

REVISTA

ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

Ano III – Nº 11 – Setembro de 2008 – www.abpv.org.br – ISSN 1809-1865

**Ampliando os horizontes
da pavimentação**

**Um estudo detalhado da
acessibilidade das calçadas**

José Renato Melhem

16^ª RPU

Reunião de Pavimentação Urbana

BELO HORIZONTE - MG

www.rpu.org.br

De 28 a 30 de abril de 2009

Local: Centro de Convenções Minascentro

Temário

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

Cronograma

- 27/11/2008 - Submissão de resumo de trabalhos técnicos
- 15/12/2008 - Envio de parecer sobre aprovação de resumo
- 28/02/2009 - Submissão do trabalho completo
- 10/03/2009 - Prazo do parecer do Comitê Técnico Científico sobre aceitação de trabalhos técnicos





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

CONSELHO EDITORIAL Diretoria da ABPv

COORDENAÇÃO GERAL

Arq^{ta} **Georgina Libório Azevedo**
georgina@abpv.org.br

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago
MTb 27170-RJ

redacao@revistapavimentacao.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

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

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

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

Editoração Eletrônica: MURO Produções Gráficas

Revisão: Ellis Pinheiro

Impressão: GRAFITTO Gráfica e Editora Ltda

Tiragem: 5.000 exemplares – Periodicidade: Trimestral



Nossa capa:

Na beleza do litoral pernambucano, o detalhe da calçada e da pavimentação da orla.

Foto: Georgina Libório Azevedo

Sumário

- 2** Editorial
- 3** Seção de notas
- 5** Cursos da ABPv
- 6** No Recife, o maior evento rodoviário do País

NOTAS TÉCNICAS

- 10** Ampliando os horizontes da pavimentação
José Renato Melhem

- 13** Comentário sobre o Manual de Pavimentação do DNER/DNIT
Jacques de Medina

- 18** Misturas asfálticas mornas
Luís Alberto H. do Nascimento, Marcos Chacur, Sérgio Murilo N. Rocha e Laura Maria G. Motta

ARTIGOS TÉCNICOS

- 27** Avaliação do uso de fibras sintéticas em misturas asfálticas
Luiz G. Rodrigues de Mello, Kamil E. Kaloush e Márcio Muniz de Farias
- 37** Estudo comparativo das solicitações atuantes em plataformas ferroviária, aeroportuárias e rodoviárias
Cassio E. Lima de Paiva, Carlos A. B. Guimarães e Luiz F. de Mello Correia

- 43** Utilização dos filleres do resíduo do Caulim e do granito em misturas asfálticas
Macel W. Q. Fernandes, John K. G. Rodrigues, Leda C. de F. L. Lucena e Adriano E. de F. L. Lucena

FATOS HISTÓRICOS

- 54** TSD – Tratamento Superficial Duplo

Editorial

Nesta edição do mês de setembro, trazemos uma novidade aos nossos leitores. Com o intuito de aprofundar a aborgagem técnica dos temas recorrentes da área de pavimentação, a Revista traz uma seção intitulada Notas Técnicas. A justificativa para mais uma seção de estudos e pesquisas é proporcionar ao leitor uma maior abrangência dos assuntos discutidos por pesquisadores, técnicos e profissionais da área específica e afins.

Três são as Notas Técnicas que inauguram essa nova seção. A primeira delas é um trabalho do arquiteto da Prefeitura de São Paulo, José Renato Melhem, intitulado *Ampliando os horizontes da pavimentação*. O autor discute sobre estudos e ações no tocante à mobilidade urbana, enfatizando a valorização e recuperação das calçadas das cidades. A segunda Nota é o *Comentário sobre o Manual de Pavimentação do DNER/DNIT – A classificação resiliente dos solos – Adendo à identificação*, de autoria do Professor aposentado da COPPE/UFRJ e sócio fundador da ABPv, Dr. Jacques de Medina. A terceira Nota é um trabalho sobre *Misturas Asfálticas Mornas* dos professores Luiz Alberto H. do Nascimento, Marcos Chacur, Sérgio Murilo N. Rocha e Laura Maria G. da Motta.

Na parte de Artigos Técnicos, o Comitê Científico da Revista avaliou três trabalhos inéditos que hora são apresentados: *Estudo comparativo das solicitações atuantes e plataformas ferroviárias, aeroportuárias e rodoviárias*, trabalho de três engenheiros da FEC Unicamp: Cassio Eduardo Lima de Paiva, Carlos Alberto Bandeira Guimarães e Luiz Fernando de Mello Correia; *Avaliação do Uso de Fibras Sintéticas em Misturas Asfálticas*, de Luiz Guilherme Rodrigues de Mello (UnB e DNIT), Kamil E. Kaloush (Arizona State University, Tempe, EUA) e Márcio Muniz de Farias (UnB); e, finalmente, *Utilização dos filleres do resíduo do Caulim e do granito em misturas asfálticas*, de autoria dos engenheiros Macel Wallace Queiroz Fernandes, John Kennedy Guedes Rodrigues, Leda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena e Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena.

O Engenheiro Atahualpa Schmitz traz em *Fatos Históricos* a utilização do Tratamento Superficial Duplo (TSD), amplamente utilizado nas estradas brasileiras na década de 1950.

A edição também traz a cobertura completa da 39ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e 13º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária realizados conjuntamente no Recife, capital de Pernambuco, entre os dias 16 a 19 de setembro. O evento uma vez mais congregou profissionais, estudantes e empresários de todo País em torno dos seguimentos centrais e marginais da pavimentação.

Ao caminharmos para a última edição do ano de 2008 (edição de dezembro), estamos direcionando o enfoque para as comemorações do cinquentenário da ABPv, no qual queremos convidar os leitores a partilhar conosco todas as alegrias de tão gratificante efeméride. Aguardem.

Conselho Editorial

Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

Megaexposição de Infra-Estrutura de Transportes

Aconteceu entre os dias 9 e 11 de setembro na cidade de São Paulo a TranspoQuip, realizada no Expo Center Norte. Trata-se de uma megaexposição internacional de infraestrutura de transportes que contou com cerca de 200 grandes fornecedores mundiais e brasileiros de insumos industriais, equipamentos, software e serviços para estradas, portos, aeroportos, ferrovias e sistemas de transporte urbano.

O evento contou com uma conferência e seminários, reunindo especialistas em temas como gestão logística, segurança, conforto e arcos regulatórios relacionados à infraestrutura de transporte.

A organização da TranspoQuip esteve a cargo da Real Alliance – companhia brasileira de origem holandesa, fundada por um grupo de investidores privados que assessora e identifica oportunidades de negócios para empresas estrangeiras.



Engenharia e sustentabilidade em foco

De 22 a 26 de setembro, o Clube de Engenharia promoveu, no Rio de Janeiro, o IX Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, propondo o questionamento do que se pode fazer pelo Brasil sustentável neste mundo globalizado. Os temas abordados nos trabalhos técnicos passaram por Políticas Socioambientais, Gestão So-

cioambiental, Inovação Tecnológica Orientado à Ecoeficiência, como geração de energia, produção de alimentos, arquitetura ambiental, dentre outros.

Mais informações poderão ser obtidas pelo correio eletrônico mono-cbdma@clubedeengenharia.org.br, ou pelo telefone (21) 2178-9260.

CONFEA promove concurso

Como parte do Projeto 75 Anos do Sistema CONFEA/ CREA e MÚTUA, será promovido o Concurso Nacional de Inovação e Criatividade Tecnológica. O prêmio visa incentivar novos talentos, além de aproximar a sociedade do tema Desenvolvimento Sustentável.

O CONFEA vai premiar trabalhos de pesquisa e produtos que representem inovações nas áreas abrangidas pelo sistema. As inscrições se darão ao longo do 2º semestre de 2008.

Mais informação no site www.confearg.org.br.

UNISANTOS realizará encontro de Ciências Exatas

De 1º a 3 de outubro de 2008, a Universidade Católica de Santos, em São Paulo, promoverá o IV Encontro do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – EXATEC, com a temática Tecnologia e Meio Ambiente.

Na programação do evento estão agendadas palestras, oficinas e minicursos nas áreas de Engenharia Civil, Elétrica e de Produção, Ciências da Computação, Sistemas de Informação, Tecnologia e Gestão em Redes de Computadores, Química Tecnológica, Gestão Ambiental e Petróleo e Gás. Para obter mais informações, entre em contato com a organização do evento pelo correio eletrônico coord.computele@unisantos.br

Federação Internacional de Rodovia

A Federação Internacional de Rodovia (IRF – International Road Federation) promoverá nos dias 3 e 4 de outubro de 2008, em Nova Delhi, na Índia, a III Conferência Regional sobre Mobilidade e Segurança em Transporte Rodoviário.



O evento vai abordar temas como a criação de corredores de alta velocidade com ou sem controle; impacto da mobilidade em estradas seguras; infra-estrutura e design nas rodovias e suas implicações; e também questões sobre legislação e instituições afins.

As informações completas no site www.irfnet.org.



Congresso Mundial de Engenheiros

Pela primeira vez no continente americano, a terceira edição do Congresso Mundial de Engenheiros (WEC – World Engineers' Convention) – que já passou pela Alemanha e pela China – pretende reunir mais de cinco mil engenheiros de todo o mundo na capital brasileira, Brasília, entre 2 e 6 de dezembro de 2008.

A WEC é conhecido como o maior evento da área de engenharia em nível mundial. Durante a 3ª edição do congresso, profissionais e estudantes dos cinco continentes participarão de debates, fóruns, palestras, visitas técnicas e atividades culturais, todos norteados pelas discussões atuais de meio ambiente e engenharia sustentável.

Mais informações, acesse www.confea.org.br



Evento no IPR

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) realizou no mês de julho o evento Ensaio Dinâmico e Monitoração de Estruturas de Grande Porte. Na oportunidade, foram abordados temas como a Identificação e Diagnóstico Es-

trutural de Pontes, Monitoração e Montagem de Estruturas de Grande Porte, Homologação do Sistema Massa-Mola para Metroviários e Ensaio de Fadiga de Estruturas Felixíveis.

Os convidados palestrantes foram dois professores doutores da Universidade de São Paulo, Pedro Afonso de Oliveira Almeida e José Fernando Souza Rodrigues, ambos do Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotecnia.



Logística



A Associação Brasileira de Logística e Transporte de Cargas (ABTC) promoverá, nos dias 8, 9 e 10 de outubro, o IX Congresso Nacional Intermodal dos Transportadores de Cargas, no Recife.

Mais informações no site www.abtc.org.br



As obras do PAC no Rio

O Clube de Engenharia realizará em sua sede, no Rio de Janeiro, o seminário "ImPACto Rio: um Choque de Obras e Avanço Social no Estado do Rio de Janeiro". O evento acontece nos dias 11, 12 e 13 de novembro e tem o apoio dos governos Estadual e Federal, este último por intermédio da Caixa Econômica Federal e de outros órgãos envolvidos no desenvolvimento do Programa de Aceleração do Crescimento.

Mais informações no site www.clubedeengenharia.org.br



ACE discute modernas técnicas rodoviárias

Entre os dias 16 e 19 de novembro, a Associação Catarinense de Engenheiros promoverá o V Seminário Nacional Modernas Técnicas Rodoviárias, em Florianópolis. O evento pretende discutir as novas tecnologias em uso no setor rodoviário, no Brasil e no mundo, por meio de palestras e trabalhos técnicos. Haverá exposição de produtos, materiais e serviços tecnologicamente avançadas.

Cursos da ABPv

Nos meses de agosto e setembro, a ABPv promoveu os seguintes cursos abaixo-relacionados, os quais tiveram suas inscrições esgotadas, tendo em vista a credibilidade conquistada há quase 50 anos. Confira:

Agosto

Curso de Custos Rodoviários SICRO 3

12 e 13 de agosto



Agosto

Curso de Sinalização e Segurança Viária

25 a 27 de agosto

Setembro

Curso de Dimensionamento de Pavimentos

1º a 3 de setembro (1ª Turma)

3 a 5 de setembro (2ª Turma)



No Recife, o maior evento rodoviário do País



O sucesso de um grande evento está diretamente relacionado à receptividade e à infra-estrutura da cidade onde ele é realizado. Mais uma vez isto se verificou com a 39ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e 13º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) realizados conjuntamente no Recife, capital de Pernambuco, entre os dias 16 a 19 de setembro.

Num breve histórico, a cidade do Recife foi fundada pelos portugueses em 1537 e permaneceu portuguesa até a independência do Brasil, com a exceção de um período de ocupação holandesa no século XVII, entre 1630 e 1654, a maior parte do tempo sob o governo de Maurício de Nassau ('Mauritsstad'). Nesse período a cidade de Mauritiópolis (ou Mauricéia) foi a capital do Brasil ho-

landês, que hoje é a cidade do Recife. Àquela época foi a maior metrópole da América do Sul.

A aldeia foi elevada a vila e conselho com o nome de Santo Antônio das Cacimbas do Recife do Porto, em 1709, e tornou-se cidade em 1823. A cidade do Recife é a mais antiga das capitais brasileiras. Localizada às margens do Oceano Atlântico, tem uma área de 217,494km² e uma população de 1,55 milhão de pessoas (ou 3,73 milhões, contando a área metropolitana). Sua região metropolitana compreende, além da capital pernambucana, 14 cidades do Grande Recife.

A cidade ostenta o mérito de ter construído a primeira ponte nas Américas, que foi a Ponte Maurício de Nassau, existente até hoje. Assim como a primeira ponte



Profissionais, técnicos e estudantes participaram do evento



Autoridades presentes durante a abertura do evento

FOTOS OFICIAIS DO EVENTO

pênsil do Brasil, no fim da Avenida Caxangá, que possuía o mesmo nome.

Durante o governo nassoviano, a cidade contou com a segunda melhor malha viária das Américas, superada apenas pela cidade de Filadélfia. A capital pernambucana acolheu, portanto, o maior evento rodoviário do País, sob a denominação Os Caminhos da Integração. O evento teve como objetivo discutir problemas e soluções existentes na área, assim como apresentar novas tecnologias e reuniu cerca de 600 participantes.

Às 18h30 do dia 16 de setembro, foi feita a abertura oficial do Congresso que contou com a participação do secretário de Política Nacional de Transportes, Dr. Marcelo Perrupato e Silva, do diretor-executivo do DNIT,

Eng^o José Henrique Sadok de Sá, do presidente da ABPv, Eng^o Eduardo Alberto Ricci, do presidente da ABDER Eng^o Inácio Bento de Moraes Jr., Dr. Sebastião Oliveira Jr., secretário de Transporte do Estado de Pernambuco, Dr. Eugênio de Moraes, Presidente do DER-PE, Eng. Luciano de Mello Motta, coordenador geral da Comissão Executiva, Dr. Sillas Oliva Filho, gerente geral de comércio de produtos especiais da Petrobras, Dr. Amaro José, Secretário de Serviços Públicos, Prefeitura de Recife, Eng. Marcos Crispim, diretor do DNIT-PE.

RICCI: Destacou a profícua parceria com a ABDER na promoção de eventos conjuntos. Comentou a proximidade do cinquentenário da ABPv que ocorrerá em setembro

de 2009. Destacou a importância da retomada do planejamento nacional no setor de transporte, no qual lamentavelmente, há no momento da retomada das obras carência de profissionais desde o engenheiro ao simples ajudante e, que sem boas e modernas estradas não teremos o progresso que o país merece. Dinheiro público deve ser bem gerido e distribuído otimizada. Portanto, planejamento é um ponto fundamental. No tocante às rodovias é imprescindível a execução de projeto geométrico adequando as duplicações e restaurações às novas normas e padrões de segurança e operação, tendo em vista também o aumento do número de veículos mais longos, com mais de um reboque e semi-reboques. Com essas melhorias juntamente com a Lei Seca haverá um decréscimo do número de acidentes. Comentou ainda sobre o curso a distância de drenagem, lançado no evento em parceria e cooperação técnica entre a ABPv e o CENTRAN, primeiro de muitos.

INÁCIO: Em sua fala, abordou a importância do encontro considerado o maior evento rodoviário da América Latina, citando Geraldo Viana, "o mito do rodoviarismo brasileiro", e afirmou que se não fosse a infra-estrutura de transporte caótica poderíamos ter um PIB maior, contudo, o governo federal fala em crescimentos espetaculares, mas corta justamente a CIDE, e é importante que a classe política se sensibilize para ajudar o setor. Agradeceu a todos os presentes, aos palestrantes ao governo de Pernambuco e aos coordenadores do evento.

SADOK: Discorreu sobre a relevância do evento para o cenário nacional, comentando sobre a primazia tecnológica do setor na América Latina, que era do extinto DNER, e que está na hora do DNIT e do CENTRAN resgatarem isso juntando o IPR e o IME. Falou da importância do DNIT no PAC que terá 8 bilhões anuais = 32 bilhões de investimentos, podendo desta forma reestruturar a matriz de transporte do País através do PNLT e em, especificamente sobre o estado de Pernambuco, comentou sobre a duplicação da BR-101, BR-104 e BR-408.

SEBASTIÃO: Abordou as questões atuais do estado de Pernambuco, ressaltando que se no Brasil o modal rodo-

viário é responsável por 60% do transporte, em Pernambuco esse modal responde por 86%. Também mereceu destaque em sua fala a importância dos eixos Leste-Oeste (BR-232) e Norte-Sul (BR-101), a preparação do porto de Suape, a refinaria de 4 bilhões de dólares para integrar o ciclo de desenvolvimento e se expandir também para o sertão através da logística. Resaltou a relevância da transnordestina, o arco metropolitano de Recife, o programa de pesagem nacional e a necessidade urgente de ter esse programa em Pernambuco, que obterá 14% dos investimentos do PAC.

PERRUPATO: Discursou sobre o valor de entidades como a ABPv e ABDER no cenário rodoviário, além de comentar sobre o papel do Brasil no exterior. Segundo Perrupato, o PNLT – Plano Nacional de Logística de Transporte foi um trabalho da mais alta qualidade desenvolvido pelo CENTRAN e será validado entre os meses de outubro/novembro de 2008: *"Estamos superando crises financeiras internacionais e temos grandes problemas, atualmente contamos com investimento de 20 bilhões anuais, mas a tarefa de construir esse país é de todos nós, portanto se cada um de nós contribuir, muito breve estaremos no desenvolvimento pleno"*.

Foi apresentado vídeo institucional, em seguida os presentes foram convidados para o coquetel de abertura, com o comparecimento do Bloco das Flores, um bloco típico que desfila no Carnaval pernambucano.

Durante o congresso foram apresentados quatro minicursos, 50 trabalhos técnicos dos 77 inscritos, seis painéis e oito palestras ministradas por renomados profissionais do setor.

Na quinta-feira, houve um jantar de confraternização na Cachaçaria Carvalheira, onde é produzida uma das melhores cachaças do País. Lá outro grupo folclórico se apresentou aos participantes com um show de Maracatu. A noite seguiu com muita música popular brasileira.

Na sexta-feira, às 12h30 ocorreu o encerramento quando, o coordenador do evento, Prof. Eng^a Luciano de Mello Motta comentou sobre o sucesso do encontro, agradecendo aos promotores, patrocinadores, expositores e apoiadores por mais uma conquista da engenharia brasi-



Jantar de confraternização



Coquetel de abertura



Autoridades no coquetel de abertura



Estandes

FOTOS | GORGINA LIBRÃO AZEVEDO

leira, desta vez em Pernambuco, onde uma grande quantidade de estudantes nordestinos puderam participar. O último compromisso foi à tarde, uma visita técnica ao Porto de Suape.

A Associação Brasileira de Pavimentação e Associação Brasileira de Departamento de Estradas de Rodagens agradecem aos patrocinadores e expositores pela confiança no trabalho consolidado pela exímia parceria:

Patrocínio Oficial:

Petrobras S/A

Cota Ouro:

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
Terex Roadbuilding

Cota Prata:

Allonda Comercial Geossintéticos Ambientais Ltda.
Ciber Equipamentos Rodoviários Ltda.

Cota Bronze:

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
Pavisan Engenharia de Pavimentos Ltda.

Perkons S/A

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes

DER-PE – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Pernambuco

Expositores:

Allonda Comercial Geossintéticos Ambientais Ltda.

Armco Staco S/A Indústria Metalúrgica

Associação Brasileira de Cimento Portland

Ciber Equipamento Rodoviários Ltda.

Centran – Centro de Excelência em Engenharia de Transportes

Conspizza Hidrossemeadura e Consultoria Ambiental Ltda.

Data Traffic S/A.

DER – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Pernambuco

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes

Huesker Ltda.

Kanaflex S/A Indústria de Plásticos

Laboratório de Engenharia e Pesquisa Ltda. – LEP Ltda.

Maccaferri do Brasil Ltda.

Mangels Indústria e Comércio Ltda.

Perkon S/A.

Poligraph Sistemas e Representações

Rincen BTP Brasil Serviços de Engenharia Ltda.

Sertell Ltda.

Terex Roadbuilding

Vertical Green do Brasil

Ampliando os horizontes da pavimentação

José Renato Melhem

Arquiteto

Historicamente, os debates entre especialistas e as ações do poder público estiveram focados na pavimentação do leito carroçável, deixando o espaço do pedestre em segundo plano. Mas o crescimento das cidades e a saturação das ruas por veículos particulares vêm modificando esta tendência. Desde logo, forma-se quase um consenso sobre a necessidade prioritária de melhorar o funcionamento e ampliar a capacidade de atendimento do transporte público coletivo, apostando-se no corredor de ônibus e no metrô para tornar mais eficiente o sistema de transporte local. Somou-se a isso a justa preocupação com o número expressivo de acidentes envolvendo pedestres, bem como a necessidade de atender ao igualmente elevado número de pessoas que possuem alguma restrição de mobilidade – como cadeirantes, idosos, obesos e gestantes. Segundo o último censo do IBGE (2000), 14,5% da população brasileira apresentam algum tipo de deficiência física.

Nesse novo panorama, é importante ampliar o horizonte dos estudos e ações no tocante à mobilidade urbana, valorizando a recuperação das calçadas (passeio público) das cidades. A calçada é o espaço mais democrático e, paradoxalmente, o menos atendido do meio urbano. Na legislação da maioria das cidades, a calçada permanece como atribuição do proprietário do imóvel ou terreno lindeiro. Isto reduz a responsabilidade e o poder das prefeituras em zelar por esse espaço público. O município, por sua vez, prioriza apenas a sua propriedade e raramente tem interesse em fazer o investimento necessário. Em muitos casos, o particular até se apropria da via pública para ampliar seu imóvel.

