

REVISTA

ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

Ano VI – Nº 23 – Dez de 2011/Jan/Fev de 2012 – www.abpv.org.br – ISSN 1809-1865

**Utilização do MEPG –
Mechanistic-Empirical Pavement
Design Guide na análise estrutural
e funcional de pavimentos flexíveis**

*Diego Arthur Hartmann
Luciano Pivoto Specht
Deividi da Silva Pereira
Rinaldo Pinheiro*

REVISTA
PAVIMENTAÇÃO
5
anos

SÃO LUÍS

18^a RPU 4^m

Reunião de Pavimentação Urbana
18 a 20 de Junho de 2012

18 a 20 de junho de 2012
www.rpu.org.br

**Conheça
o Maranhão**

Palestras confirmadas:

Bases estabilizadas quimicamente - exemplos de aplicação urbana
Eng.º Fernando Augusto Júnior (Imperpav / ABPv)

A Cidade onde queremos viver
Arqto Domingos Brito
(Secr. Mun. de Urbanismo – São Luís)

Drenagem de ruas: princípios e seções típicas
Cel. Eng.º Francisco José d'Almeida Diogo
(IME / ABPv)

Sustentabilidade em obras de pavimentação asfáltica
Eng.ª Leni Figueiredo Mathias Leite
(CENPES / Petrobras)

Pavimentos permeáveis de peças premoldadas de concreto.
Eng.º Cláudio Oliveira - (ABCP)

Pavimentação Sustentável: reaproveitamento do resíduo da construção civil e de material fresado com espuma de asfalto.
Eng.º Valmir Bonfim (Grupo ANE)

Avenida Quarto Centenário
Eng.º Pedro Fernandes
(Secr. Estadual das Cidades - MA)

Painéis:

Soluções de pavimentos urbanos para baixo volume de tráfego e cidades pequenas
Eng.º Joelson Hora da Costa
(Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano Sergipe)
Eng.º Walter Canales Santana (UEMA)

Materiais alternativos para pavimentação urbana
Eng.ª Lilian Ribeiro Rezende (UFG),
Major Eng.º Antonio Carlos Rodrigues Guimarães (IME),
Eng.ª Rosângela dos Santos Motta (USP)

Técnicas de Manutenção de Pavimentos urbanos
Eng.º Cláudio Oliveira – Intertravados (ABCP)
Eng.º José V. Abreu – Concreto (Holcim)
Eng.º Luis Alvim - Pav. Asfálticos (Pavetec)

Mini cursos:
PAVIMENTOS DE CONCRETO
DRENAGEM URBANA

Realização:



Apoio/Expositor: HUESKER
Ideen. Ingeniure. Innovationen.



Patrocinador Prata:



Patrocinador Bronze:



Organização:



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano VI – Nº 23 – Dez de 2011/Jan/Fev de 2012

