta impermeável e outra filtrante), injeções no terreno e injeções entre o conjunto terreno-sustentação-revestimento.

Caso a impermeabilização represente um custo demasiadamente elevado para a obra, deve-se construir uma camada drenante com capacidade suficiente para conduzir a água até um dreno lateral.

Caso não se impermeabilize totalmente o túnel, a água infiltrada nas partes superiores pode gotejar sobre o pavimento.

Nestes casos é recomendável instalar geotêxteis que conduzam a água ao nível do passeio para que posteriormente seja lançada ao sistema de drenagem, de tal forma que não ocorra infiltração pelas camadas do pavimento.

Se o pavimento está assentado sobre rocha e a água está ou não aflorando na superfície, é imprescindível evitar o acúmulo de água na plataforma prevenindo-se um sistema de drenagem adequado. Recomenda-se a colocação de uma camada de concreto de baixa resistência ou um solo estabilizado *in situ* com cimento, com espessura entre 20 e 30cm, lançada sobre a camada granular drenante com a devida declividade transversal para permitir o escoamento natural da água.

Se a fundação do pavimento for uma laje estrutural, recomenda-se a selagem das juntas, a fim de minimizar riscos de ocorrência de trincas e consequente propagação até a superfície do pavimento.

#### 4.7.2. Quanto à cura do concreto

Um tipo de defeito muito frequente nos pavimentos de concreto dos túneis é o trincamento generalizado da superfície por retração que corresponde a redução de volume causada pelas variações higroscópica e térmica na estrutura do concreto e que pode ocorrer des-

de os primeiros minutos de lançamento do material ou ao longo de sua vida útil, recebendo por tanto diferentes designações em função das diversas causas.

Logo que o concreto é lançado na pista, sua superfície fica sujeita à evaporação natural da água, tanto mais intensa quanto maior a velocidade dos ventos, maior a temperatura e menor a umidade ambiente. A consequente perda de volume é denominada retração plástica, por acontecer enquanto o concreto está no estado plástico, ou seja, antes do início de pega do cimento. A água se acumula na superfície devido ao fenômeno de exsudação, uma vez que o líquido é menos denso em relação aos demais componentes do concreto.

A prevenção da fissuração pode ser feita com a molhagem prévia das formas e agregados, com a revibração do concreto antes da pega do cimento, com o início da cura úmida ou química logo após o acabamento da superfície, uso de quebra-ventos ou outros procedimentos que reduzam a evaporação superficial.

A retração química verificada em todos os concretos ocorre porque os produtos de hidratação do cimento têm menor volume que a soma dos volumes de água e do cimento da mistura final.

Este fenômeno inicia antes da pega do cimento e se prolonga durante toda a hidratação; é mais intensa nos primeiros dias e se manifesta por igual em toda a massa do concreto e não apenas na superfície, sendo, portanto, mais profunda do que as causadas por retração plástica, podendo inclusive atingir toda a espessura do pavimento. Para preveni-las, além da redução do consumo de cimento, podem-se empregar aditivos expansores e especiais no preparo do concreto. Este tipo de retração tem importância fundamental na serragem das juntas, pois o tempo inadequado para o serviço induzirá no surgimento precoce de fissuras.

A retração hidráulica ou de secagem, devida à evaporação da água que fica nos poros menores ou aderidos aos cristais da pasta de cimento, acontece de fora para dentro do concreto, quando a umidade ambiente atinge valores relativamente baixos, da ordem de 30%.

As fissuras resultantes são superficiais, irregulares e distribuídas aleatoriamente, podendo ocorrer ao longo

dos anos. A retração térmica se manifesta devido à significativa liberação de calor e dilatação do concreto acompanhado de respectivo resfriamento que ocorre nas primeiras horas de hidratação do cimento. Este fenômeno de dilatação e contração aumenta com o consumo de cimento e com as dimensões das placas, podendo ocasionar fissuras extensas e profundas.

A sua prevenção pode ser feita através do resfriamento dos componentes do concreto, inclusive substituindo parte da água por gelo e pelo uso de cimentos pozolânicos de baixo ou moderado calor de hidratação. A concretagem de grandes volumes em etapas auxilia a dissipar o calor e reduzir a expansão no caso de concreto massa.

Ressalta-se que nem sempre é simples efetuar o diagnóstico preciso da retração, especialmente porque os diferentes tipos costumam ocorrer simultaneamente, e a sua magnitude final acaba sendo a somatória de cada um dos efeitos.

É importante a participação do tecnólogo de materiais que consiga estimar as proporções da retração total, para que seja possível dosar e executar o concreto de maneira a inibir o surgimento de fissuras e/ou trincas causadas por este tipo de fenômeno.

#### 4.7.3. Situações Gerais

Em caso de pavimentos asfálticos, recomenda-se colocar uma camada intermediária com o propósito de evitar a reflexão de trincas e juntas e conseqüentemente melhorar a irregularidade superficial.

Em vista de bons resultados alcançados, ainda que não seja uma prática habitual na Espanha a execução de camada de mistura asfáltica sob o pavimento de concreto para assegurar uma plataforma uniforme suficientemente regular para a construção do revestimento final, é recomendada, assim como preconiza o modelo austríaco.

## 5. AVALIAÇÃO FUNCIONAL DOS PAVIMENTOS EXISTENTES

Neste trabalho, a avaliação do nível de conforto dos pavimentos existentes em 20 túneis no Município

de São Paulo, conforme mostrado na figura 5.1, foi realizada determinando-se o VSA – Valor de Serventia Atual – e através da medição do Índice de Irregularidade Longitudinal – IRI – com equipamento a laser. Os levantamentos foram efetuados em ambas as direções de circulação quando possível e sempre na faixa direita no sentido do tráfego.

O VSA foi determinado a partir da metodologia do DNIT – PRO 009/2003, que se baseia no conceito de serventia proposto por Carey e Irick, caracterizado pelo *Present Serviceability Rating* (PSR) e também adotado pela AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials* (1993) para avaliação de sua famosa pista experimental. Contudo, como esta norma é recomendada para pavimentos flexíveis e semi-rígidos, levaram-se em consideração as observações apresentadas na norma do DNIT – PRO 063/2004 indicada para avaliação subjetiva em pavimentos rígidos.

O IRI (*International Roughness Index*) foi obtido empregando-se o perfilômetro a laser modelo DYNATEST 5051 MK-III RSP, considerado de classe I conforme definido pela norma ASTM E 950, o que implica medidas de elevada repetibilidade e precisão.

O equipamento permite o registro do perfil longitudinal da superfície do pavimento ao longo de cada uma das trilhas de roda. Em função disto, foram calculados valores de IRI médio e característico das duas trilhas para cada segmento de 20m. O padrão QI – Quociente de Irregularidade – também foi determinado utilizando-se a equação de correlação indicada abaixo.

$$QI = 13 \cdot IRI$$

Onde:

QI = quociente de irregularidade, cont/km;

IRI = International Roughness Index, m/km.

Para efeito de avaliação da qualidade de condição dos pavimentos inventariados, foi considerado o sistema de classificação mostrado na tabela 5.1, proposto pelos autores em função da irregularidade longitudinal da superfície de rolamento.

Neste trabalho considerou-se a equação de correlação entre valores de PSR e QI mostrada a seguir que foi estabelecida a partir de levantamentos de irre-

Tabela 5.1 – Padrão de qualidade de pavimentos em túneis

Condição do Pavimento	PSR	IRI (m/km)	QI (cont / km)
Excelente	≥ 4,0	≤ 1,7	≤ 22
Boa	3,5 – 4,0	1,7 – 2,7	22 – 35
Regular	3,0 – 3,5	2,7 – 3,9	35 – 50
Ruim	2,5 – 3,0	3,9 – 5,3	50 – 70
Péssima	< 2,5	> 5,3	> 70

gularidade de pavimentos de túneis em São Paulo, efetuados em 2006 e em 2010 especificamente para o presente estudo.

$$PSR = 5,0 e^{-0,13/IRI} \text{ ou } PSR = 5,0 e^{-0,010QI}$$

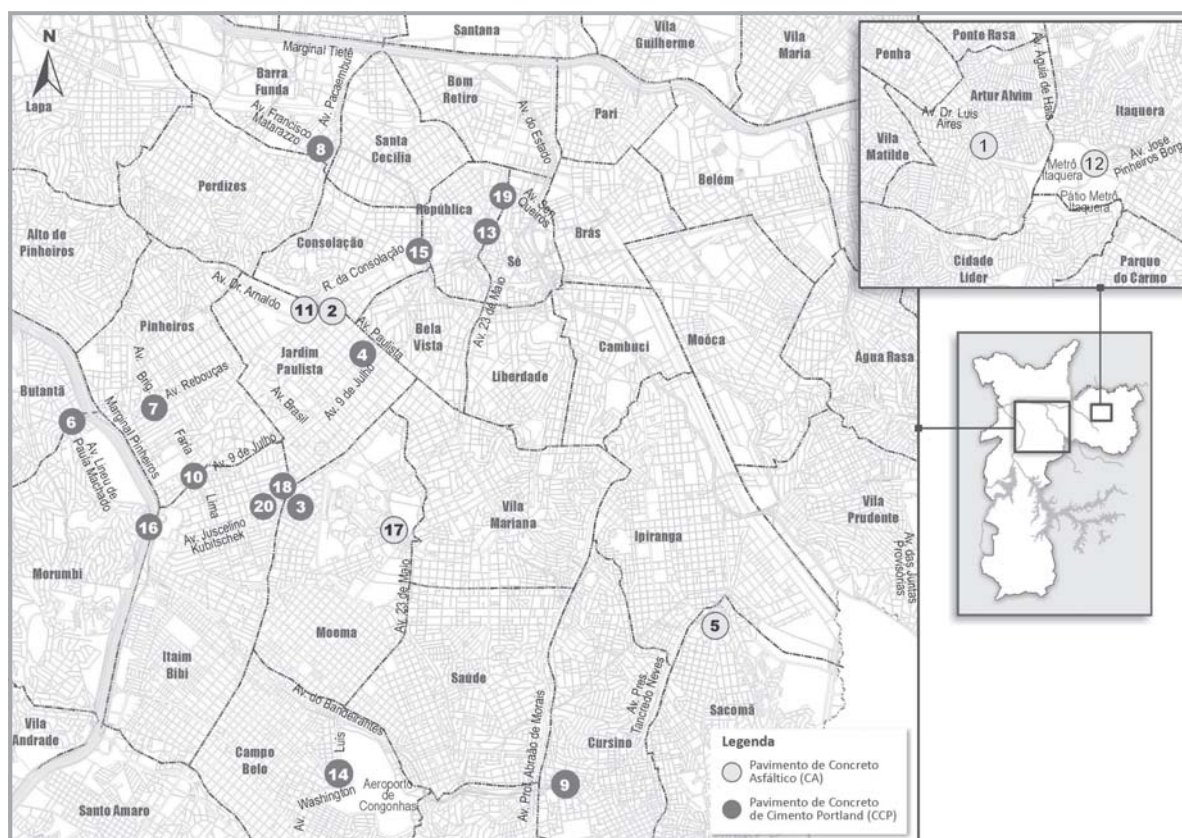
$$IRI = 7,69 \ln \frac{5}{PSR} \text{ ou } QI = 100 \ln \frac{5}{PSR}$$

Onde:

PSR = Present Serviceability Rating;

IRI = International Roughness Index, m/km;

QI = quociente de irregularidade, cont/km.



Nº Legenda	Nome do Túnel	Extensão Total (m)
1	Água de Haia	490,0
2	Antônio Bias da Costa Bueno	400,0
3	Ayrton Senna	3.590,0
4	Daher E. Cutait	990,0
5	Escola de Engenharia Mackenzie	140,0
6	Euclydes de Jesus Zerbini	850,0
7	Fernando Vieira de Melo	590,0
8	Francisco Matarazzo	540,0
9	Maria Maluf (Minianei Metropolitana)	1.580,0
10	Max Feller	1.350,0
11	Noite Ilustrada	610,0
12	Odon Pereira	670,0
13	Papa João Paulo II	1.190,0
14	Paulo Autran	390,0
15	Presidente Roosevelt (Ligação Leste-Oeste)	660,0
16	Sebastião Camargo / Jânio Quadros	2.650,0
17	Sena Madureira	110,0
18	Takeharu Akagawa	300,0
19	Tom Jobim	670,0
20	Tribunal de Justiça	1.650,0

Revestimento do Pavimento	Extensão Estimada (m)
Concreto Asfáltico (CA)	2.410
Concreto de Cimento Portland (CCP)	16.990
<b>Total</b>	<b>19.400</b>



Condição do Pavimento	ANO 2006		ANO 2010	
	Extensão (m)	(%) do total	Extensão (m)	(%) do total
Excelente	-	0,0	40	0,2
Boa	360	2,7	1.430	7,5
Regular	5.200	38,6	4.130	21,7
Ruim	3.510	26,1	5.100	26,8
Péssima	4.400	32,7	8.300	43,7
<b>Extensão Total Avaliada</b>	<b>13.470</b>		<b>19.000</b>	



Figura 5.1 – Mapa de localização e resultados obtidos no estudo dos túneis viários urbanos de São Paulo

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Conclusões

As espessuras dos pavimentos projetados e executados nos túneis analisados na cidade de São Paulo são compatíveis com os padrões empregados em outros países europeus.

Através das análises realizadas, verifica-se que, independentemente do tipo de revestimento e do método construtivo adotado para os túneis, a qualidade atual dos pavimentos inventariados não é boa, sendo que houve uma evolução do nível de desconforto comparando-se levantamento realizado há 4 anos.

Os levantamentos demonstraram que os defeitos mais comuns encontrados nos pavimentos são o trincamento por retração e a infiltração de água pelas juntas, cujas causas prováveis são a inexistência ou falhas no sistema de impermeabilização dos túneis. Aparentemente, o nível de degradação é maior nas rampas e emboques dos túneis.

Nestes casos, a prática de manutenção corretiva e restauração tem sido a obturação com massa asfáltica, à medida que os trincamentos vão transformando-se

em buracos e panelas. Na figura 6.1 são ilustrados os defeitos mais comuns encontrados em pavimentos de túneis viários, bem como o aspecto geral de locais restaurados com massa asfáltica.

### 6.2. Recomendações

Uma vez que a implantação de túneis e passagens subterrâneas tem se tornado uma alternativa cada vez mais utilizada para a resolução de conflitos de tráfego e que observações realizadas indicam uma deterioração precoce dos pavimentos, recomenda-se o estudo e a adoção de alguns métodos para evitar o aumento significativo dos custos de manutenção e dos usuários das vias.

Com base nos estudos realizados em bibliografia sobre o estado da arte de pavimentos em túneis e nos levantamentos realizados, recomendam-se as seguintes práticas:

- Conceber os pavimentos com base nas atividades mostradas na fase de estudos do fluxograma da figura 6.2;
- Elaboração de um catálogo de soluções estruturais, com especificações técnicas e detalhes construtivos;

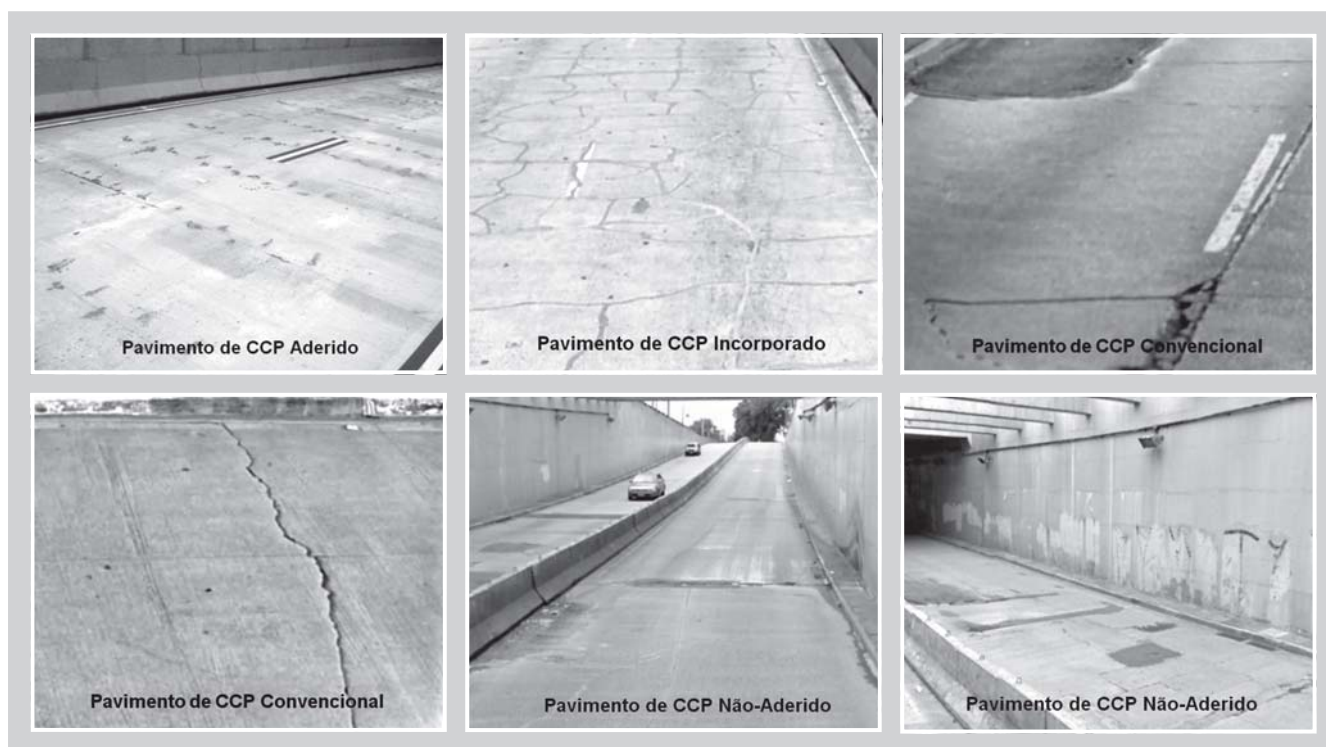


Figura 6.1 – Defeitos comuns encontrados em pavimentos de túneis viários e passagens subterrâneas

- Controle tecnológico de materiais e geométrico de superfície para liberação do pavimento, com a realização de levantamento topográfico – determinação do QI / IRI através do método de nível e mira ou medição com equipamento tipo MERLIN durante a fase construtiva;
- Implantação de sistema de monitoramento com medidas de irregularidade com equipamento apropriado e posterior adoção de estratégia de manutenção preventiva e corretiva para minimizar os trabalhos de reabilitação e restauração e consequente interrupção do tráfego, além de servir de subsídio para calibração das soluções apresentadas no catálogo mencionado.

Para fins de monitoramento de pavimentos nos túneis sugere-se a avaliação das condições funcionais, estruturais e de segurança, de maneira similar àqueles critérios aplicados para pavimentos convencionais a céu aberto, ressaltando os problemas devido à restrição de espaço físico para a condução dos trabalhos.

Resumidamente sugerem-se os seguintes procedimentos e periodicidade para a execução dos monitoramentos:

- Condições de superfície – inventário de defeitos e cálculo do Índice de Condição do Pavimento (ICP) de acordo com os métodos do DNIT, a cada ano, para pavimentos flexíveis e rígidos, DNIT – PRO 009/2003 e DNIT – PRO 063/2004, respectivamente;
- Medição de irregularidade longitudinal e cálculo do IRI/QI com equipamento a laser ou tipo resposta devidamente calibrado, utilizando os métodos vigentes, a cada ano;
- Medição de deflexões recuperáveis com equipamento tipo FWD, de acordo com o método do DNIT (DNER – PRO 273/1996), a cada 3 anos, e caso haja significativo tráfego de veículos pesado ( $VDMc \geq 500$  veículos/dia);
- Medição de atrito com pêndulo britânico, e textura superficial com mancha de areia, empregando-se os procedimentos do DNIT, a cada 3 anos.

Para os túneis relativamente curtos, com extensão inferior a 150m, sugere-se o levantamento dos serviços descritos em pelo menos 3 posições, ou sejam nos emboques e num ponto intermediário, preferencialmente na faixa direita, considerando-se o sentido o tráfego.

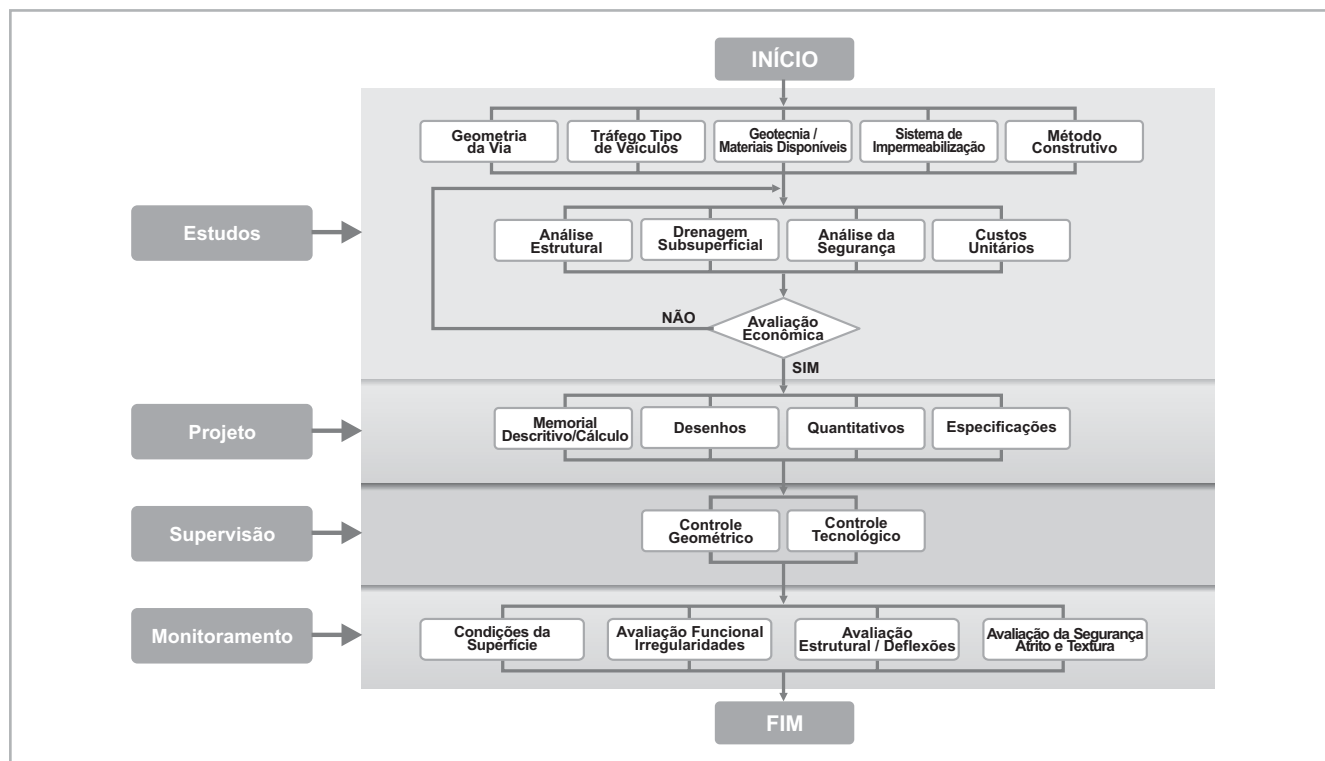


Figura 6.2 – Fluxograma das fases de trabalho – Estudos, Projeto, Supervisão e Monitoramento de pavimentos de túneis viários e passagens subterrâneas

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *AASHTO Guide for design of pavement structures*. Washington D.C., 1993. ISBN 1-56051-055-2.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E950-09 Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference*. West Conshohocken, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND ABCP. ET-97 Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/1984. São Paulo, 1998.
- BREYER, G.; WIESHOLZER, F. Concrete pavements in tunnels in Austria. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CONCRETE PAVEMENTS, 2., 2006, Chlumec nad Cidlinou. *Proceedings...* Czech Republic, 2006.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE. *RVS 09.01.23: Projektierungsrichtlinien - Bauliche Gestaltung*. Wien, 2001.
- COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS CBT. Túneis do Brasil. São Paulo: DBA, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DNIT. DNIT-PRO 009/2003 – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003.
- \_\_\_\_\_. DNIT-PRO 063/2004 – Pavimento rígido – Avaliação subjetiva - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.
- \_\_\_\_\_. DNIT-PRO 273/1996 – Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo "Falling Weight Deflectometer (FWD)". Rio de Janeiro: IPR, 2004.
- \_\_\_\_\_. Manual de pavimentos rígidos. Rio de Janeiro: IPR, 2005.
- EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION EAPA. *Asphalt pavements in tunnels*. Brussels, 2008.
- HUNG, J.; MONSEES, J.; MUNFAH, N.; WISNIEWSKI, J. *Technical manual for design and construction of road tunnels – civil elements*. FHWA-NHI-10-034, Federal Highway Administration, Washington D.C., 2009.
- MAURER, P.; GRUBER, P.; STEIGENBERGER, J. *Skid resistance in Austrian tunnels with special attention to concrete pavements*. [entre 2006 e 2010].
- MELÚS, M. A. D. V.; GARCÍA, M. G. R.; GALVIS, R. Una propuesta para el proyecto de firmes y pavimentos en túneles. *Revista de Obras Públicas*, n. 3474, p. 7-18, 2007.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Secciones de firme – Instrucción de carreteras – Norma 6.1 IC*. Madrid, 2003.
- SUZUKI, C. Y.; et al. Considerações acerca dos limites de irregularidade para aceitação de pavimentos rígidos em túneis. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS, 5., 2006, Recife. *Anais...* São Paulo: ANDIT, 2006.