Mas este cenário negativo começa a se alterar em vários municípios brasileiros. Desde 2001 – quando ocor-

reu a destacada revitalização da rua 15 de Novembro, na cidade catarinense de Blumenau, coordenada pelo Instituto de Pesquisas e Planejamento Urbano de Blumenau/SC, mas com decisiva participação dos proprietários e empresários da rua, que viabilizaram logística e economicamente a execução da obra, diversas municipalidades passaram a adotar programas de padronização de suas calçadas.

Após Blumenau, em 2002, a cidade de Vitória (capital do Espírito Santo) criou o programa *Calçada Cidadã*, instituído como lei em 2005, que define parâmetros que garantem a continuidade do passeio público e a disposição ordenada do mobiliário urbano. A Prefeitura editou uma cartilha para orientar a população sobre o padrão adotado e executou algumas obras como exemplo.

Outro caso marcante é o de Sorocaba, cidade do interior paulista com cerca de 600 mil habitantes. Inspirada no exemplo colombiano de Bogotá, passou a seguir os parâmetros de um “município saudável”, promovendo a construção de parques, calçadas e ciclovias e estimulando atividades culturais num investimento de R\$ 3 milhões.

Como resultado desta opção, por intermédio do programa Pedala Sorocaba, já estão em funcionamento 35km de ciclovias, devendo chegar a 52km até novembro deste ano. Este sistema permitirá a interligação entre bairros por bicicleta. Por meio próprios ou em parceria com a Fundação de Amparo ao Preso Dr. Manoel Pedro Pimentel – Funap, a Prefeitura recuperou aproximadamente 72km de passeio público nos últimos dois anos. Especialmente expressivos são os 12 parques públicos criados e as 30 praças recuperadas. Além de promover uma mudança radical na qualidade ambiental da cidade, foram muito fortes os efeitos do *Calçada Cidadã* na área

de saúde. Com os novos equipamentos à disposição, a população passou a caminhar e se exercitar ao ar livre adotando uma postura menos sedentária e mais saudável. Como resultado, entre 2000 e 2004 observou-se uma redução de 57% no número de hospitalizações por diabetes tipo 2 e de 50% por acidente vascular cerebral, segundo a revista *Diagnóstico e Tratamento*.

O caso da cidade de São Paulo

A Prefeitura de São Paulo começou a implementar um programa de padronização de calçadas em 2005 com o início do *Passeio Livre* – programa que criei e coordeno até hoje.

Em fevereiro daquele ano foi constituída uma comissão intersecretarial, que reuniu oito secretarias municipais e 27 entidades representativas – tais como IAB, ABCP, CREA, ASBEA, ABRASPE-SP entre outras. Esta comissão promoveu a revisão da legislação pertinente e elaborou diretrizes de recuperação e padronização do passeio público.

Em maio de 2005, por ocasião do 1º Fórum Paulista de Passeio Público (ocorrido no Anhembi), foram divulgados os componentes do *Passeio Livre* e o Decreto nº 45.904 – que definiu novas normas para a construção de calçadas em São Paulo, com o propósito de facilitar a vida de pedestres e pessoas portadoras de necessidades especiais. Esse decreto foi considerado inovador, ao definir um padrão arquitetônico com materiais específicos e normas de acessibilidade. A calçada resulta visualmente dividida em faixas (faixa de serviços, faixa livre e faixa de acesso) que organizam o espaço para as diferentes funções que o passeio público possui: tráfego de pedestres, lazer e suporte do mobiliário urbano.

Além disso, pela primeira vez passou a existir uma verba fixa no Orçamento da Prefeitura paulistana exclusi-

vamente para construção e reforma de calçadas. Com esses recursos, entre 2005 e 2007, o programa recuperou aproximadamente 540.000 metros quadrados de calçadas de ruas classificadas como estruturais pelo Plano Diretor Regional da Cidade (2004), incluindo grandes avenidas e passeios fronteiros a próprios municipais. Neste processo, merecem destaque a revitalização das ruas Augusta (figura 1), dos Pinheiros (figura 2), Oscar Freire (figura 3), Marechal Tito, Benedito Andrade e Santa Catarina, além da Avenida Paulista.

Foi desenvolvida uma identidade específica para o projeto, incluindo um desenho padrão que apresenta as faixas do passeio nas cores vermelho e cinza. Na faixa livre projetada para o centro do passeio, prevê-se a presença de imagem inspirada no contorno do mapa do Estado de São Paulo – conhecida como “cachorrinho” – conforme imagem da figura 2.

Em 2008, com a aprovação do *Plano Emergencial de Calçadas*, serão iniciadas obras nas chamadas “rotas estratégicas”, os circuitos de maior fluxo de pedestres, definidos a partir do geoprocessamento de todos os equipamentos públicos e pólos geradores de tráfego – como centros comerciais e de serviços. Desta forma, as novas obras previstas interligarão os passeios paulistanos já executados, formando circuitos que permitirão o acesso universal de todos os cidadãos ao transporte público e às principais ruas e equipamentos (públicos e privados) da Capital paulista. Em alguns locais as obras contaram com a parceria de associações locais, como é o caso da Rua Oscar Freire, onde os lojistas contribuíram para a reurbanização da via. Apesar do tama-



Figura 1
Rua Augusta,
São Paulo



Figura 2
Rua dos Pinheiros,
São Paulo

nho de São Paulo, as intervenções do Passeio Livre começam a transformar a paisagem da metrópole. Nos locais onde ocorreram às intervenções, o impacto visual é muito positivo e se reflete tanto no aumento do número de frequentadores como no comportamento destes que passam a zelar por este espaço. Com mais acertos do que erros, o Passeio Livre plantou um novo paradigma no planejamento da mobilidade urbana em São Paulo.



Figura 3
Rua Oscar Freire,
São Paulo

Referências

MATSUDO, Victor Keihan Rodrigues; BRACCO, Mario Maia; ANDRADE, Erinaldo; "Planejamento de intervenções no ambiente urbano para aumentar o nível de atividade física e melhoria da saúde cardiovascular"; *Revista Diagnóstico e Tratamento* – Volume 12, edição 3 – jul/ago/set/2007 – São Paulo.

Edição impressa do *Jornal Estado de São Paulo*, 28/07/2008.

Site do jornal *O Estado de São Paulo* – www.estadao.com.br.

Site do jornal *Diário de Sorocaba* – www.diariodesorocaba.com.br.

Comentário sobre o Manual de Pavimentação do DNER/DNIT

A classificação resiliente dos solos. Adendo à identificação

Jacques de Medina

Sócio fundador da ABPv, professor aposentado da COPPE/UFRJ, pesquisador

O Manual de Pavimentação do DNER (publicação 697 de 1996) e hoje do DNIT (publicação IPR 719 de 2006), no entender do autor, já abrigou por tempo excessivo a chamada “classificação resiliente dos solos”, tal como esboçada a um quarto de século atrás. Faça-se uma enquete junto aos projetistas de pavimentos para saber quantos a terão usado...

O primeiro manual de pavimentação do DNER teve a colaboração de muitos engenheiros de dentro e de fora da repartição federal. Correspondiam os manuais à demanda premente de conhecimentos básicos, qual verdadeira introdução à engenharia da pavimentação, como era tido por muitos. Era dominante o sentimento de responsabilidade pessoal e o entendimento coletivo dos participantes, o mesmo clima que levou à fundação da Associação Brasileira de Pavimentação, em 1959.

A primeira tentativa de classificação apoiada na resiliência na sua intenção inicial está num artigo de Medina & Preussler (1980), na tabela 3 reproduzida aqui como tabela 1. Trata-se, na verdade, do agrupamento de solos arenosos e solos argilosos usados em pavimentação, em categorias às quais correspondem modelos matemáticos do comportamento resiliente, obtido em ensaios triaxiais de cargas repetidas. Os corpos-de-prova compactados tinham 5cm de diâmetro e 10cm de altura. Só por força de expressão é que se pode considerar uma classificação abrangente. É mais um agrupamento do que realmente uma classificação. No final desse artigo citado, dizia-se ser necessário atentar para o número reduzido de amostras

ensaiadas – apenas 20, e que se poderia elaborar uma classificação mais abrangente à medida que se colecionassem novos dados de ensaios.

Três pontos essenciais marcam as primeiras pesquisas da deformabilidade elástica de solos compactados em ensaios triaxiais sob a ação de cargas repetidas (tensão desviadora):

1) As amostras não eram de ocorrências (jazidas) e sim obtidas de poços escavados nos pavimentos, ocasião em que se determinavam, também, a densidade *in situ* e o teor de umidade. Eram, portanto, selecionadas para atenderem às especificações do DNER. Procurava-se identificar a natureza do solo quanto à sua gênese, textura, cor e características mineralógicas e químicas. A análise granulométrica fazia-se com sedimentação, o que permitia distinguir as frações silte e argila. Enfim, o apuro que se espera de pesquisa universitária.

2) Foram objeto do estudo rodovias federais dos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O trabalho de campo teve o apoio imprescindível do Professor Salomão Pinto e do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Os pavimentos haviam sido dimensionados pelo método do DNER, com base no ensaio CBR, coeficientes estruturais e efeito destrutivo acumulado do tráfego, segundo a experiência norte-americana. Havia, além disso, o critério das espessuras mínimas das camadas do pavimento instituídas pelo DNER.

3) Há indícios de que o módulo de resiliência ou de deformabilidade elástica sob cargas repetidas depende

do volume do corpo-de-prova, seja do diâmetro (a altura sendo o dobro do diâmetro). Foi o que se observou com corpos-de-prova de um pedregulho laterítico do sul de Roraima, relatado em Medina e Motta (2007) às páginas 268 a 271. O módulo de resiliência diminui com o aumento do diâmetro, vale dizer, o volume da amostra. É uma restrição aos valores de MR obtidos à época.

A partir de 1986 passou a ser empregada outra câmara triaxial (figura 1) que permite ensaiar corpos-de-prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura ou de 15cm de diâmetro e 30cm de altura, permitindo na maioria dos casos ensaiar as granulometrias completas ou, se necessário, o escalpo, fazê-lo na peneira de uma polegada no primeiro caso e de uma polegada e meia no segundo.

A “classificação resiliente” que consta do Manual de Pavimentação surgiu quando da primeira abordagem mecanístico – empírica de dimensionamento de pavimentos asfálticos deteriorados. São referências dessa época

a tese de doutorado de Preussler (1983) e os trabalhos de Preussler e Pinto (1982, 1984).

A figura 18 do Manual de 1996, reproduzida na figura 20 do Manual de 2006, tem a legenda “classificação resiliente de solos granulares” constando do gráfico MR (kgf/cm²) contra σ_3 ou S_3 (kgf/cm²), escala log – log, as áreas dos três grupos A, B, C, de qualidade crescente.

Ora, este agrupamento foi estabelecido pela plotagem de curvas $MR = k_1 \sigma_3^{k_2}$ dos ensaios de 14 amostras de solos de subleito, sub-base e base. Eram solos residuais de gnaise, 8 amostras; arenito 2; sem identificações 3; havia também uma areia uniforme de duna. Duas amostras de areia siltosa com mica apresentaram valores de CBR e de MR baixos (grupo A). As granulometrias destas 14 amostras não exigiram escalpo.

A figura 19 do Manual de 1996, reproduzida na figura 21 do Manual de 2006, tem a legenda “classificação resiliente de solos finos”, sendo constituída de três linhas de dois ramos de MR decrescente com o σ_d crescente, na representação clássica de Hicks (1970), mode-

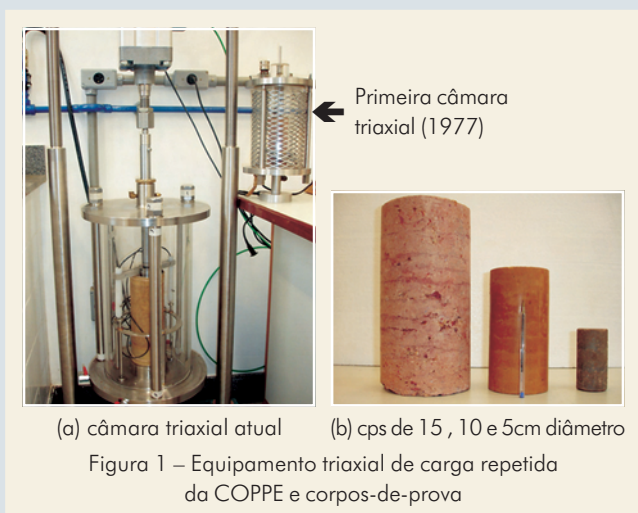
Tabela 1 – Características de resiliência dos solos; tentativa de classificação – (Medina e Preussler, 1980)

	FAIXA GRANUL.	CLASSE T. R. B.	CLASSE U. S. C. S.	EQUAÇÃO DE RESILIÊNCIA	PROPRIEDADES FÍSICAS	FORMA DA RELAÇÃO $M_R = F(\sigma_3 \text{ ou } \sigma_d)$	
PORCENTAGEM QUE PASSA NA PENEIRA Nº 200 (0,074mm): FINOS	MENOS QUE 50% (SOLOS ARENOSOS)	A	A-1-b ou A-2	SM ou SC	(a) $M_R = 5100 \sigma_3^{0,90}$	LL < 45 . IP < 14 CBR > 20 . exp. < 0,5% Obs.: hOT entre 8 e 12% (energia intermediária) CBR < 10 ; exp. > 2%	
		B	A-3	SM	(b) $M_R = 17000 \sigma_3^{0,75}$		
			A-2-6	SC	(c) $M_R = 13000 \sigma_3^{0,34}$		
			A-2-4	SM	(d) $M_R = 8000 \sigma_3^{0,52}$		
		B-	A-4 A-2-4	SM	(e) $M_R = 1000 \sigma_3^{0,52}$		
PORCENTAGEM QUE PASSA NA PENEIRA Nº 200 (0,074mm): MAIS QUE 50% (SOLOS ARGILOSOS)	MENOS QUE 50% DE SILTE NOS FINOS	(f) $K_1 = 0,7 \text{ a } 1,1$ $K_3 = 2282 \text{ (CBR)} - 7559 : 0 < k_3 < 28953$ $K_4 = -2000 \text{ a } -3000$, para CBR > 10 ; $K_4 = 0$ para CBR < 10 $K_2 = 326 + 67 \text{ (CBR)} - K_4 (2 - K_1)$			$M_R = K_2 + K_3 [K_1 - (\sigma_1 - \sigma_3)] ; K_1 > (\sigma_1 - \sigma_3)$ $M_R = K_2 + K_4 [(\sigma_1 - \sigma_3) - K_1] ; K_1 < (\sigma_1 - \sigma_3)$		
	MAIS QUE 50% DE SILTE NOS FINOS	(g) $K_3 = K_4 = 0$ $M_R = K = 326 + 67 \text{ (CBR)}$					

NOTAS: (1) Número de amostras ensaiadas: (a) 9 ; (b) 1 ; (c) 1 (d) 1 ; (e) 2 ; (f) 3 ; (g) 3.
 (2) Em (f) há proporcionalidade entre K_1 e K_4 ; K_1 e K_2 , kgf/cm² ; K_3 e K_4 , adimensionais
 (3) Equações das faixas A e B correspondem ao teor ótimo

lo conhecido como bilinear em escala aritmética nos dois eixos. Baseia-se nos resultados de ensaios de seis amostras de solos argilosos – ver em Medina e Motta (2005), figura 4.29, p. 249. Na figura aparecem os valores das constantes dos modelos bilineares tomados como representativos dos comportamentos típicos denominados de Tipo I, II e III, escolhidos em função da porcentagem de silte na fração fina da amostra.

O tipo I representava bem as argilas vermelhas e amarelas de comportamento laterítico. Os valores elevadíssimos decorrem não apenas dessa natureza, mas, possivelmente, também do efeito volumétrico restritivo da



deformação elástica sob cargas repetidas em corpos-de-prova de 5cm de diâmetro.

No Quadro 16 do Manual de 1996 e tabela 10 do Manual de 2006 – Classificação dos solos finos (método indireto) – para indicar os mesmos valores típicos anteriores das figuras citadas, exprimem-se os módulos de resiliência dos três tipos não mais pelo modelo bilinear e sim pelo modelo log – log de $MR = k_1 \sigma_d^{k_2}$ conforme proposto por Svenson (1980) e que passou a ser usado pela COPPE a partir de 1990 (MOTTA *et al*, 1990). Seja: estas expressões que compõem o método indireto foram obtidas por transformação dos mesmos dados anteriores dos modelos bilineares da figura 21, portanto referem-se às mesmas amostras e ensaios.

Assinale-se, ainda, o aperfeiçoamento progressivo do método de ensaio, com leituras mais confiáveis dos deslocamentos muito pequenos, e automação completa a partir

do ano 2000. A partir de 1990, em vez de utilizar seqüências diferentes de tensões conforme o solo seja arenoso ou argiloso, segundo o que indica o método de ensaio ME 131/94 (item 2.1.8 do Manual de Pavimentação de 2006), passou-se a usar uma única seqüência – a dos solos arenosos. Um motivo de ordem prática – a dificuldade inicial de perceber de antemão a predominância de um dos dois comportamentos. Outro motivo de ordem técnica – no método de ensaio ME 131 na seqüência indicada para os solos argilosos (baseada na que se usou nos primeiros ensaios de solos finos na COPPE – Svenson, 1980) há o risco de se atingir a ruptura, visto que são indicadas razões σ_1/σ_3 de até 9.

Hoje, têm-se no país mais de uma dezena de laboratórios geotécnicos e de pavimentos que executam o ensaio triaxial de cargas repetidas. É grande a quantidade de dados. Na COPPE-UFRJ (Laboratório de Geotecnia), cerca de 500 desde 1990 com a mesma sistemática de ensaio e tamanho de corpos-de-prova de 10 ou 15cm. No entanto, sente-se necessidade de um detalhamento da identificação visual-táctil-genética das amostras e do controle interlaboratorial para que haja entendimento entre os centros de pesquisa e também para prover disponibilidade de dados de previsão de módulos de resiliência confiáveis para os projetistas. Torna-se difícil obter correlações satisfatórias dos parâmetros físicos usuais (limites de Atterberg, granulometria, umidade ótima e massa específica aparente seca máxima) e da classe de solo T.R.B. com o módulo de resiliência.

Sabe-se da pouca significância dos limites de Atterberg e da classificação T.R.B. na caracterização dos solos tropicais – lateríticos e saprolíticos. A propósito, registre-se a tentativa feita por Ferreira (2008) de correlacionar parâmetros tais como – LL, LP, granulometria, classe T.R.B, umidade ótima de compactação e massa específica aparente seca, índice de grupo, CBR e expansão com os parâmetros k da expressão do modelo composto do módulo de resiliência: $MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$. Para isto aplicou as técnicas de mineração de dados e redes neurais artificiais. O resultado só permite previsão em nível de anteprojeto.

Entende-se que um manual seja bem ordenado, preciso e claro. Deve resultar também de uma partici-

pação criteriosa de um número amplo de especialistas e da análise crítica rigorosa de cada versão atualizada com a freqüência necessária para acompanhar a evolução do conhecimento consolidado do meio técnico e

das pesquisas, As objeções e ponderações apresentadas em relação ao item 2.1.9.5 poderão servir de subsídios para uma revisão. Também o item 2.1.9.6 merece ser revisto. Mas esta é outra história.

Referências

- FERREIRA, José Gustavo H. M. (2008). "Tratamento de dados geotécnicos para predição de módulos de resiliência de solos e britas utilizando ferramentas de *Data Mining*". Tese D.Sc. Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. RJ. 264 p.
- IPR, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, DNER (1996). "Manual de Pavimentação", publicação 697, Rio de Janeiro.
- IPR, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, DNIT (2006). "Manual de pavimentação", publicação 719, Brasília, DF.
- MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura M. G. (2005). "Mecânica dos Pavimentos". 2ª Edição, Rio de Janeiro, RJ – 574 p.
- MEDINA, Jacques de; PREUSSLER, Ernesto S. (1980). "Características resilientes de solos em estudos de pavimentos". Solos e Rochas, volume 3, número 1, p. 3-26.
- MOTTA, Laura M. G.; MEDINA, Jacques; Matos Marcos, V. M e VIANNA, Álvaro A. D (1990). "Resiliência de Solos Pedregulhosos Lateríticos". Anais. 24ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação. Belém. PA, p. 225 – 235.
- PREUSSLER, Ernesto S.; (1983). "Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis a aplicação ao projeto de camadas de reforço". Tese D.Sc. Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. RJ. 266 p.
- PREUSSLER, Ernesto S.; Pinto, Salomão (1982). "Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência". Anais. 17ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, Brasília, DF, v. 1, p. II 205 - 220.
- PREUSSLER, Ernesto S.; Pinto, Salomão (1984). "Tecnologia nacional para restauração de pavimentos rodoviários e aeroportuários – programa TECNAPAV". Anais. 19ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro, v. 1, p. 239 - 268.
- SVENSON, Margareth (1980). "Ensaio triaxiais dinâmicos de solos argilosos". Tese M. Sc. Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. RJ. 144 p.

Adendo da identificação visual – tátil – genética

Devido à importância que o autor julga ter a correta e pormenorizada identificação visual – tátil – genética dos solos, objeto da pequena Nota Técnica publicada na edição de número 10 desta revista, de junho de 2008, opinião esta reforçada agora, é que se justifica este adendo àquela (MEDINA, 2008).

Identificação visual e tátil

a) Cor: do todo e das frações granulométricas. Os compostos de ferro são responsáveis pelas cores vermelha (hematita) e amarela (goetita); o conteúdo de sílica pelas tonalidades claras; a matéria orgânica pela coloração escura; as argilas têm, em geral, coloração clara; as micas

podem ser claras como a muscovita, pretas e esverdeadas como a biotita. A cor é uma indicação da mineralogia e da presença da matéria orgânica, e não um mero apêndice da identificação. Em pedologia a definição da cor é detalhada pela comparação a cores de referência como na escala de Munsell para solos.

b) Tamanho e forma das partículas: visível a olho nu ou com auxílio de uma lupa; influi na sensação de aspereza ao tato.

c) Plasticidade dos finos: consistência ao tato com eventual adição de água;

d) Resistência dos torrões: resistência à quebra com as mãos, ou percebido quando imerso na água.