ISSN 1809-1865



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
jpierrems@abpv.org.br

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

Presidente: Eng^o JOSÉ PEDRO DOS SANTOS VIEIRA COSTA

Vice-Presidente: Eng^o EDUARDO ALBERTO RICCI

Diretor Administrativo: Eng^o FERNANDO AUGUSTO JÚNIOR

Diretor Técnico: Eng^a MICHÉLE DAL TOÉ CASAGRANDE

Diretor Financeiro: Arq^{ta} GEORGINA LIBÓRIO AZEVEDO

Diretor de Divulgação: Eng^o CRISTIANO DA COSTA MOREIRA

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng^o Alfredo Monteiro de Castro Neto; Eng^o Antônio Fortunato Marcon; 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^a Consuelo Alves da Frota; Eng^o Cristiano da Costa Moreira; Eng^o Djalma Rocha A. M. Pereira; Eng^o Douglas Fadul Villibor; Eng^o Dulcevir Guerreiro Vilar de Melo; Eng^o Edinaldo Afonso Marques de Mélo; Eng^o Eduardo Alberto Ricci; Eng^o Fernando Augusto Jr.; 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 Vicente Falabella Fabrício; Eng^o João Virgílio Merighi; Eng^o Jorge Augusto Pereira Ceratti; Eng^o José Pedro dos Santos Vieira Costa; Eng^o José Leomar Fernandes Junior; Eng^o José Tadeu Balbo; Eng^o José Vidal Nardi; 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 Márcio Muniz de Farias; Eng^o Marcílio Augusto Neves; Eng^a Maria da Conceição M. Azevedo; Eng^a Michéle Dal Toé Casagrande; Eng^o Nilton de Souza Campelo; Eng^o Paulo Romeu Assunção Gontijo; Eng^a Prepredigna D. E. Almeida da Silva; Eng^a Rita Moura Fortes; Eng^o Silvio Rodrigues Filho; Eng^o Saul Birman; Eng^o Walter Canales Sant'ana; Eng^o Washington Pérez Nuñez.

Tradução: Mariana Ricci

Editoração: MURO Produções Gráficas

Revisão: Ellis Pinheiro

Impressão: Gráfica e Editora Cruzado Ltda

Periodicidade: Trimestral – Tiragem: 5.000 exemplares



Nossa capa:

O entardecer na Rodovia RS 235,
Região das Hortênsias,
Gramado – Porto Alegre, RS

Foto: Georgina Libório Azevedo

Sumário

- 2 Editorial
- 3 Revista PAVIMENTAÇÃO
Um sonho realizado
- 8 São Luís do Maranhão - 400 anos de cultura e história
- 9 18ª RPU acontecerá em São Luís
- 12 Seção de notas
- ESPAÇO JURÍDICO**
- 15 O Processo de Licitação de obras públicas:
novidades e atualidades
Victor Athayde
- ARTIGOS TÉCNICOS**
- 17 Utilização do MEPG – Mechanistic-Empirical Pavement
Design Guide na análise estrutural e funcional
de pavimentos flexíveis
*Diego Arthur Hartmann, Luciano Pivoto Specht, Deividi da Silva
Pereira, Rinaldo Pinheiro*
- 27 Reutilização de material fresado em acostamentos
como agente regularizador e nivelador
Marcelo M. Pinto, Tatiana C. Cervo, Deividi S. Pereira
- 36 Cenário atual e quesitos para implantação de
laboratórios em concessionárias
Lenice Mirian da Silva, Delma de Mattos Vidal
- 46 Desempenho e manutenção em pavimentos
com materiais não convencionais
Marlova Grazziotin Johnston, Jorge Augusto Pereira Ceratti

Editorial

Edição de número 23 da Revista Pavimentação encerra o calendário editorial de 2011 e dá início aos trabalhos para 2012. Este, que por sua vez já se vislumbra um ano movimentado para a engenharia em todo o Brasil, principalmente no que diz respeito às obras de infraestrutura que visam a inaugurar uma nova etapa no desenvolvimento do País.

É nesta perspectiva louvável que o Conselho Editorial da Revista parabeniza os engenheiros e arquitetos pelo seu dia, comemorado em 11 de dezembro. São estes profissionais que atuam como maestros nas pequenas e grandes obras, que fomentam a correta aplicação da boa técnica primando, irresolutos, pela qualidade e segurança dos empreendimentos. Por isso, é preciso que estes profissionais sejam cada vez mais valorizados e, ao mesmo tempo, cobrados pelas responsabilidades de que estão investidos. Que cada vez mais, a engenharia e a arquitetura do Brasil possam engrandecer-se com abnegados profissionais.

Nesta edição o Comitê Técnico Científico, que é tema de matéria especial sobre os cinco anos da Revista PAVIMENTAÇÃO, aprovou 4 artigos inéditos que ora são veiculados.