# Subsídios para a tomada de decisão quanto à manutenção da Infraestrutura Viária Urbana: Aplicação nos pavimentos asfálticos em Pato Branco-PR

**Jairo Trombetta**

jairotrombetta@ig.com.br

**Adalberto Pandolfo**

adalbertopandolfo@hotmail.com

**Alessandro Goldoni**

alessandrogg@msn.com

**Aline P. Gomes**

alinegomes1977@hotmail.com

**Luciana M. Pandolfo**

marcondes@upf.br

## RESUMO

A malha viária urbana asfaltada das cidades brasileiras passa por um processo de deterioração em função das crescentes solicitações do tráfego, do intemperismo e, em muitos dos casos, devido à malha estar atingindo idade limite do seu ciclo de vida, aliada à falta de manutenção. Isso se constitui em preocupação das administrações municipais, responsáveis pela construção, manutenção e operação do sistema, no sentido de obter informações com relação ao estado atual das vias e respostas quanto ao o que deve ser feito, como fazê-lo, quando atuar e quanto isto custará aos cofres públicos. Nas últimas décadas muitos estudos têm se voltado ao estabelecimento de métodos que auxiliem os administradores a tomar decisões no sentido de prover a malha viária de satisfatória condição de utilização. Estes méto-

dos devem ser contextualizados com as peculiaridades de cada município indicando soluções viáveis, levando-se em conta avaliações confiáveis e diagnósticos que apontem para a aplicação de medidas de intervenção com a maior relação custo-benefício para a sociedade. Este trabalho se utilizou do Método do Índice da Condição do Pavimento (PCI) para analisar trechos de pavimentos da malha viária de Pato Branco-PR, podendo ser aplicado em toda a malha viária. Os resultados obtidos denotam um conceito prático e realista da condição do pavimento, remetendo a aspectos vantajosos no uso desta ferramenta na gestão dos pavimentos urbanos.

## PALAVRAS-CHAVE

Pavimentos Urbanos. Avaliação de Pavimentos. Diagnóstico dos Pavimentos.

## 1. INTRODUÇÃO

A ausência de procedimentos técnicos bem definidos leva o poder público municipal a tomar decisões de alocação de recursos para ações que muitas vezes

não respondem as reais necessidades do pavimento; arcando com um elevado risco de adotar uma solução aquém das necessidades, gerando assim um trabalho

insuficiente e de efeito paliativo; ou adotar uma solução além das necessidades, perdendo assim valiosa parte dos recursos e gerando uma baixa relação custo/benefício. Além do que os recursos correm o risco de serem aplicados em trechos de menor prioridade, em termos de condições de tráfego, condição estrutural do pavimento, entre outros aspectos.

Chega-se, então, à necessidade de estabelecer proposições coerentes e concisas de procedimentos técnicos de avaliação dos pavimentos e estabelecer alternativas de manutenção técnica e economicamente apropriadas. Deve-se aprimorar as técnicas de avaliação, para que efetivamente seja diagnosticada a condição real do pavimento e evoluir nos procedimentos de manutenção, oferecendo, àqueles que tomam as decisões, condições de fazê-lo com segurança de o que fazer, quando fazer, onde fazer e qual o custo da decisão. Este artigo tem como objetivo realizar a avaliação de pavimentos urbanos, a fim de auxiliar o poder público municipal da cidade de Pato Branco-PR no processo de gerenciamento da malha viária urbana, em nível de projeto, proporcionando informações para dar suporte à tomada de decisão.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Classificação das vias urbanas

As vias urbanas podem ser classificadas em função do volume de tráfego, quantificado em termos de

cada tipo de veículo que trafega, transformando-se todo o tráfego atuante em um número equivalente (N) de operações de um eixo padrão de 80kN.

As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas, para fins de dimensionamento de pavimento, de acordo com o tráfego para as mesmas, nos seguintes tipos: tráfego leve, médio, meio pesado, pesado e muito pesado. O Quadro 1 mostra a classificação das vias e parâmetros de tráfego.

O número equivalente (N) de operações de um eixo padrão, admitindo-se o crescimento linear do tráfego é calculado pela Fórmula (1) abaixo:

$$N = 365 \cdot \text{VDMc} \cdot ((1 + Pt)^2 - 1) / (2 \cdot t) \cdot Fv \cdot Fr \quad (1)$$

Onde:

VDMc = Volume Diário Médio de caminhões e ônibus;

P = Período de projeto;

t = taxa de crescimento anual (decimal);

Fv = Fator de equivalência de veículo, tomado do Quadro 1 em função do VDMc;

Fr = Fator climático regional, adotando-se Fr=1,0 conforme Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

### 2.2. Identificação dos defeitos de superfície

Para Fernandes Junior *et al.* (2006), o reconhecimento do tipo de defeito, a quantificação de sua extensão e a identificação do nível de severidade, junta-

Função Predominante	Tráfego Previsto	Via de Projeto (anos)	Volume inicial Faixa mais carregada		Equivalente por veículo (Fv)	N <sup>(1)</sup>	N <sup>(1)</sup> Característico
			Veículo Leve	Caminhão / Ônibus			
Via Local Residencial	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,7 x 10 <sup>4</sup> a 1,4 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
Via Coletora Secundária	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,4 x 10 <sup>5</sup> a 6,80 x 10 <sup>5</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>
Via Coletora Principal	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 <sup>6</sup> a 3,1 x 10 <sup>6</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>
Via Arterial	PESADO	10	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 <sup>7</sup> a 3,3 x 10 <sup>7</sup>	2 x 10 <sup>7</sup>
Via Arterial Principal/ Expressa	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 <sup>7</sup> a 6,7 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 <sup>6</sup> (2)	10 <sup>7</sup>
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: IP-02, 2005

Quadro 1 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego

mente com a determinação das causas dos defeitos, são de vital importância para a seleção das estratégias de intervenção e definição das atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos.

O manual do Programa de Pesquisa SHRP considera 15 defeitos em pavimentos flexíveis, identificando-os através de fotos e figuras. Apresenta, para cada tipo de defeito, a descrição, os níveis de severidade e a forma de medir a extensão, cita-se os 15 defeitos: trincas por fadiga do revestimento, trincas em blocos, trincas nos bordos, trincas longitudinais, trincas por reflexão, trincas transversais, remendos, painéis, deformação permanente, corrugação, exsudação, agregado polido, desgaste, desnível entre pista e acostamento e bombeamento.

A codificação e classificação dos defeitos está apresentada no Quadro 2.

### 2.3. Método PCI (Pavement Condition Index)

A avaliação de pavimentos pode ser subjetiva ou objetiva. Nos métodos de avaliação objetiva dos pavimentos, o objetivo é estabelecer um índice numérico que retrate a condição do pavimento. Dentre os principais métodos para a análise da ocorrência de defeitos em pavimentos destaca-se o método PCI (Pavement Condition Index).

Este método é originário de um estudo desenvolvido por M. Y. Shahin, publicado em 1979 pelo Corpo de engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), inicialmente concebido para pavimentos de aeroporto, posteriormente foi adaptado para rodovias, ruas e estacionamento, com base na validação de campo e informações dos engenheiros do USACE.

Conforme Shain e Khon (*apud* APS *et al.*, 1998) o objetivo principal do método é obter um índice numérico

Fendas				Codificação	Classe das fendas		
<b>Fissuras</b>				<b>F-1</b>	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	<b>Trincas isoladas</b>	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	<b>Trincas interligadas</b>	«crocodilo»	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	CR	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	CRE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	<b>Trincas isoladas</b>	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	<b>Trincas interligadas</b>	«bloco»	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
	<b>Outros defeitos</b>				<b>Codificação</b>		
Afundamento	<b>Plástico</b>	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito	ALP			
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito	ATP			
	<b>De Consolidação</b>	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou subleito	ALC			
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou subleito	ATC			
<b>Ondulação/Corrugação</b> – Ondulações transversais causadas por instabilidade de mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O			
<b>Escorregamento</b> (do revestimento betuminoso)				E			
<b>Exsudação</b> do ligante betuminoso no revestimento				EX			
<b>Desgaste</b> acentuado na superfície do revestimento				D			
<b>«Painéis»</b> ou buracos decorrentes da degradação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P			
<b>Remendos</b>				<b>Remendos superficial</b>			RS
				<b>Remendos profundo</b>			RP

Fonte: DNIT 006/2003-PRO

Quadro 2 – Codificação e classificação dos defeitos

para qualificar a condição do pavimento (PCI), que retrate a condição do pavimento, fornecendo um padrão para classificar a integridade estrutural e a condição operacional da superfície dos pavimentos, determinar as necessidades de manutenção, determinar necessidades de reabilitação e prioridades por meio de comparação do estado de diferentes trechos de pavimento e prever o desempenho do pavimento por meio de determinação própria do PCI.

#### 2.4. Árvores de decisão para atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos

Fernandes Junior *et al.* (2006) propõem “árvores de decisão” para a seleção de atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos. Consideram como fatores de decisão os tipos de defeitos (nível de severidade e extensão) e o volume de tráfego (quando este influencia a ocorrência do defeito) e adotam as seguintes atividades de manutenção e reabilitação: não fazer nada; capa selante; lama asfáltica; tratamento superficial; selagem de trincas; preenchimento de buracos; remendo; regularização; drenagem; reciclagem; recapeamento; reconstrução; recomposição do acostamento; aplicação de areia quente.

A Figura 1 apresenta um exemplo das árvores de decisão para cada tipo de defeito de acordo com Fernandes Jr. e Pastigoso (1998).

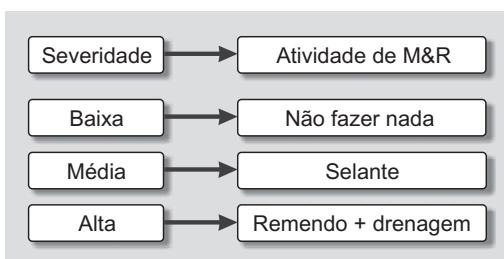


Figura 1 – Árvore de decisão para trincas por fadiga dos revestimentos

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização do local do estudo

O município de Pato Branco está situado na região sudoeste do Paraná, distante 433,5km da capital do estado, com uma população estimada de 70.160

habitantes (IBGE, 2009), uma frota de 36.021 veículos cadastrados (DETRAN/PR, 2009).

O sistema viário da cidade de Pato Branco é composto por duas vias arteriais principais, interligadas pela Avenida Tupi, que tem a função de via arterial secundária, corta a cidade de sul a norte passando pelo centro, a esta via arterial se conectam vias coletoras.

#### 3.2. Escolha do método de avaliação

Dentre os vários métodos disponíveis para avaliação das condições operacionais de pavimentos busca-se um que seja representativo para as peculiaridades do objeto de estudo. Tais peculiaridades estão relacionadas a localização, ao tipo de pavimento a ser avaliado, tipo e volume de tráfego atuante, objetivos da avaliação, prazos e recursos de pessoal e equipamentos disponíveis para a realização do trabalho.

O método escolhido foi o do PCI (*Paviment Condition Index*), que classifica a condição do pavimento em sete níveis, de péssimo à excelente, enquanto a maioria dos outros métodos tem uma escala de cinco níveis, de Péssimo a Ótimo. Este aspecto facilita a comparação de condições entre trechos ou seções de análise distintas, facilitando a ordenação e priorização quando da aplicação de políticas de manutenção.

#### 3.3. Procedimentos metodológicos

O trabalho foi desenvolvido em três etapas que visaram: o levantamento de dados e ocorrências de defeitos em pavimentos asfálticos no município de Pato Branco-PR, o diagnóstico das condições físicas e de operação atuais dos trechos analisados e a proposta de medidas de intervenção para cada uma das situações.

#### Etapa 1: Levantamento de dados e ocorrências de defeitos

O levantamento *in loco* dos dados e ocorrências nos trechos selecionados seguiu o seguinte procedimento:

- Dividiu-se os trechos selecionados em seções de extensão variável, equivalente a área de 225m<sup>2</sup>, dependendo da largura da faixa analisada. Os Trechos 1 e 2 foram divididos em 13 e 15 seções respectivamente;
- Considerou-se uma das faixas de tráfego, ou da

direita ou da esquerda, no caso de tráfego em dois sentidos, como seção de análise;

- Providenciaram-se planilhas de levantamento de campo, conforme a Figura 2, na quantidade de uma para cada seção;
- Percorreu-se a pé a seção de análise e anotou-se, manualmente, no local apropriado na planilha o tipo de defeito, sua severidade e extensão,

conforme relação de defeitos constantes na própria planilha.

- Anotaram-se no campo vago da planilha ocorrências extras, tais como condições de drenagem, meio-fio, interferências de outras redes urbanas ou raízes de árvores.

Foi realizada a contagem a campo do volume de veículos e registrada em planilha própria (ver Figura 3),

LEVANTAMENTO DO PCI – PLANILHA DE INSPEÇÃO DE CAMPO																										
Via	Av. Tupi – Seis Rodas/R. Uruguiana	Seção:	01 Pista Direita – Centro																							
Data	03/11/2009	Amostra nº:	01																							
Avaliador	Jairo Trombetta	Área da Amostra:	225,00m <sup>2</sup>																							
Tipo de defeitos																										
1 Couro de jacaré	Área	11 Remendos	Área																							
2 Exudação	Área	12 Agregados polidos	Área																							
3 Fissuras em blocos	Área	13 Painelas	Unid																							
4 Elevação recalques	Metro	14 Cruzamento ferroviário	Área																							
5 Corrupção	Área	15 Afundamento	Área																							
6 Afundamento localizado	Área	16 Escorregamento de massa	Área																							
7 Fissuras de borda	Metro	17 Fissuras devido ao escorregamento de massa	Área																							
8 Fissuras por reflexão de juntas	Metro	18 Inchamento	Área																							
9 Desnível de pavimento/acostamento	Metro	19 Desgaste	Área																							
10 Fissuras longitudinais e transversais	Metro																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">PANELAS</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Prof.</th> <th colspan="3">Diâmetro médio (cm)</th> </tr> <tr> <th>10 a 20</th> <th>20 a 45</th> <th>45 a 76</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,2 a 2,5</td> <td>B</td> <td>B</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>&gt;2,5 a 5,0</td> <td>B</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>&gt;5,0</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>				PANELAS				Prof.	Diâmetro médio (cm)			10 a 20	20 a 45	45 a 76	1,2 a 2,5	B	B	M	>2,5 a 5,0	B	M	A	>5,0	M	M	A
PANELAS																										
Prof.	Diâmetro médio (cm)																									
	10 a 20	20 a 45	45 a 76																							
1,2 a 2,5	B	B	M																							
>2,5 a 5,0	B	M	A																							
>5,0	M	M	A																							

Figura 2 – Planilha para o levantamento *in loco* das ocorrências de defeitos

salienta-se que esta contagem é feita nos dois sentidos do trânsito, tomando-se para cálculo no trecho o maior valor observado. As vias foram classificadas em função do número equivalente (N) de operações de um eixo padrão, com a aplicação da Fórmula (1), consi-

derando-se um período de projeto (P) de 12 anos para o primeiro trecho, 10 anos para o segundo e um crescimento anual de 5% para ambos. Através do número N obtido, definiu-se o tipo de tráfego atuante na via, conforme o Quadro 1.














CONTAGEM DE TRÁFEGO				Via		Trechos				Sentido				Data		
Tipo	Classificação	Configuração	Fisco de projeto	Intervalo de tempo (horas)												Total
				8:00 / 9:00	9:00 / 10:00	10:00 / 11:00	11:00 / 12:00	12:00 / 13:00	13:00 / 14:00	14:00 / 15:00	15:00 / 16:00	16:00 / 17:00	17:00 / 18:00	18:00 / 19:00	19:00 / 20:00	
Automóvel	2C		-													
Ônibus	2C		ESRS; ESRD; ESRS													
Utilitário	2C		-													
Caminhão	2C		ESRS; ESRD													
	3C		ESRS; ETD													
	4C		ESRS; ETT													
Semi-Reboque	281		ESRS; ESRD(2)													
	282		ESRS; ESRD; ETD													
	283		ESRS; ESRD; ETT													
	382		ESRS; ETD; ETD													
	383		ESRS; ETD; ETT													
Reboque	2C2		ESRS; ESRD(3);													
	2C3		ESRS; ESRD(3); ETD													
TOTAL (Automóveis/utilitários – Veículo leve)																
TOTAL (Ônibus/caminhão/reboque e semi-reboque)																

Figura 3 – Planilha de contagem de tráfego

**Etapa 2: Diagnóstico das condições físicas e de operação dos trechos analisados**

Os dados levantados no campo foram transferidos no escritório para a planilha de cálculo do PCI (ver Figura 4).

O tratamento dos dados seguiu o seguinte procedimento:

- Identificou-se o defeito existente;

- Quantificou-se o defeito, na unidade especificada (m<sup>2</sup>, ml ou un.) em cada nível de severidade;
- No campo apropriado calculou-se a densidade de cada defeito, dividindo-se a área apresentada por este pela área total da seção de análise;
- Em função do tipo de defeito, densidade e severidade,

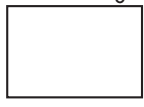
PLANILHA DE CÁLCULO DO PCI													
Via:	Av. Tupi – 6 Rodas/R. Uruguiana				Seção:	1 Pista direita							
Data:	03/11/2009				Amostra nº	1							
Avaliador	Jairo Trombetta				Área da Amostra:	225 m <sup>2</sup>							
1 Couro de Crocodilo		11 Remendos		<b>Esboço:</b> 									
2 Exudação		12 Agregados Polidos											
3 Fissuras em blocos		13 Painelas											
4 Elevações Recalques		14 Cruzamento Ferroviário											
5 Corrupção		15 Afundamento de Trilho de Roda											
6 Afundamento Localizado		16 Escorregamento de Manta											
7 Fissuras de Borda		17 Fissuras Devido ao Escorregamento de Manta											
8 Fissuras por Reflexão de Juntas		18 Inchamento											
9 Desnível de Pavimento/Acostamento		19 Desgaste											
10 Fissuras Longitudinal e Transversal													
Tipos de Defeitos Existentes													
Área / Extensão	Severidade	1		6		11		19					
		109,4	B	9	B	8	B						
		53,6	M										
Severidade	B	109,4		6		8		45					
	M	53,60											
	A												
Cálculo do PCI													
Tipo de defeito		Densidade		Severidade		Valor da dedução		<b>PCI = 100 - CDV</b>  100 - 72 PCI = 28  <b>Condições do Pavimento</b>  Ruim					
1		48,6		B		53							
1		23,8		M		62							
6		4		B		10							
11		3,6		B		8							
19		20		B		8							
<b>Total de Dedução (TDV)</b>						141							
<b>Valor de Dedução Corrigido (CDV)</b>						72							

Figura 4 – Planilha de cálculo do PCI

utilizando-se curvas em gráficos elaborados por M.Y. Shahin e calibrados pelo USACE, definiu-se o valor de dedução, que tem por base o efeito negativo daquele defeito na integridade estrutural do pavimento e na condição operacional oferecida pela superfície do pavimento (BALBO, 1997).

- A soma dos valores individuais de dedução estabeleceu o Total de Dedução (TDV);
- O Total de Dedução (TDV) foi combinado com o número de defeitos existentes na seção de análise e através do gráfico elaborado por M. Y. Shahin, obteve-se o Valor de Dedução Corrigido (CDV);
- O valor 100 representa um pavimento perfeito; portanto o valor do PCI foi obtido subtraindo-se de 100 o valor de CDV, resultando no PCI da seção.

O valor do PCI varia de 100, para pavimento perfeito, a 0 para pavimento péssimo. O método do PCI estabelece uma classificação em sete faixas, ou seja, Péssimo, Muito Ruim, Ruim, Regular, Bom, Muito Bom, Excelente, adotadas para faixas de valores de PCI que variam de 0 a 10, 11 a 25, 26 a 40, 41 a 55, 56 a 70, 71 a 85, 86 a 100, respectivamente.

### **Etapa 3: Propostas de medidas de intervenção**

A implementação de manutenção rotineira, corrigindo defeitos isolados ou de pequena monta, é de fundamental importância, pois evita que o defeito se alastre e necessite de maior volume de recursos, além de baixar o nível de serventia do pavimento. Há situações, porém, que, em virtude de dificuldades diversas ou por estratégia da política de manutenção a condição do pavimento, é controlada até um ponto de menor serventia, para, ali sim, aplicar uma intervenção mais “robusta” buscando um nível de desempenho por um período mais longo; neste aspecto também a política de manutenção de pavimentos deve analisar a questão em termos econômicos de custo-benefício.

A escolha da medida de manutenção através de árvores de decisão, onde o caminho a ser percorrido nas árvores é definido em função dos graus de severidade e extensão dos defeitos e do tráfego atuante, com a apresentação da correspondente medida apropriada de manutenção ou restauração a ser imple-

mentada, ressalta-se que para cada defeito é construída uma árvore específica.

## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1. Levantamento de dados e ocorrências que caracterizem os trechos de pavimento asfáltico na cidade de Pato Branco – PR**

#### **4.1.1 Escolha dos trechos em função da classificação e do tráfego**

Foram selecionados dois trechos em diferentes pontos da malha viária urbana de Pato Branco-PR. Trechos com função diferente foram escolhidos propositalmente, com vistas à análise na aplicação do método de avaliação.

O Trecho 1 está localizado na Avenida Tupi, situado entre a Rua Genuíno Piacentini (Posto Seis Rodas) e Rua Uruguaiana, com a característica de ser uma via arterial principal, que corta a cidade e que interliga as duas vias arteriais principais que absorvem o tráfego de outros municípios, BR-280 e BR-158. Este trecho possui um volume considerável de tráfego de automóveis, coletivos e transporte de cargas. Apesar de ter uma caixa total de 25m, a pavimentação utiliza uma faixa de 12m sendo uma mão de tráfego em cada sentido e faixa de estacionamento junto ao meio-fio.

O Trecho 2 está localizado numa via coletora principal, Rua Itabira, porém com característica de tráfego eminentemente local, isto é, coleta o tráfego de automóveis e coletivos dos bairros da zona oeste e interliga-se com o centro da cidade. Possui um caixa de 18m, sendo 10m de pavimentação, com uma mão de tráfego em cada sentido e faixa de estacionamento junto ao meio-fio.