Identificação genética

Descrição da forma do terreno ou a geomorfologia. O perfil do terreno (indicar a camada de amostragem e a espessura visível). Sempre que possível a "classe de solo" segundo a pedologia. Esta traz informações: natureza dos

horizontes, mineralogia, atividade coloidal dos finos, plintita (material argiloso com óxidos de ferro que se consolida irreversivelmente quando submetido, alternadamente, a hidratação e desidratação, de aspecto mosqueado vermelho – pode indicar zona de oscilação de lençol), lençol d'água, drenabilidade (porosidade natural) e indicação do material de origem ou matriz (rocha intemperizada). A pedologia também indica a vegetação primitiva. A ação da erosão está refletida nas formas do terreno.

Utilização de mapas

Os mapas de solos (agronômicos) vão desde os esquemáticos ou generalizados até os detalhados. Uma unidade de mapeamento para o agrônomo tem uma leitura tridimensional e de várias características que dizem respeito ao cultivo. Não é a seara dos engenheiros civis, mesmo assim podem ter utilidade na medida em que o engenheiro tiver interesse pela ciência do solo. Quer nos mapas pedológicos como nos geológicos, a escala do mapa determinará o grau de informação disponível. Em

projetos de certo vulto, justifica-se a assessoria de geólogo de engenharia com conhecimento de pedologia. No Instituto de Geociências da UFRJ, há oferta de cursos com este perfil. A melhor coisa que pode fazer o engenheiro rodoviário antes de percorrer o trecho em estudo é observá-lo, em fotografias aéreas ou por satélite. Os mapas geológicos dependendo da escala, podem servir, grosso modo, para conhecer a natureza das rochas (gnaisse, granito, basalto, arenito, xisto, calcário etc.), o que ajudará o engenheiro a inferir os possíveis agregados pétreos, solos saprolíticos e solos sedimentares. Ajudam também a interpretar os furos de sondagem.

Rejeitos

Cada vez mais os rejeitos minerais e industriais e os restos de demolição e dos próprios revestimentos terão que ser usados em pavimentação. O processo de mineração e de produção industrial de transformação indica a “gênese” dos rejeitos, a partir das matérias-primas utilizadas. O balanço do risco ambiental será um fator preponderante.

Referência

MEDINA, Jacques de (2008). “Indicação para a identificação visual – tátil – genética de solos e materiais granulares com finalidades de pavimentação”. Nota Técnica. ABPv. Revista Pavimentação. Rio de Janeiro. RJ. Ano III, nº 10, junho.

Misturas asfálticas mornas

Luis Alberto H. do Nascimento, Marcos Chacur e Sérgio Murilo N. Rocha

Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES

Laura Maria G. da Motta

COPPE/UFRJ

O aquecimento global é uma das grandes preocupações da humanidade no momento. As mudanças climáticas provocadas por este fenômeno é a grande questão ambiental deste início de século, e muitos estudos comprovam que a Terra está esquentando de fato. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climatic Change* – www.ipcc.ch), da Organização Mundial de Meteorologia, disponibiliza vários relatórios sobre estes estudos em todo o mundo. Segundo os mesmos, em 2001, os cientistas consideravam como de 66% a probabilidade de ser o Homem o causador maior das mudanças climáticas e, portanto, do aquecimento global; em 2007, esta probabilidade passou a ser de 90%, ou seja, de um cenário de conjectura passou-se para certeza.

O aquecimento global e as mudanças climáticas têm efeitos na saúde, na economia e no bem-estar da humanidade e causam danos irreversíveis em curto prazo, requerendo ação imediata de todas as comunidades para amenização do problema nas próximas décadas.

Como exemplos destes fatos têm-se: dos 12 anos mais quentes, 11 ocorreram a partir de 1995; a partir de 1900, verificou-se um aumento de 0,6°C na temperatura na superfície da Terra e houve aumento acentuado da concentração de CO₂ na atmosfera. Na Figura 1, está ilustrado um dos aspectos da geração destes gases causadores do efeito estufa, os quais provêm das emissões de fumaças de fábricas, veículos e outros processos industriais. Já na Figura 2, mostram-se valores de CO₂ na

atmosfera em um século e meio, com crescimento acelerado nas últimas décadas.

Na Figura 3, são apresentados alguns dados estatísticos que demonstram a escalada dos problemas nos últimos 70 anos: a população mundial cresceu três vezes, a emissão de CO₂ na atmosfera aumentou seis vezes, a frota de veículos ampliou-se 27 vezes, e, em consequência desses e de outros fatores, a temperatura média da



Figura 1 – Exemplo de poluição da atmosfera que causa o aquecimento global

Terra aumentou 0,6°C, aproximadamente. Esse aumento pode parecer um número pequeno, mas, observando-se a Figura 4, que mostra a temperatura da Terra nos últimos 150 anos, percebe-se claramente que houve aumento sensível da taxa de aquecimento e que os cenários de aumento considerados pelo IPCC para os próximos 100 anos são de 1,8 a 4°C mais provavelmente, porém com possibilidades de chegar ao intervalo de 1,1 a 6,4°C.

Há de se considerar que na Era do Gelo o planeta era 5°C mais frio do que hoje, e, mesmo assim, as gelei-

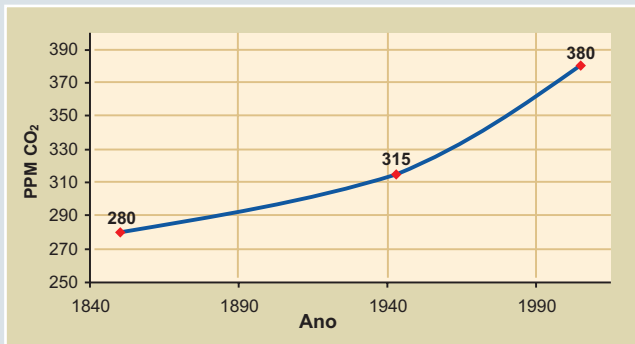


Figura 2 – Medidas de presença de CO₂ na atmosfera terrestre



Figura 3 – Dados estatísticos de população, emissão de CO₂ e aumento da temperatura da Terra nos últimos 70 anos

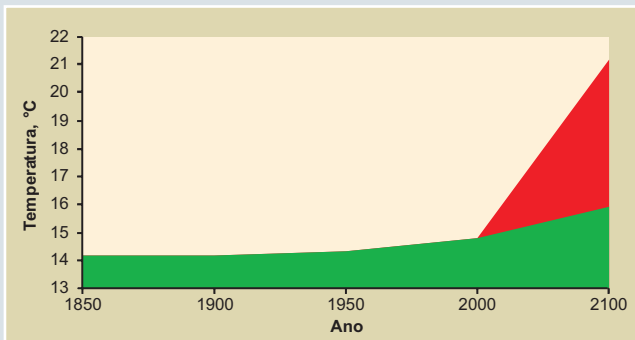


Figura 4 – Temperatura média da Terra nos últimos 150 anos e previsão para os próximos 100 anos: em vermelho, cenário pessimista; em verde, o mais provável



Figura 5 – Descongelamento acentuado em uma região do Pólo Norte, em 63 anos, com surgimento de lago

ras avançavam em boa parte da América do Norte e Europa. Um aumento de 3°C, que é o mais provável, será suficiente para provocar ocorrência de mudanças significativas e incontroláveis no planeta.

Contudo, os efeitos do aquecimento global já se fazem sentir em alguns aspectos, tais como:

- O número de secas, enchentes e tempestades aumentou dramaticamente nos últimos cinco anos (Organização Mundial para a Conservação da Natureza – IUCN);
- Significativa redução da camada de gelo nos pólos;
- Aumento da desigualdade entre países pobres e ricos;
- África: doenças provocadas por falta de água e mais casos de desnutrição;
- Ásia: mais enchentes por conta do degelo do Himalaia; e
- América do Sul: geleiras dos Andes tropicais desaparecerão em 15 anos, com inundação de algumas regiões.

Nas Figuras 5 e 6, estão ilustrados alguns aspectos dos danos causados ao meio ambiente e à população devido a estas mudanças climáticas acentuadas nos últimos anos.

Dentro deste contexto, surgiu o Protocolo de Kyoto, envolvendo 163 países, o qual foi ratificado em 15 de março de 1998 e oficialmente entrou em vigor a partir de 16 de fevereiro de 2005, tendo como principal meta: reduzir em 5,2% a emissão de gases poluentes em relação ao ano de 1990 no período de 2008 a 2012. Logo, para se conseguir esta meta, as ações sugeridas foram:

- Aumento do uso de fontes de energias limpas (biocombustíveis, energia eólica, biomassa e solar);
- Proteção de florestas e outras áreas verdes;
- Otimização de sistemas de energia e transporte, visando o consumo racional; e
- Diminuição das emissões de metano, presentes em sistemas de depósito de lixo orgânico.

No entanto, é necessário ressaltar que os Estados Unidos, o maior emissor de poluentes do planeta, não aderiram ao Protocolo!

Entre as atividades ligadas à pavimentação que podem ser melhoradas para auxiliar neste panorama de compromisso de diminuição da emissão de gases e de consumo de energia, está a usinagem das misturas asfálticas, na qual os ganhos obtidos neste processo têm

impacto positivo não somente ao meio ambiente, mas também na saúde dos trabalhadores envolvidos no seu processo de produção e aplicação. Assim, tendo em vista este cenário mundial, nasceram as chamadas Misturas Asfálticas Mornas (*Warm Mix Asphalt – WMA*).



Figura 6 – Efeitos do aquecimento global: enchentes severas e secas



Misturas Asfálticas Mornas – Surgimento

Uma mistura asfáltica usinada a quente, o conhecido concreto asfáltico, tradicionalmente resulta da mistura de agregados minerais aquecidos a uma temperatura da ordem de 170°C com ligante asfáltico na faixa de temperatura típica de 150 – 160°C, e mesmo aquelas produzidas com asfaltos modificados por polímeros ou por borracha moída de pneu são geradoras de emissões/fumos e consumidoras de energia e causam o envelhecimento do cimento asfáltico durante o seu processo de produção e aplicação.

Na Alemanha, em 1996, o ministro do Trabalho e Relações Sociais começou a questionar os limites de exposição dos trabalhadores aos fumos do asfalto. Diante desta pressão governamental, foi criado então o Fórum de Asfalto

da Alemanha por intermédio da parceria entre governo, indústria e trabalhador, cujo foco foi procurar resposta a este questionamento, entre outros aspectos associados. Na ocasião, foram realizados estudos e debates sobre:

- Constituintes do asfalto;
- Emissões de fumos;
- Uso de equipamento individual de proteção (EPI) na indústria do asfalto e misturas asfálticas;
- Epidemiologia: incidência de câncer nos operários do setor;
- Diversos estudos ocupacionais;
- Tecnologias que permitissem baixar a temperatura do processo de usinagem, espalhamento e compactação; e
- Desenvolvimento de processos visando atender à redução das emissões.

Contudo, em 1995, na Alemanha, antes mesmo do Fórum, porém na mesma linha de preocupações, uma vez que o Protocolo de Kyoto estava sendo concebido, foi feito o primeiro teste com o que hoje é denominada Mistura Asfáltica Morna (*Warm Mix Asphalt – WMA*), com a adição de zeólita sintética, no caso registrada com a marca *Aspha-min®* (Figura 7).

Em 1996, numa parceria entre a Shell Bitumem e a empreiteira Kolo Weidekke, foram feitos testes na Noruega com a tecnologia denominada *Warm Asphalt Mix Foam Emulsion* (WAM Foam). Na Alemanha, em 1997, foi feita uma pista experimental utilizando-se ligante asfáltico modificado por parafina sintética tipo Fischer-Tropsch Sasobit® (Figura 8). A partir de então, os estudos relacionados com Misturas Mornas se intensificaram na Europa.

Em 2002, uma missão técnica especial dos Estados Unidos, coordenada pela *National Asphalt Pavement Association* (NAPA), fez uma “prospecção tecnológica” sobre este assunto na Dinamarca, Alemanha e Noruega,

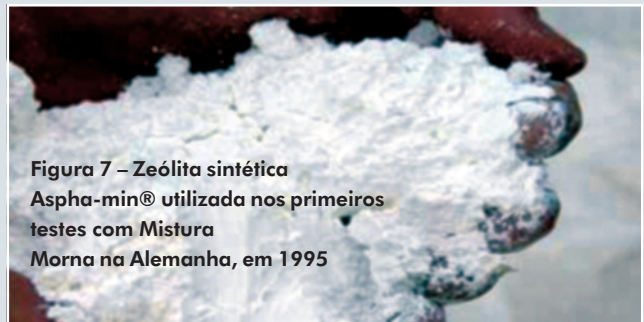


Figura 7 – Zeólita sintética *Aspha-min®* utilizada nos primeiros testes com Mistura Morna na Alemanha, em 1995



importando, desta forma, informações essenciais sobre o histórico das várias tecnologias de Misturas Mornas que estavam sendo utilizadas na Europa.

Misturas Asfálticas Mornas – Conceito

Numa mistura asfáltica convencional, os efeitos da redução da temperatura (30 a 40°C) durante a usinagem, espalhamento e compactação podem ser os seguintes:

- 1) Perda de trabalhabilidade;
- 2) Redução do grau de compactação (aumento da porcentagem de vazios) – exemplo Figura 9;
- 3) Aumento da permeabilidade, com entrada de água e aceleração do envelhecimento; e
- 4) Propriedades mecânicas:
 - i) Redução da resistência à tração – RT (Figura 9);
 - ii) Redução da rigidez e da vida de fadiga.

Assim sendo, tais fatores levam a uma substancial redução da durabilidade do revestimento asfáltico, fato o qual requer que sejam aplicados tecnologias/aditivos es-

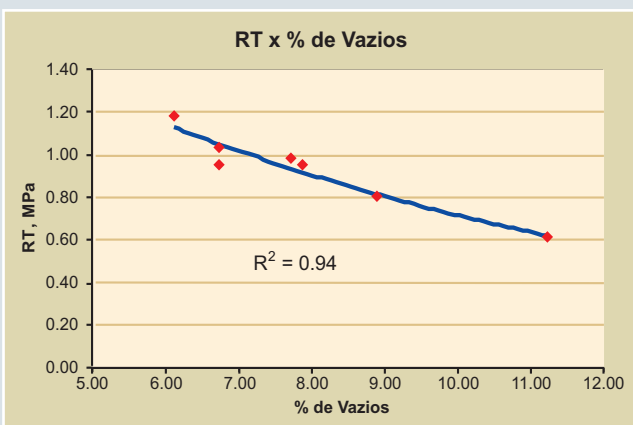


Figura 9 – Exemplo de efeito do aumento da porcentagem de vazios na resistência à tração de uma mistura asfáltica convencional

pecíficos durante o processo em menores temperaturas, os quais eliminam tais impactos.

Na Figura 10 e na Tabela 1, estão mostrados, a título de exemplo, resultados mecânicos de uma mistura asfáltica preparada com CAP 50/70 da REDUC (PG 64-22) e agregados graníticos de tamanho máximo nominal de 12,5mm, compactada a 145°C e a 110°C em campo.

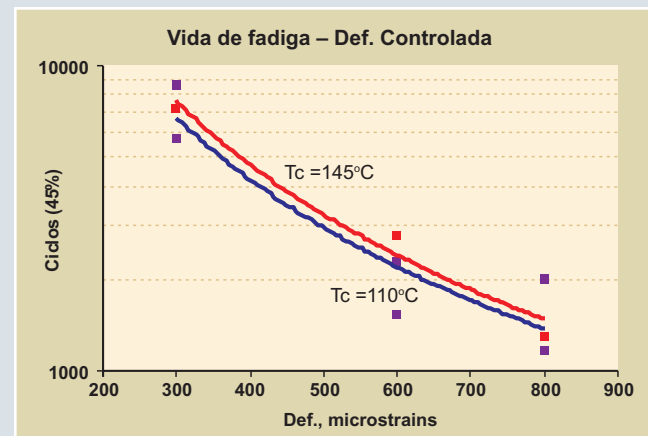


Figura 10 – Vida de fadiga de uma mistura asfáltica convencional compactada em diferentes temperaturas em campo

Tabela 1 – Características de uma mistura asfáltica convencional compactada em duas temperaturas em campo

Características	Tc = 145°C	Tc = 110°C
Grau de compactação, %	97,2	94,9
RT, MPa	1,0	0,8
Módulo resiliente, MPa	4156	3539
Adesividade	Boa	Boa

Assim, Misturas Asfálticas Mornas são aquelas produzidas em temperaturas inferiores às comumente utilizadas, incluindo usinagem e compactação, entretanto com desempenho e produtividade iguais ou superiores ao das misturas quentes. Na Figura 11, podem ser vistas duas aplicações de concreto asfáltico: (a) mistura na temperatura tradicional – “quente” e (b) “morna”, no caso desta última com perceptível redução na geração de fumos. De acordo com a temperatura do processo de usinagem, as misturas asfálticas podem ser classificadas da seguinte maneira:

- Misturas a frio;
- Misturas de baixa temperatura (*Half-warm Asphalt* – HWA);
- Misturas Mornas (*Warm Mix Asphalt* – WMA);
- Misturas a quente (*Hot Mix Asphalt* – HMA).



Figura 11 – Comparação entre a compactação de misturas asfálticas em diferentes temperaturas, em termos de emissão de fumos



A Figura 12 ilustra a classificação desde processos a frio até aqueles em altas temperaturas. Observando-se essa figura, percebe-se que a classe de misturas denominada *Half-warm Asphalt* (HWA) diferencia-se da Mistura Morna apenas pela temperatura resultante no processo de usinagem, ou seja, são misturas mornas com temperaturas ainda mais baixas. Se na usina a temperatura resultante na mistura for menor do que 100°C, então ela é considerada uma HWA. Por outro lado, se esta temperatura estiver acima de 100°C, então se trata de uma Mistura Morna. Assim, há uma grande faixa de temperatura para o enquadramento de Misturas Mornas, a qual varia de valores um pouco acima de 100°C até temperaturas de 20°C a 30°C inferiores àquelas comumente utilizadas nas misturas a quente.

A outra maneira de se classificar as tecnologias de produção de Misturas Mornas é em relação aos aditivos utilizados no processo. Assim, nesta ótica existem duas clas-

ses: as que empregam água e as que empregam aditivos orgânicos/químicos para atingir a redução de temperatura.

Os processos que introduzem pequenas quantidades de água no asfalto quente, seja por meio da injeção de vapores ou a partir da inserção de material hidrofílico (zeólita), contam com o efeito de vaporização desta água, que na pressão atmosférica pode fazer o ligante expandir mais do que 50% de seu volume original. Ou seja, quando esta

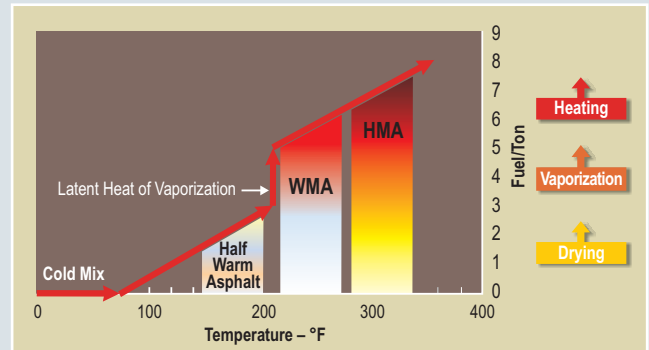


Figura 12 – Classificação das misturas asfálticas quanto a sua temperatura

água é dispersa no asfalto quente e torna-se vapor (pelo contato com o asfalto), ela causa uma expansão do mesmo que, conseqüentemente, reduz a viscosidade da mistura, conferindo ganhos de trabalhabilidade. Entretanto, a intensidade da expansão varia em função de alguns fatores, entre eles a quantidade de água injetada e a temperatura do ligante.

Por outro lado, os processos que usam aditivos orgânicos, por exemplo parafinas Fischer-Tropsch ou amidas gordurosas, apresentam uma redução da viscosidade em temperaturas acima do ponto de fusão destes aditivos. Porém, cuidados especiais devem ser tomados, por exemplo, o tipo de parafina precisa ser selecionado cuidadosamente, uma vez que seu ponto de fusão deve ser garantidamente superior às temperaturas de serviço do revestimento asfáltico, além de evitar a fragilização do ligante em temperaturas intermediárias. Processos adicionais incluem o recobrimento seqüencial dos agregados com emulsão e/ou diferentes asfaltos, ou até mesmo soluções mistas, onde se empregam água e aditivos conjuntamente.

Algumas Tecnologias de Misturas Mornas

Apresentam-se a seguir algumas das principais soluções que têm sido empregadas para permitir usar e

aplicar uma mistura asfáltica em temperaturas abaixo das convencionais, garantindo as características volumétricas e mecânicas, o que se traduz em não comprometimento da durabilidade.

1. Processo com adição de zeólita sintética

Categoria: processo com água

Produtos comerciais: Aspha-min®, Advera® (Figura 13)

- Adicionada a frio;
- Contêm cerca de 20% de água de cristalização;
- Com a temperatura libera esta água gerando um efeito espuma na mistura → maior volume e menor viscosidade;
- Geralmente adiciona-se cerca de 0,3%, sem alteração do projeto de dosagem; e
- Reduções de 20 a 40°C na usinagem.



2. Processo WAM Foam

Categoria: processo com água

Empresas: Shell Bitumen e Kolo Weidekke

Normalmente o processo não conta com aditivos nem materiais especiais. Na Noruega, uma prática comum é manter dois tipos de asfalto na usina – um nominalmente duro e o outro mole. Assim, tais asfaltos são misturados na usinagem para produzir um produto de consistência desejada. Os agregados, a exceção do filer, são aquecidos a 130°C e misturados ao ligante mole, o qual representa geralmente 20 a 30% do ligante total. Após, o ligante duro,

a 180°C, é espumado durante a sua injeção, por meio da adição de água fria numa taxa de 2 a 5% de sua massa, conforme esquema da Figura 14.