O primeiro deles aborda a utilização do Mechanistic Empirical Pavement Design Guide na análise estrutural e funcional de pavimentos flexíveis, de autoria de Diego Arthur Hartmann, da COPPE/UFRJ, Luciano Pivoto Specht, Deividi da Silva Pereira e Rinaldo Pinheiros, todos da Universidade Federal de Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

Em seguida temos um estudo sobre a reutilização de material fresado em acostamentos como agente regularizador e nivelador. Trata-se de um trabalho produzido por três professores da Universidade Federal de Santa Maria: Marcelo M. Pinto, Tatiana C. Cervo e Deivid S. Pereira.

O terceiro artigo versa sobre o cenário atual e os quesitos para implantação de laboratório em concessionárias, das autoras Lenice da Silva, engenheira civil do Grupo CCR Nova Dutra, e Delma de Mattos Vidal, do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA.

O quarto e último artigo aponta para o desempenho e manutenção em pavimentos com materiais não convencionais. Seus autores são Marlova Grazziotin Johnson, engenheira do Centro de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagens do Rio Grande do Sul, e Jorge Augusto Pereira Ceratti, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ainda nesta edição uma breve abordagem sobre a cidade de São Luiz do Maranhão, sede da 18ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana. A capital maranhense comemorará em 2012 o seu quarto centenário de fundação, com muita história e beleza, embora ainda tenha grandes compromissos sociais a serem sanados.

Conselho Editorial

Revista PAVIMENTAÇÃO

Um sonho realizado

Compromisso com a qualidade científica



Arqtª Georgina
Libório Azevedo



Mariana
Ricci



Jean Pierre
Machado Santiago

Como editora da Revista PAVIMENTAÇÃO, gostaria de tecer alguns comentários sobre a produção científica e ainda fazer alguns agradecimentos. O questionamento sobre a produção científica é uma constante nos meios acadêmicos brasileiros. Participamos dessa discussão a respeito de suas formas de desenvolvimento, quando do aniversário de cinco anos desta revista.



Engº Alfredo Monteiro
de Castro Neto



Engº Antônio
Fortunato Marcon



Engº Armando
Morilha Junior



Engº Atahualpa
Schmitz da S. Prego



Engº Carlos Yukio
Suzuki



Engº Cássio Eduardo
Lima de Paiva



Engª Consuelo Alves
da Frota



Engº Cristiano da
Costa Moreira



Engº Djalma Rocha
A. M. Pereira



Engº Douglas
Fadul Villibor

Nos debates, das mais variadas áreas do conhecimento, um ponto surge de forma pertinente: a questão da quantidade de produção científica e sua relação com a qualidade. Existe a preocupação de que atualmente se privilegia a quantidade em detrimento da qualidade, cuja consequência imediata recai sobre a própria razão de ser da ciência, uma vez que ela perde a direção e velocidade desejadas. Com isso, a sociedade é diretamente prejudicada, pois os seus pesquisadores deixam de auferir os ganhos esperados da evolução científica. Infelizmente essa é uma situação que se observa no Brasil e no mundo.

Comenta-se, ainda, a grande produção de *papers*, apelidada por muitos pesquisadores como *fast science*. A ciência tem tempo e velocidade próprios que não podem ser modificados aleatoriamente em função de um momento em que o consumo imediato do conhecimento se torna economicamente viável.

Atenta a essas questões e outras tão pertinentes quanto, para forjar a qualidade do que se veicula, a Revista PAVIMENTAÇÃO possui um rigoroso processo para a publicação dos artigos oriundos da comunidade científica brasileira e do exterior, que contém



Engº Dultevir Guerreiro
Vilar de Melo



Engº Edinaldo Afonso
Marques de Mélo



Engº Eduardo
Alberto Ricci



Engº Fernando
Augusto Jr.



Engº Genésio
Almeida da Silva



*Engº Glicério
Trichês*



*Engº Heitor Roberto
Giampaglia*



*Engº Jacques
de Medina*



*Engº João Menescal
Fabrício*



*Engº João Vicente
Falabella Fabrício*

fases de averiguação qualitativa dos trabalhos para que se possa gerar fator de impacto na revista.