#### **4.1.2. Classificação das vias em função do tráfego**

O volume de tráfego diário foi levantado *in loco* em planilhas próprias (Figura 3). Observando-se que o maior volume de tráfego de ônibus e caminhões foi constatado no sentido Centro/Bairro no primeiro trecho e que o maior volume de tráfego de ônibus e caminhões foi constatado no sentido Bairro-Centro para

o segundo trecho. Para o Trecho 1 o número obtido foi de  $N=1,92 \times 10^7$  operações de eixo padrão, com isso, conforme o Quadro 1, a via é classificada como Arterial de Tráfego Pesado. Para o Trecho 2 o número obtido foi de  $N=5,03 \times 10^5$  operações de eixo padrão, a via é classificada como Coletora Principal de Tráfego Meio Pesado.

#### 4.1.3. Levantamento *in loco* das ocorrências de defeitos nos trechos selecionados

O levantamento das ocorrências de defeitos foi realizado em planilhas próprias (Figura 2) para cada uma das seções dos dois trechos analisados, estas planilhas não constam no presente trabalho, porém os dados levantados foram considerados para aplicação na respectiva planilha de cálculo do PCI da seção. Através de vistoria no local, definiu-se o tipo de defeito observado, sua severidade e dimensões, conforme orientações presentes em SHRP (1993).

## 4.2. Diagnóstico das condições físicas e de operação atuais dos trechos analisados

### 4.2.1. Determinação do PCI (Pavement Condition Index) e classificação dos trechos analisados

Os dados levantados *in loco* foram transferidos para as planilhas de cálculo do PCI (Figura 4), sendo uma planilha para cada seção dos dois trechos analisados. Os resultados das condições dos pavimentos obtidos nas planilhas estão apresentados nas Figuras 5 e 6, para os Trechos 1 e 2 respectivamente.

Observa-se que nas seções 1 a 5 a classificação do pavimento é Ruim, sendo Muito Ruim nas seções 3 pista esquerda e 4 pista direita, da seção 6 a 13 o pavimento apresenta condição variável, atingindo a condição de Muito Bom na seção 6 pista direita, de modo geral, nestas seções o resultado mostra um pavimento em condição

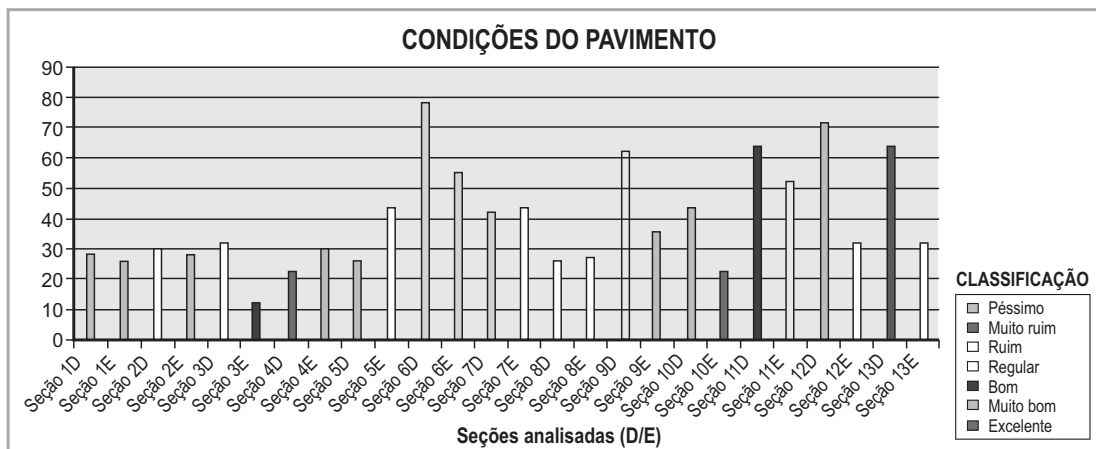


Figura 5 – Classificação das seções conforme valor do PCI para o Trecho 1

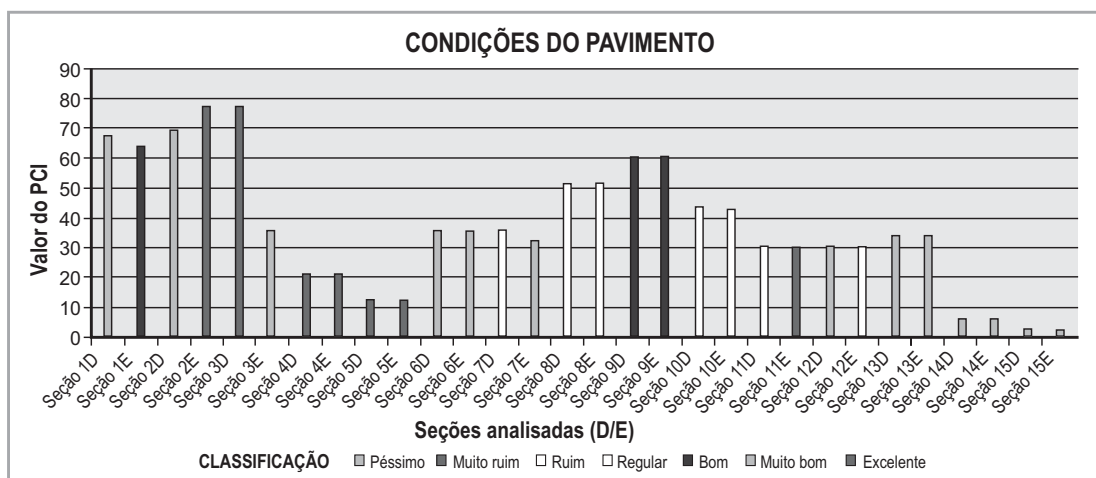


Figura 6 – Classificação das seções conforme valor do PCI para o Trecho 2

Regular. Observa-se que nas seções 1 a 3 a classificação do pavimento é Bom e Muito Bom, sendo que na seção 3 pista esquerda a condição cai para Ruim devido à existência de uma área de trincas de couro de crocodilo de alta severidade da seção 4 a 7 o pavimento apresenta condição variável, de Ruim, Muito Ruim e Regular, observando-se a incidência de remendos generalizados, oriundos de seguidas operações de tapa buraco ao longo dos últimos anos e também a ocorrência de desgaste elevado pela oxidação do ligante, da seção 8 a 10 o pavimento apresenta condição variável, de Regular a Bom, os remendos são mais uniformes e a oxidação do ligante é menor que os demais trechos, observa-se da seção 10 em diante que o pavimento está mais degradado, com muitos remendos,

trincas couro de crocodilo e panelas, ainda pequenas, porém profundas, indicando uma situação de Ruim, Muito Ruim e Péssimo para o pavimento.

#### 4.2.2. Diagnóstico dos trechos analisados a partir de suas condições operacionais

Foi analisado cada um dos defeitos existentes em cada seção de ambos os trechos e confeccionados gráficos representativos com relação a sua incidência e severidade.

No Trecho 1, tem-se como principal defeito as trincas couro de crocodilo, cuja incidência está apresentada no gráfico da Figura 8.

Este defeito está presente em toda a extensão do trecho. A severidade Baixa está presente em um percentual maior da área, a severidade Alta está presente ape-



Figura 7 – Foto da seção 3 do Trecho 1, classificação do pavimento PCI Ruim (a); foto da seção 8 do Trecho 2, classificação do pavimento PCI Regular (b)

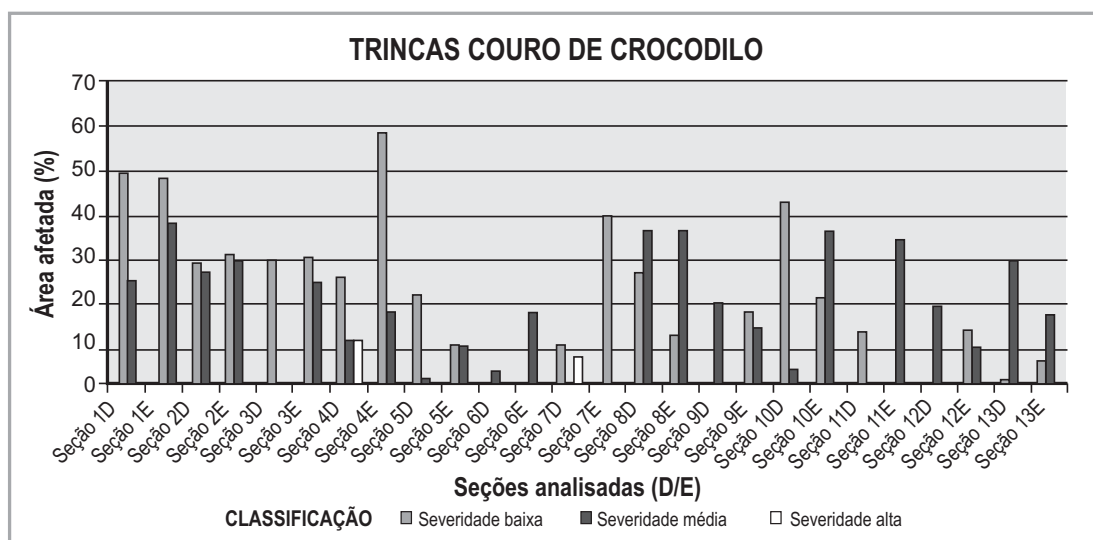


Figura 8 – Incidência de trincas couro de crocodilo no Trecho 1

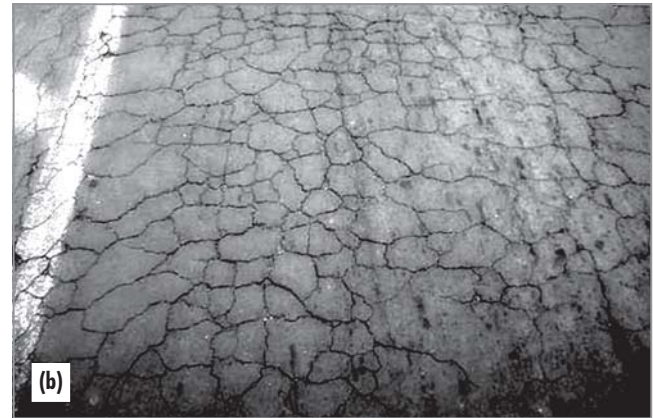


Figura 9 – Defeito trincas couro de crocodilo de baixa severidade, presente na seção 4 (a); e de alta severidade, presente na seção 7 (b)

nas nas seções 4 pista direita e 7 pista direita, porém em pequena área, o que pode justificar a condição regular apresentada na seção 7 pista direita, a incidência de trincas de Baixa, Média e Alta severidade em área consi-

derável nas seções 1 a 4 pode justificar o baixo valor do PCI para estas seções.

No Trecho 2, tem-se como principal defeito o desgaste, cuja incidência está apresentada no gráfico da Figura 10.

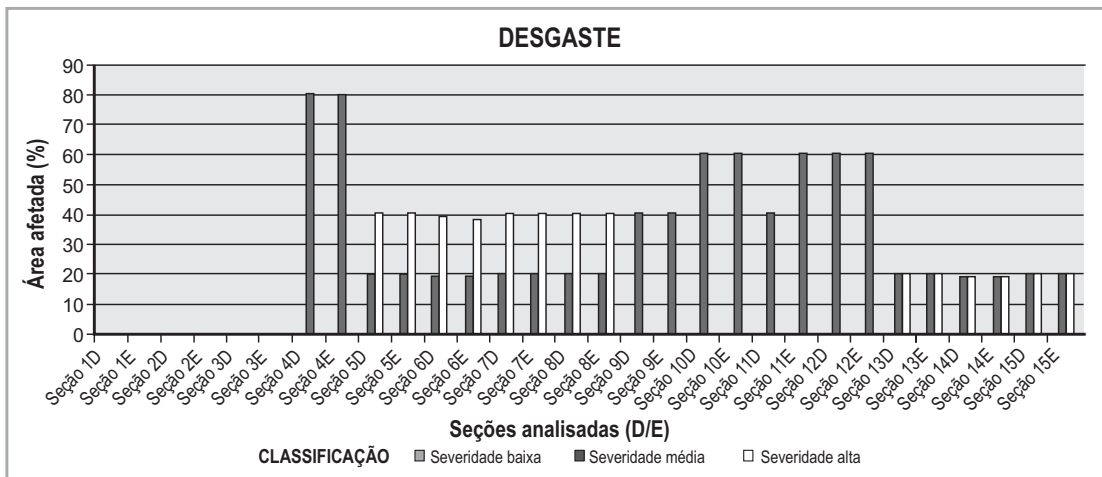


Figura 10 – Incidência de desgaste no Trecho 2



Figura 11 – Desgaste de média severidade, presente na seção 10 (a); e alta severidade, presente na seção 4 (b)

### 4.3. Análise das medidas de manutenção aplicáveis

Conforme a Árvore de Decisão para atividades de manutenção e restauração, para cada defeito, severidade e extensão existe uma ou mais medidas de manutenção passíveis de aplicação. A definição da medida a ser adotada está relacionada à estratégia de manutenção adotada pelo órgão administrador da via. Nos trechos

analisados, cujos tráfegos são Pesado e Meio Pesado respectivamente, observa-se a incidência de vários defeitos, cujas medidas de manutenção aplicáveis poderiam ser várias. Como exemplo, citam-se as trincas couro de crocodilo e as medidas de manutenção aplicáveis a este tipo de defeito:

Trincas Couro de Crocodilo: para locais de baixa severidade e baixa extensão, *a priori*, não necessitariam de

Seções	Defeito predominante	Intervenção de manutenção	Solução de manutenção
Seção 1 direita	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 1 esquerda	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 2 direita	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 2 esquerda	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 3 direita	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 3 esquerda	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 4 direita	CR/B e A; F/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 4 esquerda	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 5 direita	CR/B e A; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 5 esquerda	CR/B e M; F/B; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 6 direita	CR/M; F/B; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 6 esquerda	CR/M; F/B/B; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 7 esquerda	CR/M; e A; F/B/B; R/M	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 7 direita	CR/M; P/B e M; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 8 esquerda	CR/B e M; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 8 direita	CR/B e M; FB/M; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 9 direita	CR/M; R/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 9 esquerda	CR/B e M; FB/M; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 10 direita	CR/B e M; R/M	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 10 esquerda	CR/B e M; F/B e M; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 11 esquerda	CR/B; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 11 direita	CR/M; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 12 esquerda	FB/M; R/M; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 12 direita	CR/B e M; R/M; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento
Seção 13 esquerda	CR/B e M; D/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 13 direita	CR/B e M; R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + Recapeamento

Figura 12 – Propostas de intervenção para manutenção do Trecho 1

manutenção imediata; para baixa severidade e grande extensão, uma capa selante seria suficiente; em locais de severidade média e extensão pequena aplicação de capa selante; em locais de severidade média e grande extensão se faz necessária a aplicação de lama asfáltica; em locais de alta severidade é necessário execução de remendo localizado.

#### 4.3.1. Escolha da medida proposta através da árvore de decisão

Através dos diagnósticos apresentados para cada seção de ambos os trechos, as Figuras 12 e 13 apresentam propostas de medidas de intervenção baseadas nas árvores de decisão. A codificação dos defeitos

Seções	Defeito predominante	Intervenção de manutenção	Solução de manutenção
Seção 1 direita	CR/B; B/B; R/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 1 esquerda	CR/B; B/B; R/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 2 direita	CR/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 2 esquerda	CR/B	Manutenção periódica	Remendos localizados + lama asfáltica
Seção 3 direita	CR/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 3 esquerda	CR/B e A	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 4 direita	CR/B e M; R/B; D/M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 4 esquerda	CR/B e M; R/B; D/M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 5 direita	R/M; D/M e A	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 5 esquerda	R/M; D/M e A	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 6 direita	R/M; D/M e A	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 6 esquerda	R/M; D/M e A	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 7 direita	R/B; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 7 esquerda	R/B; P/M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 8 direita	R/B; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 8 esquerda	R/B; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 9 direita	R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 9 esquerda	R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 10 direita	R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 10 esquerda	R/B; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 11 direita	CR/A; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 11 esquerda	CR/A; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 12 direita	CR/A; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 12 esquerda	CR/A; D/B	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 13 direita	CR/A; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 13 esquerda	CR/M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 14 direita	CR/M; R/M; P/B e M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 14 esquerda	CR/M; P/B e M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 15 direita	CR/M; P/B e M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA
Seção 15 esquerda	CR/M; P/B e M; D/B e M	Restauração	Remendos localizados + FR + MRA

Figura 13 – Propostas de intervenção para manutenção do Trecho 2

corresponde ao especificado no Quadro 2, e as letras B, M e A referem-se à severidade do defeito, Baixa, Média e Alta, respectivamente.

#### 4.4. Análise dos resultados

Analisando-se a aplicação do método de avaliação e os resultados obtidos, pode-se destacar que:

- O método de avaliação aplicado (PCI) mostrou-se bastante eficiente e realista em retratar a condição do pavimento, notadamente a condição funcional, embora não existam levantamentos comparativos realizados;
- O procedimento de avaliação indicado neste trabalho pode ser implementado por equipe de técnicos com treinamento específico, porém sem a necessidade de equipamentos onerosos, o que torna a tarefa viável para prefeituras de pequeno e médio porte, como é o caso de Pato Branco. Já a parte de diagnóstico e definição da estratégia depende de técnicos experientes e com conhecimento e orientação da política adotada pela prefeitura municipal, volume de recursos disponíveis entre outros aspectos;
- A aplicação do método revela a condição atual do pavimento, requerendo levantamentos sistemáticos e periódicos para se obter um monitoramento eficaz da malha viária, que represente a evolução das degradações e os incrementos da serventia fruto das intervenções, durante o ciclo de vida do pavimento, capaz de subsidiar o estabelecimento de uma política de manutenção dos pavimentos.
- O método do PCI se vale de observações detalhadas trecho a trecho da via. Isso o torna um método eficiente na obtenção de um diagnóstico realista, porém o tempo demandado para a sua aplicação em uma área abrangente é muito grande e pode prejudicar o funcionamento de todo o sistema. Para se corrigir este fato em um sistema de gerência de pavimentos, aplicando-se uma avaliação subjetiva no conjunto da malha viária, em nível de rede, por ser um método mais expedito com respostas indicativas da condição dos pavimentos em curto espaço de tempo.

- Com o diagnóstico da condição dos pavimentos fornecida através da avaliação subjetiva, nos trechos cujo diagnóstico apontar para a existência de uma condição desfavorável, aplica-se o método do PCI, em nível de projeto, para se obter a caracterização dos defeitos e a definição das atividades de manutenção e/ou restauração pertinentes.

## 5. CONCLUSÕES

Avaliar os pavimentos de uma malha viária requer que se estabeleça um método adequado e uma sistemática padronizada. É fundamental que a equipe avaliadora estabeleça claramente os conceitos adotados na descrição de cada uma dos defeitos nos pavimentos. Este trabalho revelou que a malha viária urbana carece de um banco de dados, com o histórico, a descrição do tipo de pavimento, dados geométricos, extensões, entre outros aspectos. A montagem de um cadastro confiável pode exigir muitos esforços e um custo considerável, porém o monitoramento da malha viária, em avaliações futuras e periódicas, seria facilitado e com maior objetividade. O levantamento utiliza planilhas de identificação e caracterização das diversas seções dos trechos, o que possibilita uma análise completa de toda a malha viária; a utilização de métodos computacionais com auxílio de relatório fotográfico facilita o levantamento periódico e o monitoramento das vias.

Avaliação dos pavimentos com a aplicação do método aqui apresentado (PCI) revelou-se muito eficiente e retrata de forma concreta e realista a condição funcional do pavimento, além de dar bons indicativos da condição estrutural da via, o que subsidia os gestores da malha viária, na tomada de decisões sobre as intervenções a serem implementadas.

O diagnóstico da condição do pavimento permite a análise das consequências da adoção das diversas alternativas de intervenção, sobretudo na condição futura da via e no custo resultante da alternativa escolhida, com a necessidade de materiais e equipamentos específicos para cada situação. Conclui-se que um diagnóstico conforme apresentado neste trabalho é de

grande valia para o gestor da infraestrutura viária, uma vez que fica explicitado o estado atual do pavimento em termos da condição funcional. Inclusive com informações sobre localização, severidade e extensão dos

defeitos, proporcionando condições de estimativas de custo para contratação dos serviços ou indicativo de gastos, através da quantificação dos serviços necessários, para elaboração de planos plurianuais de investimentos.

## Referências Bibliográficas

- APS, M.; BALBO, J.; SEVERI, A. A. Avaliação superficial de pavimentos asfálticos em vias urbanas utilizando o método do PCI. In: Reunião Anual de Pavimentação, 31<sup>ª</sup>, 1998. São Paulo, Anais. Rio de Janeiro: ABPV, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Sistema Viário Nacional da Modalidade Rodoviária. NBR 6973/1983, Rio de Janeiro, 1983.
- BALBO, J. T. Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção. São Paulo: Plêiade, 1997.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Norma 006/2003-PRO. Avaliação objetiva de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- FERNANDES JUNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Paulo, Departamento de Transportes. São Carlos: 2006.
- METROPOLITAN TRANSPORTATION COMMISSION & ERES CONSULTANTS, INC. Pavement condition index distress identification manual for asphalt and surface treatment pavements. 2. Ed. Oakland, USA: Metropolitan Transportation Commission, 1993.
- IP-02. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Classificação das vias urbanas. Disponível em: <[http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretaria/infraestrurura/urbana/pavimetação\\_comunitaria/normas/0001](http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretaria/infraestrurura/urbana/pavimetação_comunitaria/normas/0001)>. Acesso: out. 2009.
- SHAHIN, M. Y. Pavement management for airports, roads and parking lots. 2. ed. Springer Science+Business Media, 2005.

# Estudo sobre ensaios de deformação permanente em misturas asfálticas por métodos adotados no Brasil e na Espanha

**Bruno Maia Correia**

brunomaia@det.ufc.br

**Felipe Coutinho Onofre**

fonofre@gmail.com

**Verônica T. F. Castelo Branco**

veronica@det.ufc.br

**Jorge Barbosa Soares**

jsoares@det.ufc.br

**Angel Mateos**

angel.mateos@cedex.es

## RESUMO

Existem diversos ensaios capazes de caracterizar misturas asfálticas com relação à resistência à deformação permanente. Apesar de possuírem o mesmo objetivo, a alteração dos métodos e variáveis consideradas em cada ensaio pode gerar resultados diferentes ao se comparar a resistência à deformação permanente de diferentes materiais. Nesse estudo foram comparados resultados de uma análise de variáveis de densificação (Compaction Densification Index – CDI e Traffic Densification Index – TDI) e de dois ensaios de deformação permanente em duas misturas asfálticas: (i) mistura brasileira (dosada pela metodologia Superpave) e (ii) mistura espanhola (dosada pela metodologia Marshall). Estas misturas são constituídas de agregados e ligantes provenientes de fontes diferentes. O ensaio de creep dinâmico e a análise das variáveis CDI/TDI foram realizados no Brasil usando recomendações americanas, e o ensaio de simulação em laboratório foi realizado na Espanha seguindo a norma espanhola. Os resulta-

dos de todos os procedimentos mostraram que a mistura espanhola possui maior resistência à deformação permanente. Os procedimentos realizados no Brasil apresentaram resultados com maior diferença numérica entre as duas misturas, ou seja, eles são mais sensíveis à mudança dos materiais.

## PALAVRAS-CHAVE

Misturas asfálticas, deformação permanente, flow number, variáveis de densificação, simulador de tráfego.

## ABSTRACT

There are several tests used to characterize Hot Mixture Asphalt (HMA) with respect to permanent deformation. Although such tests have the same objectives, the variation of the methods and the variables considered can generate different results. For this study, densification variables and two permanent deformation tests were compared for two HMAs: (i) Brazilian mixture (designed using Superpave mixture design) and (ii) Spanish mixture

(designed using Marshall mixture design). The mixtures had aggregates and binders from different sources. Repeated load test (dynamic creep) and CDI/TDI variables analysis were performed in Brazil following American recommendations, and the simulation laboratory test was performed in Spain following the Spanish standard. The results from all procedures showed that the Spanish mixture investigated has a better resistance

to permanent deformation. The procedures performed in Brazil showed results with higher numerical difference between the two mixtures, indicating that they are more sensitive to material variation.