Neste tipo de tecnologia são necessários investimentos da ordem de R\$ 130.000,00 na usina (Figura 15) e obtêm-se reduções de temperatura entre 40 e 60°C.

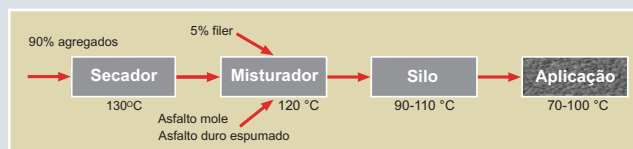


Figura 14 – Esquema do processo WAM Foam



3. Processo Evotherm

Categoria: aditivo químico

Empresa: Mead Westvaco Asphalt Innovations

Desenvolvido mais recentemente nos Estados Unidos, esta tecnologia consiste de uma emulsão que é misturada aos agregados aquecidos, resultando em temperaturas entre 85 e 115°C. Trata-se de um produto modificado por um pacote químico projetado para melhorar o recobrimento dos agregados, a adesão e a trabalhabilidade. Durante a mistura, grande parte da água desta emulsão atua como agente espumante após o contato com os agregados aquecidos. Entretanto, um novo processo tem sido desenvolvido a partir desta solução, chamado de Evotherm DAT, no qual o mesmo pacote químico utilizado na emulsão é diluído em pequena quantidade de água e injetado na linha de asfalto (Figura 16) imediatamente antes da mistura do mesmo com os agregados. Em síntese:

- Evotherm ET: emulsão com pacote químico que melhora o recobrimento, adesão e trabalhabilidade, misturada aos agregados aquecidos;

- Evotherm DAT: ligante na temperatura convencional modificado por pacote químico (5,0%), o qual é injetado na linha previamente à mistura, sendo os agregados aquecidos conforme temperatura final desejada;
- Em ambos há a presença do efeito espuma da água; e
- Reduções entre 40 e 60°C.



Figura 16 – Adição do pacote químico na linha de asfalto – Evotherm DAT

4. Processo com ligante modificado por Sasobit®

Categoria: aditivo orgânico

Empresa: Sasol Wax

A modificação de asfaltos com a parafina sintética Sasobit®, a qual tem alto ponto de fusão (acima de 95°C), faz com que o ligante tenha viscosidade menor em temperaturas acima deste ponto, permitindo a usinagem das misturas asfálticas em temperaturas mais baixas. Geralmente, além da redução da temperatura, obtêm-se ganhos no desempenho do material em termos de afundamentos de trilha de roda, pois estas parafinas aumentam o ponto de amolecimento do asfalto. Além do que, devido a sua baixa temperatura de cristalização quando comparada com parafinas convencionais, também não prejudica o comportamento em temperaturas intermediárias – fadiga. Em síntese:

- Parafina sintética do tipo Fischer-Tropsch: alto ponto de fusão (~95°C);
- Acima deste ponto diminui a viscosidade do ligante;
- Abaixo do ponto de fusão: aumenta consistência do ligante;
- Melhora o desempenho da mistura na deformação permanente;
- Cuidados devem ser tomados: pode fragilizar a mistura em temperaturas intermediárias;
- Adiciona-se de 1,0 a 4,0% no ligante;
- Fácil manuseio;
- Estima-se cerca de 10.000.000 de toneladas desta tecnologia no mundo; e
- Reduções de 10 a 35°C.

Benefícios das Misturas Mornas

Muitos benefícios advêm do uso das Misturas Asfálticas Mornas, e os principais serão apresentados a seguir.

Na Tabela 2, estão mostrados alguns resultados de estudos em países que já usam esta tecnologia, onde se conseguiu medir a redução das emissões de gases no processo de usinagem e aplicação em menores temperaturas.

Na Figura 17, mostram-se, para comparação, duas usinagens simultâneas: uma na temperatura convencional e outra na temperatura “morna”, nas quais se pode perceber os ganhos na redução de emissões e a melhoria das condições de trabalho e saúde no processo. Relatam-se as seguintes constatações sobre este aspecto:

- Estados Unidos: Monitoramento das aplicações das tecnologias Aspha-min, Evotherm e Sasobit indicou reduções da ordem de 70% nos fumos para temperaturas de 20 a 40°C abaixo das convencionais;

Tabela 2 – Redução das emissões de gases do efeito estufa durante a aplicação de Misturas Asfálticas Mornas em alguns países da Europa

Gás	Noruega	Itália	Holanda	França
CO ₂	31,5%	30-40%	15-30%	23%
SO ₂	ND	35%	ND	18%
Compostos Orgânicos Voláteis	ND	50%	ND	19%
CO	28,5%	10-30%	ND	ND
NO _x	61,5%	60-70%	ND	18%
Partículas finas	54,0%	25-55%	ND	ND

ND – Não disponível

- Europa: relatadas reduções de 30 a 50% nos fumos;
- Melhoria da saúde dos trabalhadores e ambiente de trabalho mais confortável; e
- Na Alemanha, observou-se maior produtividade no manuseio de Misturas Asfálticas Mornas.



Figura 17 – Usinagens simultâneas: uma na temperatura convencional (155°C) e outra “morna” (110°C)

Quanto à redução do consumo de combustível, vale observar os seguintes aspectos:

- Depende da usina e da redução de temperatura do processo escolhido;
- Umidade dos agregados: a cada 1% de umidade, aumenta-se em 10% o consumo energético;
- Em geral, observam-se economias de 20 a 35% em Misturas Asfálticas Mornas; e
- Em misturas de baixa temperatura (*Half-warm Asphalt* – HWA), que são aquelas misturas processadas em temperaturas abaixo de 100°C, observaram-se reduções maiores do que 50% no consumo energético.

Na experiência de aplicação de Misturas Asfálticas Mornas, realizada em fevereiro de 2008 na Ilha do Fundão – Cidade Universitária da UFRJ, por intermédio da parceria do CENPES/Petrobras e COPPE/UFRJ, foi possível constatar uma economia de aproximadamente 1,5m³/minuto de gás em relação ao consumo de uma mistura processada na temperatura convencional. Vale lembrar que as reduções de temperatura obtidas foram de 35 a 40°C, e utilizou-se a usina gravimétrica da Empresa Craft, situada na zona industrial de Campo Grande, no Rio de Janeiro.

Nesta ocasião, foram construídas sete pistas experimentais com diferentes tecnologias de Misturas Mornas,

incluindo solução desenvolvida pela Petrobras. A Figura 18 apresenta a redução do consumo energético durante a construção destas pistas.

Outros benefícios das tecnologias de Misturas Mornas são os seguintes:

- Permite a pavimentação em dias frios (< 10°C);
- Permite longas distâncias de transporte;
- Possibilita o uso de maior quantidade de reciclados: aumenta a trabalhabilidade e reduz envelhecimento; e
- Melhora a compactação de misturas com ligantes especiais.

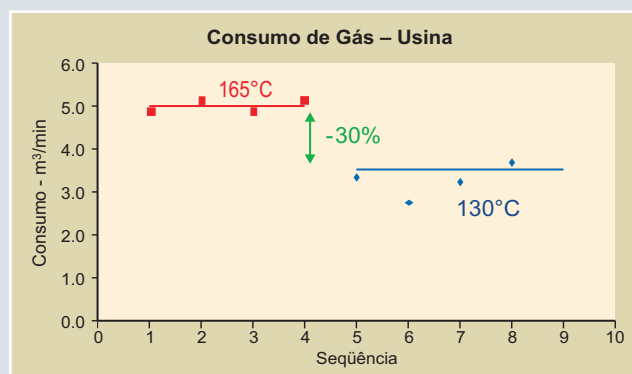


Figura 18 – Redução do consumo energético durante a construção de pistas experimentais de Misturas Mornas na Cidade Universitária do Rio de Janeiro

Neste momento vale fazer uma comparação, em termos de sustentabilidade, entre asfaltos de alto desempenho versus tecnologias de Misturas Mornas. Os asfaltos modificados por polímero e o asfalto-borracha podem sob certos aspectos serem piores para o ambiente porque usualmente são processados em temperaturas mais elevadas, acarretando maiores índices de emissões e impactos na saúde dos trabalhadores.

Porém, deve-se analisar em longo prazo estas soluções, pois em geral apresentam maior durabilidade, fazendo com que no ciclo de vida do pavimento haja menor consumo de energia e materiais. Na Figura 19, apresenta-se uma comparação da vida de fadiga de uma mistura convencional com outra feita com ligante de alto desempenho, na qual pode-se verificar os ganhos obtidos com o produto modificado, em qualquer nível de deformação. As tecnologias de Misturas Mornas são aplicáveis aos ligantes de alto desempenho. Desta forma, por que não obter o benefício de ambos simultaneamente?

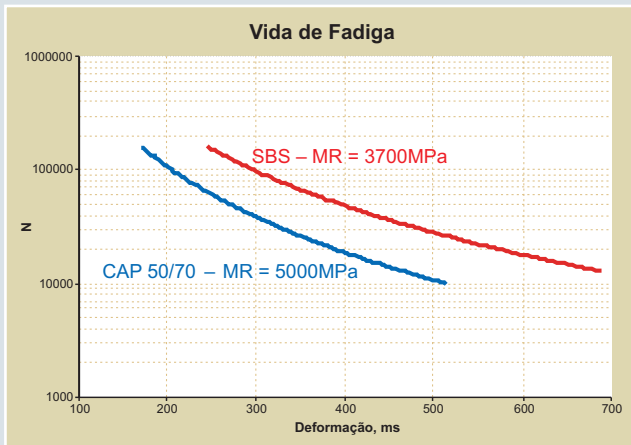


Figura 19: Comparação da vida de fadiga (deformação controlada) entre uma mistura com ligante convencional e outra com ligante de alto desempenho

Alguns aspectos podem ser ressaltados a título de considerações finais:

I. Custos:

- Adição de zeólita: aumenta em cerca de 8% o custo da tonelada de mistura asfáltica;

- Sasobit e outras parafinas sintéticas: têm custo similar ou superior ao de alguns polímeros tipo SBS; e
 - Processo WAM Foam: requer investimentos na usina, entretanto o custo operacional é desprezível.
- II. Na Europa e nos Estados Unidos, as Misturas Mornas já são realidade.
 - III. No Brasil, já foram feitas algumas experiências e pelo menos uma licitação exigindo tecnologia específica de Mistura Morna com aditivo químico.
 - IV. A Petrobras desenvolveu tecnologia de Mistura Morna, a qual não acarreta custos adicionais ao processo, nem adaptações na usina.
 - V. A implementação de tecnologias de Mistura Morna requer obrigatoriamente estudos laboratoriais e em campo: ensaios de caracterização mecânica, dano por umidade e testes para medir a trabalhabilidade.
 - VI. A Mistura Morna será ambientalmente favorável apenas se tiver durabilidade e produtividade iguais ou superiores à de misturas de referência.
 - VII. Um pavimento só será sustentável se for bem feito.

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 de acordo com as normas vigentes no sítio www.revistapavimentacao.org.br.

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

Avaliação do uso de fibras sintéticas em misturas asfálticas

Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

Universidade de Brasília e DNIT, Brasília, Brasil
luiz.mello@dnit.gov.br

Kamil E. Kaloush

Arizona State University, Tempe, EUA
kaloush@asu.edu

Márcio Muniz de Farias

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil
muniz@unb.br

RESUMO

O uso de fibras sintéticas em misturas asfálticas com o intuito de melhorar o desempenho desses materiais em face da deformação permanente e da resistência ao trincamento por fadiga foi o foco principal desse trabalho. O programa de ensaios laboratoriais teve como objetivo conduzir testes que são recomendados pelo projeto NCHRP 9-19. Esse programa trata do estudo de um tipo de ensaio que permite avaliar as misturas asfálticas de maneira simples e rápida. Entre os tipos de testes propostos pelo projeto estão os ensaios tipo

triaxial, o ensaio de módulo dinâmico e o ensaio de deformação permanente com carga cíclica. Além disso, foram feitos ensaios de vida de fadiga à flexão. Os dados obtidos na campanha de testes nas misturas modificadas com fibras foram comparados com os resultados de misturas convencionais. Os resultados experimentais mostram que a presença de fibras melhora o comportamento de misturas asfálticas.

PALAVRAS-CHAVE

Misturas asfálticas, fibras sintéticas, ensaios dinâmicos.

1 INTRODUÇÃO

Alguns trabalhos mostram o uso de fibras sintéticas para melhorar o desempenho de misturas asfálticas quanto à deformação permanente e ao trincamento por fadiga

(BUENO et al. 2003; FORTA, 2005; LEE et al. 2005). Devido aos recentes desenvolvimentos na caracterização de materiais asfálticos no meio técnico, uma reavaliação do desempenho das misturas modificadas com fibra se

faz necessária, usando testes e procedimentos que permitam mostrar com clareza os benefícios dessa adição.

Desde 1999, o laboratório de pavimentação da Arizona State University (ASU) tem sido referência em estudos para a caracterização de misturas asfálticas usando ensaios avançados. Esses estudos fazem parte do projeto da *National Cooperative Highway Research Program – NCHRP 9-19* (WITCZAK et al. 2002) que trata da definição e desenvolvimento de um ensaio específico (*Simple Performance Test – SPT*) para avaliação do potencial de deformação permanente e da resistência ao trincamento em misturas asfálticas. Os resultados desses estudos foram utilizados como parâmetros de entrada no guia MEPDG (*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*), recentemente desenvolvido para avaliação de pavimentos (AASHTO, 2008).

Grande parte dos estudos prévios que tratam do uso de fibras sintéticas foi desenvolvida para os concretos de cimentos Portland. Poucas pesquisas possuem resultados experimentais considerando a adição de fibras sintéticas em concretos asfálticos. Bueno et. al (2003) estudaram o comportamento mecânico de misturas asfálticas quando da adição de fibras aleatoriamente distribuídas, utilizando ensaios Marshall e triaxial estático e cíclico. Segundo os autores, a adição de fibras causou uma pequena variação nos parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos nos ensaios triaxiais. Lee et al. (2005) avaliaram a influência de fibras recicladas de carpete na resistência à fadiga por meio da energia de ruptura. Os autores concluíram que o acréscimo da energia de ruptura representa um potencial para o aumento na vida útil das misturas asfáltica.

O objetivo desse trabalho foi conduzir um estudo laboratorial para obter propriedades de misturas asfálticas modificadas com fibras sintéticas, usando testes laboratoriais desenvolvidos para a pavimentação. Os resultados obtidos foram comparados com os de outras misturas equivalentes para demonstrar a eficácia do uso das fibras em concretos asfálticos.

2 MATERIAIS UTILIZADOS

2.1 Fibras sintéticas

Dois tipos de fibras sintéticas, especialmente desenvolvidas para o uso em concretos betuminosos usinados a

quente (CBUQ), foram utilizadas nesse trabalho: fibras de polipropileno e fibras de aramida. As fibras são utilizadas conjuntamente, mas possuem propriedades físicas diferentes e, portanto, atuam diferentemente no comportamento das misturas asfálticas. As fibras de aramida possuem alta resistência à tração, melhorando o comportamento relativo à fadiga e à deformação permanente da mistura asfáltica, enquanto que as fibras de polipropileno são incorporadas ao ligante durante o processo de mistura e desta forma agem como um agente modificante do cimento asfáltico de petróleo (CAP).

A mistura de fibras é adquirida em sacos com massa próxima a 445,0g, com as fibras de aramida (amarela) e polipropileno (cinza) misturadas aleatoriamente, como mostrado na figura 1. As propriedades principais dos dois tipos de fibras são apresentadas na tabela 1. As fibras são projetadas para trabalhar nas três dimensões dentro das misturas asfálticas, as quais são usualmente aplicadas em novos revestimentos ou em recapeamentos.



Figura 1 – Detalhe das fibras usadas para adição nas misturas asfálticas: aramida (amarela) e polipropileno (cinza).

2.2 Mistura asfáltica

O principal objetivo do programa experimental foi obter propriedades de engenharia das misturas asfálticas densas reforçadas com fibras sintéticas. O volume de vazios (V_v) das misturas testadas foi de 7,0%, valor esse um pouco acima do aceito para misturas tipo CBUQ usadas

em camadas de ligação (binder) no Brasil (4 a 6%), mas utilizado como padrão para comparação dos resultados com este tipo de mistura no laboratório da ASU. Sobre esta camada densa geralmente aplica-se uma camada

Superpave, resultando em amostras cilíndricas de 150 x 170mm. Após a compactação, os corpos de prova foram cortados para produzir amostras cilíndricas com 100mm de diâmetro e 150mm de altura. Adicionalmente, vigotas para ensaios de fadiga à flexão foram produzidas de acordo com a norma AASHTO T321-03.

Tabela 1 – Propriedades físicas das fibras usadas

Materiais	Polipropileno	Aramida
Forma	Fibra multifilamento torcida	Fibra monofilamento
Densidade relativa	0,91	1,45
Resistência à tração (MPa)	483,00	3000,00
Comprimento (mm)	19,05	38,10
Cor	cinza	amarela
Resistência a ácido/álcalis	inerte	inerte
Temperatura de derretimento (°C)	157	>450

Tabela 2 – Propriedades da mistura utilizada

Mistura reforçada com fibras	Propriedades			
	Tipo de ligante	% de ligante	% de volume de vazios	Densidade máxima teórica, G_{mm}
	PG 70-10	5,10	7,0	2,4605
% Fibras na mistura	0,05 % em peso da mistura			

descontínua e depois uma camada de rolamento aberta nas rodovias do Arizona, EUA. O ligante utilizado para a fabricação das misturas é classificado pela metodologia SUPERPAVE como PG 70-10. A mistura foi obtida diretamente do local de aplicação em campo, onde estava sendo realizada a pavimentação do pátio da Boeing Corporation, no estado do Arizona (EUA). As proprieda-



Figura 2 – Detalhe da mistura com adição de fibras sintéticas.

des volumétricas da mistura são descritas na tabela 2, incluindo a densidade máxima teórica (G_{mm}).

Um foto da mistura espalhada em uma superfície para a preparação do ensaio Rice é mostrada na figura 2.

As fibras podem ser visualizadas a olho nu, distribuídas uniformemente no interior da mistura. As misturas foram reaquecidas e preparadas no compactador giratório

após a modificação. Para isso, foi preciso verificar a proporção de cada tipo de fibra na mistura de fibras comercial, após separá-las manualmente e, com isso, determinar o quantitativo necessário para a realização do experimento em laboratório. O ligante utilizado nesse procedimento foi o mesmo usado na usinagem da mistura aplicada em campo.

Inicialmente, a dificuldade foi determinar a temperatura de derretimento correta da fibra de polipropileno para, então, definir a temperatura na qual o ligante seria aquecido. Dessa forma, foi feito um procedimento minucioso durante o aquecimento do ligante, de tal forma que a temperatura de derretimento da fibra fosse verificada e mantida dentro de uma faixa considerada satisfatória ao longo do procedimento de mistura. O aparato que possibilitou a modificação consistiu de um recipiente no qual o ligante foi armazenado, uma mesa térmica com controle de temperatura e um misturador com uma haste com ponta helicoidal e com controle de velocidade. A adição das fibras foi feita manualmente, com o cuidado

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Ensaios com ligante asfáltico e a fibra de polipropileno

Como mencionado anteriormente, as duas fibras agem de maneiras distintas dentro do concreto asfáltico, sendo a fibra de aramida um agente de reforço da mistura e a fibra de polipropileno um agente modificante do ligante. Com o intuito de verificar essa influência separadamente, foram realizados ensaios em ligantes asfálticos, com e sem adição de fibras de polipropileno, para obter o entendimento do comportamento do ligante

de garantir que todas fossem derretidas. Essa garantia baseou-se na observação de que a fibra se dissolvia quase instantaneamente em contato com o ligante asfáltico na temperatura de modificação.

A figura 3 apresenta uma visão do aparato utilizado e do procedimento de adição das fibras. O procedimento de adição durou cerca de 30 minutos sob temperaturas em torno de 190°C.

A caracterização das propriedades do ligante asfáltico, em seu estado virgem e após a modificação, foi ob-



Figura 3 – Aparato utilizado na modificação do ligante asfáltico e detalhe do procedimento de adição das fibras.

tida por meio de ensaios convencionais. Os resultados dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e viscosidade *Brookfield*, possibilitaram a comparação da consistência dos dois ligantes ensaiados.

Geralmente, os ligantes asfálticos exibem uma relação linear quando os resultados obtidos são relacionados em um gráfico log-log da viscosidade (cP) versus a temperatura absoluta (°R). O intercepto (A) e a inclinação (VTS, *Viscosity-Temperature Susceptibility*) desta reta fornecem parâmetros para a previsão da viscosidade a uma dada temperatura de referência (RASMUSSEN et al. 2002). Estes parâmetros foram incorporados no novo guia para projeto empírico-mecânico de pavimentos (MEPDG-1) para previsão do módulo dinâmico de misturas em projetos de nível 1 (AASHTO, 2008).

Observa-se na figura 4a que o ligante modificado com as fibras de polipropileno apresentou valores de viscosidade maiores que o ligante virgem. Isto mostra que, no que depender do comportamento reológico do ligante, um concreto asfáltico que utilize este tipo de fibra tem maior probabilidade de apresentar um melhor comportamento

frente ao aparecimento das deformações permanentes. A figura 4b mostra uma comparação do ligante modificado com fibras com outros tipos de ligantes, classificados de acordo com a metodologia SUPERPAVE. Os resultados mostram que a adição de fibras melhora a suscetibilidade térmica do ligante, como indicado pela menor inclinação (VTS) da curva viscosidade-temperatura. A adição da fibra de polipropileno também aumenta a vis-

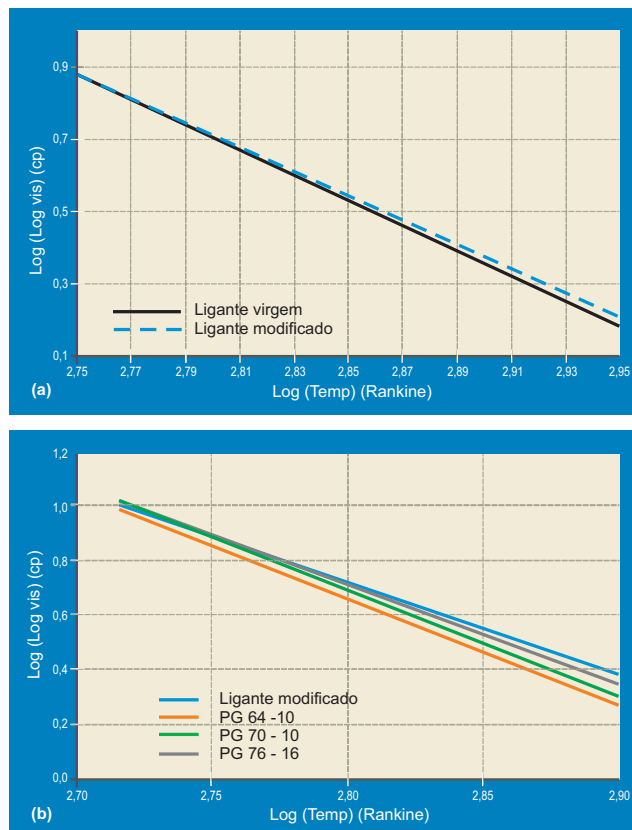


Figura 4 – Gráfico log-log da viscosidade (cP) versus a temperatura absoluta (°R). (a) ligante virgem vs. ligante modificado, (b) ligante modificado vs. outros ligantes.

cosidade do ligante, principalmente para altas temperaturas, o que é um indicativo indireto de um melhor comportamento da mistura frente ao aparecimento de deformações permanentes em campo.