Todos os artigos enviados à Coordenação são direcionados ao Comitê Técnico-Científico (CTC), um órgão auxiliar com independência técnica. O CTC possui atualmente 46 membros, na sua maioria doutores, PhDs e mestres.

A adaptação dos trabalhos é outro item imprescindível nesse processo. Nossas normas de publicação são revistas periodicamente para que possa haver a necessária adequação da produção à evolução tecnológica dos meios de comunicação, e

também são reiteradamente publicadas nas últimas páginas da Revista Pavimentação em dois idiomas, e estão também disponíveis no site da ABPv em três idiomas: português, inglês e espanhol, permitindo o recebimento de artigos internacionais.

Desde o seu primeiro número a Revista PAVIMENTAÇÃO publica artigos cuja avaliação é de competência do Comitê Técnico-Científico, ensejando a qualidade que deve ser premente na pesquisa, em todos os seus níveis.

Mesmo as Notas Técnicas, que não se tratam de artigos, mas relatos de casos concretos, ensaios e



*Engº João Virgílio
Merighi*



*Engº Jorge Augusto
Pereira Ceratti*



*Engº José Pedro dos
Santos Vieira Costa*



*Engº José Leomar
Fernandes Junior*



*Engº José Tadeu
Balbo*



*Engº José Vidal
Nardi*



*Engª Laura Mª Goretti
da Motta*



*Engª Leni F. M.
Leite*



*Engº Leto
Momm*



*Engª Liedi Legi
B. Bernucci*

experiências dos profissionais da área, são levadas ao crivo do CTC.

Esses e tantos outros procedimentos conferiram à Revista PAVIMENTAÇÃO o conceito B3 – Engenharias I – pela Qualis Capes.

Nossa história começa em 1954, quando os engenheiros – que fundariam a ABPv em 1959, junto com o engenheiro Pontes Correa – já idealizavam uma revista para o setor de engenharia, cujo nome seria Pavimentação, essa publicação se dedicaria aos problemas de projeto, fiscalização, controle, pesquisa e construção onde também seriam considerados

os problemas de produção e venda de materiais e equipamentos aplicados na pavimentação. A revista não ficaria alheia aos problemas organizacionais e administrativos dos órgãos competentes da área. Haveria espaço para artigos originais e transcrições de técnicos nacionais e internacionais.

Portanto, a Revista PAVIMENTAÇÃO, em seus 5 anos, traduz a intenção de seus idealizadores, trazendo para o plano concreto tudo o que fora vislumbrado há mais de 50 anos, ou seja, nosso periódico abrange a todos os envolvidos na cadeia produtiva da engenharia de pavimentos.



*Engª Luciana
Nogueira Dantas*



*Engº Luiz Miguel
de Miranda*



*Engº Marcelo Roberto
Rangel Pestana*



*Engº Márcio Muniz
de Farias*



*Engº Márcio
Augusto Neves*



Engª Maria da Conceição M. Azevedo



Engª Michéle Dal Toé Casagrande



Engº Nilton de Souza Campelo



Engº Paulo Romeu Assunção Gontijo



Engª Prepredigna D. E. Almeida da Silva

Cabe-me ainda o dever de agradecer, em nome da Diretoria da ABPv, aos nossos ilustres colaboradores. Saliento a equipe de redação composta pelo jornalista Jean Pierre Machado Santiago e a tradutora Mariana Ricci. No apoio, destaco a participação de Gloria Maria Reis Vaz Oliveira, Elizabeth Vilar Pascoal e Elaine Ávila de Almeida.