#### KEY WORDS

Asphalt mixes, permanent deformation, flow number, densification variables, traffic simulator.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, em função do aumento do volume de tráfego e, principalmente, da evolução tecnológica da modalidade rodoviária, que permitiu maiores cargas nos eixos dos veículos, maiores pressões de enchimento dos pneus e novos tipos de pneus e de rodagens (pneus extra largos), a deformação permanente ou Afundamento de Trilha de Roda (ATR) aparece como um dos principais defeitos apresentados nos pavimentos (Gouveia, 2006). Diversos fatores interferem na ocorrência destas deformações, podendo-se citar: (i) elevado volume de tráfego, (ii) pressão de enchimento dos pneus, (iii) temperatura de serviço do pavimento, (iv) práticas de produção das misturas e construtivas e (v) fatores internos, relacionados às características das camadas do pavimento e às propriedades dos materiais que as constituem (Anani *et al.*, 1990 *apud* Greco, 2004). Este fenômeno, entre outros fatores, deve-se ao comportamento viscoso dos ligantes asfálticos e ocorre devido a uma combinação do fluxo do material (viscoelástico ou viscoplástico) e do dano neste material, representado pela formação e propagação de trincas. A capacidade de uma mistura de resistir a esse tipo de deformação depende de diversos fatores, entre os quais a consistência do ligante e a volumetria da mistura (agregados e ligantes) (Bernucci *et al.*, 2007).

Ensaio de deformação permanente são realizados em diversos países utilizando diferentes metodologias. O presente trabalho tem por objetivo estabelecer um comparativo entre as metodologias de diferentes ensaios adotados no Brasil e um ensaio espanhol. Para isso rea-

lizou-se ensaios de creep dinâmico, de simulação de tráfego em laboratório seguindo a norma espanhola, além da obtenção das variáveis *Construction Densification Index* (CDI) e *Traffic Densification Index* (TDI) com utilização do Compactador Giratório Superpave (CGS) em duas misturas asfálticas, sendo uma brasileira e outra espanhola.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Deformação Permanente

A deformação permanente nos revestimentos asfálticos pode estar associada a depressões longitudinais nas trilhas de roda, as quais aumentam com as cargas repetidas impostas pelo tráfego de veículos (Mahmoud e Bahia, 2004). Esse defeito que pode ocorrer no subleito, nas subcamadas do pavimento ou nas camadas de revestimento asfáltico depende das cargas de tráfego e da resistência relativa das camadas do pavimento. Nos revestimentos pode ocorrer prematuramente devido a falhas de compactação ou no projeto de dosagem da mistura. Quando há má compactação das camadas, a densificação dos materiais é a principal causa dos ATR. Quando o processo de compactação é bem-sucedido, estudos feitos nas pistas experimentais da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), em 1962, indicaram que neste caso a deformação cisalhante é o principal mecanismo causador do ATR, em vez da densificação (Nascimento, 2008; Souza, 2009).

Pode-se dizer que a deformação permanente nos revestimentos asfálticos é um fenômeno complexo. Na literatura são citados múltiplos fatores que contribuem,

entre eles: (i) granulometria dos agregados, (ii) absorção de ligante pelos agregados, (iii) afinidade entre asfalto e agregado, (iv) tamanho dos agregados, (v) forma dos agregados graúdos, (vi) textura dos agregados graúdos, (vii) forma dos agregados miúdos (angularidade), (viii) propriedades do fíler, (ix) teor de ligante, (x) Grau de Desempenho do ligante (em inglês *Performance Grade*, ou PG) e (xi) presença de finos plásticos nos agregados miúdos (Nascimento, 2008). Agregados graúdos mais angulares e com textura rugosa conferem à mistura asfáltica um melhor intertravamento do esqueleto pétreo, o que é fundamental na resistência à deformação permanente. Ligantes utilizados em excesso ou que possuem consistência muito baixa conferem baixa resistência à deformação permanente.

### Ensaio de Creep Dinâmico e Análise das Variáveis de Densificação – CDI e TDI

Ainda não há uma norma definida especificamente para o ensaio de deformação permanente no Brasil. Há na literatura relações entre os parâmetros do ensaio de estabilidade Marshall convencional e a resistência de misturas asfálticas à deformação permanente. Há outros ensaios e/ou equipamentos usados para este fim e que já são realizados no país, como o simulador francês desenvolvido pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*), o simulador americano *Asphalt Pavement Analyser (APA)*, entre outros. Um dos ensaios realizados no presente estudo é o ensaio uniaxial de carregamento dinâmico (denominado *creep* dinâmico, muito embora a terminologia mecanicista *creep* pressuponha um ensaio estático de carga constante). Esse ensaio, apesar de não ter uma norma definida, segue recomendações do *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* descritas em Witczak *et al.* (2002). Além deste ensaio, realizou-se uma análise das variáveis de densificação (CDI e TDI) obtidas da curva de compactação no Compactador Giratório Superpave (CGS). Não há norma definida para essa análise, originalmente concebida por Bahia *et al.* (1998).

No ensaio de *creep* dinâmico a mistura asfáltica é submetida a um carregamento cíclico de compressão e a deformação permanente acumulada é obtida

em função do número de ciclos (Witczak *et al.*, 2002). O ciclo consiste de um pulso de carregamento de 0,1 segundo seguido por um período de repouso de 0,9 segundo. Tipicamente, o tempo máximo de ensaio é de 3 horas (Bernucci *et al.*, 2007). O ensaio é realizado à temperatura de 60°C. A tensão aplicada em cada ciclo é de 204kPa no período de 0,1 segundo e 5,2kPa durante o período de 0,9 segundo de relaxação. Os Corpos de Prova (CP's) utilizados no ensaio devem ter 150mm ± 2,5mm de altura e 100mm de diâmetro. Os resultados são apresentados em termos da deformação permanente acumulada *versus* o número de ciclos de carga. A evolução da deformação permanente acumulada ( $\epsilon_p$ ) pode ser dividida em três zonas: primária, secundária e terciária. No entanto, o número de ciclos onde começa o estágio terciário (cisalhamento com volume constante) é referido como *Flow Number (FN)* (Witczak *et al.*, 2002). Na Figura 1 está apresentado um exemplo deste comportamento, em escala log-log.

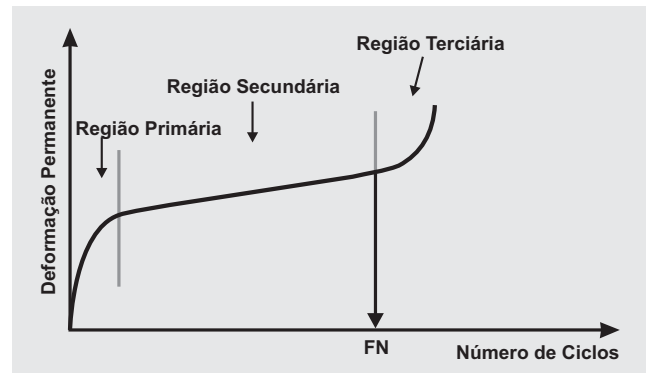


Figura 1 – Deformação plástica acumulada em função dos ciclos, ensaio de *creep* dinâmico (Witczak *et al.*, 2002)

Sendo o CGS um importante componente da metodologia de dosagem Superpave e com o seu uso cada vez mais frequente e entendido, inclusive no Brasil, é desejável utilizá-lo para a obtenção de dados associados ao comportamento mecânico das misturas. A correta interpretação dos seus resultados pode levar ao estabelecimento de padrões e normas que podem servir de suplemento para as dosagens volumétricas (Nascimento, 2008). As variáveis CDI e TDI são obtidas pelo processamento dos dados extraídos da curva de compactação Superpave. Especificamente, CDI é definido como o valor da área entre três curvas: (i) a de compac-

tação, (ii) a reta horizontal que cruza a curva de compactação quando do oitavo giro e (iii) a reta vertical que cruza com a curva de compactação quando a densidade é de 92% da  $G_{mm}$  (densidade máxima teórica), ou seja, 8% de Volume de vazios ( $V_v$ ). TDI é o valor da área entre as seguintes curvas: (i) a de compactação, (ii) a reta horizontal em que se observa 92% de

densidade aparente é 96% de  $G_{mm}$ . Esse conceito foi criado para que os CPs pudessem ser utilizados para a realização de ensaios mecânicos após a compactação, o que não seria possível se eles fossem compactados até atingirem 98% de densificação. A Figura 2 mostra a curva de compactação resultante do CGS com destaque para as áreas correspondentes ao CDI, TDI e  $TDI_m$ .

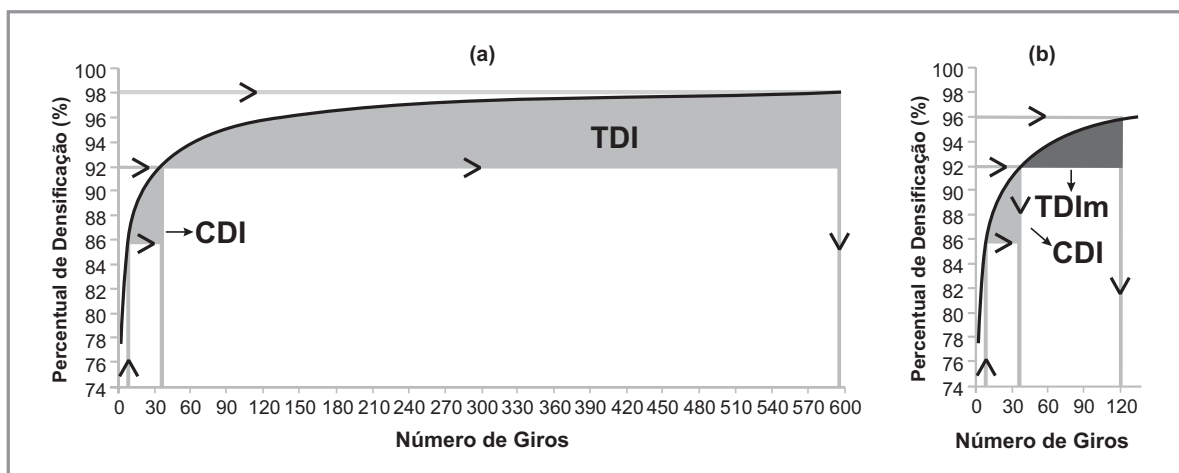


Figura 2 – Determinação de (a) CDI e TDI, e (b)  $TDI_m$  a partir da curva de compactação

$G_{mm}$  e (iii) a reta vertical que cruza a curva de compactação quando a densidade aparente é 98% de  $G_{mm}$  (Mahmoud e Bahia, 2004).

Segundo a formulação do conceito, e como o próprio nome indica, CDI está ligado à compactação durante o processo de construção. Portanto, menores valores de CDI indicam menor esforço operacional, ou seja, melhor trabalhabilidade para a compactação em campo. O TDI está relacionado à densificação sofrida pelo material após lançado em campo, ou seja, sofrida pelo tráfego. Assim, quanto maior o TDI, maior será o tempo para que a compactação sofrida pelo tráfego atinja níveis elevados de ATR.

Nascimento (2008) utilizou em sua pesquisa um parâmetro denominado TDI modificado ( $TDI_m$ ). Foi comprovado experimentalmente que esse parâmetro, assim como o TDI, pode ser utilizado para determinar a resistência à deformação permanente causada pelo tráfego. No entanto o  $TDI_m$  é o valor da área entre as seguintes curvas: (i) a de compactação, (ii) a reta horizontal em que se observa 92% de  $G_{mm}$  e (iii) a reta vertical que cruza a curva de compactação quando a den-

Mahmoud e Bahia (2004) realizaram um estudo estatístico para relacionar essas variáveis (CDI e TDI) com resultados de FN obtidos pelo ensaio de creep dinâmico. No referido trabalho, obtiveram-se coeficientes de correlação da ordem de 0,80, o que indica que o TDI pode ser utilizado para diferenciar misturas quanto à resistência à deformação permanente, pelo menos para o grupo de misturas estudadas. Nascimento (2008) correlacionou os resultados obtidos para FN com os parâmetros CDI e  $TDI_m$  obtidos para 22 misturas dosadas com metodologias, granulometrias e ligantes diferentes e obteve coeficientes de correlação de, respectivamente, 0,82 e 0,89. Portanto, acredita-se que o conceito utilizado para desenvolver tais variáveis pode ser tomado como válido.

### Ensaio de simulação realizado na Espanha

O método espanhol para caracterizar as misturas asfálticas quanto à resistência à deformação permanente é um ensaio de simulação, em castelhano *ensayo de rodadura*, e segue a norma europeia UNE-EN 12697-22. Esse ensaio determina a susceptibilidade de misturas

asfálticas a se deformarem quando submetidas a cargas repetidas. Os agregados utilizados nas misturas submetidas a esse ensaio devem possuir Tamanho Máximo Nominal (TMN) de até 32mm. Ele pode ser realizado em amostras fabricadas em laboratório ou retiradas de campo.

Esta norma inclui a possibilidade de utilizar três dispositivos de teste. Tanto no primeiro conhecido como grande como no segundo, denominado extragrande, são usados uma roda e um pneu com ar, enquanto o terceiro dispositivo, denominado pequeno, é equipado com uma roda de borracha sólida, sendo que neste último existe uma subdivisão de acordo com as amostras testadas ao ar ou submersa em água. Além disso, este método permite testar várias condições facultativas, como a escolha da temperatura e da duração do ensaio. A Figura 3 mostra o equipamento utilizado para realização do ensaio com dispositivo pequeno (Marrón *et al.*, 2009).

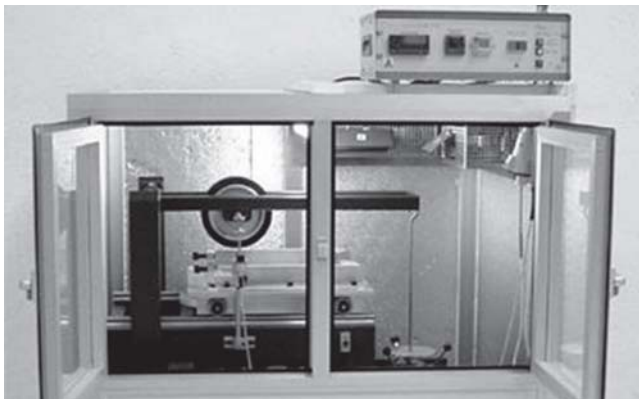


Figura 3 – Dispositivo pequeno para ensaio em laboratório (Marrón *et al.*, 2009)

Os deslocamentos sofridos podem ser medidos por meio de dois procedimentos. No procedimento A, a medição é feita por um dispositivo automático ou manual no início do ensaio e a cada  $25 \pm 1$  ciclos de carga diretamente na placa ensaiada. No procedimento B, a medida da deformação é feita diretamente na roda que aplica a carga. O ensaio cessa quando se atinge 10.000 ciclos de carga (cerca de 370 minutos) ou 20mm de deformação, o que acontecer primeiro (UNE-EN 12697-22). Nos dois procedimentos, o ciclo é definido como o movimento de ida e volta da roda aplicando a carga sobre a placa.

A compactação das placas segue a norma UNE-EN 12697-33 e é realizada através da aplicação de car-

gas por meio de rodas de aço que realizam passadas no sentido paralelo ao eixo da placa. Pode-se compactar utilizando uma energia controlada e verificar o Vv posteriormente ou se aplicar carga até que se atinja a espessura desejada da placa. Como resultado se determina, a partir da curva deformação *versus* tempo, a deformação média do ensaio em pista (WTS, do inglês, *Wheel Track Slope*) entre os ciclos 5.000 e 10.000, e se expressa em mm por 1.000 ciclos de carga. O parâmetro WTS é obtido pela equação:

$$WTS = \frac{(d_{10.000} - d_{5.000})}{5} \quad (1)$$

Onde:

- WTS: deformação média da trilha de roda no ensaio;
- $d_{5.000}$ ,  $d_{10.000}$ : profundidade da trilha de roda após 5.000 e 10.000 ciclos de carga, respectivamente.

A Figura 4 mostra a curva de deformação *versus* número de ciclos resultante do ensaio para amostras com diferentes graus de compactação, mostrando que quanto mais densa a mistura menor a deformação.

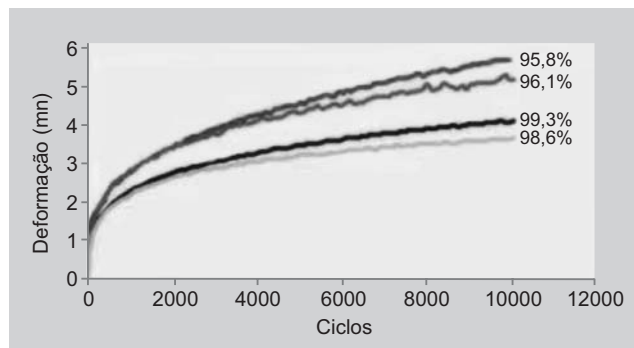


Figura 4 – Gráfico de deformação *versus* ciclos de carga mostrando a influência da densificação nos resultados (Marrón *et al.*, 2009)

O parâmetro WTS é obtido em medições na segunda metade do ensaio (do ciclo número 5.000 ao 10.000). Nesta etapa a mistura já passou pela densificação pós-compactação, sendo a deformação causada a partir desse ponto pela fluência do material. Assim, pode-se dizer que o WTS corresponde à média das deformações causadas pelo cisalhamento e fluência dos materiais para cada 1.000 ciclos. Também se determina a deformação na trilha de roda (RD, *Rut Depth*), em mm, assim como a porcentagem de deformação da trilha

(PRD, *Percentage of Rut Depth*), como uma porcentagem da deformação total em relação à espessura da placa ensaiada. De acordo com Marrón *et al.* (2009), a exigência do WTS na norma é por se considerar que este parâmetro é aquele que melhor define a capacidade de resistência à deformação.

### Outros ensaios de deformação permanente

Além dos ensaios anteriormente citados, existem outras formas de se avaliar a resistência de misturas asfálticas com relação à deformação permanente. No que diz respeito aos ensaios de simulação em laboratório, o Brasil possui no momento quatro equipamentos em operação: (i) dois franceses desenvolvidos pelo LCPC – um no Laboratório de Tecnologia de Pavimen-

centual da altura da placa original. A Figura 5 mostra a placa utilizada no simulador após a moldagem e após o ensaio. O equipamento americano apresenta semelhanças com o francês, sendo que a compactação é feita por mesa vibratória e a aplicação de cargas se dá por meio de mangueiras de borracha pressurizadas (Nascimento, 2008).

Além da correlação entre FN e os parâmetros CDI e  $TDI_m$ , citada anteriormente, realizada por Nascimento (2008), este autor correlacionou também os resultados das mesmas misturas ensaiadas no simulador francês. Ferreira *et al.* (2004) testaram também no simulador francês, por 3.000 ciclos, a resistência de uma mistura alemã do tipo *Stone Matrix Asphalt* (SMA) com e sem adição de polímero. Souza (2009) estudou o efei-



Figura 5 – Placa: (a) antes e (b) depois do ensaio no simulador de tráfego

tação da USP e outro no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras – Cenpes; (ii) um equipamento similar ao do LCPC desenvolvido pelo Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP) da UFC em parceria com a iniciativa privada, em fase de validação, denominado Sistran; e (iii) um americano, APA, em operação no Laboratório Central da Petrobras Distribuidora (Bernucci *et al.*, 2007; Nascimento, 2008).

O ensaio de deformação permanente no simulador francês é feito em um equipamento munido de roda pneumática, cuja pressão do pneu e carga no eixo são controláveis, assim como a temperatura, empregando-se em geral 60°C para acelerar o processo. A compactação das placas se dá por meio de amassamento por roda de pneu. O resultado do ensaio é dado em termos de afundamento em milímetros ou como um per-

to de diferentes angularidades de agregados miúdos e grãos no comportamento da mistura quanto à fadiga e à resistência à deformação permanente, tendo usado um APA nos experimentos para avaliação da deformação permanente. Apesar da dispersão alta nos resultados obtidos com o APA, o autor chegou à conclusão de que uma maior porcentagem de agregados com um maior número de faces fraturadas, que reflete em uma maior angularidade nos agregados tende a resultar em maior resistência à deformação permanente na mistura asfáltica.

O *Hamburg Wheel-Tracking Device* (HWTD) é outro equipamento também utilizado para a avaliação da resistência à deformação permanente e da derrapagem em misturas asfálticas. Este equipamento foi desenvolvido em Hamburgo na Alemanha e é usado como re-

querimento para muitas das estradas mais movimentadas neste país. Os ensaios são realizados em placas de 260mm x 320mm de área e, normalmente, 40mm de espessura. As placas são moldadas buscando  $7 \pm 1\%$  de vazios e são compactadas por meio de um compactador linear de amassamento. Pode-se ainda, ensaiar CP's cilíndricos, moldados pelo CGS. A carga é aplicada à mistura compactada por meio de rodas de aço que realizam movimento de ida e vinda ao longo da placa (Brown *et al.*, 2001). Yildirim e Sotkoe II (2006) realizaram um projeto que objetivava correlacionar os resultados obtidos com misturas, de diferentes dosagens e agregados, em campo com os resultados do HWTD, concluindo que a deformação obtida a partir dos resultados do HWTD poderia ser correlacionada com o tráfego medido no local do estudo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Agregados

No presente estudo, para a mistura brasileira foram utilizados como agregados graúdos britas (3/4" e 3/8") e para agregado miúdo o pó de pedra de origem granítica proveniente da Pedreira de Itaitinga, situada a aproximadamente 30km da cidade de Fortaleza, CE. Como material de enchimento utilizou-se o filer natural. Conforme especificações nacionais, foram realizados ensaios de granulometria (DNER-ME 083/98), abrasão Los Angeles (DNER-ME 35/98), densidade do agregado graúdo e miúdo (DNER-ME 81/98 e DNER-ME 84/95), adesividade (DNER-ME 078/94) e índice de forma (DNER-ME 86/94). Os resultados

dos ensaios de caracterização dos agregados brasileiros estão na Tabela 1. Na mistura espanhola foram utilizados agregados oriundos da região de Madri. Os agregados graúdos são do tipo calcário-silicioso. Agregados calcários foram utilizados para a fração fina da mistura.

### Ligantes

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) utilizado para a mistura brasileira é caracterizado por penetração como CAP 50/70 de acordo com especificações brasileiras regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2005), sendo proveniente do campo Fazenda Alegre no Espírito Santo. O CAP foi fornecido pela Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste – Lubnor, refinaria da Petrobras situada na cidade de Fortaleza. O ligante espanhol é também um CAP 50/70.

### Curvas Granulométricas

A mistura brasileira é do tipo Concreto Asfáltico (CA), e sua granulometria enquadrou-se na faixa C do DNIT. A Figura 6 mostra a distribuição granulométrica das misturas brasileira e espanhola, além das tolerâncias da faixa C do DNIT e da faixa espanhola para misturas do tipo AC22G. Além disso, são incluídos ainda na Figura 6 os conceitos da metodologia Superpave, pontos de controle e Zona de Restrição (ZR), que são sugestões de por onde a curva, nesse caso com Tamanho Máximo Nominal (TMN) de 19mm, deve passar (pontos de controle) e por onde não deve passar (ZR).