3.2 Ensaios triaxiais

Aproximadamente durante 50 anos, o ensaio triaxial de resistência ao cisalhamento tem sido um teste padrão para a determinação da resistência dos materiais granulares (KALOUSH 2001). Os resultados desse teste fornecem um entendimento básico e fundamental, podendo

também ser usado na análise da estabilidade de misturas asfálticas. Isto se deve ao fato de que as tensões agindo nas amostras em laboratório durante a realização do ensaio simulam o estado de tensões existente no pavimento, quando certas condições de geometria e da amostra são atendidas. Em geral, há uma certa relutância em se adotar esse ensaio como uma rotina em pavimentação, principalmente pelo grau de dificuldade em realizá-lo. Entretanto, com as melhorias dos equipamentos e os novos sistemas de aquisição de dados, existe uma tendência de aumento no interesse em se usar o ensaio triaxial não apenas como um instrumento para pesquisas.

Foram realizados três ensaios triaxiais, dois confinados e um sem confinamento, nas misturas reforçadas com fibras sintéticas, resultando nos parâmetros convencionais de coesão “c” e ângulo de atrito “φ”. Os testes foram realizados em amostras cilíndricas nas dimensões citadas anteriormente, usando o equipamento eletro-hidráulico UTM 100 da empresa IPC, equipado com célula de carga de capacidade máxima de 100 kN e com capacidade de aplicar pressão confinante de até 690 kPa. Os ensaios confinados foram realizados com pressões de 138 e 276 kPa, com as amostras sendo carregadas uniaxialmente até a ruptura a uma taxa de deformação de 1,27 mm/mm/min. As deformações foram medidas usando-se LVDT’s. Membranas finas lubrificadas foram postas no topo e na base das amostras a fim de se reduzir o atrito com as placas de transferência de carga. Os testes foram conduzidos na temperatura de 37°C, no interior de uma câmara que permitia o controle da temperatura com precisão de ± 0,5°C. Esta é uma temperatura padrão usada neste tipo de ensaio na ASU.

A envoltória de Mohr-Coulomb é mostrada na figura 5, enquanto que as curvas de tensão com o tempo de ensaio estão ilustradas na figura 6. Os parâmetros “c” e “φ” dão uma idéia da resistência ao cisalhamento do material, sendo que a parcela referente à ação da interação entre a matriz de agregados está relacionada com o ângulo de atrito interno, enquanto que o valor da coesão está ligado diretamente com a ação cimentícea do ligante betuminoso. Valores usuais de ângulo de atrito em misturas asfálticas estão compreendidos entre 35° e 48° (WITCZAK et al. 2002), sendo que o resultado obtido

para a mistura reforçada foi de 30°. Para a coesão, valores usuais encontram-se entre 35 e 241 kPa, tendo sido obtido 456 kPa para a mistura reforçada.

Como pode ser observado nas curvas de tensão versus tempo (Figura 6), os ensaios confinados apresentam um comportamento dúctil, comportamento este relacionado

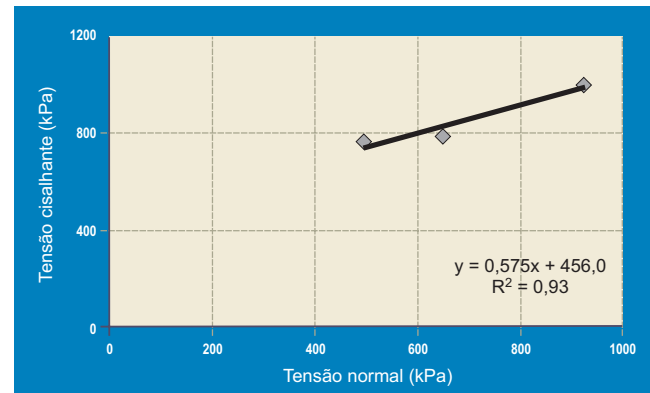


Figura 5 – Envoltória de ruptura da mistura reforçada com fibras obtida nos ensaios triaxiais.

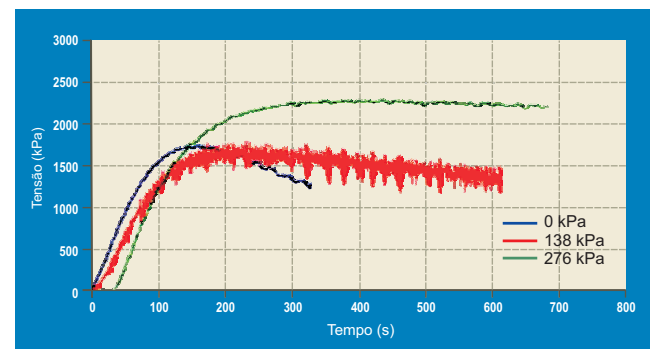


Figura 6 – Comparação da mistura reforçada com fibras a diferentes tensões confinantes.

à presença das fibras de aramida na mistura, indicando que há uma melhora na resistência à deformação permanente além dos limites de ruptura por cisalhamento.

3.3 Ensaios de deformação permanente

O ensaio de carga repetida é um teste de fluência usado para determinar as características relativas à deformação permanente dos materiais asfálticos utilizados em pavimentação. O teste consiste na aplicação de uma carga repetida dinamicamente na mistura, enquanto o registro da deformação permanente é feito ao longo do ensaio. O comportamento da mistura asfáltica apresenta três estágios distintos: inicialmente a deformação acumulada

umenta rapidamente, depois cresce a uma taxa constante e finalmente há uma aceleração nas deformações. Segundo Kaloush (2001), define-se o número de fluência "FN" (Flow Number) como o ponto inicial ou o número do ciclo no qual inicia-se a deformação terciária. Ensaios não confinados com cargas repetidas foram realizados usando três amostras cilíndricas com dimensões de 100mm de diâmetro e 150mm de altura.

A carga aplicada possuía uma forma haversine, com os tempos de carga e de repouso iguais a 0,1s e 0,9s, respectivamente. Para isso, um equipamento UTM 25 da IPC Global com sistema elétrico-pneumático foi utilizado para o carregamento. O sistema permite a aplicação de até 620,0 kPa de tensão confinante e até 24,9 kN de carga vertical máxima. As cargas foram medidas por meio de células de carga e as deformações nas amostras por meio de dois extensômetros do tipo LVDT's, instalados verticalmente em posições diametralmente opostas da amostra. Os testes foram conduzidos dentro de uma câmara para controle da temperatura durante a realização dos ensaios, sendo realizados a 37°C.

Um resultado típico obtido nos ensaios de deformação permanente com carregamento repetitivo é apresentado na figura 7. Percebe-se a maior duração do estágio secundário do ensaio, bem como o menor acúmulo gradual de deformação permanente, além do ponto no qual

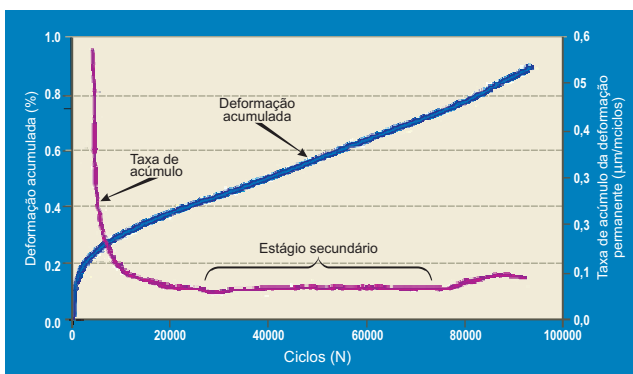


Figura 7 – Resultado típico de um ensaio de deformação permanente com cargas cíclicas, com $\sigma_d = 207$ kPa, $\sigma_3 = 0$ kPa e temperatura de 37°C.

se inicia o estágio terciário. Esses comportamentos são atribuídos à presença da fibra aramida na mistura, já que os mesmos não são observados em misturas convencionais. A média dos FN's para as três misturas ensaiadas

foi de 46.396, e a média da deformação acumulada foi de 0,65%. Esses resultados foram comparados com outros obtidos para misturas sob as mesmas condições e com as mesmas características volumétricas.

Na figura 8 é apresentada uma comparação dos FN's na ruptura para a mistura reforçada com fibras e para as misturas aplicadas em duas seções (MnRoad e Westrack) pertencentes a experimentos realizados pelo governo dos EUA, nos estados de Minnesota e Nevada, e que apresentaram bom comportamento no campo nas mesmas condições de teste em laboratório. Nessas con-

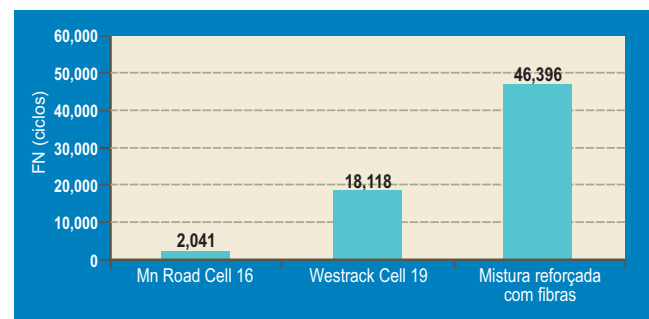


Figura 8 – Comparação do ensaio de deformação permanente com cargas cíclicas para diferentes misturas.

dições, a mistura reforçada com fibra possui o maior FN e a segunda menor deformação permanente acumulada na ruptura. Maiores valores de FN significam que, para as mesmas condições, a mistura possui melhor desempenho contra o acúmulo de deformação permanente. Além disso, salienta-se o fato de que, mesmo para a grande diferença encontrada no resultado obtido de FN, a mistura reforçada com fibra obteve bom comportamento com relação ao valor da deformação acumulada quando do início da fase terciária.

3.4 Ensaios de módulo dinâmico

Para os materiais que apresentam comportamento viscoelástico linear, tais como as misturas asfálticas em certas condições, a relação entre tensão e deformação sob um carregamento senoidal é definida pelo chamado módulo complexo (E^*). Esse módulo é um número complexo que relaciona tensão e deformação para materiais viscoelásticos submetidos a um carregamento harmônico aplicado continuamente. No novo programa de avaliação de pavimentos da AASHTO (MEPDG), o módulo do

revestimento asfáltico sob condições de variações de temperatura e frequência de carregamento pode ser determinado pela Curva Mestra, a qual é construída usando a superposição tempo-temperatura, considerando uma temperatura de referência (geralmente 21°C). Os dados obtidos em várias temperaturas são trasladados com relação à frequência até que os dados formem uma função única. A Curva Mestra dos valores de módulo, construída dessa maneira, mostra a dependência do material com relação ao tempo.

A metodologia de teste DM-1 do projeto NCHRP 1-37A foi seguida para os ensaios de módulo dinâmico. Para cada mistura, duas ou três amostras foram preparadas para os ensaios. Para cada amostra, os ensaios foram conduzidos a -10, 4, 21, 37 e 54°C e frequências de carregamento de 25, 10, 5, 1, 0,5 e 0,1 Hz. Os ensaios foram feitos sob tensão controlada, resultando em deformações menores que 150 $\mu\epsilon$ (ou 0,0150%). Esse limite garante que a resposta do material foi linear ao longo dos ensaios realizados em diferentes temperaturas. Os níveis de tensões ficaram entre 69 a 689 kPa para baixas temperaturas (-10°C a 21°C) e 14 a 69 kPa para altas temperaturas (37°C a 54°C). Similarmente à entrada de dados necessários para o uso da ferramenta MEPDG, a Curva Mestra foi construída com base nos resultados obtidos em laboratório e está apresentada na figura 9 em conjunto com a relação entre o fator de translação (a_T) e a temperatura.

Duas misturas convencionais utilizadas em projetos do ADOT (Arizona Department of Transportation), fabricadas com ligantes PG 70-10 e PG 64-22, foram escolhidas para comparação com a mistura reforçada com fibras. As Curvas Mestras das três misturas, considerando os valores médios das amostras ensaiadas, podem ser comparadas graficamente. Entretanto, apesar de ser possível visualizar as diferenças obtidas entre as misturas, os valores dos módulos em certas combinações de temperatura e frequência também devem ser avaliados separadamente. Uma comparação específica para os ensaios a 37°C e 54°C e frequência de 10 Hz é ilustrada na figura 10. Todas as três misturas possuem volume de vazios similares, iguais a 7%. De fato, para temperaturas elevadas, os valores de módulo dinâmico $|E^*|$ da mistu-

ra reforçada com fibras sintéticas foram 1,5 vez maior que aqueles das misturas convencionais. Esses resultados comprovam a potencialidade da utilização das fibras em revestimentos asfálticos, produzindo misturas mais resistentes à deformação permanente em altas temperaturas.

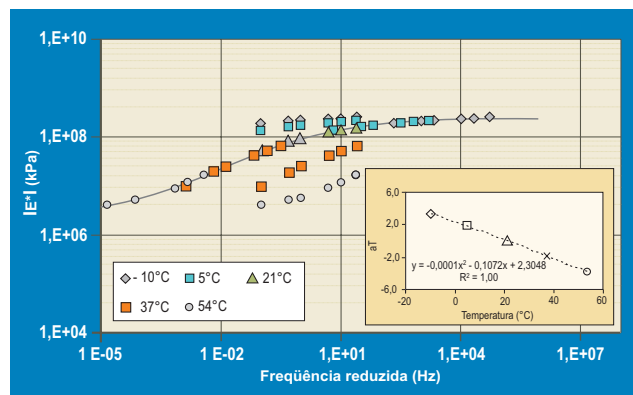


Figura 9 – Curva Mestra obtida dos ensaios de módulo dinâmico para a mistura reforçada com fibra sintética.

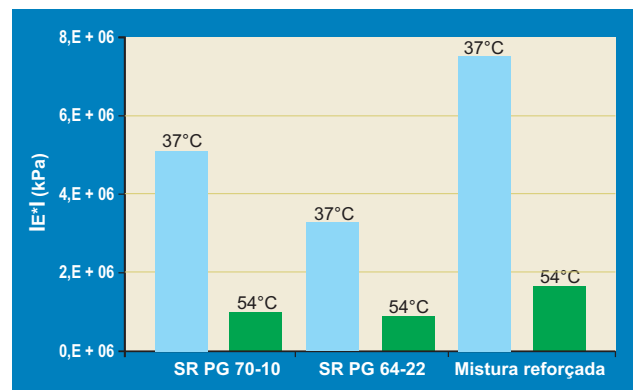


Figura 10 – Comparação dos valores de módulo dinâmico para três misturas diferentes, na frequência de 10 Hz.

3.5 Ensaios de fadiga

Trincas por fadiga devido à ação do tráfego são um dos principais tipos de defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis. A trinca é resultado das tensões de tração e de cisalhamento induzidas nas camadas asfálticas pelos carregamentos repetitivos, resultando em uma eventual perda de integridade estrutural da camada. Em certos locais, tensões e deformações críticas são induzidas pelo carregamento, sendo estes os pontos nos quais as trincas serão iniciadas. A deformação crítica é função da rigidez relativa entre a camada de revestimento e a rigidez do restante da estrutura do pavimento. Entretanto, esta deformação varia com a profundidade, o que irá

influenciar o local onde a deformação crítica irá acontecer e, conseqüentemente, o local onde a trinca iniciará. Uma vez iniciada, a ação do tráfego irá fazer com que a trinca se propague por toda a espessura do revestimento.

O modelo mais comumente usado para calcular o número de repetições da carga até que a ruptura por fadiga seja caracterizada é função da deformação de tração e da rigidez da mistura (módulo elástico). A estrutura básica para quase todo modelo desenvolvido e presente na literatura científica para caracterização à fadiga é da seguinte forma (SHRP-A-404):

$$N_f = K_1 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{K_2} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{K_3} \quad (1)$$

onde N_f é o número de repetições para a ruptura, ϵ_t é a deformação de tração imposta, E é o módulo elástico do material, e k_1 , k_2 e k_3 são coeficientes calibrados em laboratório.

Ensaio de fadiga à flexão são realizados de acordo com as normas AASHTO TP8 e SHRP M-009. O ensaio de fadiga à flexão tem sido usado por vários pesquisadores para avaliar o desempenho de pavimentos (SHRP-A-404 1994; HARVEY & MONISMITH 1993; TAYEBALI et al. 1995; WITCZAK et al. 2001). O equipamento utilizado é ilustrado na figura 11, sendo instalado em uma câmara onde a temperatura é controlada durante todo o ensaio.

A mistura reforçada com fibra foi aquecida na temperatura de compactação, assim como o molde para a fabricação das amostras. Após o enchimento do molde, o mesmo foi levado para a compactação, no qual foi aplicada uma carga de 1,4 kPa apenas para uma pré-consolidação. O processo de compactação compreende um carregamento senoidal contínuo à tensão controlada, aplicado em uma frequência de 2,0 Hz e com amplitude de 2,8 MPa. O volume de vazios necessário para a amostra foi controlado pela quantidade de material compactado, pela altura do material dentro do molde e pela densidade máxima teórica da mistura. O procedimento de compactação era paralisado automaticamente quando a altura requerida era alcançada.

Os ensaios foram realizados somente com a deformação controlada, em cinco diferentes níveis, na tempe-

ratura de 21°C. Em face às dificuldades encontradas em se obter o volume de vazios nas amostras compactadas em laboratório, resultando em uma demanda de material e de tempo incompatível com este projeto, a faixa aceitável de variação dos valores no volume de vazios obtidos



Figura 11 – Equipamento utilizado nos ensaios de fadiga à flexão.

foi de 1,0%. A rigidez inicial à flexão foi obtida para o ciclo $N = 50$, e o critério de ruptura utilizado foi uma redução de 50% do valor da rigidez inicial da mistura. Entretanto, o ensaio foi estendido até o ponto igual a 30% do valor da rigidez inicial da amostra, permitindo

uma caracterização mais completa da evolução do dano na mistura. A aquisição de dados foi feita automaticamente, em intervalos predefinidos de ciclos, nos quais dados de carga e deslocamentos foram gravados.

A relação entre o número de repetições até a ruptura e a deformação de tração aplicada na amostra da mistura reforçada com fibra é apresentada na figura 12, juntamente com outras duas misturas convencionais. As equações de regressão e o coeficiente de determinação também são apresentados para cada mistura. Como pode ser visto na figura 12, os valores de vida de fadiga obtidos para a mistura reforçada com fibra, para um mesmo nível de deformação, foram maiores comparados com as outras duas misturas. Esse resultado mostra que, mesmo sem considerar a diferença de rigidez das misturas, as fibras induziram um acréscimo da vida de fadiga da mistura.

A rigidez inicial das amostras é mostrada na figura 13. Percebe-se que a rigidez da mistura reforçada com fibra de aramida tem ordem de grandeza compatível com a da mistura convencional com $D_{\max} = 19\text{mm}$ (ou 3/4") e ligante PG 70-10, porém a rigidez da mistura reforçada é bem maior que a da mistura convencional

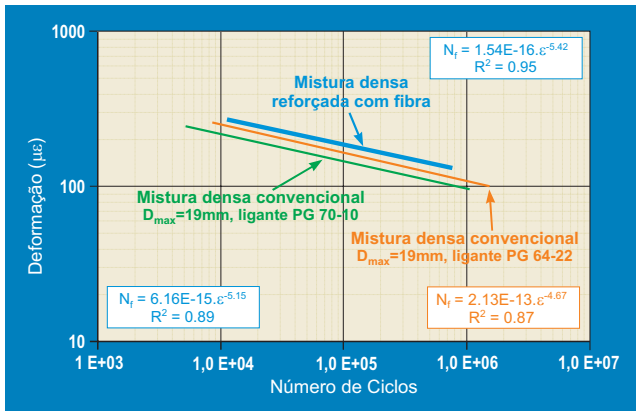


Figura 12 – Comparações das curvas de fadiga para temperatura de 21°C.

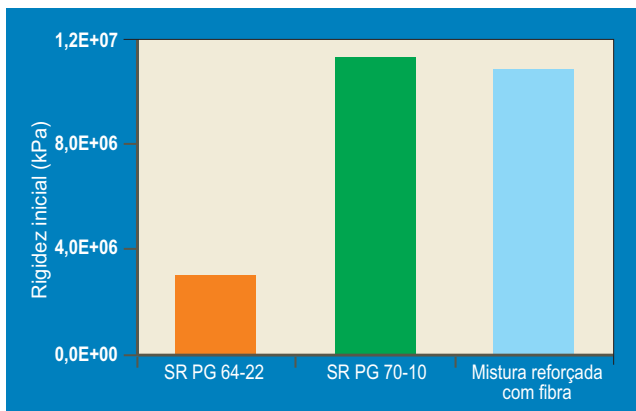


Figura 13 – Comparação da rigidez à flexão inicial das misturas asfálticas.

com $D_{max} = 19\text{mm}$ (ou $3/4''$) e ligante PG 64-22. Ainda assim, a mistura reforçada teve melhor comportamento à fadiga, como se vê na figura 12.