É possível notar que a mistura brasileira passa por dentro da ZR, o que não é desejável pela metodologia

Tabela 1. Características dos agregados brasileiros

Características	Agregado Granítico		
	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó-de-pedra
Abrasão Los Angeles (%)		42,00	–
Absorção – graúdo (%)	0,62	1,20	–
Densidade real	2,664	2,663	2,646
Densidade aparente	2,621	2,582	–
Massa específica (filer)	–	–	2,685
Índice de forma		0,66	–
Equivalente de areia (%)		77,0	–

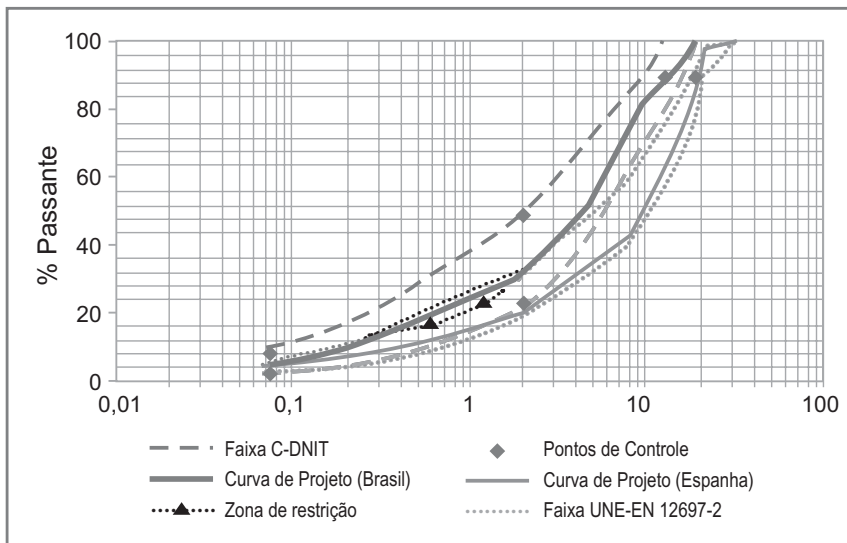


Figura 6 – Curvas de projeto das misturas brasileira e espanhola

Superpave, que prevê baixa resistência à deformação permanente em misturas que passam por esta zona. No entanto, Aragão *et al.* (2007), utilizando as variáveis CDI e TDI e realizando um ensaio de simulação com um APA, comprovaram, para as misturas estudadas, que misturas passando abaixo da ZR podem possuir menor resistência à deformação permanente se comparadas a misturas que passam por dentro da ZR. A explicação dada para esse fato é que, apesar de misturas que passam abaixo da ZR possuírem maior quantidade de agregados graúdos, esses podem ter uma baixa angularidade, além de baixo entrosamento, resultando em baixa ou insuficiente resistência ao cisalhamento. Agregados com baixa angularidade ou baixo entrosamento não promovem uma boa resistência à deformação permanente. No caso estudado por Aragão *et al.* (2007), as misturas que passavam abaixo da ZR tinham agregados com angularidade baixa, logo as misturas que passavam pela ZR apresentaram com-

portamento melhor com relação à resistência à deformação permanente. Apesar de as recomendações do SHRP sugerirem que a curva granulométrica passe preferencialmente abaixo da ZR, Gouveia (2006) mostrou em seu estudo que misturas com granulometrias passando acima da ZR podem apresentar maior resistência à deformação permanente se comparadas a outras misturas que passam por dentro e abaixo da ZR. Isso sugere que a utilização da ZR como forma de proporcionar um melhor esqueleto pétreo é controversa,

indicando não haver relação direta entre a ZR e o desempenho de misturas quanto à resistência à deformação permanente.

#### Determinação dos Teores de Projeto de Ligante

Na determinação do teor de projeto de ligante da mistura brasileira utilizada nesse estudo utilizou-se a metodologia de dosagem Superpave. O número de giros de projeto ( $N_{\text{PROJETO}}$ ) considerado foi de 100 giros, indicado para um volume de tráfego de médio a alto. Também foi utilizada a metodologia de dosagem Marshall para a mistura brasileira com compactação de 50 golpes por face. Para a determinação do teor de ligante da mistura espanhola foi seguida a metodologia de dosagem Marshall. A Tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros de dosagem das misturas.

Percebe-se que a mistura espanhola possui um percentual muito baixo de ligante quando comparada

Tabela 2. Parâmetros de dosagem das misturas brasileira e espanhola

Parâmetro/mistura	Brasileira (Superpave)	Brasileira (Marshall)	Espanhola
Ligante (%)	6,0	7,2	3,5
V <sub>v</sub> (%)	4,0	4,0	6,7
G <sub>mm</sub> <sup>a</sup>	2,401	–	2,513
DMT <sup>b</sup>	–	2,408	2,550

<sup>a</sup> Densidade Máxima Medida (G<sub>mm</sub>), <sup>b</sup> Densidade Máxima Teórica (DMT)

à mistura brasileira (dosagens Marshall e Superpave). Isso se deve ao fato de a mistura brasileira, que nesse caso é uma mistura densa do tipo CA, servir como camada de revestimento asfáltico, que deve possuir um percentual de vazios de aproximadamente 4%. Já a mistura espanhola estudada possui uma função diferente. Essa é uma mistura com graduação mais aberta, cuja função é melhorar as condições de atrito e drenagem em camadas de pavimentos já revestidas (Coutinho *et al.*, 2010). Optou-se pela utilização da mistura brasileira dosada apenas pela metodologia Superpave para a moldagem de CP's para a realização dos ensaios mecânicos. Essa dosagem resultou em um percentual de ligante menor do que o encontrado na dosagem Marshall. Isso se deve ao fato de a compactação Superpave ser por giros, que permite um melhor recobrimento de agregados e preenchimentos de vazios (Bernucci *et al.*, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Determinação do CDI e TDI<sub>m</sub>

Após a compactação com 1.000 giros, são extraídas as alturas dos CPs de cada giro para o cálculo do CDI e do TDI<sub>m</sub>. Primeiramente estima-se a massa específica aparente do CP ( $G_{mb}$ ) para cada giro por meio da divisão da massa seca do CP pelo seu volume. Em seguida corrige-se a  $G_{mb}$  estimada para cada giro a partir da  $G_{mb}$  medida do milésimo giro. Isso é feito porque o compactador considera o volume do CP como o de um cilindro perfeito. Essa correção é feita pela multiplicação da  $G_{mb}$  estimada de cada giro pela razão entre a  $G_{mb}$  medida e a  $G_{mb}$  estimada do milésimo giro. Divide-se a

$G_{mb}$  corrigida pela  $G_{mm}$  para obter o percentual de densificação de cada giro. Para obter o CDI, calcula-se o somatório de cada área da curva de compactação compreendida pelo espaço entre a curva de compactação, dois giros consecutivos e o percentual de densificação relativo ao oitavo giro. Esse somatório engloba do oitavo giro ao giro correspondente a 92% de densificação. O TDI<sub>m</sub> é obtido pelo cálculo do somatório de cada área da curva de compactação compreendida pelo espaço entre a curva de compactação, dois giros consecutivos e o percentual de densificação de 92%. Esse somatório engloba a faixa de giros correspondente a 92 e 96% de densificação. Foram compactadas cinco amostras para cada mistura estudada. Utilizou-se um programa desenvolvido por meio da linguagem C++ para auxiliar no processamento dos dados gerados no compactador. O programa transforma tabelas contendo muitas linhas em colunas, que representam as alturas relativas de cada giro, em uma única coluna que permite o cálculo dos parâmetros citados nessa seção. A Tabela 3 mostra os resultados de CDI e TDI<sub>m</sub> obtidos para as misturas investigadas, assim como para outras três misturas reportadas por Nascimento (2008) (a título de comparação).

Observa-se que a mistura brasileira possui valores tanto de CDI quanto de TDI<sub>m</sub> mais baixos do que a mistura espanhola, ou seja, ela é mais fácil de ser compactada, porém resiste menos à deformação permanente. Isso provavelmente ocorreu por duas razões: (i) pelo percentual de ligante da mistura brasileira ser maior que o da mistura espanhola e (ii) pelo fato de a mistura espanhola possuir maior quantidade de agregados graúdos. O maior percentual de ligante da mistura brasileira conferiu maior facilidade na compactação da mistura. O ligante em maior

Tabela 3. Valores de CDI e TDI<sub>m</sub> das misturas brasileira, espanhola e de misturas estudadas por Nascimento (2008)

Mistura	Teor de ligante (%)	Vv (%)	CDI		TDI <sub>m</sub>	
			Média	Coef. de Variação (%)	Média	Coef. de Variação (%)
Brasileira (Superpave)	6,0	4,0	143	12,7	323	13,4
Espanhola (Marshall)	3,5	6,7	502	18,5	1.890	14,6
Nascimento (2008)	3,5	4,0	162	—	95	—
	4,0	4,0	99	—	180	—
	4,5	4,0	43	—	281	—

quantidade facilita o processo de preenchimento de vazios durante a compactação, além de recobrir mais os agregados, o que causa a diminuição do atrito entre os agregados, responsável pela resistência à deformação permanente. O elevado percentual de agregados graúdos da mistura espanhola confere um alto intertravamento do esqueleto pétreo da mistura aumentando a sua resistência à compactação e à deformação permanente. Nesse caso o baixo percentual de ligante, unido ao fato de a mistura espanhola possuir mais agregados graúdos, contribuiu tanto para a resistência à deformação permanente, que mesmo após os 1.000 giros de compactação não foi possível atingir 98% de densificação dessa mistura. Por isso a necessidade do uso do  $TDI_m$  ao invés do TDI. Além disso, percebe-se ao comparar com as misturas desse estudo que algumas das misturas estudadas por Nascimento (2008) possuem, em sua maioria, valores inferiores de CDI e  $TDI_m$ , o que mostra que essas possuem maior facilidade para compactar, porém são menos resistentes à deformação permanente. Ao aumentar o percentual de ligante dessas misturas o CDI diminuiu devido à maior facilidade de preenchimento de vazios e o  $TDI_m$  aumentou. Esse aumento de  $TDI_m$  ocorreu porque o CDI, que é calculado até 92% de  $G_{mm}$ , foi rapidamente atingido devido ao maior percentual de ligante. Com isso um maior número de giros é dado para atingir os 96% de  $G_{mm}$  relativos ao  $TDI_m$ , causando o seu aumento.

Os valores de CDI obtidos por Aragão *et al.* (2007) foram, em média, 60% menores do que os valores obtidos para mistura brasileira investigada nesta pesquisa. No entanto, as cinco misturas estudadas por estes autores, CA's com a parte graúda constante e a parte miúda variando abaixo da peneira N<sup>o</sup>4, apresentaram comportamento semelhante ao do grupo de misturas C02 estudado por Mahmoud e Bahia (2004), que apresentaram valores de CDI em torno de 270. Esse grupo é composto por misturas que possuem em sua maior parte agregados miúdos e o seu teor de projeto de ligante do tipo PG (*Performance Grade*) 58-28 foi de 5,0%.

### Obtenção do FN

Foram realizados três ensaios uniaxiais de carga repetida em cada mistura totalizando seis ensaios. O equi-

pamento utilizado para o ensaio em questão foi a máquina universal de ensaios (UTM 25 – *Universal Testing Machine*). Para cada ensaio a máquina foi programada com os parâmetros descritos anteriormente juntamente com os LVDT's, medidores de deformação axial de alta precisão. O objetivo do ensaio é obter o FN, que é dado no ciclo em que a taxa de deformação plástica é mínima. Os valores encontrados nos ensaios estão na Tabela 4.

**Tabela 4. Valores de FN das misturas brasileira, espanhola e de misturas estudadas por Nascimento (2008) e Mahmoud e Bahia (2004)**

Mistura	FN	
	Média	Coef. de Variação (%)
Brasileira	317	13
Espanhola	1.064	25
Nascimento (2008)	620	–
	110	–
	464	–
Mahmoud e Bahia (2004)	6.751	–
	2.263	–
	413	–

Os resultados obtidos mostraram que a mistura espanhola possui o FN quase quatro vezes maior do que o da mistura brasileira. Mais uma vez foi comprovado que o baixo teor de ligante, junto à granulometria com maior percentual de agregados graúdos da mistura espanhola, contribuiu para um alto intertravamento de esqueleto pétreo e conferiram boa resistência à deformação permanente. Os resultados obtidos por Nascimento (2008) e por Mahmoud e Bahia (2004) mostraram-se bastante variados. Isso se deve ao fato de esses autores terem estudado misturas com granulometrias e tipos de ligante variados, o que mostra que o ensaio é sensível à mudança dos materiais.

### Ensaio de Simulação Realizado na Espanha

Os ensaios de simulação em laboratório foram realizados de acordo com a norma UNE-EN 12697-22, com dispositivo pequeno, procedimento B, ensaio em ar, por ser o mais utilizado na Espanha e o que mais se adequou ao tamanho dos agregados usados na presente

investigação. Seguem algumas informações sobre o ensaio nesse método: placas de 260mm x 320mm; espessura variável; carga aplicada: 700N; pré-compactação de 0,5kN a 2,6kN e voltando a 0,5kN, realizando mais 15 passadas; compactação aumentando-se a carga 1,5kN por passada, até 10,5kN, depois até 19,5kN. Em qualquer das etapas, quando se alcança a espessura desejada, se interrompe a compactação e dá-se início à descarga; frequência de aplicação de carga: 26,5 ciclos/min; temperatura: 60°C; duração de 10.000 ciclos. Após a realização do ensaio, foram medidos os parâmetros considerados pela norma europeia para as duas misturas estudadas (brasileira e espanhola). A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Pode-se notar nos ensaios espanhóis (simulador de laboratório) uma repetição do que fora obtido nos resultados dos ensaios realizados no Brasil, com a mistura espanhola apresentando resistência à deformação permanente bem superior à mistura brasileira. Deve-se, contudo, notar que a mesma não atende ao requisito estabelecido pelo artigo 542 da norma espanhola PG-3 “*Mezclas Bituminosas en Caliente Tipo Hormigón Asfáltico*”, que estabelece um valor máximo de 0,070 para o parâmetro WTS (atenderia para tráfegos leves, cujo limite de WTS é 0,100).

Apesar de a deformação total na placa (RD) da mistura espanhola ter sido a metade da mistura brasileira, pode-se notar que a média de deformação nos últimos 5.000 ciclos (WTS) na mistura brasileira foi quase três vezes maior, o que indica que grande parte da deformação na mistura espanhola ocorreu na primeira metade do ensaio. Assim, pode-se dizer que a deformação permanente sofrida pela mistura no início do ensaio ocorre em sua maioria pela densificação do

material, e o intertravamento ocasionado pelo alto teor de agregados graúdos evitou uma deformação maior, como ocorrido na mistura brasileira. A mistura brasileira, apesar de se comportar pior do que a espanhola estudada aqui, apresenta um comportamento semelhante, chegando a ser até superior, quando comparado aos valores obtidos por Marrón *et al.* (2009), que utiliza uma mistura com maior teor de agregados miúdos em sua composição. A Figura 7 apresenta as placas após o ensaio pela metodologia espanhola para as

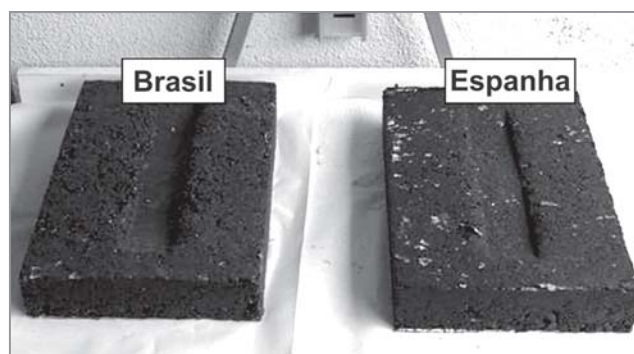


Figura 7 – Placas após o ensaio de rodadura

duas misturas, com detalhe para o maior afundamento na placa com a mistura brasileira.

### Caracterização Mecânica Adicional

De acordo com a metodologia de cada país, foram realizados ensaios de Módulo de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) nas misturas brasileiras e espanhola. É comum no Brasil se realizar esses tipos de ensaios na temperatura de 25°C, enquanto na Espanha os ensaios são realizados a 20°C. Com o intuito de se avaliar o efeito da temperatura nos resultados de fadiga, foram realizados no Brasil tanto ensaios a 20°C quanto a 25°C. Foram utilizados três CP's para

Tabela 5. Resultados do ensaio de rodadura (UNE-EN 12697-22), dispositivo pequeno, procedimento B em ar para as misturas brasileira e espanhola e as estudadas por Marrón *et al.* (2009)

Mistura	WTS* (mm/1000 ciclos)	RD** (mm)	PRD*** (%)
Brasileira (Superpave)	0,263	6,6	10,8
Espanhola (Marshall)	0,090	3,3	5,6
Marrón <i>et al.</i> (2009)	0,288	5,5	13,6

\*WTS – Wheel Track Slope; \*\*RD – Rut Depth; \*\*\*PRD – Percentage of Rut Depth

Tabela 6. MR e RT das misturas brasileira e espanhola

Mistura	MR (MPa)				RT (MPa)			
	Temp. (°C)	Valor	Temp. (°C)	Valor	Temp. (°C)	Valor	Temp. (°C)	Valor
Brasileira (Superpave)	25	2.229	20	5.842	25	0,83	20	1,64
Brasileira (Marshall)	25	2.155	20	3.971	25	0,93	20	1,67
Espanhola (Marshall)	25	6.314	20	8.014	25	1,39	20	1,72

cada ensaio nas misturas brasileiras e cinco CP's para cada ensaio na mistura espanhola. Os resultados estão na Tabela 6.

É possível perceber que os valores dos resultados dos ensaios de RT da mistura brasileira (dosada tanto pela metodologia Marshall quanto pela metodologia Superpave) a 20°C é quase o dobro dos valores da mesma mistura ensaiada a 25°C. A variação na temperatura de 5°C nos ensaios realizados nos dois países foi relevante para os resultados encontrados. Além disso, foi possível verificar que os resultados de RT da mistura brasileira apresentaram-se muito similares aos da mistura espanhola quando ensaiadas na mesma temperatura do ensaio espanhol, a 20°C. O mesmo foi observado para os resultados de MR. Para misturas ensaiadas a 20°C os valores foram muito superiores aos valores obtidos a 25°C, com a mistura espanhola apresentando maior rigidez do que as brasileiras em todos os casos. Essa maior perda de rigidez e de resistência à tração das misturas brasileiras Marshall e Superpave em relação à mistura espanhola ao se elevar a temperatura dos ensaios pode estar associado ao teor de ligante delas, que é maior do que o da mistura espanhola. O fato de a mistura ter mais ligante a torna mais suscetível as variações de temperatura. A menor perda de resistência à tração da mistura espanhola com o aumento da temperatura do ensaio também está associada aos agregados, que possuem maior fricção do que aqueles utilizados nas misturas brasileiras.

O ensaio de vida de fadiga foi realizado a 25°C para todas as misturas. O ensaio da tensão controlada foi realizado para três níveis diferentes de tensões, sendo estes 30, 40 e 50% de RT. Para cada nível de tensão foram realizados três ensaios, totalizando nove ensaios por mistura. Utilizou-se uma frequência de 60 aplicações por minuto com 0,10 segundo de duração do carrega-

mento repetido e 0,90 segundo de tempo de repouso, tipicamente adotada nos ensaios de fadiga no Brasil. Os resultados, na Figura 8, mostraram que, para uma mesma diferença de tensões, a mistura espanhola é mais resistente à fadiga. Em Araújo Jr. *et al.* (2009) é possível encontrar esses e outros resultados de ensaios de vida de fadiga relativos apenas à mistura brasileira caracterizada através de ensaios realizados no Brasil e na Espanha. A mistura brasileira dosada pela metodologia Marshall apresentou pior comportamento com relação à resistência à fadiga se comparada à mesma mistura dosada utilizando-se a dosagem Superpave, o que não era esperado, pois a primeira possui mais ligante, o que deveria torná-la mais flexível e mais capaz de dissipar tensão. No entanto, esse alto teor de ligante a tornou muito flexível e deformável, o que a levou a atingir o critério de falha do equipamento pneumático do ensaio.

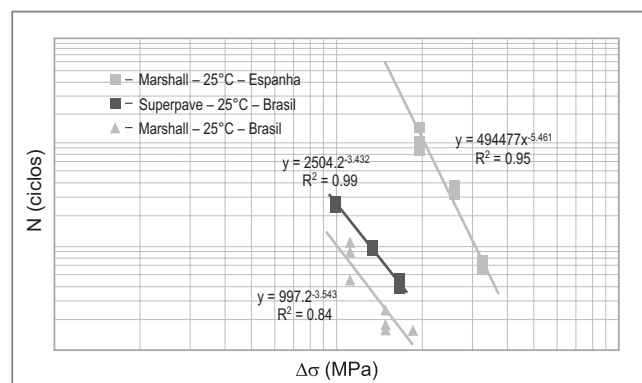


Figura 8 – Resultados de ensaio de vida de fadiga realizados a 25°C para as misturas brasileira e espanhola

## CONCLUSÕES

Nesse estudo foi possível verificar a diferença entre diferentes métodos para avaliação da resistência à deformação permanente no Brasil e na Espanha em duas misturas, sendo uma dosada no Brasil pela metodologia

Superpave e outra dosada na Espanha pela metodologia Marshall. Os ensaios utilizados no Brasil, *creep* dinâmico e análise das variáveis  $CDI/TDI_m$ , mostraram resultados de resistência à deformação permanente na mistura espanhola pelos menos quatro vezes maiores quando comparados aos mesmos resultados de ensaios realizados nas misturas brasileiras. O *ensayo de rodadura*, usualmente utilizado na Espanha, também mostrou resultados superiores com relação à resistência à deformação permanente para a mistura espanhola, sendo o ATR da mistura brasileira aproximadamente o dobro da mistura espanhola. Com isso, observa-se que nos métodos adotados no Brasil a diferença dos resultados é mais sensível à mudança dos materiais quando comparados aos resultados do método de caracterização da deformação permanente espanhol.

A diferença na metodologia de dosagem adotada e a granulometria utilizada em cada mistura também foram fatores importantes nos resultados obtidos. A mistura espanhola, dosada pela metodologia Marshall, apresentou um percentual de ligante equivalente à quase metade do valor da mistura brasileira dosada pela metodologia Superpave. Isso gerou um alto  $V_v$  na mistura. Além disso, a mistura espanhola tinha um alto percentual de agregados graúdos. Misturas dosadas com baixo teor de ligante e alto teor de agregados graúdos possuem um maior intertravamento do esqueleto pétreo, logo resistem mais à deformação permanente. Esse intertravamento na mistura espanhola foi tão forte, que após a compactação com 1.000 giros não foi possível obter os 98% de densificação necessários para a utilização do TDI, sendo necessária a utilização do  $TDI_m$ .

Os resultados dos ensaios de caracterização mecânica convencionais (MR e RT) mostraram que a mistura espanhola é mais rígida e resistente à tração para as duas temperaturas ensaiadas, sendo que para o

ensaio a 20°C as diferenças de valores foram um pouco menores do que a 25°C. Com relação à fadiga a mistura espanhola mostrou-se mais resistente, o que é não era esperado devido ao baixo teor de ligante da mistura.

Os ensaios de deformação permanente são usualmente realizados em conjuntos de misturas. Geralmente se utilizam os resultados desses ensaios para compará-las entre si. Com isso é possível obter parâmetros de deformação permanente, porém apenas em termos relativos. Existem vários modelos para previsão de resistência à deformação permanente. Seria ideal se houvesse a possibilidade de inserir os resultados de ensaios de deformação permanente nesses modelos de forma que fosse possível, de fato, entender o fenômeno da deformação permanente de forma mais global. Além disso, seria válido investigar mais aprofundadamente as propriedades dos agregados das duas misturas, visto que a resistência à deformação permanente está intimamente ligada às propriedades de forma dos mesmos. Além de investigar as diferenças entre as metodologias de dosagem adotadas na Espanha e no Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP/DET/UFC) pelo apoio operacional concedido e ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT pelo apoio na forma de bolsa de iniciação científica ao segundo autor e à CAPES pelo apoio na forma de bolsa de mestrado ao primeiro autor. À Lubnor pelo asfalto fornecido. Ao *Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)* pela realização dos ensaios na Espanha. Agradecimentos também são devidos à FINEP, CNPq e Petrobras pelo financiamento da REDE ASFALTO N/NE, que possibilitou os estudos em misturas asfálticas na UFC.