4 CONCLUSÕES

A resistência ao cisalhamento após a ruptura nos ensaios triaxiais mostram que as misturas reforçadas com

fibras apresentaram um comportamento dúctil, um efeito desejável que foi atribuído às fibras aramida. Da mesma forma, os ensaios de deformação permanente também mostraram um acúmulo gradual na deformação, também uma característica desejável e consequência do papel das fibras aramidadas no interior da mistura.

Os valores de módulo dinâmico medido em temperaturas elevadas (37°C e 54°C) e frequência de 10 Hz foram de 1,5 a 1,6 maiores do que aqueles obtidos pelas misturas convencionais usadas a título de comparação. Altos valores de módulo para altas temperaturas é um indicativo de melhor resistência à deformação permanente, mas pode implicar menor vida de fadiga. Entretanto, comparando os resultados obtidos para a vida de fadiga da mistura reforçada com fibra com outras duas misturas convencionais, pode-se observar que as fibras induziram um aumento na vida de fadiga, considerando valores semelhantes de rigidez inicial.

Desta forma, pode-se concluir que as fibras utilizadas nesse trabalho agem de duas maneiras nas misturas asfálticas, reduzindo a potencialidade do aparecimento de deformações permanentes e também aumentando a resistência à fadiga pelo trabalho realizado pelas fibras de aramida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às companhias Forta Corporation e Teijin Twaron BV pelo fornecimento das fibras. Agradecem também à Boeing Corporation e à Rinker West por suas colaborações na produção e construção da seção teste. Agradecimentos especiais para o Sr. Kenny Witzak, Supervisor do Laboratório de Pavimentação da ASU pela produção e preparação das amostras.

REFERÊNCIAS

- AASHTO Designation: T321-03 (2003). Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending.
- AASHTO (2008). MEPDG-1 Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice. American Association of State and Highway Transportation Officials, 01-Jul-2008, 212 pages
- BUENO, B. S., SILVA, W. R., LIMA, D. C., MINETE, E. (2003). Engineering Properties of Fiber Reinforced Cold Asphalt Mixes. Technical Note, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 129, N. 10.
- FORTA Corporation (2005), U.S.A. Report #30-02, Grove City, Pennsylvania, USA.
- HARVEY, J., and MONISMITH, C.L. (1993). Effect of Laboratory Asphalt Concrete specimen Preparation Variables on Fatigue and

- Permanent Deformation Test Results Using Strategic Highway Research Program A-003A Proposed Testing Equipment. Record 1417, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- KALOUSH, K. E. (2001). Simple Performance Test for Permanent Deformation of Asphalt Mixtures. PhD Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA,
- LEE, S. J., RUST, J. P., HAMOUDA, H., KIM, Y. R., BORDEN, R. H. (2005). Fatigue Cracking Resistance of Fiber-Reinforced Asphalt Concrete. Textile Research Journal, Vol. 75, N. 2, pp. 123-128.
- RASMUSSEN, R. O., LYTTON, R. L. and CHANG, G. K. (2002). Method to Predict Temperature Susceptibility of an Asphalt Binder. J. Mat. in Civ. Engrg. Vol. 14, Issue 3, pp. 246-252
- SHRP-A-404 (1994). Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Asphalt Research Program, Institute Of Transportation Studies, University Of California, Berkeley. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- SHRP Designation: M-009. Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Bituminous Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending.
- TAYEBALI, A. A., DEACON, J. A., and MONISMITH, C. L. (1995). Development and Evaluation of Surrogate Fatigue Models for SHRP A-003A Abridged Mix Design Procedure. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists Vol. 64, pp. 340-366.
- WITCZAK, M.W., MAMLOUK, M., and ABOJARADEH, M. (2001). Flexural Fatigue Tests. NCHRP 9-19, Subtask F6 Evaluation Tests. Task F Advanced Mixture Characterization. Interim Report, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- WITCZAK, M. W., KALOUSH, K. E., PELLINEN, T., EL-BASYOUNY, M., & VON QUINTUS, H. (2002). Simple Performance Test for Superpave Mix Design. NCHRP Report 465. Transportation Research Board. National Research Council. Washington D.C.

.....

Cartas dos leitores

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

e-mail: redacao@revistapavimentacao.org.br



Quero agradecer, de coração, a homenagem feita a meu pai,
Eng. Ozéias Amorim, na edição de junho de 2008.
A todos da Revista PAVIMENTAÇÃO o meu muito obrigada.

Helena Amorim, Rio de Janeiro, RJ

Gostaria de sugerir que Fatos Históricos abordasse a construção de outros aeroportos importantes do País. O Aeroporto da Pampulha, na capital mineira, foi o primeiro, portanto, dêem continuidade.

Eng^a Dênis Sorrento da Silva Filho, Limeira, SP

Estudo comparativo das solicitações atuantes em plataformas ferroviárias, aeroportuárias e rodoviárias

Cassio Eduardo Lima de Paiva

FEC UNICAMP

Carlos Alberto Bandeira Guimarães

FEC UNICAMP

Luiz Fernando de Mello Correia

FEC UNICAMP

RESUMO

Os vários modais de transportes de carga passam no momento por processos de otimização de suas capacidades de movimentação de carga. Entre todos os modais terrestres, as ferrovias passam por demandas para aumento de suas cargas por eixo. Normalmente estas análises se restringem aos trilhos e seu desgaste devido à maior solicitação. Nesta análise sumária se despreza a avaliação da plataforma, que se solicitada em valor superior a

sua capacidade de atuar elasticamente apresenta deformações permanentes que prejudicam a sua drenagem eficiente. De forma a caracterizar as solicitações destas cargas maiores, procurou-se neste trabalho estabelecer uma comparação entre as solicitações ferroviárias para vários níveis de tensões, desenvolver comparações com solicitações rodoviárias e aeroportuárias e, desta forma, estabelecer padrões mínimos construtivos a serem utilizados em novas construções ferroviárias.

INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário nos dias correntes está se tornando especializado, principalmente em duas destas funções, a ferrovia se destaca pelos inúmeros benefícios que propicia, ou seja, no transporte de massa nas grandes cidades brasileiras, como trem metropolitano ou de subúrbio e como metrô de superfície e no transporte a granel em longas distâncias.

O transporte de massa em corredores de alta demanda apresenta um tráfego com alta frequência de número de trens e baixa carga por eixo, enquanto o transporte de carga a granel em longas distâncias apresenta

tráfego com menor frequência, mas com cargas por eixo bem superiores em relação à outra utilização.

A construção de novas vias férreas é feita de forma lenta, porém contínua nos últimos anos. Entre os componentes da via férrea, aquele que tem recebido menor atenção é o critério construtivo para plataformas ferroviárias.

As plataformas ferroviárias trabalham em condições bastante críticas, pois numa situação trabalha com grande número de solicitações e noutra com menor número de solicitações, porém com elevada carga por eixo. Nesse tipo de condição de trabalho, a plataforma pode apresentar deformações permanentes provocadas pelo tráfego que poderiam ser facilmente corrigidas na via por adi-

ção de mais lastro, mas esta deformação pode comprometer a declividade transversal da plataforma e, conseqüentemente, a drenagem superficial sobre a plataforma da via. Normalmente no Brasil para qualquer tipo de tráfego ferroviário, se especifica que as camadas superficiais de plataformas recebam energias de compactação entre 95 e 100% do Proctor normal (BRANCO, 2005).

Nos últimos anos organismos mundiais têm dado atenção aos critérios de construção de plataformas ferroviárias, como, por exemplo, os critérios propostos para a construção das vias do TGV francês. Estes critérios trouxeram alguma inspiração nos engenheiros brasileiros, e dentro da área específica das plataformas foi proposta em 1983 a norma da ABNT para classificação de vias férreas NBR 7964 (1983), cuja concepção é bastante boa, porém não se apresenta muito clara quanto a sua aplicação.

Neste trabalho se procura definir por analogia as condições de trabalho de uma plataforma ferroviária comparando-a com outros tipos de infra-estrutura, no caso rodoviário e aeroportuário, cujo estudo e desenvolvimento de pesquisas têm recebido atenção constante nos últimos tempos e se constitui numa revisão em um trabalho de igual temática, já desenvolvido por Paiva e Guimarães (1996). A partir da análise comparativa se propõem algumas sugestões que, sendo consideradas, permitirão uma aplicação mais freqüente dos critérios contidos na NBR 7964.

ANÁLISE COMPARATIVA DAS SOLICITAÇÕES ATUANTES

Considerações gerais

De forma a definir as condições de trabalho de uma plataforma ferroviária, foi desenvolvida uma análise comparativa entre as condições de trabalho de uma infra-estrutura rodoviária submetida a um carregamento padrão de 8,2 toneladas, uma infra-estrutura aeroportuária submetida a uma carga de uma aeronave tipo Boeing 737-200 e uma infra-estrutura ferroviária submetida a um carregamento de trem de minério e um carregamento de trem metropolitano.

Para o desenvolvimento da análise comparativa das tensões normais atuantes sobre a camada final de terraplenagem, foi utilizado o programa computacional ELSYM-5,

com o apoio do manual elaborado por Monteiro e Landi (1987), para os casos de pavimento rodoviário e aeroportuário. Esse programa foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Berkeley e permite definir deformações e tensões em qualquer ponto de um sistema de eixos tridimensionais de um pavimento constituído por até cinco camadas elásticas e admite carregamentos de até 10 cargas iguais sobre o pavimento.

No caso do cálculo para o nível de referência do ferroviário, utilizou-se o programa FERROVIA 1.0 desenvolvido por Rodrigues (1994), considerando critérios do processo de elementos finitos, discretizando os elementos da superestrutura e critério de camadas limites, para a infra-estrutura. As camadas elásticas são consideradas homogêneas, isotrópicas e linearmente elásticas. Cada camada tem espessura definida e finita, exceto a última, cuja espessura é admitida semi-infinita pelo programa. Para cada camada, além da espessura são conhecidos também o módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν). Cada carga é admitida como atuando verticalmente e uniformemente distribuída em uma área circular e é utilizado o princípio de superposição para considerar os efeitos das demais cargas.

Situações estudadas

O programa ELSYM-5 foi utilizado para diferentes tipos de infra-estrutura (rodoviária, aeroportuária) com características e carregamentos previamente determinados.

O pavimento rodoviário analisado corresponde a um trecho da Rodovia dos Imigrantes, pista ascendente, altura da Cidade Náutica solicitado por um carregamento equivalente a 8,2 toneladas por eixo, constituído por um eixo traseiro simples de roda dupla.

O pavimento aeroportuário corresponde à pista de pouso e decolagens do Aeroporto de Ribeirão Preto (SP), sendo a aeronave de projeto o Boeing 737, cujos trens de pouso principais são em número de dois, com duas rodas simples.

A infra-estrutura ferroviária analisada com o programa FERROVIA 1.0 corresponde a um trecho ferroviário típico, composto por camadas de lastro e sublastro, encimadas por dormentes de madeira e trilhos tipo TR-57. A bitola adotada é igual a 1,60 metro com espaçamento

entre dormentes de 60 centímetros. O padrão de carregamento para um trem de minério (TP) é de 25 toneladas por eixo e o espaçamento entre rodeiros de 1,50 metro. Considerou-se que o segundo carregamento (TL) é de 12 toneladas e equivale a um carro de passageiros metropolitano ou uma composição de carga sem lotação total com a distância entre rodeiros também de 1,50 metro.

A figura 1 permite observar as características dos tipos de infra-estrutura analisados.

5,0 cm	CBUQ	E = 3500 Mpa V = 0,35
7,5 cm	PMUQ	E = 3000 Mpa V = 0,35
22,0 cm	BGS	E = 500 Mpa V = 0,42
Aterro Hidráulico Infra-estrutura Rodoviária		E = 100 Mpa V = 0,50
7,0 cm	CBUQ	E = 3500 Mpa V = 0,35
10,0 cm	BINDER	E = 3000 Mpa V = 0,35
25,0 cm	BGS	E = 500 Mpa V = 0,35
15,0 cm	Solo selecionado	E = 150 Mpa V = 0,35
15,0 cm		
15,0 cm		E = 100 Mpa V = 0,60
15,0 cm	CFT 100% PS	
95% PS Infra-estrutura Aeroportuária		
Trilho TR 57 Dormente de madeira		
30,0 cm	Lastro	E = 400 Mpa V = 0,45
10,0 cm	Sublastro	E = 300 Mpa V = 0,45
CFT 100% PS Infra-estrutura Ferroviária		E = 100 Mpa V = 0,50

Figura 1 – Seções transversais das infra-estruturas das vias terrestres estudadas.

Carregamentos

O veículo-tipo utilizado para o carregamento do pavimento rodoviário é um caminhão com carga no eixo traseiro igual a 8,2 toneladas, o que resulta em 2,05 toneladas de carga por roda e com pressão de pneu igual a 0,533MPa (80 lb/pol²). O arranjo geométrico das cargas

pode ser visto na figura 2. As tensões foram determinadas para várias profundidades devido às cargas das quatro rodas, incluindo as profundidades de interfaces entre camadas, para pontos situados sob uma roda (ponto 1) e no ponto médio entre duas rodas (ponto 2).

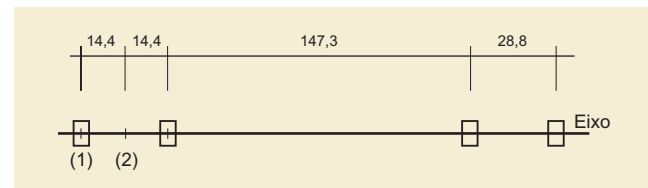


Figura 2 – Esquema de Carregamento Rodoviário.

A aeronave de projeto utilizada para o pavimento é o Boeing 737-200, com peso máximo de decolagem igual a 533,86 kN, supondo-se que o trem principal, composto por dois trens de pouso de rodas simples, suporte 93% do peso, o que resulta em uma carga de roda igual a 123,85 kN com pressão de pneu igual a 0,991 MPa (141 lb/pol²). O arranjo geométrico das cargas pode ser observado na figura 3. Determinaram-se as tensões para várias profundidades devido às cargas das quatro rodas. As tensões foram determinadas de maneira análoga ao carregamento rodoviário.

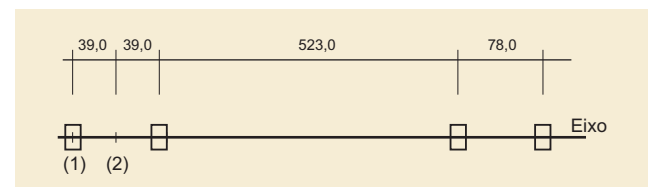


Figura 3 – Esquema de Carregamento Aeroportuário.

Para a ferrovia foi analisado um trecho composto pela grade padrão do programa FERROVIA 1.0 de 11 dormentes. Essa grade considera discreto cada elemento da superestrutura ferroviária. Posicionou-se o truque em um ponto determinado da plataforma e se encontraram os pontos nodais de aplicação das cargas. Desta forma eliminou-se o antigo critério de sobreposição de cargas empregado na versão anterior deste estudo (PAIVA & GUIMARÃES, 1996), aumentando a chance de representatividade dos resultados encontrados neste estudo.

Na figura 4 apresenta-se o esquema de carregamento com uma carga de 20 toneladas por eixo, como exemplificação, porém, foram realizados cálculos das tensões atuantes com várias cargas a fim de verificar o

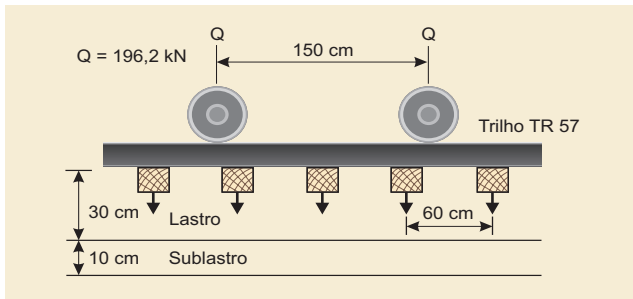


Figura 4 – Esquema de Carregamento Ferroviário.

nível de tensão para a camada de plataforma de acordo com o aumento do carregamento por eixo.

Da mesma forma que no ELSYM-5, com o programa FERROVIA 1.0 foi possível encontrar as tensões para

vários pontos de acordo com a profundidade. A única diferença é que não se pode determinar esses pontos, já que os dados de saída do programa FERROVIA 1.0 possuem certas profundidades preestabelecidas. Mas esta limitação não impediu a determinação das pressões atuantes no nível superior da plataforma, objetivo deste estudo

Tensões devidas aos carregamentos analisados e análise comparativa

Nas situações definidas foram calculadas as tensões atuantes nas plataformas em análise. Os resultados obtidos com os valores das tensões normais estão apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Tensões Normais Pavimento Rodoviário

z (cm)	σ normal (1)	σ normal (2)
0,50	-0,563	-0,002
5,00	-0,455	-0,098
12,50	-0,173	-0,125
20,00	-0,100	-0,092
34,5 (NR)	-0,039	-0,048
40,00	-0,034	-0,042
60,00	-0,022	-0,027
80,00	-0,016	-0,019

Tabela 2 – Tensões Normais Pavimento Aeroportuário

z (cm)	σ normal (1)	σ normal (2)
0,50	-0,988	-0,010
7,00	-0,818	-0,041
17,00	-0,401	-0,118
20,00	-0,348	-0,120
42,00	-0,121	-0,104
60,00	-0,082	-0,083
72 (NR)	-0,067	-0,072
80,00	-0,060	-0,065

(1) Tensão Normal sob a roda (MPa) – (2) Tensão Normal no ponto médio entre os pneus (MPa) – (NR) Nível de referência

Tabela 3 – Tensões Normais para cada carga por eixo – Pavimento Ferroviário

Tensões Normais na Plataforma sob o Trilho (MPa)					
Cargas por eixo (kN)→ (t)→	117,6 (12)	156,9 (16)	196,0 (20)	274,5 (28)	294,1 (30)
Profundidade (cm)	σ_n	σ_n	σ_n	σ_n	σ_n
,3	0,1112	0,1483	0,1854	0,2595	0,2781
9	0,0716	0,0955	0,1193	0,1671	0,1790
21	0,0544	0,0725	0,0906	0,1268	0,1359
27	0,0440	0,0587	0,0734	0,1028	0,1110
31	0,0424	0,0563	0,0711	0,0937	0,1011
35	0,0387	0,0511	0,0639	0,0895	0,0959
37	0,0361	0,0481	0,0602	0,0842	0,0908
39	0,0353	0,0471	0,0588	0,0824	0,0883
45	0,0338	0,0445	0,0556	0,0778	0,0834
60	0,0293	0,0390	0,0488	0,0683	0,0732
95	0,0217	0,0290	0,0363	0,0508	0,0544

Na tabela 3, da página anterior, apresenta na coluna da esquerda as profundidades analisadas e na segunda linha os valores cargas por eixo aplicadas sobre os trilhos avaliados neste estudo.

A avaliação com vários valores de carga por eixo foi realizado para se identificar os eventuais valores de tensões que mais se aproximam aos valores das outras infra-estruturas analisadas.

Na tabela 4, os valores das tensões para os níveis de referência das plataformas ferroviárias foram interpola-

Tabela 4 – Tensões Atuantes nas Situações Estudadas

Situação	Nível Considerado	Tensão Normal Atuante (MPa)
Pavimento aeroportuário	NR – 72,0 cm	-0,0720
Ferrovia Trem Pesado (25t)	NR – 40,0 cm	-0,0728
Pavimento rodoviário	NR – 34,5 cm	-0,0480
Ferrovia trem leve (12t)	NR – 40,0 cm	-0,0353

dos entre as profundidades de 39 e 45cm. Assim como o valor para a carga de 25t, pois existe linearidade proporcional para o valor da carga por eixo no programa FERROVIA 1,0.

Em função do nível de tensões atuantes, é necessário considerar que as condições de trabalho em plataformas ferroviárias de tráfego pesado são bastante semelhantes àquelas observadas em plataformas aeroportuárias, enquanto que, para plataformas para trens com menor carga por eixo, as plataformas ferroviárias trabalham em níveis de tensões semelhantes a uma infra-estrutura rodoviária. Devido a esta última conclusão, muitas pesquisas, desenvolvidas para o campo rodoviário, podem ser incorporadas às especificações de terraplenos ferroviários.

ANÁLISE CRÍTICA DA NBR – 7964 DE CLASSIFICAÇÃO DE PLATAFORMA DE VIA FÉRREA

A norma NBR – 7964 para classificação de Plataforma de Via Férrea foi proposta em maio de 1983, para classificar classe de material e sua capacidade de suporte para emprego como plataformas.

Esta norma classifica os solos em quatro grandes tipos desde QSO – impróprio a QS3 – bom. As subdivisões são expressas em função da granulometria do solo,

sem quaisquer outros índices. Sobre a capacidade portante do solo, não está definido qualquer valor ou tipo de ensaio a ser considerado para a sua avaliação.

Define espessuras mínimas recomendáveis sem qualquer informação suplementar; por exemplo, para a plataforma tipo QS2, que se trata de solo fino tratado com ligante, esta camada deve ter espessura superior a 30cm. Que tipo de ligante deveria ser utilizado, caso seja estabilizante que torne rígida a camada, várias experiências já executadas mostraram que camadas desse

tipo apresentam pequena vida útil porque não resistem à fadiga das cargas ferroviárias.

Para melhor definir a caracterização dos solos a serem utilizados em plataformas ferroviárias, deveriam ser aproveitados os estudos desenvol-

vidos para a definição das características resilientes dos solos brasileiros, principalmente a classificação resiliente para solos, proposto por Preusler e Pinto (1982). Este critério, mostrado na tabela 5, define o comportamento resiliente do solo em função do CBR do solo e da porcentagem de silte na fração fina do solo.

Esse critério foi proposto há alguns anos e a sua utilização já é consagrada e poderia sem qualquer dúvida ser empregada em plataformas em ferrovias destinadas a tráfego de trens leves.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Neste trabalho procurou-se estabelecer uma análise comparativa das plataformas ferroviárias submetidas

Tabela 5 – Critério de Classificação de Solos quanto à Resiliência, segundo Preusler e Pinto

CBR	Porcentagem de Silte na Fração Fina (%)		
	< 35	35 a 65	> 65
? 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

a dois carregamentos típicos do modal ferroviário e compará-los a situações de trabalho de pavimentos rodoviários e aeroportuários.