## REFERÊNCIAS

- ANP Resolução ANP Nº 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento Técnico Nº 3/2005. Agência Nacional do Petróleo, 2005.
- ARAGÃO, F.T.S.; LUTIF, J.E.S.; KIM, Y.R.; SOARES, J.B. Avaliação da Zona de Restrição Como Critério Limitador em Misturas Asfálticas Utilizadas em Vias de Baixo Volume de Tráfego. In: XXI ANPET, Rio de Janeiro. Anais da XXI ANPET, 2007.
- ARAÚJO Jr., P.C.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; MARRON, J.O.; JIMENEZ, R.; MATEOS, A.; SOARES, J.B. Estudo sobre Ensaios de Vida de

- Fadiga em Misturas Asfálticas por Métodos Adotados na Espanha e no Brasil. In: IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço (SINAPPRE), Fortaleza, 2009.
- BAHIA, H.U.; FRIEMEL, P.P.; RUSSEL, J. Optimization of Constructibility and Resistance to Traffic: a New Design Approach for HMA Using the Superpave Gyrotory Compactor. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 67, p. 189-232, 1998.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1. Edição. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- CEDEX; Estudio del Límite de Resistencia a Fatiga de Mezclas Bituminosas para Desarrollo de Firmes de Larga Duración. Madrid, Espanha, 2006.
- COUTINHO, R.P.; PAMPLONA, T.F.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; SOARES, J.B.; MATEOS, A. Multiscale Approach for Characterization of Asphaltics Materials Designed in Brazil and Spain. 11<sup>th</sup> *International Conference on Asphalt Pavements*. Nagoya, Japão, 2010.
- DNER-ME 35 Agregados – Determinação da Abrasão “Los Angeles”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- DNER-ME 78 Agregado Graúdo – Adesividade ao Ligante Betuminoso. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.
- DNER-ME 81 Agregados – Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado Graúdo. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- DNER-ME 83 Agregados – Análise Granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- DNER-ME 84 Agregado Miúdo – Determinação da Densidade Real. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1995.
- DNER-ME 86 Agregado – Determinação do Índice de Forma. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.
- FERREIRA, P.N.; BERNUCCI, L.L.B.; MOURA, E. Avaliação da Deformação Permanente e Redução da Macrot textura de Revestimentos Asfálticos Delgados a Quente do tipo SMA 0/5. XVIII ANPET, Florianópolis, Santa Catarina. Anais da XVIII ANPET, 2004.
- GOUBEIA, L.T. Contribuições ao Estudo da Influência de Propriedades de Agregados no Comportamento de Misturas Asfálticas Densas. Tese de Doutorado. USP – EESC, São Paulo, SP, Brasil, 2006.
- GRECO, J.A.S. Avaliação da Influência de Alguns Fatores nas Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas Densas, à Luz da Técnica de Planejamento e Análise de Experimentos Fatoriais Fracionários Assimétricos. Tese de Doutorado. USP – EESC, São Paulo, SP, Brasil, 2004.
- MAHMOUD, A.F.F.; BAHIA, H. Using the Gyrotory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures. Wisconsin Highway Research Program. Project Number 0092-01-02, 2004.
- MARRÓN, J.O.; GUZMÁN, B.R.; AYUSO, F.J.P. Ensayo Español Interlaboratorios de Pista. *Ingeniería Civil*, 154. 2009.
- NASCIMENTO, L.A.H. Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação Permanente. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- SOUZA, T.S. Investigation of Aggregate Angularity Effects on Asphalt Concrete Mixture Performance Using Experimental and Virtual Asphalt Samples. Dissertação de Mestrado, UNL/NE, Lincoln, NE, 2009.
- UNE-EN 12697-22. Mezclas Bituminosas. Métodos de Ensayo para Mezclas Bituminosas en Caliente. Parte 22: Ensayo de Rodadura, Madrid, Espanha, 2008.
- UNE-EN 12697-33. Mezclas Bituminosas. Métodos de Ensayo para Mezclas Bituminosas en Caliente. Parte 33: Elaboración de Probetas con Compactador de Placa, Madrid, Espanha, 2006.
- WITCZAK, M.W.; KALOUSH, K.; PELLINEN, T. Simple Performance Test for Superpave Mix Design, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 465, Washington, D.C., EUA, 2002.
- YILDRIM, Y.; STOKOE II, K.H. Analysis of Hamburg Wheel Tracking Device Results In Relation To Field Performance. Research Report 4185-2. Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 2006.

# Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado

**Raquel Luísa Pereira Carnin**

raquel@tupy.com.br

**Cláudio Oliveira Silva**

claudio.silva@abcp.org.br

**Ricardo José Pozzi**

**Dirceu Cardoso Junior**

**Marilena Valadares Folgueras**

**Wendel Malkowski**

## RESUMO

A possibilidade do aproveitamento da areia descartada de fundição como agregado na produção de artefatos de cimento pode contribuir tanto para reduzir o volume de material descartado quanto para atender à grande demanda regional de construção de ruas e calçadas cooperando para o desenvolvimento sustentável. O objetivo deste estudo foi o de utilizar areia descartada de fundição na produção de peças de concreto utilizadas em pavimentos intertravado. Com os resultados obtidos foi possível implantar uma fábrica piloto para produção das peças.

## PALAVRAS-CHAVE

Areia Descartada de Fundição, Pavimento Intertravado, Paver, Fábrica Piloto, Reciclagem.

## ABSTRACT

The possibility in using discarded foundry sand as aggregate to the production of precast concrete, can contribute to reduce the discarded material volume as well to attend the great regional demand of street and sidewalk pavement construction, contributing with the sustainable development. The objective of this study was using discarded foundry sand in the production of concrete paving blocks (paver). With the results obtained it was possible to plant a pilot facility to the production of paver.

## KEYWORDS

Discarded foundry sand, Interlocking pavement, Paver, Pilot facility. Recicly.

## 1. INTRODUÇÃO

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. Somente no Brasil são gerados cerca de três mi-

lhões de toneladas por ano (ABIFA, 2009). A extração da areia usada para a construção civil aliado ao acúmulo de areia descartada de fundição em aterros causa significativos impactos ambientais. Por isso, o reaproveitamento da areia descartada de fundição deveria

ser incentivado para a redução do quantitativo de areia extraído da natureza.

Alguns estudos preliminares sobre o uso de areia descartada de fundição como agregado para aplicações na construção civil já foram feitos no Brasil (CARNIN, 2008; COUTINHO, 2004; STEFENON, 2003; BONET, 2002, BONIN, 1995 e BINA *et al*, 2000) com resultados satisfatórios.

O relatório desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA de 2006 demonstra que os maiores volumes de areia descartada de fundição estão sendo utilizados em geotécnica, em aplicações como em bases de estradas e cobertura de aterros. Destaca que, dependendo da qualidade da areia descartada de fundição, esta poderá ser um excelente agregado para a produção de cimento Portland, concreto asfáltico e produtos de concretos. Em casos mais restritos, a areia descartada de fundição está sendo usada em solos agrícolas e outras aplicações como a compostagem.

O reaproveitamento de resíduos de fundição na Europa é recente, no entanto em franco desenvolvimento, por ser considerado uma prioridade dentro da indústria europeia por seus benefícios de preservação ambiental e econômico.

No Brasil, tanto no Estado de Santa Catarina como no Estado de São Paulo, a areia descartada de fundição pode ser utilizada em misturas asfálticas e artefatos de concreto sem função estrutural de acordo com as normas legais de cada um dos estados (Santa Catarina: Resolução CONSEMA 011/2008, e São Paulo: Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E).

Este estudo mostra a utilização da areia descartada de fundição como agregado para a fabricação de pisos intertravados, conhecidos comercialmente de paver e apresenta os aspectos mecânicos e ambientais desta utilização, explorados em profundidade nesta investigação. Realizou-se também o planejamento e a execução de uma fábrica piloto para utilizar a areia descartada de fundição na produção deste artefato.

Tendo em vista a diversidade de denominações, doravante a Areia Descartada de Fundição será identificada pela sigla ADF, que compreende as seguintes

identificações: resíduo areia de moldagem, matéria-prima alternativa e resíduo areia de fundição.

## 1.1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1.1. A Areia de Fundição

A areia de fundição é uma mistura de vários elementos que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade da mistura que compõe a caixa de moldagem.

Maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem são algumas características que a areia adquire devido a sua mistura (BONIN, 1995).

A areia de fundição é constituída basicamente por areia, pó de carvão, bentonita e água.

O principal componente da areia utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia base”. A areia base é constituída essencialmente de sílica (óxido de silício –  $\text{SiO}_2$ ).

A bentonita é um silicato de alumina hidratado (contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio). É formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas.

De um modo geral, o pó de carvão é formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre.

A característica principal da água na mistura da areia de moldagem é tornar possível a propriedade coesiva dos elementos da mistura através do aumento da umidade.

Em síntese, os moldes conformam as faces externas ao passo que os machos conformam as faces internas da peça metálica.

### 1.1.2. O Processo de Fundição

A fundição é o método mais rápido para se obter peças metálicas acabadas. Consiste, principalmente, em verter (vazamento) metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal.

A fundição emprega nos seus processos modelos, moldes e machos que promovem às peças fundidas a

sua conformação, de acordo com as etapas existentes de moldagem, fusão e acabamento.

A formulação da areia de fundição a ser usada depende do tipo de metal ou liga a ser fundida. Moldabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos como compressão e tração, expansividade volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem são algumas características da areia de fundição adquiridas no processo de aglomeração executado pelos misturadores.

As etapas do processo de fundição são:

1. Preparo da areia de fundição, também conhecida como areia de moldagem e preparo da areia de macharia;
2. Fusão do metal nos fornos de indução e cubilô (também chamados de Cupola);
3. Vazamento do ferro líquido em aproximadamente 1400 °C;
4. Desmoldagem e geração da ADF;
5. Resfriamento e limpeza das peças;
6. Acabamento das peças;
7. Envio das peças aos clientes.

### 1.1.3. Preparo da Areia de Fundição

O processo de moldagem é do tipo regenerativo. O material que chega ao final do ciclo de trabalho retorna através de correias transportadoras ao início do processo, reutilizando a mesma areia. Pelos motivos de perda de volume e da descaracterização dos componentes da mistura, torna-se necessário o descarte de parte da areia de fundição, gerando a ADF – Areia Descartada de Fundição, e a frequente reposição de matérias-primas e o controle de qualidade.

A areia de fundição é preparada por meio da descarga de areia nova e areia usada, com a quantidade de água calculada por um controlador de compatibilidade, de modo que a areia caia na máquina de moldar com a umidade final pretendida. A quantidade de água certa para o teor de bentonita pode ser verificada no momento em que é efetuada a mistura, podendo esta ser corrigida (SCHULZ, 2005). Os demais aditivos são injetados no recipiente de mistura, que funciona continuamente.

O misturador é o elemento principal para a preparação de areia de fundição, onde são misturadas a

areia lavada e areia retorno, bentonitas ativada e natural, pó de carvão e água. Na Figura 1 pode-se verificar o aspecto físico das bentonitas e do pó de carvão.



Figura 1 – Matérias-primas da Areia de Fundição (PEREIRA, 2005).

### 1.1.4. Pavimento Intertravado

O pavimento intertravado com peças de concreto, conhecidas comercialmente como *paver*, por sua versatilidade e facilidade de aplicação, tem sido bastante utilizado na construção de pavimentos urbanos. O pavimento se caracteriza pela facilidade de execução e rápido treinamento da mão de obra. Em geral, não necessita de equipamentos especiais e de grande porte, permitindo a utilização de mão de obra local e frentes de trabalho simultâneas, resultando em economia de tempo de construção e liberação ao tráfego imediata (SIMIELI *et al*, 2007).

A ABCP (2002) destaca outras vantagens para o uso do piso intertravado:

- Não há propagação de eventuais trincas das camadas de base para superfícies;
- Há facilidade de reparação e de reutilização das peças de concreto, possibilitando acesso às instalações de serviços subterrâneos;
- Apresenta capacidade estrutural, durabilidade, resistência à abrasão, ao ataque de óleos e ao derramamento de combustíveis, conferindo maior valor paisagístico e visibilidade superior, tanto à luz do dia quanto sob luz artificial;

O pavimento intertravado é um tipo de pavimento flexível, e sua construção se assemelha a um pavimento asfáltico, com preparação do subleito, sub-base ou base e camada de revestimento. A construção da camada de revestimento é bastante simples, as pedras de concreto são assentadas sobre uma camada de assentamento composta por areia média ou grossa, em seguida espalha-se areia fina para o preenchimento das juntas

e executa-se a compactação, até que as juntas fiquem totalmente preenchidas.

Consegue-se, assim, o intertravamento das peças, que proporciona resistência a esses pavimentos e os diferencia dos demais. Recomenda-se que as peças tenham espessuras mínimas de 6cm para pavimentos com tráfego leve; de 8cm para pisos submetidos ao tráfego de veículos comerciais; e de 10cm para casos especiais.

## 2. DESCRIÇÃO GERAL E MÉTODOS INVESTIGATIVOS

Para verificar se a ADF atendia às exigências estabelecidas na Resolução CONSEMA 011/08 foram realizadas as seguintes caracterizações:

- Caracterização e de classificação da ADF, segundo a norma da ABNT NBR 10004;
- Análises químicas do extrato lixiviado – utilizando a metodologia apresentada na norma da ABNT NBR 10005;
- Análises químicas do extrato aquoso;
- Análises de testes de toxicidade, conforme metodologia estabelecida pela Portaria FATMA Nº 17, de 18 de abril de 2002.

### 2.1. Caracterização da ADF conforme Resolução CONSEMA 011/08

A caracterização e classificação da ADF foram realizadas no Laboratório Acquaplant Química do Brasil Ltda. localizado em Joinville – SC. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Para realização das análises foram utilizados os métodos padrões que compõem o Standard Methods vigésima edição.

A classificação foi realizada pela comparação dos resultados obtidos nas análises com os padrões que se encontram na Norma ABNT NBR 10.004 – Resíduos Sólidos: Anexo F – Concentração – Valor Máximo no extrato obtido pelo teste de lixiviação; Anexo G – Padrões para o teste de solubilização.

Segundo a comparação realizada entre o lixiviado e o solubilizado, apresentada na Tabela 1, a ADF é classificada como Resíduo Classe IIA – NÃO INERTE, em

função dos elementos alumínio e ferro com valores superiores ao padrão na análise feita no solubilizado. Segundo o estudo realizado por Carnin, 2008 os solos de Joinville possuem alumínio, ferro e manganês, no extrato solubilizado, acima do limite máximo permitido pela NBR 10.004. Se fossem resíduos industriais seriam classificados como Resíduo Classe II A – Não Inerte. Cabe salientar que a ADF não é um resíduo perigoso.

Seguindo os procedimentos estabelecidos na Resolução CONSEMA 011/08 para utilizar a ADF em artefatos de concreto sem função estrutural, esta deve apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado, obtido conforme a norma ABNT NBR 10.005, menores ou iguais às concentrações permitidas (Tabela 2). Também deve apresentar concentrações de poluentes no extrato aquoso menores ou iguais às concentrações máximas permitidas e ainda deve apresentar pH na faixa entre 5,5 e 10,0. Os resultados destas podem ser visualizados na Tabela 3.

Foi realizado o estudo de toxicidade aguda do extrato solubilizado da ADF conforme Portaria FATMA nº 17/02.

Os testes de toxicidade aguda foram realizados no Laboratório de Toxicologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

A metodologia para realização dos testes de toxicidade aguda com os micro-organismos *Daphnia magna* seguiu a NBR 12.713 de 2003. Os resultados dos testes de toxicidade podem ser visualizados na Tabela 1.

De acordo com os resultados foi possível verificar que a ADF atende a todos os requisitos da Resolução 011/08, podendo assim ser utilizada na fabricação de artefatos de concreto sem função estrutural.

### 2.2. Desenvolvimento da fábrica piloto

Após o estudo de caracterização da ADF, iniciou-se a elaboração de uma fábrica piloto para a produção de artefatos de concreto.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a produção de artefatos de concreto sem função estrutural e optou-se pela fabricação de peças de concreto para pavimento intertravado, conhecido comercial como *paver*, que é definido como uma peça pré-moldada,

Tabela 1. Parâmetros químicos no lixiviado, solubilizado da ADF pela NBR 10.004

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)		Solubilizado (mg/L)	
	NBR 10005		NBR 10006	
	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio			44,26	0,2
Arsênio	< 1,000 x 10 <sup>-4</sup>	1,0	3,990 x 10 <sup>-3</sup>	0,01
Bário	< 0,20	70	< 0,20	0,7
Cádmio	< 0,001	0,5	< 0,001	0,005
Chumbo	< 0,01	1,0	< 0,01	0,01
Cianetos			< 0,005	0,07
Cloreto			49,67	250
Cobre			< 0,005	2,0
Cromo Total	< 0,030	5	< 0,030	0,05
Fenóis totais			0,125	0,01
Ferro			25,988	0,3
Fluoretos	< 1,000	150	< 1,000	1,5
Manganês			< 0,005	0,1
Mercurio	< 1,000 x 10 <sup>-4</sup>	0,1	< 1,000 x 10 <sup>-4</sup>	0,001
Nitrato (expresso em N)			8,00	10,0
Prata	< 0,02	5,0	< 0,02	0,05
Selênio	< 1,000 x 10 <sup>-4</sup>	1,0	< 1,00 x 10 <sup>-4</sup>	0,01
Sódio			127,530	200
Sulfato (expresso em SO <sub>4</sub> )			50,48	250
Zinco			0,019	5,0

<sup>(1)</sup> VMP – Valores Máximos Permitidos – ABNT NBR 10.004 / 2004.

Tabela 2. Parâmetros químicos do extrato lixiviado da ADF pela Resolução CONSEMA 011/08

Parâmetros	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>
Arsênio (mg/L)	< 1,000 x 10 <sup>-4</sup>	0,50
Bário (mg/L)	0,03	10,0
Cádmio (mg/L)	< 0,001	0,10
Chumbo (mg/L)	< 0,01	0,50
Cromo Total (mg/L)	< 0,030	0,50
Massa lixiviada (g)	50,025	–
Mercurio (mg/L)	1,700 x 10 <sup>-3</sup>	0,02
Selênio (mg/L)	1,90 x 10 <sup>-3</sup>	0,10

<sup>(1)</sup> VMP – Valores Máximos Permitidos – Resolução CONSEMA 011 de 2008

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos do extrato aquoso da ADF pela Resolução CONSEMA 011/08

Parâmetros	Resultados	VMP <sup>(1)</sup>
Cianetos (mg/L)	< 0,005	2,0
Cloreto (mg/L)	12,53	2.500,0
Cobre (mg/L)	0,015	2,5
Fenóis Totais (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	< 0,050	3,0
Ferro Total (mg/L)	6,239	15,0
Fluoretos (mg/L)	< 1,000	14,0
Manganês (mg/L)	< 0,005	0,50
Massa lixiviada (g)	50,060	–
Níquel (mg/L)	< 0,020	2,0
pH final extrato aquoso ( - )	6,88	5,5 – 10,0
pH inicial extrato aquoso ( - )	7,95	–
Sódio (mg/L)	97,58	2500,0
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	612,0	5.000,0
Sulfato (mg/L)	123,68	2.500,0
Sulfeto (mg/L)	< 0,050	5,0

<sup>(1)</sup> VMP – Valores Máximos Permitidos – Resolução CONSEMA 011 de 2008

Tabela 4. Resultados dos testes de toxicidade aguda com *Daphnia magna*.

Amostra	pH	Fator de Diluição – FD	Limite Máximo Toxicidade – FD	Resultados
ADF – 1ª réplica	7,62	1	4	Não tóxica
ADF – 2ª réplica	7,48	1	4	Não tóxica
ADF – 3ª réplica	7,44	1	4	Não tóxica
ADF – 4ª réplica	7,66	1	4	Não tóxica
ADF – 5ª réplica	6,90	1	4	Não tóxica

de formato geométrico regular, com comprimento máximo de 40cm, largura mínima 10cm e altura mínima 6cm.

A fábrica piloto foi projetada considerando-se as exigências técnicas para a produção das peças de acordo com as informações encontradas na pesquisa bibliográfica.

Foram adaptados e desenvolvidos os seguintes equipamentos:

1. Silos para armazenamento de cimento e ADF;
2. Um misturador para as matérias-primas: cimento, ADF, pó de brita e água;
3. Uma prensa hidráulica;
4. Um suporte para a realização da cura e estoque.

Ainda houve a necessidade da aquisição de um carrinho de mão para o transporte dos materiais preparados até a prensa hidráulica. A Figura 2 mostra o esquema ilustrativo da elaboração da fábrica piloto de paver.

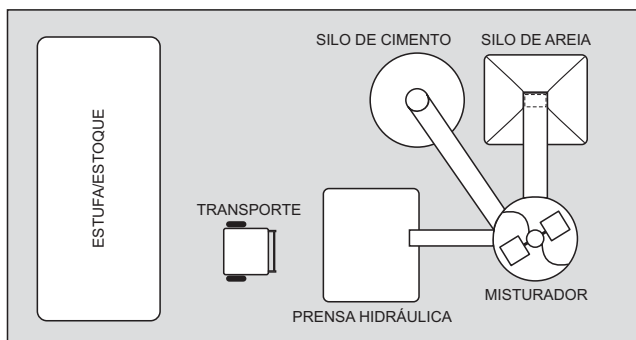


Figura 2 – Esquema ilustrativo da fábrica piloto de peças de concreto.

Com a montagem da fábrica piloto foi iniciado o estudo para dosagem dos materiais constituintes para este tipo de artefato.

Os materiais empregados no desenvolvimento dos traços de piso intertravado de concreto foram os seguintes:

- Aglomerante: cimento CP V ARI,
- Água: proveniente do sistema de abastecimento público de Joinville – SC;

- Agregados: utilizou-se o pó de brita da Mineradora Rudnick de Joinville;
- Areia Descartada de Fundição: proveniente da Tupy S.A. de Joinville.

Foi realizada a caracterização granulométrica da ADF de acordo com a norma da ABNT NBR7211, e estes resultados estão apresentados na Tabela 5.

Na produção do concreto para uso em peças de concreto, foi necessário realizar o estudo de dosagem, para definir um traço padrão com resistência mínima de 35 MPa, conforme previsto na NBR 9781.

O processo de cura das peças foi elaborado para uma situação que simula uma estufa, com a utilização de plástico a cada camada de peças produzidas, colocados sobre um palete. Cada palete possui seis camadas, portanto, seis camadas de plástico. Nesta situação as peças ficam por cerca de sete dias para realização da cura final. Após a cura, o palete é baldeado para retirada dos plásticos, e as peças estão prontas para utilização. A Figura 3 ilustra o esquema do processo de cura do paver.

A cura do concreto é conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante. A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade e contribuindo para aumentar a durabilidade das estruturas (Figura 3).

Com a efetivação do processo de cura das peças de concreto, as amostras foram analisadas para veri-

Tabela 5. Resultados do Ensaio Granulométrico da ADF

Ensaio Granulométrico					
Peneiras (mesh)	Peneiras (mm)	Massa (g)	Retenção (%)	Coefficiente	Produto
6	3,36	0,00	0,00	3	0
12	1,68	0,00	0,00	5	0
20	0,84	0,22	0,44	10	4
30	0,59	2,00	4,00	20	80
40	0,42	5,55	11,10	30	333
50	0,297	10,86	21,72	40	869
70	0,21	10,72	21,44	50	1072
100	0,149	9,35	18,70	70	1309
140	0,105	5,02	10,04	100	1004
200	0,074	0,66	1,32	140	185
270	0,053	0,14	0,28	200	56
Prato		0,00	0,00	300	0
Total		44,52	89,04		4912



Figura 3 – Esquema do processo de cura das peças de concreto.

ificação das propriedades especificadas na ABNT NBR 9780 e outras definidas para o estudo apresentado neste trabalho.

### 2.2.1. Propriedades das peças de concreto

Segundo Simieli *et al* (2007) a norma da ABNT NBR 9781 estipula que a resistência estimada à compressão das peças, calculada de acordo com a norma da ABNT NBR 9780, deve ser de 35 MPa para as solicitações de veículos comerciais de linha ou 50 MPa. Isso quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão. A propriedade de distribuição das cargas vai melhorando com a utilização do pavimento, que produz progressivamente um estado de travamento total

chamado intertravamento (*lock up*). A camada de rolamento adquire maior rigidez com o passar do tempo e as peças pré-moldadas de concreto deixam de constituir mera camada de rolamento para transformar-se numa camada estrutural.