As conclusões iniciais obtidas neste artigo abrem largamente o leque de possibilidade para aproveitamento de pesquisas já desenvolvidas sobre solos existentes no Brasil.

É também possível afirmar que, para trens de elevada carga de eixo, muitas pesquisas ainda devem ser desenvolvidas de forma a aperfeiçoar as especificações técnicas vigentes, principalmente no que se refere ao comportamento resiliente de misturas granulares.

Com os resultados obtidos com os valores das tensões normais, mostrados nas tabelas 1, 2 e 3, foi possível a construção de um gráfico profundidade *versus* tensão normal para as situações analisadas, apresentado na figura 5. As solicitações atuantes em plataformas ferroviárias estão confinadas entre os valores que correspondem a situações normais das infra-estruturas dos modais rodoviários e aeroportuários, conforme apresentado na figura 5.

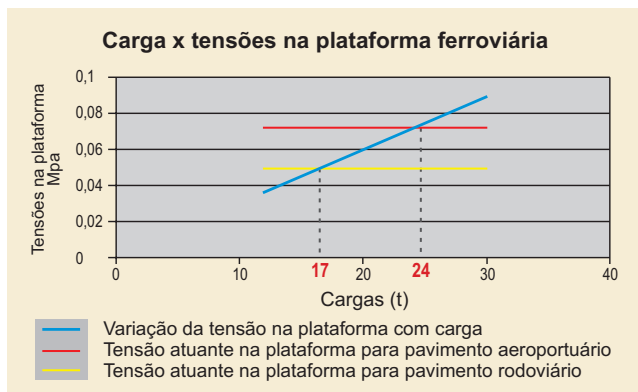


Figura 5 – Comparação entre a tensão na plataforma de acordo com a carga por eixo ferroviária e as tensões para a infra-estrutura rodoviária e aeroportuária.

Neste gráfico verifica-se que o nível de tensão na plataforma ferroviária para uma via de trens leves (até 17 t/ eixo) assemelha-se a uma situação ocorrente em um pavi-

mento rodoviário, enquanto que para trens pesados (superior ou igual a 24 t/eixo) a solicitação se assemelha à situação de um pavimento aeroportuário. Em pavimentos aeroportuários desde a Segunda Guerra Mundial, na compactação das suas camadas de infra-estrutura é empregada a energia modificada.

Um bom exemplo de aplicação das exigências técnicas sugeridas deste trabalho foi a configuração de uma plataforma ferroviária recentemente construída na África do Sul e descrita por Grabe, Clayton & Shaw (2005). Para uma carga ferroviária de 26t por eixo, a plataforma foi construída com quatro camadas de 0,20m cada após remoção de 0,80 de solo local. As camadas superiores eram eminentemente granulares e foram compactadas a 98% e 95% do Proctor modificado e apresentaram CBR de 148 e 101% respectivamente. As duas camadas inferiores eram de solo arenoso, foram compactados a 95% e 93% do Proctor modificado e apresentaram CBR de 58% e 40%. Na África do Sul, os trens de minério circulam com cargas por eixo semelhantes às condições brasileiras.

As especificações construtivas para vias férreas novas a serem propostas para o caso de carregamento mais pesado (≥ 24 t/eixo) devem considerar as mesmas condições e cuidados construtivos das plataformas aeroportuárias e empregar a energia modificada na compactação das suas camadas para evitar deformações permanentes ocasionadas pelo tráfego ferroviário. Esta preocupação fica mais evidente quando se observa no presente momento o constante aumento das cargas rodantes ferroviárias praticadas pelas empresas concessionárias no Brasil, como, por exemplo, a Estrada Ferro Carajás que opera com 30t e planeja aumentar para 32t. Portanto são necessários em projetos de ferrovias novas uma análise se existe a possibilidade de aumento futuro das cargas por eixo que irão circular e se prever uma compactação adequada no momento da sua construção.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR – 7964. Plataforma para Via Férrea, maio 1983. Rio de Janeiro.
- BRANCO, José Eduardo S. C. Projetos-Tipo para a Via Permanente em Ferrovias Heavy Haul. Revista Ferroviária, Rio de Janeiro. 2005.
- GRABE, P.J., CLAYTON, C.R.J., SHAW, F.J.. Deformation Measurement on a Heavy Haul Track Formation. 8th International Heavy Haul Conference. Rio de Janeiro. 2005. pg 287-295.
- MONTEIRO, M. & LANDI, P.D.N. Programa ELSYM-5 – Manual para Usuários, São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Jan. 1987.
- PAIVA, C.E.L. & GUIMARÃES, C.A.B.. Análise Comparativa das Solicitações Atuantes em Plataformas Ferroviárias, AMPET, 1996.
- PAIVA, C.E.L. Uma Contribuição ao Dimensionamento de Subcamadas das Plataformas Ferroviárias. São Paulo, EPUSP (Dissertação de Mestrado), 1982.
- PREUSLER, Ernesto; PINTO, Salomão. Proposição de método para projeto de Reforço de Pavimentos Flexíveis, considerando a Resiliência. 17^ª Reunião Anual de Pavimentação, Anais. Brasília 1982.
- RODRIGUES, R.M.. (1994). "Um Modelo para Análise Estrutural de Vias Permanentes Ferroviárias sobre Lastro", X COBRAMSEF, Volume 3, pp. 755-762, Foz do Iguaçu, novembro.

Utilização dos filleres do resíduo do Caulim e do granito em misturas asfálticas

Macel Wallace Queiroz Fernandes

Engenheiro Civil | macel_wallace@yahoo.com

John Kennedy Guedes Rodrigues

Professor | jkennedy@dec.ufcg.edu.br

Leda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena

Engenheira Civil | ledach@uol.com.br

Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena

Engenheiro Civil | lucenafb@uol.com.br

RESUMO

Uma das formas de minimizar os danos provocados pela suscetibilidade das misturas asfálticas à presença de água é o uso do filler, que melhora a adesividade entre o CAP e os agregados, bem como reduz a absorção da água, a perda de resistência e o envelhecimento prematuro da mistura asfáltica. Nesta pesquisa procurou-se avaliar o uso de resíduos sólidos provenientes do corte de rochas orna-

mentais e do processamento do Caulim, como filleres. Foram realizados os ensaios Marshall, Tração Diametral Indireta e de Lottman Modificado. Os resultados apontam para a utilização de 5% , de ambos os resíduos, como o teor ideal para atender o que preconizam as normas do DNIT e da AASTHO como forma de minimizar a suscetibilidade e proporcionar uma mistura mais flexível e com menor risco de fadiga prematura.

INTRODUÇÃO

Muitos dos desgastes encontrados nas rodovias e vias urbanas estão relacionados com a suscetibilidade das misturas asfálticas à presença de água, que é definida como a perda de resistência e durabilidade das misturas asfálticas quando submetidas à presença prolongada e/ou excessiva da água agravada sob o efeito das oscilações cíclicas impostas pelo tráfego.

Os pavimentos que irão apresentar visivelmente uma perda de adesividade poderão ter seu desempenho reduzido e apresentar fissuras, afundamento de trilha de roda ou desagregações (JONES & LITTLE, 2006). Corrigir tais falhas implica a geração de despesas para a ma-

nutenção e reparo do pavimento. Com a deterioração do asfalto, a presença de sulcos e rachaduras irá facilitar o acúmulo de películas da água durante as grandes precipitações, diminuindo o contato entre o pneu e o pavimento e acarretando o fenômeno da aquaplanagem que torna os acidentes inevitáveis (PAIVA & SILVA, 2003).

Para evitar acidentes e gastos desnecessários com constantes manutenções do pavimento, há também a necessidade de estudos sobre os mecanismos de suscetibilidade à presença de água para definir as causas que provocam a perda de adesividade, entre o cimento asfáltico de petróleo (CAP) e os agregados e de coesão do CAP.

Uma das formas de minimizar os danos provocados por esse agente é o uso do filler que atua na mistura asfáltica,

melhorando a adesividade entre o CAP e os agregados graúdo e miúdo, bem como reduzindo a absorção da água, a perda de resistência (estabilidade e resistência à tração) e o seu envelhecimento.

Santana (1995) sugere uma definição geral para filler: filler é um material finamente dividido constituído de partículas minerais provenientes dos agregados graúdos e/ou miúdos empregados na mistura asfáltica, ou de outras fontes, como é o caso, por exemplo, do pó calcário, cal hidratada, cimento Portland etc., que se incorpora à mistura asfáltica para melhorar seu desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água, devendo obedecer às especificações próprias nos quais devem estar incluídos limites para a distribuição dos tamanhos das partículas e para a plasticidade.

O granito é uma rocha leucocrática de origem ígnea, consolidada a partir de um magma resultante de diferenciação magmática em profundidade e, portanto, de granulação média a grosseira. Sua composição é ácida com teores de sílica maiores que 66% (geralmente em torno de 72%), e a sua mineralogia é definida pela predominância de feldspato potássico, oligoclássico subordinado, biotita acompanhado ou não por hornblenda ou moscovita.

Como conseqüências dos processos de industrialização do setor de beneficiamento de rochas ornamentais, são gerados resíduos sólidos, líquidos ou gasosos. Esses subprodutos, quando descarregados sem quaisquer cuidados, representam um risco em potencial à saúde pública e ao meio ambiente.

Do ponto de vista econômico, a geração desordenada e a deposição final sem critérios para proteger o meio ambiente podem ser identificados como fontes de desperdício de insumos e de matérias-primas. Sob condições adequadas, estes materiais podem ser reaproveitados, diminuindo assim o consumo dos recursos naturais e a necessidade de tratamento, armazenamento ou eliminação dos resíduos, tendo-se como conseqüência a redução dos riscos gerados.

Tem sido estudada a aplicação de resíduos produzidos em diversos tipos de indústrias para uso como material na construção civil e, em especial, na pavimenta-

ção. Além da preocupação com a execução de pavimentos de baixo custo com desempenho satisfatório, procura-se amenizar danos ambientais que ocorrem com a estocagem desses materiais.

Gradativamente tem-se aumentado o uso de resíduos como filler em revestimentos asfálticos. Pneu moído e vidro são dois dos mais conhecidos resíduos que foram, com algum sucesso, incorporados em revestimentos asfálticos. Em alguns casos, resíduos podem ser usados para incrementar certas características desejáveis no concreto asfáltico, em outros casos, basta que o problema ambiental de despejo de resíduo seja resolvido, não importando que haja ganho de propriedades no CBUQ. Entretanto espera-se que não ocorra perda de propriedades pela necessidade de se dar fim a um resíduo (REZENDE, 1999).

Deve-se observar que o uso do filler nas misturas asfálticas é importante na melhoria da adesividade entre o CAP e os agregados graúdo e miúdo, na qual também se observa uma redução na absorção da água, na perda de resistência (estabilidade e resistência à tração) e envelhecimento das misturas asfálticas. Com o intuito de minimizar estes danos e otimizar os custos de pavimentação, buscou-se utilizar os resíduos provenientes da serragem do granito.

A potencialidade da industrialização do Caulim no Brasil gera uma constante necessidade de estudos que permitam um aproveitamento racional dos resíduos, proveniente das indústrias beneficiadoras desse argilo-mineral, para uso como material alternativo em obras de construção civil. Segundo Barata & Molin (2002), durante o processo de industrialização do Caulim, estima-se que é gerada uma grande quantidade de resíduo, pois 70% da matéria-prima bruta é rejeitada durante o processo. Sabendo-se do impacto que este resíduo proporciona ao meio ambiente, pois todo material rejeitado é depositado a céu aberto, foi desenvolvida nesta pesquisa a utilização deste resíduo como filler para avaliar a seu comportamento nas misturas asfálticas.

Nesta pesquisa utilizou-se o resíduo do Caulim como filler e agregado miúdo e o uso da "Serragem de Granito" como filler, observando a sua influência na suscetibilidade da mistura asfáltica à presença de água.

MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento escolhido para realização da fase experimental da pesquisa foi empírico e com adoção de suporte teórico.

Materiais

Os materiais utilizados foram: areia, CAP 50/70, brita, Serragem de Granito e o resíduo do Caulim. A serragem do granito foi cedida pela empresa de beneficiamento de rochas ornamentais POLIGRAN, localizada em Campina Grande-PB, e o resíduo do Caulim foi disponibilizado por empresas localizadas às margens da BR-230 no Município de Soledade – PB. O restante dos materiais foi disponibilizado pela ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior – em parceria com o UAEC/CTRN/UFPG (Unidade Acadêmica de Engenharia Civil/ Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/ Universidade Federal de Campina Grande).

O agregado graúdo utilizado foi do tipo granítico, apresentando um diâmetro máximo de 19,1 mm e massa específica aparente de 2,720 g/cm³. O agregado miúdo trata-se de uma areia quartzosa apresentando diâmetro máximo de 4,75 mm e massa específica aparente de 2,618 g/cm³, enquanto o CAP empregado na mistura foi do tipo 50/70 com densidade de 1,027g/cm³.

Métodos

Foram realizados os ensaios que forneceram subsídios para análise do comportamento dos filleres no Concreto Asfáltico. Para tanto, os agregados foram misturados e estabilizados mecanicamente para apresentar uma distribuição de tamanhos das partículas que se enquadrasse dentro dos limites préestabelecidos na faixa “B” do DNIT (DNIT ES 313 – 97).

Durante esta etapa foram realizados os seguintes ensaios: ensaio Marshall, ensaio de Tração Diametral e o ensaio de Lottman. A seguir, serão descritos em detalhes esses ensaios.

Ensaio Marshall

O Ensaio Marshall (figura 1 e figura 2) foi realizado com teor de CAP de 4,5%, teor este obtido por meio de

ensaio piloto utilizando-se: brita, areia, cal e o CAP. Com o intuito de observar o comportamento mecânico da mistura asfáltica, com o aumento da quantidade de filleres, foram realizados ensaios Marshall com incrementos de filler, em relação ao peso do corpo-de-prova, de 3%, 4%, 5%, 6% e 7%. A figura 3 apresenta a seqüência de atividades adotada para a realização dos ensaios Marshall.

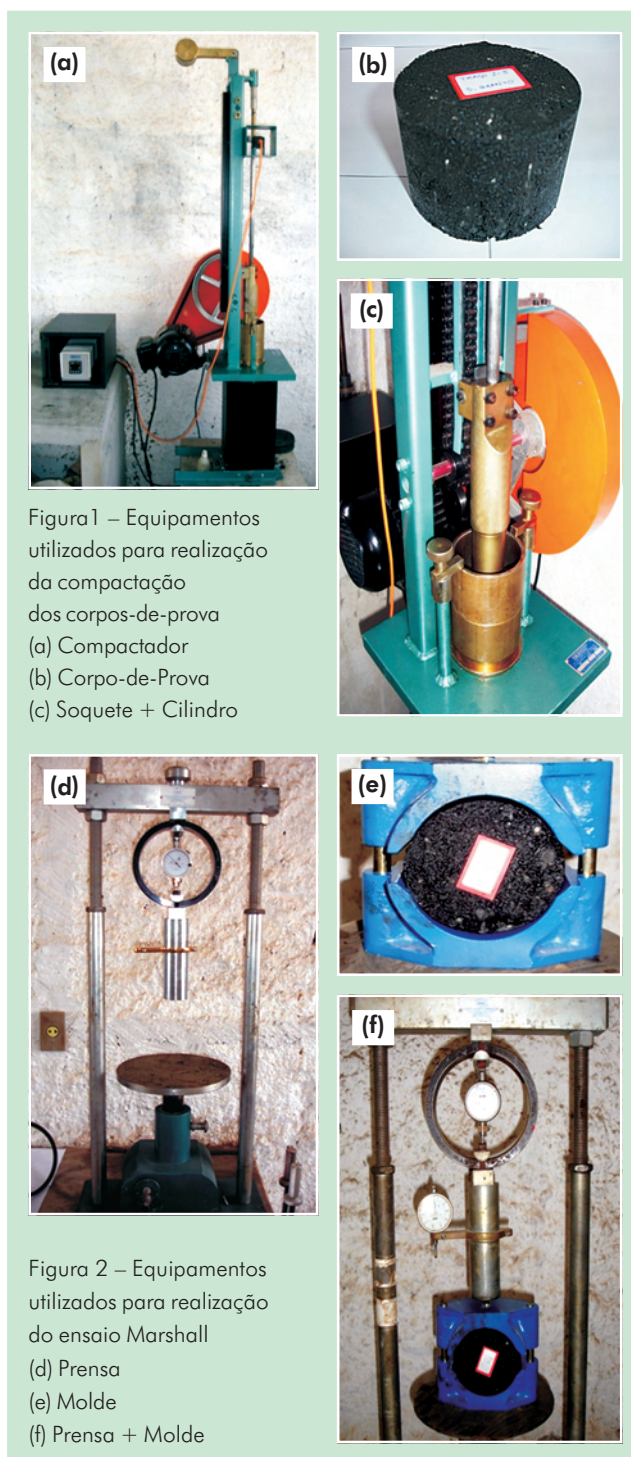


Figura 1 – Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos-de-prova
(a) Compactador
(b) Corpo-de-Prova
(c) Soquete + Cilindro

Figura 2 – Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall
(d) Prensa
(e) Molde
(f) Prensa + Molde

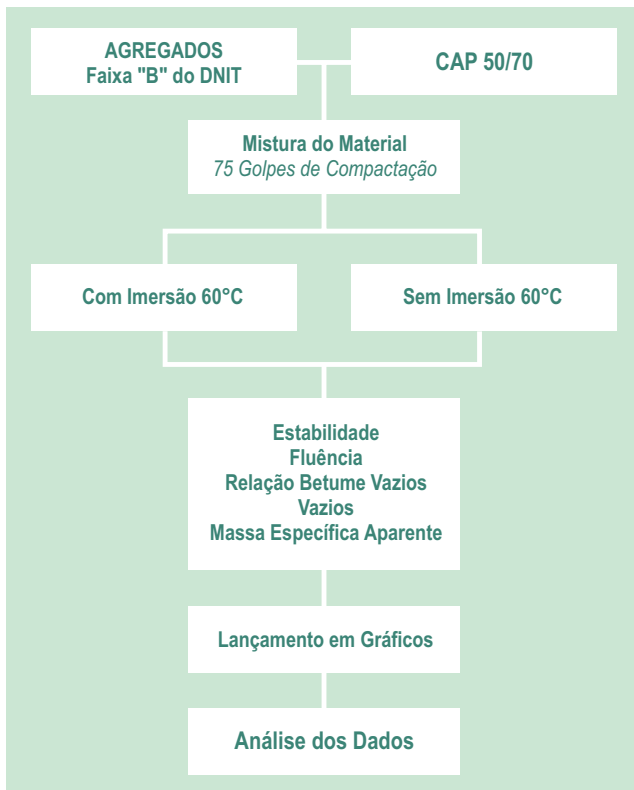


Figura 3 – Atividades adotadas para a realização do ensaio Marshall

Ensaio de tração indireta por compressão diametral

O ensaio de tração indireta por compressão diametral (figura 4) foi realizado com o Pórtico de Lottman de acordo com o que preconizam as normas DNIT-ME 138/94 e T 283-02 da *American Association of State Highway Officials (AASHTO)*. Os corpos-de-prova foram preparados com o teor ótimo de CAP de 4,5%, com o índice de vazios de 3 a 5%, e com a variação do percentual dos filleres. O intuito deste procedimento foi verificar a influência do teor de filler no comportamento da mistura asfáltica em relação à adesividade e ao efeito deletério da água.

Ensaio de Lottman modificado

Para realização deste ensaio foram moldados 36 corpos-de-prova com teores de filler de 5%, 6% e 7%, os quais apresentaram melhores resultados nos ensaios anteriores. Este foi constituído de duas etapas. Na primeira, os corpos-de-prova, sem condicionamento prévio, foram submetidos ao ensaio de resistência à tração com o auxílio

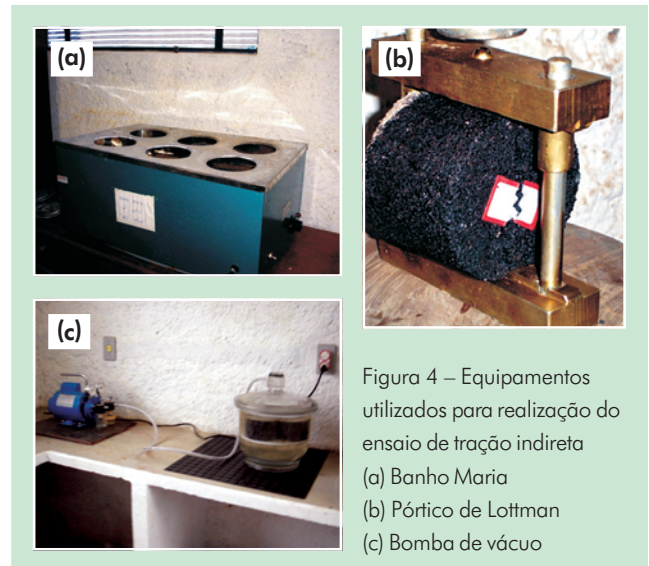


Figura 4 – Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta
(a) Banho Maria
(b) Pórtico de Lottman
(c) Bomba de vácuo

do Pórtico de Lottman para determinação do valor da resistência à tração por compressão diametral, RT_1 , após a imersão em água a 25°C, por duas horas, em sacos plásticos impermeáveis. Enquanto na segunda etapa os corpos-de-prova, com o condicionamento prévio, foram submetidos ao ensaio de Resistência à Tração por compressão diametral, com o auxílio do Pórtico de Lottman para determinação do valor da Resistência à Tração, RT_2 . O condicionamento prévio consistiu em:

- Saturação de 5 a 10 minutos com aplicação de pressão a vácuo em um dessecador;
- Refrigeração a temperatura de 12°C a 15°C (temperatura mínima de nossa região) por um período de 15 a 18 horas em sacos plásticos;
- Imersão em água à uma temperatura de 60°C por 24 horas;
- Imersão em água a uma temperatura de 25°C por duas horas.

Após determinar os valores de RT_1 e RT_2 , foram determinados os valores da relação de resistência à tração, RRT, que é calculada pela razão entre RT_2 e RT_1 . Por definição, a RRT indica, em termos percentuais, o desempenho da mistura asfáltica com relação à adesividade e por conseqüência à suscetibilidade da mistura à presença de água. A metodologia SUPERPAVE recomenda valores acima da RRT de 80%.