Foram analisadas as propriedades de resistência à compressão, absorção de água, massa específica, índice de vazios, expansão em autoclave e durabilidade por molhagem e secagem.

Para o ensaio de resistência à compressão, seguiram-se os procedimentos da norma da ABNT NBR 9781, a qual estabelece as condições exigíveis para a aceitação de peças pré-moldadas de concreto, destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamentos e similares. Os ensaios foram executados no Laboratório de Materiais de Construção, integrado ao De-

Tabela 6. Resultados de resistência à compressão da amostra de peças.

Amostra	Tensão Alcançada (MPa)	Tensão Característica da Peça (MPa)	fp – resistência média do lote (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente student – t	Fpk – resistência característica do lote (MPa)
1	39,44	37,47	37,79	2,132	0,883	35,91
2	39,04	37,09				
3	41,73	39,64				
4	40,74	38,70				
5	37,91	36,01				
6	38,20	36,29				
7	40,14	38,13				
8	39,40	37,43				
9	36,87	35,03				
10	44,34	42,12				

partamento de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina localizado em Joinville – SC. As amostras foram ensaiadas com 45 dias de cura.

Os resultados de resistência à compressão das amostras ensaiadas podem ser observados na Tabela 6.

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma da ABNT NBR 9778:2005. A peça de concreto foi produzida com as dimensões de 60 x 100 x 200mm.

De acordo com a norma da ABNT NBR 9780, a tensão característica da amostra foi calculada multiplicando-se a tensão máxima alcançada por amostra pelo coeficiente 0,95 – correspondente à altura de 60mm das peças conforme Tabela 7.

Admite-se que as resistências à compressão obedecem à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela expressão:

$$f_{pk} = f_p - t \cdot s$$

Onde:

f<sub>pk</sub> = resistência à compressão, em MPa;

f<sub>p</sub> = resistência média das amostras ensaiadas de acordo com a NBR 9780, em MPa;

s = desvio padrão da amostra, em MPa;

t = coeficiente de student, fornecidos na Tabela 8, em função do tamanho n da amostra.

Sendo a quantidade de amostras analisadas igual a 10, conseqüentemente o número de amostras n é

Tabela 7. Cálculo da tensão característica da amostra (NBR 9780)

Altura nominal da peça (mm)	Fator multiplicativo "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Tabela 8. Valores do coeficiente de student em função do tamanho n da amostra

n	t	n	t
6	0,920	18	0,863
7	0,906	20	0,861
8	0,896	22	0,859
9	0,889	24	0,858
10	0,883	26	0,856
12	0,876	28	0,855
14	0,870	30	0,854
16	0,866	32	0,842

igual a 10; e o coeficiente student t é igual a 0,883. Assim sendo, foram obtidos os seguintes resultados:

$$f_{pk} = 35,91 \text{ MPa};$$

$$f_p = 37,79 \text{ MPa};$$

$$s = 2,132 \text{ MPa};$$

$$t = 0,883$$

Com base nos resultados apresentados, foi possível concluir que as peças atendem os requisitos quanto à resistência à compressão, tendo em vista que a

resistência média das amostras foi de 37,79 MPa e o estabelecido em norma é de 35 MPa.

As dimensões das peças, conforme estabelecido na norma da ABNT NBR 9781 que apresenta as variações máximas permissíveis:

- a. 3mm, no comprimento e largura das peças;
- b. 5mm, na altura das peças.

Os resultados para as variações nas dimensões das amostras ensaiadas podem ser visualizados na Tabela 9.

Como pode ser observado na Tabela 9, não ocorreram variações maiores que 5mm para a altura nem variações maiores que 3mm para comprimento e largura.

Pelos resultados obtidos no estudo de resistência à compressão das peças de concreto contendo em sua composição areia descartada de fundição pode-se concluir que este tipo de artefato é considerado aceito para as solicitações de veículos comerciais de linha.

As peças também foram avaliadas quanto à absorção de água, massa específica e índice de vazios de acordo com a norma da ABNT NBR 9778, sendo que estes ensaios foram realizados na Associação Brasileira de Cimento Portland, localizada em São Paulo.

Foram ensaiadas quatro amostras de peças e estas foram colocadas em estufa mantida à temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. As massas foram registradas ( $m_s$ ). Em seguida foram imersas em água e mantidas durante 72 horas nessa condição.

Completada a etapa de saturação em água, cada amostra foi colocada em um recipiente cheio de água que foi levado à ebulição. A ebulição foi mantida por um período aproximado de cinco horas, mantendo constante o volume de água. Após a água esfriar, a massa da amostra foi registrada com auxílio da balança hidrostática ( $m_i$ ).

A amostra foi retirada da água e, após ter sido enxugada com um pano, foi pesada ( $m_{sat}$ ).

A absorção, o índice de vazios, a massa específica da amostra seca, a massa específica da amostra saturada e a massa específica real são definidos pelas equações:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad \rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad \rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

Onde:

A: absorção (%)

$I_v$ : índice de vazios (%)

$\rho_s$ : massa específica da amostra seca

$\rho_{sat}$ : massa específica da amostra saturada

$\rho_r$ : massa específica real

$m_s$ : massa da amostra seca em estufa (g)

$m_{sat}$ : massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g)

$m_i$ : massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g)

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados destes ensaios.

O ensaio de absorção é realizado para medir o volume dos poros. Geralmente se mede a absorção secando uma amostra até massa constante, imergindo em água, determinando-se o acréscimo de massa como porcentagem da massa seca. Ou seja, quanto maior a absorção, maior será a porosidade.

Como o índice de vazios é dado pela relação entre o volume de vazios pelo volume de sólidos, o índice de vazios e a porosidade são diretamente proporcionais.

Tabela 9. Resultados das variações nas dimensões das amostras de peças

Amostra	Largura L (mm)	Varição de L (mm)	Comprimento C (mm)	Varição de C (mm)	Altura H (mm)	Varição de H (mm)	Maior variação (mm)
1	101,50	0,11	20,20	0,00	59,65	0,81	0,81
2	101,25		20,20		58,65		
3	101,35		20,20		58,75		
4	101,20		20,20		57,20		
5	101,40		20,20		58,95		
6	101,40		20,20		58,95		

**Tabela 10. Resultados das determinações de absorção de água, massa específica e índice de vazios das amostras de peças**

Amostras	1	2	3	4	Média
Absorção após imersão e fervura %	6,21	6,07	7,08	7,16	6,6
Índice de vazios após saturação e fervura %	13,83	13,55	18,52	15,86	15,4
Massa específica da amostra seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,23	2,23	2,21	2,22	2,22
Massa específica após saturação e fervura (g/cm <sup>3</sup> )	2,37	2,37	2,36	2,37	2,37
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,59	2,58	2,62	2,63	2,60

Estes valores estão correlacionados à capacidade de prensagem do equipamento de produção e à composição granulométrica da mistura do concreto.

A média dos resultados obtidos do ensaio de absorção de água foi da ordem de 6,6%. A absorção de água tem relação com a compactação da amostra e as condições de cura que a peça esteve submetida. A norma EN 1388 estabelece absorção de água menor ou igual a 6% para as peças de concreto utilizadas em pavimento intertravados.

A massa específica real é a relação entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis. Portanto, quanto menor a massa específica, mais “leve” é o material. Esta grandeza também está correlacionada com a capacidade de compactação do equipamento, da composição granulométrica e ainda da densidade dos agregados.

Outro fator importante analisado nas peças de concreto com ADF foi verificar a possibilidade de ocorrência de expansão. Para esta verificação foi realizado o ensaio de expansão em autoclave realizado pelo método da ASTM C 151 que consistiu em colocar amostras de peças em autoclave à pressão de 295 Psi e temperatura de 220 °C, durante o período de cinco horas. Após o tratamento, o comprimento final é comparado com o inicial.

A Norma ASTM C 151 – *Standard Performance Specification for Blended Hydraulic Cement* preconiza o critério máximo de 0,8% como limite de estabilidade para um cimento não ser considerado expansivo.

As leituras iniciais das amostras foram respectivamente: altura = 56,5mm; largura = 101,5mm e comprimento = 201,4mm. As leituras finais foram: altura = 57,0mm; largura = 101,8mm e comprimento = 201,6mm.

Os resultados mostram que os valores de expansões estão abaixo do limite máximo de 0,8% preconizado pela ASTM C 151, além de que não foram observadas nenhuma ocorrência de fissuração ou lascamento da amostra.

As amostras foram também submetidas ao ensaio de durabilidade por molhagem e secagem, simulando ciclos que poderiam causar a desagregação do concreto. Este ensaio consistiu na execução de seis ciclos alternados de molhagem e secagem (cada ciclo de 48 horas). O método de envelhecimento acelerado foi baseado na norma Norma ABNT – NBR 13554, utilizada na verificação de durabilidade de solo-cimento.

O ensaio consiste na verificação de desgaste mecânico após ciclos de molhagem e secagem. Após a secagem em estufa, as amostras foram submetidas ao escovamento com escova de tiras de chapa de aço, descrita pela NBR 13554. A escova foi aplicada com seu eixo longitudinal paralelo ao eixo longitudinal do corpo de prova e paralelo as suas bases, de maneira tal que foi possível cobrir toda a superfície do corpo de prova. Na Tabela 11 estão apresentados os resultados deste ensaio.

As peças ensaiadas não apresentaram desgastes significativos e visualmente não apresentavam fissuras e nem partículas soltas.

**Tabela 11. Resultados do Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem.**

Amostras	1	2	3
Massa seca inicial (g)	2718	2730	2725
Massa seca final (g)	2704	2713	2711
Perda de massa (%)	0,5	0,6	0,5

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado no presente trabalho mostrou que é possível utilizar a Areia Descartada de Fundação – ADF como agregado na confecção de peças de concreto para pavimentação.

Obtiveram-se peças com excelente acabamento, possibilitando a execução de um pavimento diferencia-



Figura 4 – Execução de pavimentação com as peças de concreto com ADF no entorno do 62º Batalhão de Infantaria de Joinville.

do e de aspecto arquitetônico bastante agradável, ideal para confecção de calçadas, pavimentação de ruas de baixo tráfego e espaços urbanos.

Além do atendimento da resistência mecânica, os ensaios de expansão e ciclos de molhagem e secagem demonstraram que a peças de concreto com ADF apre-

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. ASTM C 151 – Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement. Philadelphia, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual Técnico para Implementação da Habitação 10. São Paulo, 2002, 88p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. – ABIFA. Disponível em: <http://www.abifa.org.br/IndicesMercado.aspx>. Acesso em 09/08/2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Agregado para Concreto – Especificação – NBR 7211. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Método de Ensaio – NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Peças de Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência à Compressão – Método de Ensaio – NBR 9780. Rio de Janeiro, 1987.

sentam durabilidade nos ensaios acelerados. As análises ambientais e de toxicidade permitiram a obtenção da Certidão Ambiental nº 964876/2009 fornecida pela Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina – FATMA autorizando a fabricação deste artefato.

Com a obtenção da Certidão Ambiental foi possível iniciar a fabricação das peças, sendo possível formalizar uma parceria com a Prefeitura Municipal de Joinville onde já foram doados cerca de 6.300m<sup>2</sup> para a realização de reformas de calçadas na cidade.

A Figura 4 ilustra a colocação das peças de concreto com ADF, na calçada do entorno do 62º Batalhão de Infantaria de Joinville.

O emprego da areia descartada de fundição como agregado para a fabricação de peças de concreto para pavimento ou outros tipos de artefatos de cimento se constitui em uma alternativa viável, devido aos resultados obtidos, conciliando os aspectos técnicos dos artefatos com benefícios ambientais.

### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho gostariam de registrar os seus agradecimentos às seguintes instituições: TUPY S.A., UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação – NBR 9781. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10.004/2004. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10.005 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10.006 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem – Método de ensaio – NBR 13554. Rio de Janeiro, 1996.
- 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.
- CARNIN, Raquel Luísa Pereira. Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Tese de doutorado do Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2008, 152p.
- 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.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Concrete paving blocks – Requirements and test methods. EN 1338. Brussels, 2003.
- PEREIRA, Raquel Luísa. Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas. Relatório de doutorado apresentado ao Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2005.
- Portaria FATMA nº 17. Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. Fundação do Meio Ambiente - FATMA, 2002, 3p.
- RESOLUÇÃO CONSEMA 011/08. Critérios para a utilização de ADF de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto não estrutural. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Conselho Estadual do Meio Ambiente – Consema. Estado de Santa Catarina, 2008, 14p.
- SCHULZ, Marco Aurélio. Valorização de Resíduos Sólidos Provenientes da Indústria de Fundição: Estudo na Produção de Artefatos de Concreto para Construção civil. Universidade da Região de Joinville. Monografia de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental. 126 pag. 2005.
- SIMIELI, Daniel; MIZUMOTO, Camilo; SEGANTINI, Anderson da Silva; MOREIRA, Flávio. Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados. *Revista Exata*. Centro Universitário Nove de Julho. São Paulo, 2007, 10p.
- 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.

# Conceitos fundamentais para utilização de bases com predominância de solo fino laterítico

O livro *Pavimentos Econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos*, de autoria dos Eng<sup>os</sup> Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami, que trata sobre alternativas de pavimentos, apresenta tecnologia mais barata e adequada às condições tropicais.

A Revista PAVIMENTAÇÃO publica a continuidade, nesta edição, com a permissão dos autores, dos conceitos fundamentais para utilização de base com predominância de solo fino laterítico que corresponde ao Anexo 1 onde serão abordados:

- 1 – Conceituação (publicado na edição nº 18)
- 2 – Campo de Aplicação
- 3 – Ocorrências de Jazidas
- 4 – Técnica Construtiva e Controle Tecnológico
- 5 – Comportamento Tecnológico
- 6 – Conservação e Recuperação

## 2 Campo de aplicação

### 8ª Questão: Para quais Tipos de Tráfego e Características Climáticas pode-se usar Pavimentos com Bases de SAFL, ALA ou SLAD?

Pela experiência atual tem-se:

- **Tráfego:** O tráfego preconizado para uso de pavimentos com as bases referidas abrange os tipos muito leve, leve e médio e deve atender aos seguintes limites especificados:
  - VDM inicial  $\leq 1.000$  veículos com, no máximo, 35% de veículos comerciais.
  - $N_t \leq 10^6$  solicitações do eixo simples padrão durante o período do projeto: usar SAFL ou ALA com camada de rolamento de tratamento duplo ou triplo.
  - $N_t \leq 5 \times 10^6$  solicitações: usar SAFL ou ALA, com camada de proteção, ou SLAD.
  - $N_t \leq 10^7$  solicitações: usar SLAD, recomendando-se camada de rolamento de CAUQ.

- **Clima:** As características climáticas da região devem ser:
  - Tipo Climático, segundo Köppen:
    - Cwa – quente com inverno seco.
    - Cwb – temperado com inverno seco.
    - Aw – tropical com inverno seco.
    - Temperatura: média anual  $>20^\circ$  C.
  - Condições Hídricas: índice pluviométrico anual médio de 1.000 a 1.800mm e índice de umidade, segundo Thornthwaite, dos tipos subúmido e úmido.

### 9ª Questão: Quando um SAFL é adequado para Base de Pavimentos?

Nem todos os SAFL são apropriados para uso em bases, ou seja, somente podem ser utilizados aqueles que satisfazem as especificações:

- Ter granulometria que permita a aplicação da Metodologia MCT, ou seja: deve passar integralmente na peneira de 2,00mm de abertura ou ter, no máximo, 10% retido.
- Pertencer à classe de solos de comportamento la-

terfítico da Classificação Geotécnica MCT (grupos LA, LA' ou LG').

- Apresentar, quando compactado na El do Mini-Proctor, valores das propriedades mecânicas e hídricas dentro dos intervalos recomendados nas tabelas 5.3 e 5.4.

O critério para a verificação do comportamento laterítico, assim como das propriedades dos solos para uso em bases, é essencialmente tecnológico. Os valores dos intervalos das referidas tabelas foram obtidos pela avaliação de pistas executadas com esse tipo de base, as quais apresentaram bom comportamento em serviço, conforme detalhado no Capítulo 4.

### 3 Ocorrências de Jazidas

#### 10ª Questão: Quais as Peculiaridades das Ocorrências de SAFL para Bases?

As ocorrências que são aproveitáveis como jazidas de SAFL apresentam uma série de peculiaridades que as tornam adequadas. As principais são:

- Localizam-se junto à superfície do terreno e são capeadas com uma camada de terra vegetal, de pequena espessura, inaproveitável para pavimentação; quase sempre essa camada é inferior a cerca de 1m e pode ser usada, vantajosamente, como material orgânico para o plantio de vegetação destinada à proteção de aterros, cortes etc.
- A camada aproveitável atinge, frequentemente, grandes espessuras (acima de 5m) e se estende por centenas de metros quadrados; também pode ser o próprio corte da rodovia.
- As condições de drenagem são geralmente excelentes, o que se constitui numa exigência necessária para a evolução pedológica do seu comportamento.
- Facilmente identificáveis pelo exame tátil – visual expedito, pois se caracterizam pela sua cor (vermelho, marrom, amarelo e suas combinações) e existência de trincas e torrões bem desenvolvidos, quando ocorrem partes expostas; nas variedades mais arenosas, do tipo SAFL, pela presença dos inconfundíveis grãos de areia de quartzo (no SAFL) e ausência frequente de camadas bem delimitadas ou anisotropias aparentes (acamamento, xistosidades,

mosqueamento etc). Só excepcionalmente, há necessidade de se usar procedimentos laboratoriais para a identificação desses solos.

- Têm correlação, geralmente muito boa, com as unidades pedológicas constantes de mapas publicados no Brasil, sendo que predominam ocorrências pertencentes ao grande grupo latosolo e argisolo (podzólico ou pozolizado, na designação antiga). Grande parte dos SAFL utilizados é de textura média. Algumas das peculiaridades acima podem ser observadas nas figuras A.8 e A.9 da 12ª Questão.

#### 11ª Questão: Pode-se obter SAFL Artificial para uso em Bases?

Sim, por mistura de solos lateríticos e, também, pela adição de areia a solos argilosos finos lateríticos, de maneira similar à utilizada na correção das misturas estabilizadas tradicionais.

Estas misturas são usadas por motivos econômicos quando, ao longo do trecho, existem ocorrências de materiais que são solos lateríticos finos (argila e areia), mas que não preenchem os requisitos para serem jazidas de SAFL.

A base constituída desta mistura é designada de ALA e seu processo de dosagem é o seguinte:

- a] Classificar, pela metodologia MCT, o solo a ser usado; caso seja LG' misturá-lo com areia (ou solo LA) nas porcentagens de 20, 30 e 40% em peso de areia.
- b] Classificar, pela metodologia MCT, as três misturas, lançá-las no gráfico classificatório da MCT e escolher, sempre que possível, as misturas que se localizam dentro da área hachurada; quando não possível, na satisfatória, conforme indicado na figura A.6.
- c] Submeter as misturas escolhidas aos ensaios da MCT para a obtenção das propriedades apresentadas na tabela 5.4.
- d] Critério de dosagem da mistura ALA: escolher a que apresenta propriedades que se enquadram nos intervalos recomendados para SAFL, na tabela referida; a seguir, utilizar a hierarquização indicada no fluxograma da figura 5.4.

## 4 TÉCNICA CONSTRUTIVA E CONTROLE TECNOLÓGICO

### 12ª Questão: Qual a relação entre o Tipo de SAFL e a Técnica Construtiva das suas Bases?

O Solo Arenoso Fino Laterítico (SAFL), utilizado para a execução de bases de pavimentos, é, geralmente, proveniente de jazidas situadas nas proximidades do trecho a pavimentar ou, mesmo, em alargamentos da plataforma; em casos excepcionais, pode ser solo da própria pista a pavimentar. O uso de jazidas permite garantir uma maior homogeneidade do solo a ser utilizado na execução da base. O SAFL deverá pertencer a um dos grupos seguintes: LA, LA' ou LG', da Classificação Geotécnica MCT.

Caso sejam disponíveis várias fontes igualmente interessantes para a execução da base, recomenda-se escolher aquela(s) que menos problemas construtivos venha(m) a acarretar. Para obter essa informação deve-se localizar os diversos solos potencialmente interessantes, plotá-los no Gráfico da Classificação MCT e verificar se caem dentro, ou nas proximidades, das áreas assinaladas na figura 6.1. Dados bastante numerosos, sobre as técnicas construtivas e de comportamento, foram colhidos em solos pertencentes às áreas referidas naquela figura. A priorização do uso destes tipos de solo, assim como suas relações com as técnicas construtivas, acham-se detalhadas no subitem 6.2.2.

As figuras A.8 e A.9 ilustram jazidas de SAFL dos tipos I e IV exploradas para a execução de bases, sendo a primeira Argilosa (LG') e, a segunda, Arenosa (LA).

### 13ª Questão: Quais os cuidados na Compactação e Acabamento das Bases de SAFL e ALA?

Além dessa resposta, para um melhor conhecimento do assunto, recomenda-se a leitura do item 6.3.

A compactação deve ser iniciada, preferencialmente, com o rolo "pé de carneiro de patas longas" (não vibratório) até que não haja mais penetração das "patas" do equipamento; completa-se com rolo de pneus (ou corrugado vibratório).

A complementação do grau de compactação e, se necessário, do acabamento deverá ser feita, preferencialmente,

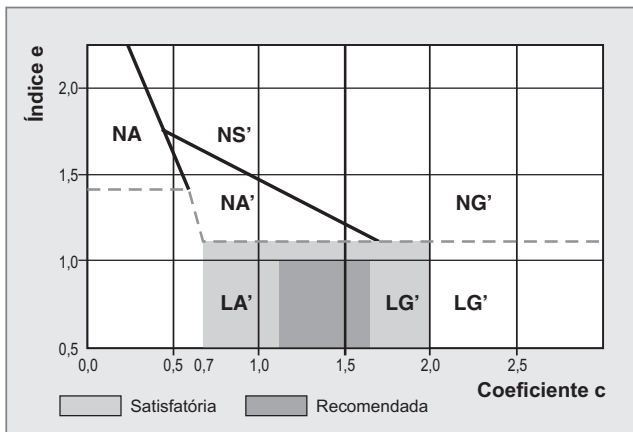


Figura A.6 – Áreas para a mistura ALA, segundo a classificação MCT.

A figura A.7 mostra fase do processo de obtenção de SAFL artificial, pela mistura de argila laterítica com areia lavada. Contrariamente, quando a jazida disponível for muito arenosa, obtém-se o SAFL artificial por adição e mistura com argila laterítica.

Deve-se ressaltar que, escolhida a porcentagem dos componentes da mistura, pode-se, para a execução da base, proceder à mistura dos mesmos através de

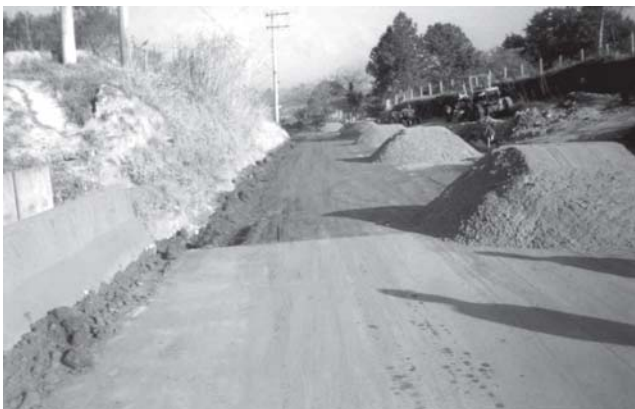


Figura A.7 – Material para base de ALA: misturação na pista, de argila laterítica e areia lavada de rio.

pulvimixer, enxada rotativa (agrícola) ou, mesmo, grade de disco; facilmente obtém-se a uniformidade do material, tanto ao longo do trecho como na espessura da base (a areia ajuda no procedimento de misturação).

Após esta fase, deve-se proceder a execução da base e da sua imprimadura, conforme recomendado para bases de SAFL.