RESULTADOS

Ensaio de caracterização dos resíduos

As caracterizações físicas do resíduo do Caulim e das serragem do granito, do material que passa na peneira N^o 100, realizada a partir da análise da distribuição dos tamanhos das partículas, obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, encontram-se inseridas nas figuras 5 e 6 respectivamente.

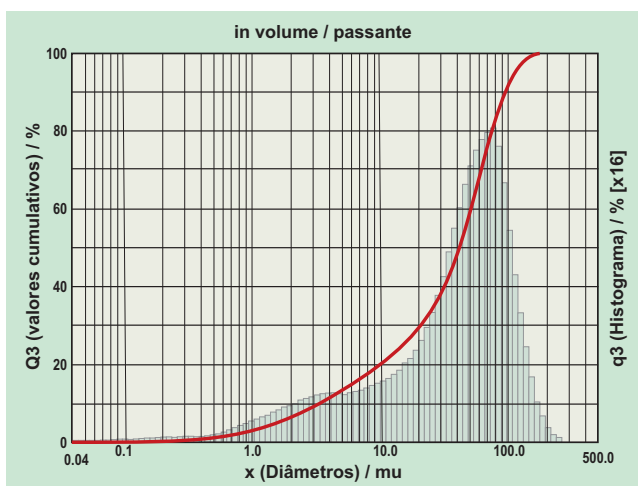


Figura 5 – Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Caulim obtida por difração a laser

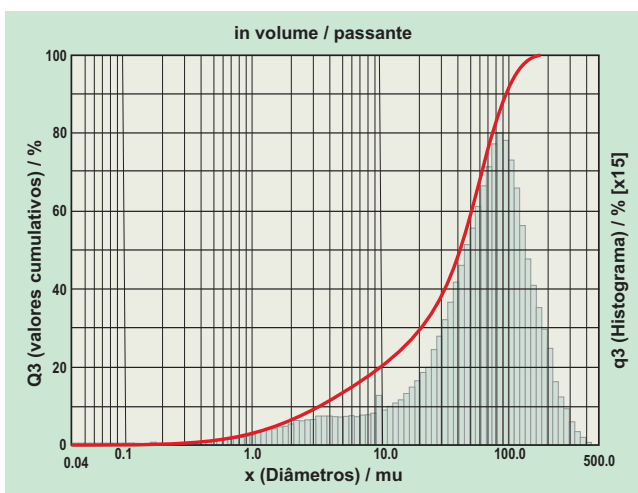


Figura 6 – Distribuição dos tamanhos das partículas da Serragem de Granito obtida por difração a laser

Os filleres utilizados atendem as especificações do DNIT para o uso na pavimentação, sendo a distribuição dos tamanhos das partículas do Caulim mais fina, ou seja, 80% do filler Caulim tem diâmetro inferior a 75 μ m,

enquanto que para o filler Serragem de Granito esse percentual é de 65%.

Ensaio Marshall

Na figura 7 e na figura 8, estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os filleres Caulim e de Serragem de Granito. As respectivas curvas apresentam, também, os valores da estabilidade Marshall em função dos incrementos dos filleres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão em água e sem imersão.

Os valores de estabilidade apresentaram tendências crescentes até o percentual de 5% de filler, após este

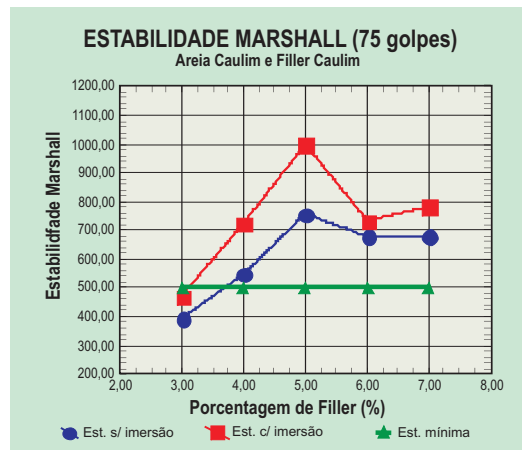


Figura 7 – Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com "Areia Caulim" e Filler Caulim [com e sem imersão em água]

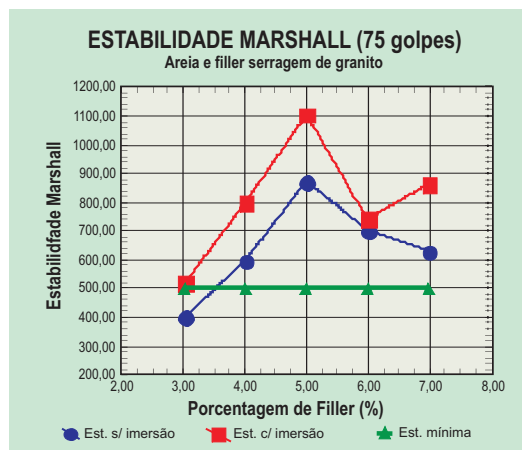


Figura 8 – Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com Filler Serragem de Granito [com e sem imersão]

valor houve queda na estabilidade. Em um sistema filler-asfalto, ao aumentarmos a quantidade de filler, as partículas tendem a aproximar-se, diminuindo os poros, tendendo a formar uma estrutura que vai tornar o mastique rígido, tornando-o frágil e quebradiço (concentração crítica) (SOUZA,2001).

O incremento do filler Serragem de Granito, segundo os resultados obtidos, teve como consequência um aumento considerável da estabilidade, quando comparado com os mesmos percentuais do filler resíduo do Caulim.

A estabilidade mínima exigida, segundo o DNIT, é de 500 kgf para 75 golpes, a qual foi alcançada para todos os corpos-de-prova moldados com o teor filler maior que 3%.

Ensaio de tração diametral indireta

Na figura 9 e na figura 10, estão lançados em gráfico os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração diametral indireta com os corpos-de-prova moldados com os filleres Caulim e de Serragem de Granito.

A adição do filler de Serragem de Granito proporcionou um aumento da resistência à tração, com corpos-de-prova sem imersão em água, de 131% para as proporções de filler entre 3% a 5%. Já para a adição do filler do resíduo do Caulim, o aumento foi de 227%, considerando as mesmas condições e o mesmo intervalo de variação.

Em termos absolutos, os valores de resistência à tração indireta por compressão diametral obtida com a adição do filler de Serragem de Granito foram relativamente

maiores, ou seja, valor máximo de 2,4 MPa para o filler resíduo de Serragem de Granito e 1,7 MPa para o filler resíduo de Caulim.

Após imersão dos corpos-de-prova em água, para ambos os filleres, foi observado um decréscimo da resistência à tração indireta por compressão diametral, provavelmente pelo efeito da presença d'água na mistura asfáltica. Entretanto, para as proporções de filleres maiores que 6% e 7%, houve variação relativamente insignificante quando comparada com os teores de 3% e 5%. Isto corrobora para afirmar que o acréscimo de filler, realmente, diminui a suscetibilidade da mistura asfáltica à presença de água.

Ensaio de Lottman modificado

Na figura 11, estão lançados em gráficos os resultados da relação da Resistência à Tração, RRT, obtidos com o auxílio do Pórtico de Lottman, para os corpos-de-prova moldados com os filleres Caulim e de Serragem de Granito. Os resultados da RRT, para os teores de filler de Caulim e de Serragem de Granito de 5% e 6%, estão acima dos que são preconizados pela AASTHO (T 283-02 da RRT > 70%) e pelo SUPERPAVE (mínimo de 80%).

Os incrementos observados para a RRT, para os corpos-de-prova onde foi utilizado o filler Caulim, foram, relativamente, maiores quando comparados aos obtidos com corpos-de-prova moldados com o filler Serragem de Granito.

Para os corpos-de-prova moldados com o filler Caulim, os valores da RRT variaram entre 85% e 87%,

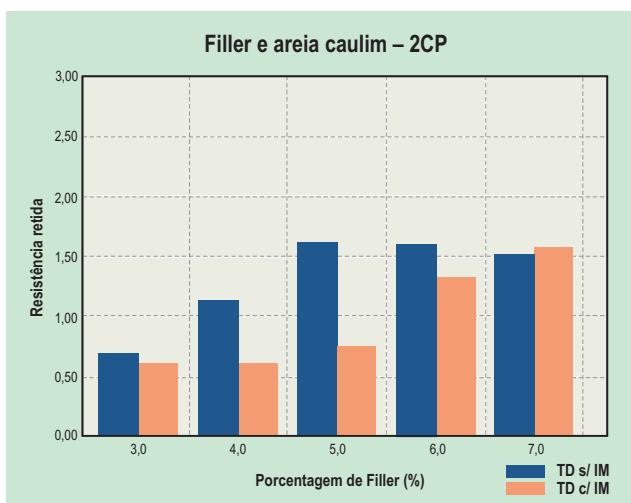


Figura 9 – Resistência à tração diametral indireta para o filler Caulim – 2CP

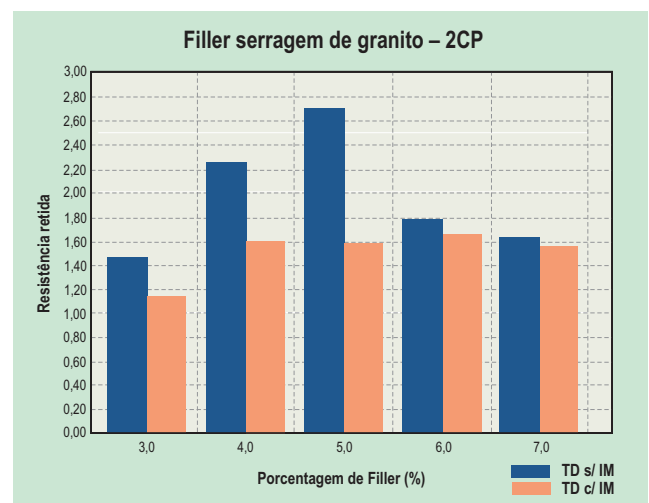


Figura 10 – Resistência à tração diametral indireta para o filler Serragem de Granito – 2CP

evidenciando um caráter positivo com relação à resistência a suscetibilidade à presença de água. Entretanto para os corpos-de-prova moldados com o filler Serragem de Granito, os valores da RRT variaram entre 82 e 59%, o que evidenciou o caráter negativo para a adesividade do mastique aos agregados.

Ao considerar o teor de 5% de filler para ambas as misturas, observa-se que este teor atende a todas as especificações contidas nas normas do DNIT e do SUPERPAVE, considerando os parâmetros: da Estabilidade; da Tração Diametral Indireta; e da Relação da Resistência à Tração (RRT).

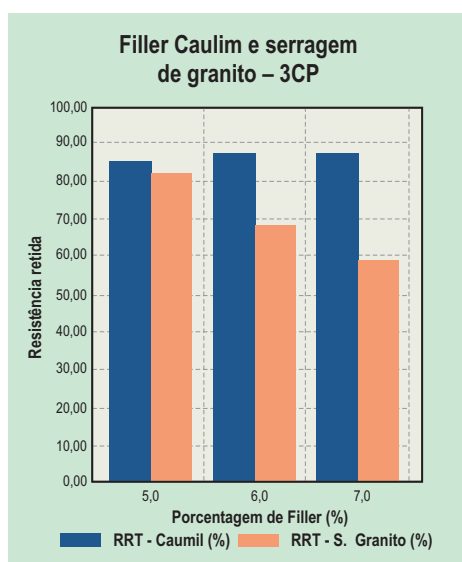


Figura 11 – Relação da resistência retida à tração para os filleres Caulim e Serragem de Granito – 3CP

CONCLUSÕES

– Tanto o resíduo do Caulim quanto a Serragem de Granito apresentaram características físicas de filler ao atender às especificações propostas pelo DNIT;

– No caso da estabilidade, houve para ambos os materiais uma tendência crescente com o incremento dos filleres. Este comportamento se deu até um percentual de 5% e decresceu para os percentuais de 6% e 7%, porém se mantendo com valores de estabilidade superiores aos estabelecidos pelo DNIT (500 kgf);

– Pelo método de ensaio do DNIT-ME 043/95, para 75 golpes, a estabilidade mínima exigida é de 500 Kgf, tanto para camadas de rolamento como para camadas

de ligação (“Binder”). Os resultados obtidos, com a dosagem Marshall com os filleres resíduo do Caulim e Serragem de Granito, superaram esse valor mesmo submetido à imersão em água, com exceção dos corpos-de-prova moldados com percentual de 3%;

– Os maiores incrementos nos parâmetros de estabilidade ocorreram quando os corpos-de-prova foram submetidos à imersão em banho-maria, fato esperado, pois a presença da água acarreta aumento de rigidez, efeito esse prejudicial para as misturas asfálticas, tornando-as quebradiças;

– Para o incremento de filler Serragem de Granito com os corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão, a estabilidade Marshall apresentou um aumento considerável quando comparado com os mesmos percentuais do filler resíduo do Caulim.

– Com o auxílio do Pórtico de Lottman foram obtidos resultados da Relação da Resistência à Tração (RRT) acima do valor mínimo de 70%, segundo o método AASHTO T 283/02, somente para o percentual de filler de 5%, para ambos os materiais. À medida que se aumentou o percentual de filler, apenas os corpos-de-prova com resíduo de Caulim permaneceram acima do valor mínimo, enquanto que para a Serragem de Granito houve queda considerável.

– Em termos de suscetibilidade das misturas asfálticas à presença d’água, constatou-se que o resíduo de Caulim proporcionou um comportamento mais estável que a Serragem de Granito. Observando os resultados do ensaio Marshall, pode-se inferir que o resíduo do Caulim proporciona uma mistura mais flexível e, portanto, com uma menor probabilidade de fissuras prematuras durante vida útil do pavimento.

Agradecimentos

– À CAPES, pelo apoio financeiro na realização deste projeto de pesquisa;

– À ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior – pela disponibilização do laboratório para a realização dos ensaios.

– Ao UAEC/UFMG – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

Referências

- AASHTO – American Association of State Highway Officials. Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage, T 283-02
- BARATA, M. S.; MOLIN, D. C. C. “Avaliação Preliminar do Resíduo Caulinítico das Indústrias de Beneficiamento de Caulim como Matéria-Prima na Produção de uma Metacaulinita Altamente Reativa”. *Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, Porto Alegre.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ES 313/97. Pavimentação – Concreto Betuminoso – Norma Rodoviária. Rio de Janeiro, 1997.
- _____, ME 138/94. Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 1994.
- JONES, D.R. & LITTLE, D.N., Chemical and Mechanical Processes of Moisture Damage in Hot- Mix Asphalt Pavements. in: *Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements*, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003
- PAIVA, C.E.L & SILVA, C.E.D.B.D, Estudo da Permeabilidade de Misturas Betuminosas. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo, 2003
- REZENDE, Liliam Ribeiro (1999), Técnicas Alternativas para a Construção de Bases de Pavimentos Rodoviários, Brasília – DF, Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.
- SANTANA, H., Considerações sobre os Nebulosos Conceitos e Definições de filler em Misturas Asfálticas, In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, ABPV, Volume I, Mato Grosso, 1995
- SOUZA, J. N., Utilização do Resíduo da Serragem de Rochas Graníticas como Filler no Concreto Asfáltico Usinado a Quente – Campina Grande. 107p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, 2001

Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

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

Basic Guidelines for submitting articles and technical contributions

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

Normas básicas para la admisión de artículos y contribuciones técnicas

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

TSD

Tratamento Superficial Duplo



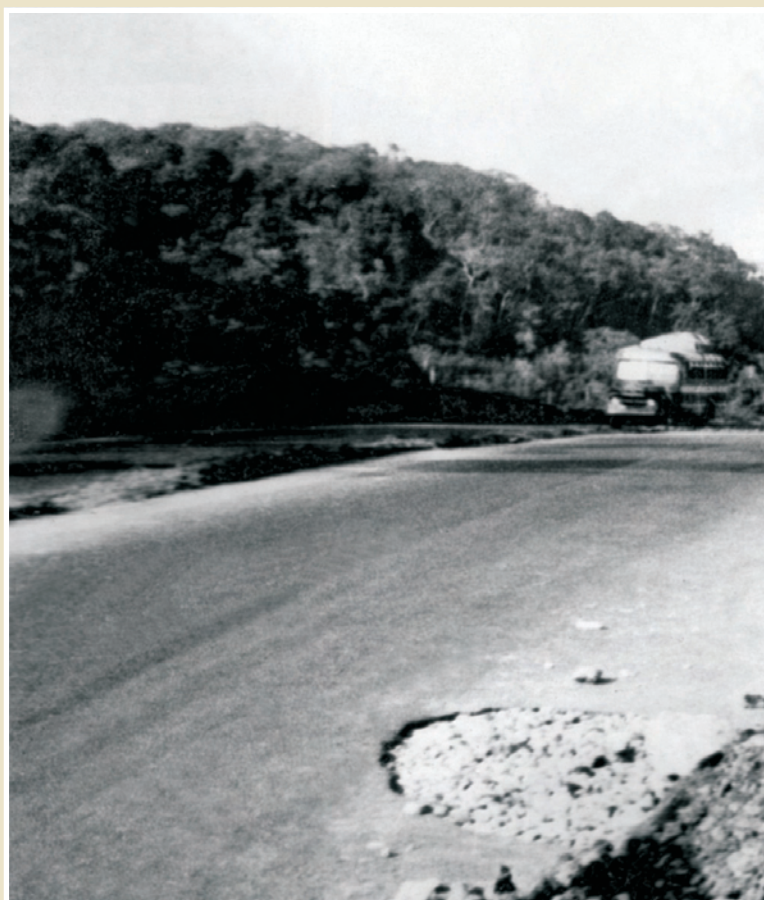
FOTO: GEORGIANA LUBRICO AZEVEDO

Atahualpa Schmitz da Silva Prego

O Tratamento Superficial Duplo (TSD) trata-se de um revestimento betuminoso amplamente utilizado de forma rotineira nas estradas brasileiras até pouco antes do fim de década de 1950.

Nas obras de pavimentação em Brasília, ícone das obras da época, nunca foi utilizado esse tratamento. Em poucas situações, o que se utilizou foi o Tratamento Superficial Simples (TSS), mormente para proteger acostamentos.

No entanto, o surpreendente TSD sobre camadas de solos granulometricamente estabilizados, com ou sem misturas, cobriu todos os 138 quilômetros da BR-14 (Anápolis-Brasília). Isso ficou configurado como o maior investimento em TSD naquela que seria a futura capital do Brasil. A obra foi inaugurada e posta em tráfego em junho de 1958. O tráfego crescente, principalmente na meia faixa sen-



tido Brasília, fez com que a faixa mais movimentada ficasse mais escura que a do sentido contrário. Ao fim de 18 anos, ou seja, em meados de 1976, o governo resolveu recuperar o pavimento com os famosos 5cm de CBUQ.

Na pista de pouso/decolagem do Aeroporto Internacional de Brasília (AIB), e também em suas áreas de movimento, o primeira camada de revestimento betuminoso foi construída utilizando o Tratamento Superficial Triplo (TST), muito “rolado” com equipamentos pesados de pneus.

Eram colocados nesses pneus ar na pressão de 85 ls/pol, e os veículos envolvidos na atividade estavam carregados 20% acima da capacidade nominal. Os dias ensolarados eram propícios para ser reforçada a compactação.

As soluções desse tipo que relato atendiam às seguintes circunstâncias logo após espalhada a brita:



1) simplicidade na mobilização de equipamentos, ou seja, caldeira para aquecimento do betume, queimando madeira do desmatamento; dois caminhões basculantes com tampa traseira de bascula, desenhada para acolher a brita das camadas do tratamento, que por simples manejo mecânico descarregava a brita na quantidade e largura requeridas, deslocando-se de ré sobre a faixa de trabalho; asperção efetivada por caminhão-pipa de transporte, aquecimento e espalhamento do betume.

2) Na impossibilidade do espalhamento mecânico da brita, a operação era executada à mão, usando pás de bico giradas em arco de círculo pelos trabalhadores treinados para tanto. Trabalho completado pelo uso de rastelos de madeira, na correção dos acúmulos de brita, arrastando-as, cobrindo em áreas onde escasseassem.

3) Rolagem com rolo tandem de oito toneladas só para “arrumação” da camada de brita; rolagem prolongada com rolo pesado de pneus autocalibráveis nas horas de muita ensolação.

Durante o governo Jânio Quadros, o DER-SP delegou para o segundo plano as capas betuminosas de CBUQ, por exigirem mais equipamentos com grande inversões de capital e, conseqüentemente, custo maior para o Estado.

Os tratamentos vicejaram, trazendo para o usuário aumento de superfície de estradas pavimentadas. A técnica trazia, por seu baixo custo, aumento da área pavimentada, rapidez na execução, recobrimo com sucesso as camadas de pavimento em solos estabilizados granulometricamente, com ou sem mistura. As deformações sob tráfego eram corrigidas, depressões niveladas com acabamento TSD, tudo feito aguardando, para o futuro, a capa de CBUQ.





ABPv2009

IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço

Comemoração dos 50 Anos da ABPv

— FORTALEZA - CE / BRASIL —

De 7 a 9 de outubro de 2009

TEMAS

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

Envio de Resumo:
16 de março de 2009
Resultado da avaliação dos resumos:
06 de abril de 2009
Envio do artigo completo:
30 de abril de 2009
Aceite final:
15 de maio de 2009

THEMES

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

Accepting abstracts:
March 16, 2009
Publishing the results (abstract):
April 06, 2009
Receiving full paper in DOC format:
April 30, 2009
Publishing the final results:
May 15, 2009

TEMAS

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

Envío de resúmenes:
16 de marzo de 2009
Resultado de la evaluación de los resúmenes:
06 de abril de 2009
Envío del artículo completo em formato DOC:
30 de abril de 2009
Resultado final:
15 de maio de 2009

Local: Hotel Gran Marquise

Av. Beira Mar - Nº 3980 - Fortaleza, CE

ABPv

Há 49 anos promovendo
a técnica
da pavimentação



Maiores informações
www.abpv.org.br

FORTALEZA

Vista do Recife
Pontes Buarque de Macedo
e Maurício de Nassau