Para maiores detalhes sobre o uso de bases de ALA, sugere-se a leitura do mestre do de Paulo R. M. Serra (1987).

com rolo de pneus de pressão variável ou, na impossibilidade, com liso vibratório. Quando isso ocorrer, é desaconselhável fazer mais que duas coberturas, pois pode-se provocar a formação de corrugações e lamelas, especialmente em determinados solos das áreas III e IV e, em menor escala, nos da área II. Ainda, para evitar a tendência de formação de lamelas, somente são recomendados os rolos compactadores com patas de superfície plana. Porém, para muitos solos da área IV, a compactação deverá ser executada com rolo de pressão variável (tipo SP 12.000 ou similar).

Não deve ser permitido o uso de rolos de “patas curtas” porque, quando se começa com ele a compactação, a camada inferior da base fica com uma densidade relativamente baixa. Para compensar e obter uma densidade média, dentro das especificações, o executor tentará obter uma densidade alta na parte superior da base; isto pode levar ao aparecimento de lamelas, pelo uso excessivo de compactação.

Há certos materiais, principalmente os dos tipos II e IV, que não permitem, na pista, a obtenção da densidade preconizada pelo laboratório. A insistência na compactação desses materiais, em lugar de melhoria, geralmente, leva a prejuízos; a tentativa de obter a densidade especificada produzirá uma camada lamelada e estruturalmente fraca. Nesses casos, recomenda-se que sejam feitos segmentos experimentais para determinar a densidade a ser especificada; a compactação deve ser conduzida até atingir uma densidade limite, acima da qual apareceriam as lamelas na superfície da base. Não é raro que a especificação, em lugar de 100% do Proctor Intermediário original, caia para 95% ou até 92%.

Deverá ser tomado cuidado especial com a compactação das bordas do pavimento que, em muitos casos, é negligenciada, levando ao aparecimento de defeitos.

O acabamento da base deverá ser feito exclusivamente em corte, com motoniveladora, logo após um ligeiro umedecimento. O preenchimento das falhas (ou complementação da espessura) é proibido porque esse material ficaria com uma ligação frágil com o corpo da base, formando lamelas ou lâminas finas de mate-

rial e vindo a desprender-se com o tráfego. O material cortado deverá ser posto fora da pista. A lâmina da motoniveladora deverá estar em perfeitas condições de fio e de desgaste, ou irregularidades. Nas bordas, a base deverá ser cortada a 45° e imprimada também nesse corte.

#### **14ª Questão: Nas Bases de SAFL e ALA, quais as Funções e a Dosagem da Imprimadura?**

Esse assunto encontra-se desenvolvido na pesquisa realizada no item 4.5. Em síntese:

##### **a) Funções da Imprimadura Asfáltica**

###### **Impermeabilizante:**

A imprimadura consiste na aplicação de uma camada contínua de material asfáltico diluído (tipo CM-30 ou CM-70) sobre a superfície da base concluída, que tem por objetivo permitir a penetração da imprimadura em sua superfície, em uma espessura (profundidade) que varia em função das diversas características intrínsecas do solo, do seu estado de compactação e do material utilizado na imprimação. A imprimadura asfáltica, nesses pavimentos, tem funções bem definidas, quais sejam:

- Impermeabilizar a base evitando, tanto quanto possível, a penetração da água que porventura se infiltre pelo revestimento.
- Proporcionar aderência entre a base e o revestimento.
- Aumentar a coesão da porção superficial da base, ao formar nela um solo betume.

##### **b) Critério de Dosagem da Imprimadura**

###### **Impermeabilizante (tipo e taxa)**

Para dosar, em laboratório, o tipo e a taxa de imprimadura que devem ser aplicados sobre uma base de SAFL, pode-se utilizar o critério proposto no subitem 4.5.5.2, que utiliza o ensaio M-6 do Anexo II.

Também é possível, experimentalmente, dosar o tipo e taxa da imprimadura sobre um segmento da ordem de 100m, conforme as etapas:

- Após a secagem da base, irrigá-la levemente com 0,8 l/m<sup>2</sup>.
- Após 15 minutos, efetuar a imprimação com asfalto diluído tipo CM-30, em uma temperatura entre

os limites de 30 a 50°C, com uma das taxas indicadas abaixo:

- Bases com solo tipo I ou II (figura 6.1) taxa: 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup>.
- Bases com solo tipo III ou IV (figura 6.1) taxa: 1,0 a 1,2 l/m<sup>2</sup>.

- Esperar a imprimadura curar por 48 horas, medir a espessura de penetração na base, por meio de (no mínimo) nove furos executados com talhadeira na sua superfície, e obter a penetração média.

Com a média obtida, utilizar, para a imprimadura do trecho em questão, o tipo e a taxa que se enquadrem numa das situações abaixo:

- Penetração média inferior a 4mm : CM-30, com temperatura de aplicação 30°C, na taxa de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup>.
- Penetração média de 4 a 10mm: CM-30, com temperatura de aplicação 30°C, na taxa de 1,0 a 1,4 l/m<sup>2</sup> (Ideal de 4 a 7mm, na taxa de 1,2/m<sup>2</sup>).
- Penetração média superior a 10mm: CM-70, com viscosidade Saybolt-Furol de 80 a 100s, obtida a 40°C, na taxa de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup>.

### c] Recomendações sobre a Técnica Construtiva

As recomendações construtivas mais importantes ligadas à imprimadura, resumidamente, são:

- Deverá ser efetuada, obrigatoriamente, com a utilização de asfalto diluído do tipo CM-30 e CM-70 (asfalto diluído com querosene), o qual, por apresentar baixa viscosidade, infiltra na base e permite que a parte residual (betume) penetre convenientemente na sua superfície. Com a evaporação do solvente, a superfície da base permanece impregnada de betume, o que propicia a formação de uma mistura solo + betume (solo betume) e fica, assim, impermeabilizada tanto quanto possível, além de proporcionar uma ligação adequada para com os tratamentos superficiais que vier a receber.
- Para este fenômeno ocorrer é necessário que a imprimadura da base seja precedida de uma secagem prévia e, em seguida, uma varredura enérgica (vassouras rotativas e/ou jatos de ar comprimido), com o objetivo de eliminar toda a poeira e material

solto em sua superfície. Após esse procedimento, deve-se realizar irrigação com taxa de água de 0,5 a 1,0 l/m<sup>2</sup>. Somente após este serviço é que se deve imprimir a base, com a taxa e o tipo de imprimadura indicados em projeto. O umedecimento causado pela infiltração da água facilita a conveniente penetração da imprimadura e, conseqüentemente, a impermeabilização da base.

- A imprimadura deve permitir a formação do solo betume pela penetração do asfalto na camada superficial ( $\pm 1$ cm) da base, para impermeabilizá-la; além disso, deve penetrar e preencher as trincas, tanto quanto possível, permitindo a execução da camada de rolamento de tratamento, sem danificar a superfície da base pela ruptura frágil de sua superfície, quando da rolagem dos agregados do tratamento superficial. A figura 4.39 mostra esse processo, e a figura A.10 ilustra uma imprimadura executada mostrando a formação do solo betume na superfície da base.



Figura A.10 – Aspecto de uma penetração adequada da imprimadura, com formação do solo betume na superfície da base.

Cabe ressaltar, ainda, que devem ser seguidas as recomendações construtivas adicionais, indicadas a seguir:

- Diante da possibilidade de grande perda de umidade (constatada no campo), o início da compactação da base dar-se-á com a umidade ótima e, seu final, abaixo da ótima.
- Evitar, a qualquer custo, a superposição de faixas de irrigação.
- Acabamento da base sempre em corte, de modo a evitar a formação de lamelas e impregnação

com a imprimadura, o que, fatalmente, provocaria escorregamento.

- A imprimadura nunca deverá ser executada com o solo saturado, seja por chuva ou eventual excesso de irrigação.

### **15ª Questão: Pode-se se Imprimir as Bases de SAFL, ALA e SLAD com Emulsão Asfáltica?**

A imprimadura deverá ser efetuada, obrigatoriamente, com a utilização de asfalto diluído tipo CM-30 e CM-70. Vide 14ª Questão.

Entre os insucessos resultantes do uso da imprimadura com Emulsão Asfáltica, ressalta-se o ocorrido, por exemplo, em uma cidade do Estado de São Paulo onde, após a execução, bases de SAFL foram imprimadas com aquele tipo de ligante. Na ocasião, substituiu-se a imprimadura com CM-30, recomendada em projeto, pela Emulsão Asfáltica RR-1C.

Após a imprimadura, foi executada a camada de revestimento com tratamento superficial, antes do período das chuvas. Inicialmente observou-se ocorrência de pequenos defeitos, como o descolamento do revestimento. A seguir, entretanto, no primeiro período chuvoso de uso do pavimento, toda a camada de rolamento se “desprende” da base.

Após o ocorrido, foi adotada a correção: retirar a camada de revestimento existente, dar novo acabamento na base, imprimir com CM-30 e executar, novamente, toda a camada de revestimento betuminoso.

### **16ª Questão: Quais as Normas para Execução das Camadas de Revestimento sobre Bases de SAFL, ALA e SLAD e quando se usa a Camada de Proteção?**

Sugere-se que a execução seja como preconizado pelo DER-SP, em seu “Manual de Normas de Pavimentação” (1991), ou seja:

- Tratamento superficial: Seção 3.12.
- Camada de CBUQ (atual CAUQ): Seção 3.13.

A camada de proteção consiste na aplicação, sobre a imprimadura de uma base de SAFL ou ALA, de um tratamento superficial simples invertido (Seção 3.12), antes da execução da camada final do revestimento do pavimento.

Dois casos podem ser considerados, a saber:

1ª Caso – Revestimento de Tratamento Superficial:

- Os solos dos tipos I e II, da Classificação Geotécnica MCT, conduzem a bases coesivas; os dos tipos III e IV conduzem a bases pouco coesivas, podendo resultar, mesmo após a imprimadura, em uma superfície muito frágil. Quando isso acontece, o agregado da primeira camada do revestimento rompe a superfície da base, logo durante a sua rolagem; conseqüentemente, o revestimento se solta e o agregado penetra base adentro, deixando livre o betume e provocando exsudação.
- Outra situação, em que a camada considerada é necessária, ocorre quando o tráfego excede alguns limites. A experiência atual mostra que, para um tráfego com  $N_t > 5 \times 10^6$  solicitações do eixo padrão, ocorre a penetração do agregado na base, quando não existe a camada de proteção, cuja execução tem-se mostrado muito eficaz para evitar tal penetração.

2ª Caso – Revestimento Usinado Tipo CAUQ ou PMQ:

- Neste tipo de revestimento pode ocorrer seu escorregamento sobre a base, devido aos esforços horizontais do tráfego e à fraca ligação entre ambos. Para os solos dos tipos III e IV recomenda-se o uso da camada anticravamento, para prevenir esse tipo de defeito.
- O sucesso dessa técnica está ilustrado nas figuras A.11 (rodovia), A.12 (via urbana) e A.13 (aeródromo), cujos pavimentos, com mais de 20 anos de uso, foram construídos com bases de SAFL, camada anticravamento de tratamento superficial simples e posterior recobrimento de CAUQ. Em vários trechos de rodovias, onde se previa  $N_t > 5 \times 10^6$  solicitações, em vias urbanas e aeródromos, o uso desta técnica resultou em pavimentos com comportamento excelente.

### **17ª Questão: Como é o Controle Tecnológico das Bases de SAFL e ALA?**

O acompanhamento tecnológico da execução, objetivando garantir a aplicação adequada de materiais,



Figura A.11 – Araraquara a G. Peixoto – SP.



Figura A.12 – Via urbana em Araraquara – SP.



Figura A.13 – Aeródromo em São Carlos – SP.

bem como o uso de procedimentos construtivos apropriados, é indispensável para o sucesso do pavimento. Para tanto, é necessário executar uma quantidade mínima de ensaios, por uma equipe treinada adequadamente. Recomenda-se o seguinte programa:

- Determinação do teor de umidade, a cada 40m, imediatamente antes da compactação.
- Determinação da massa específica aparente úmida, *in situ*, e do respectivo teor de umidade com espaçamento de, no máximo, 40m de pista, em

pontos obedecendo à ordem: borda direita, eixo, borda esquerda.

- Ensaios da metodologia MCT, em amostras com espaçamento máximo de 200m, podendo ser utilizada, para solos com propriedades conhecidas e/ou rodovias de trânsito relativamente leve, a alternativa seguinte:
  - Classificação MCT.
  - Determinação, em corpos de prova compactados com a massa específica aparente seca máxima e umidade ótima da energia intermediária (ou de outra energia fixada após trechos experimentais), das seguintes propriedades:
    - a] Mini-CBR sem imersão.
    - b] Mini-CBR com imersão e Expansão.
    - c] Contração axial.

Os valores máximos e mínimos de amostragem, a serem confrontados com os valores especificados no projeto, devem ser calculados de acordo com os critérios adotados no controle estatístico de materiais. Cabe observar que resultados satisfatórios têm sido obtidos, por exemplo, pelo uso das fórmulas adotadas pelo DER/SP (Manual de Normas de Pavimentação, 1991) e pelo DNIT.

### 5 Comportamento Tecnológico 18ª Questão: O que explica o Bom Comportamento das Bases de SAFL, ALA e SLAD?

Em meados de 1972, no início do uso das bases referidas, revestidas com tratamentos asfálticos superficiais duplos ou triplos esbeltos (1 a 3cm), a maior preocupação dos responsáveis pela sua construção era a possibilidade de que, durante o período chuvoso, elas apresentassem defeitos, em especial, a ocorrência do amolecimento de toda a estrutura da base, o que causaria sua ruptura.

O tempo mostrou que tal preocupação era irreal, pois os defeitos esperados não ocorreram. Os pavimentos tiveram um comportamento excepcional, além do esperado, tendo alguns ultrapassado 30 anos de bom desempenho. Os principais fatores que contribuíram para isso foram:

- Características Mecânicas e Hídricas das Bases de SAFL.
- Projeto e Técnica Construtiva Específicos de pavi-

mentos com bases de SAFL, que permitem aproveitar as Peculiaridades do Ambiente Tropical Úmido.

### a) Características Mecânicas e Hídricas das Bases em questão

Essas bases são constituídas por solos de comportamento laterítico com granulometria descontínua e fina (predominantemente sem, ou com pequena fração retida na peneira de 2,00mm), não atendendo às especificações tradicionais para bases estabilizadas granulometricamente. Apesar disto apresentam, quando compactadas na Massa Específica Aparente Seca Máxima (MEAS<sub>máx</sub>), da energia intermediária:

- Elevada capacidade de suporte quando de sua execução, CBR (ou Mini-CBR) às vezes ultrapassando 80%, e manutenção (ou mesmo aumento) desse suporte em serviço, ao longo do tempo.
- Baixa expansibilidade pelo contacto com a água livre sendo, predominantemente, da ordem de 0,1%.
- Elevado Módulo de Resiliência (MR); frequentemente apresentando valores superiores a 200 MPa, tanto em amostras compactadas em laboratório como típicas do Estado de São Paulo, Alvarez Neto (1998) apresenta, na tabela A.5,

resultados obtidos a partir de retroanálises de superfícies deformadas, com emprego de FWD. Essas características das bases compactadas são resultantes das peculiaridades mineralógicas e microfábricas inerentes aos solos lateríticos, conforme apresentado na 3ª Questão.

### b) Projeto e Técnica Construtiva Específicos e Peculiaridades do Ambiente Tropical Úmido

Os pavimentos com bases de Solo Fino Laterítico, revestidas com tratamentos superficiais e/ou pré-misturados esbeltos, fazem com que a estrutura do pavimento

**Tabela A.5 – Valores obtidos em pavimentos com base de SAFL**

Trechos São Paulo	MCT Grupo	MR [Mpa]
Araraquara ao Aeroporto	LA'	220
Araraquara - Bueno	LA'	200
São Carlos - Broa	LA'	270
Ibaté-Usina com recape	LG'	330
Ibaté-Usina com recape	LA'	230
Ibaté-Usina com recape	LA'	300
Paulínia - Centro Cultural	LG'	220
Jd. América em Ourinhos	LA'	220
Jd. Eldorado em Ourinhos	LA	240
Vias na Fatec - SP	LA'	270

trabalhe com uma umidade de equilíbrio baixa (70 a 80% da ótima), em relação à umidade do Proctor Intermediário. Este fato, ao longo do tempo, leva a base a aumentar seu suporte inicial e a resistir adequadamente ao tráfego, sem apresentar problemas, comparativamente às bases tradicionais. A figura A.14 ilustra a movimenta-

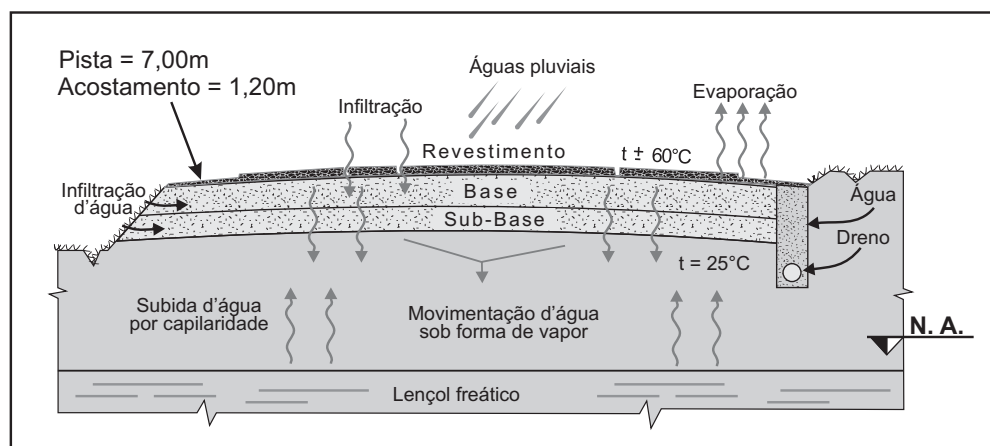


Figura A.14 – Fatores que alteram a umidade de equilíbrio em bases com predominância de Solo Fino Laterítico

ção d'água no pavimento e vizinhança, tanto sob a forma de vapor como líquida, o que leva a uma umidade de equilíbrio baixa, como acima referido. Observe-se que contribuem para essa umidade de equilíbrio:

- Fatores Naturais da região tropical úmida.
- Projeto e Técnicas Construtivas apropriadas.

Quanto aos Fatores Naturais, ressalta-se as condições climáticas das regiões tropicais úmidas e a posição do lençol freático:

As condições climáticas predominantes na maior parte do Brasil aquecem, intensamente, o pavimento

durante o dia. Isto provoca o estabelecimento de um gradiente térmico entre a superfície da base, onde a temperatura do revestimento betuminoso chega aos 60°C (sobretudo quando o revestimento é delgado) e o subleito, onde ela se mantém próxima dos 25°C, dia e noite.

Tal gradiente térmico, por si só, ocasiona o movimento descendente da água, tanto sob a forma líquida como sob a forma de vapor. Ao anoitecer e durante a noite, geralmente, ocorre inversão do gradiente, o que favorece a subida do vapor d'água; porém esse gradiente é muito menor, comparado com aquele que aparece durante um dia ensolarado.

Observa-se que, em climas frios e temperados frios onde ocorre a precipitação da água sob forma de neve, a movimentação da água sob forma líquida é inversa, podendo a água subir para a base e provocar a formação de gelo. Esse gelo derrete durante a primavera, ocasionando a embebição da base; isto explica a necessidade de se considerar, naqueles climas, a capacidade de suporte e o módulo de resiliência, nas condições saturadas ou muito próximas a elas.

A posição do lençol freático e das camadas aquíferas, também, se constitui em um fator favorável por ser raro estarem a menos de 5m de profundidade; frequentemente, estão a mais de 10m.

Evidentemente, para que o gradiente térmico seja efetivo na redução do teor de umidade da base de pavimentos com revestimento betuminoso delgado, é indispensável que sejam satisfeitas algumas condições, referentes ao Projeto e Técnicas Construtivas dos pavimentos, dentre as quais destacam-se:

- Escolha apropriada do solo, conforme as especificações próprias para este tipo de base, que exigem o uso de solos com baixos coeficientes de sorção e de permeabilidade.
- Compactação apropriada da base, não só em termos de massa específica aparente seca máxima e teor de umidade de compactação e, quanto à sua estrutura, havendo necessidade de utilizar, em seguida, uma série de compactadores apropriados para evitar a formação de lamelas que são estruturas anisotrópicas plano paralelas. Para uma compactação adequada, o con-

junto de compactadores, geralmente, é diferente em função do tipo de SAFL.

- Secagem ou cura da base, o que provoca o trincamento e um aumento irreversível da capacidade de suporte da mesma. Este fato indica uma coesão adequada do solo e garante um comportamento satisfatório da base em serviço. Esta secagem também permite uma movimentação descendente da água, tanto sob a forma líquida como de vapor, e um aumento benéfico da penetração na superfície da base.
- Imprimadura betuminosa apropriada das faces superior e laterais da base, mas nunca na camada subjacente de reforço do subleito ou do subleito compactado; ela deve ser distribuída, com taxa apropriada, e ter viscosidade que permita uma penetração entre os intervalos de 4 a 7mm de espessura. Vide 14ª Questão.
- Acostamento sempre presente, com largura mínima de 1,20m, devidamente compactado, imprimado e revestido, constituído de solo de baixos coeficientes de sorção e de permeabilidade.
- Revestimento flexível e o mais impermeável possível, a fim de evitar, ao máximo, a penetração da água pela superfície superior do pavimento. É recomendável que a primeira etapa comece por um tratamento superficial; para recapeamento em etapas posteriores podem-se usar, além do tratamento, concretos asfálticos esbeltos e flexíveis.
- Drenos apropriados para evitar a presença do lençol freático deixando-o, no mínimo, 1,50m abaixo do nível do subleito e para eliminar o efeito da migração d'água pelo gradiente térmico. Conforme o caso, há necessidade da construção de drenos interceptantes para aquíferos, tanto permanentes como periódicos (aparecem somente na estação chuvosa), e drenos para rebaixamento do lençol freático. Geralmente as condições ambientais, existentes nas regiões em que ocorrem os "solos arenosos finos lateríticos", são muito favoráveis quanto à posição do lençol freático: prevalecem lençol freático e camadas aquíferas, a profundidades superiores a 5m (frequentemente estão a mais de 10m).

# Cursos e Eventos de 2011

## Cursos

**Custos Rodoviários, Ferroviários, Aquaviários e de Edificações – SICRO 3**

*21 e 22/03/2011*

**Sinalização e Segurança Viária**

*29 a 31/03/2011*

**Básico de Materiais e Serviços Asfálticos**

*26 a 28/04/2011*

**Drenagem Urbana – Diurno**

*03 a 05/05/2011*

**Pavimentos e Planejamento de Aeroportos**

*17 a 19/05/2011*

**Drenagem Rodoviária – Noturno**

*23 a 27/05/2011*

**Prático de Materiais e Misturas Asfálticas**

*23 a 26/05/2011*

**Pavimentação Urbana**

*30/05 a 03/06/2011*

**Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**

*07 a 09/06/2011*

**Dimensionamento de Pavimentos de Concreto**

*13 a 15/06/2011*

**Drenagem Urbana – Noturno**

*19 a 22/09/2011*

**Prático de Laboratórios de Solos**

*19 a 22/09/2011*

**Sistemas de Gerência de Pavimentos**

*27 a 29/09/2011*

**Controle de Qualidade em Pavimentação Asfáltica**

*08 a 10/11/2011*

## Eventos

**17ª Reunião de Pavimentação Urbana**

*18 a 20 de outubro de 2011 – Porto Alegre – [www.rpu.org.br](http://www.rpu.org.br)*

**Associação Brasileira  
de Pavimentação**

Rua Miguel Couto – 105 – Sobrelojas 204/205  
Rio de Janeiro – RJ  
Tels: 21 2233-2020 / 2263-5794  
e-mail: [abpv@abpv.org.br](mailto:abpv@abpv.org.br)

Ponte D. Pedro II, inaugurada em 1858, está localizada sobre o Rio Piauitinga, hoje denominada Ponte do Bonfim, foi considerada então uma obra “das mais sólidas e perfeitas da Província”. Está situada na cidade de Estância no Estado de Sergipe