A todos que colaboraram para o sucesso da revista, nessa oportunidade, a ABPv presta seus agradecimentos, particularmente, aos atuais membros do Comitê Técnico-Científico que ilustram essa matéria incluindo Arqta Gilda Collet Bruna, bem como os ex-

membros que colaboraram sobremaneira: Alexandre Zupolini Neto, Alvaír Pinto Barbosa, Chequer Jabour Chequer, Ernesto Simões Preussler, Francisco Samuel Pithon Barreto, Jorge Henrique Ribeiro, Jorge Paulo Moro, José Franklin Moreira, Laiz de Souza, Mário Henrique Furtado Andrade, Otacílio Alves de França Junior, Paulo Roberto Belisário S. de Souza, Wanda Trigo Loureiro e aqueles que nos deixaram saudade eterna: Armando Martins Pereira, Humberto Santana, Jorge Eduardo Salathé e Salomão Pinto.

A todos, uma vez mais e sempre, nosso muito obrigado.



Engª Rita Moura Fortes



Engº Silvio Rodrigues Filho



Engº Saul Birman



Engº Walter Canales Sant'ana



Engº Washington Pérez Nuñez

São Luís do Maranhão

400 anos de cultura e história

A Reunião de Pavimentação Urbana – RPU – ganhará conotação especial neste ano em sua 18ª edição. A cidade sede da reunião, São Luís, no Maranhão completará 400 anos de fundação. A atmosfera de comemoração somada ao importante evento de pavimentação da ABPv será um momento oportuno para quem deseja visitar ou revisitar a cidade.

Em termos históricos, a fundação oficial da cidade data de 1612, quando os franceses passaram a ocupar a região e instalaram o Forte de São Luís, homenagem ao Rei-menino Luís XIII, vindo daí a denominação da cidade.

Sua história urbana possui características da colonização portuguesa, tendo em seu núcleo fundacional reflexos urbanísticos planejados no século XVII, pelo Engenheiro-Mor Frias de Mesquita. Aos seus cuidados ficou o traçado quadrilátero ortogonal, de influência espanhola, que se adequou à declividade da área. Este traçado auxiliou na expansão do núcleo central, que continua até hoje. Esta foi uma das características que conferiu à cidade o título de Patrimônio Mundial reconhecido pela UNESCO, em 1997.

O patrimônio cultural ainda ostenta a riqueza de poemas e romances dos seus grandes escritores, tais como Aluísio de Azevedo, Gonçalves Dias, Graça Aranha, dentre outros, o que tornou a cidade conhecida como Atenas Maranhense. Além da literatura, os

ritmos cadenciados transbordam alegria e sensualidade, através do tambor-de-crioula, do reggae e do bumba-meu-boi.

Outro bem patrimonial histórico são os casarões e fachadas azulejares, construções do século XIX, que trouxeram uma peculiaridade especial a São Luís, capital brasileira com maior número de casarões em estilo tradicional português e maior conjunto arquitetônico homogêneo da América Latina.

Atenas Maranhense, Capital do Reggae, Ilha do Amor, Capital Brasileira da Cultura e Cidade Patrimônio Mundial da Humanidade, revelam a peculiaridade desta cidade única, chamada São Luís.

A cidade hoje possui quase um milhão de habitantes, sendo a 16ª mais populosa do Brasil, ocupa uma área de 828,01 Km² e está localizada no Nordeste do Brasil, a 24 metros acima do nível do mar. São Luís é a única cidade brasileira fundada pelos franceses, e é uma das três capitais brasileiras localizadas em ilhas, as outras são Florianópolis e Vitória.

De acordo com dados do IBGE possui o 12º maior parque industrial entre as 27 capitais do Brasil. É considerada também, em pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), uma das melhores cidades para se trabalhar no Brasil. São Luís é a quarta maior cidade da Região Nordeste e a 13ª maior capital brasileira.



São Luís

400

anos

1612 • 2012

18ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana

Entre os dias 18 e 20 de junho, a RPU reunirá na capital maranhense profissionais, acadêmicos e empresários do setor de engenharia de todo o País.

O evento tem o apoio do Sindicato das Indústrias da Construção Pesada do Maranhão – SINCOPEM, Federação das Indústrias do Estado do Maranhão – FIEMA, Universidade Estadual do Maranhão e do Governo do Estado.

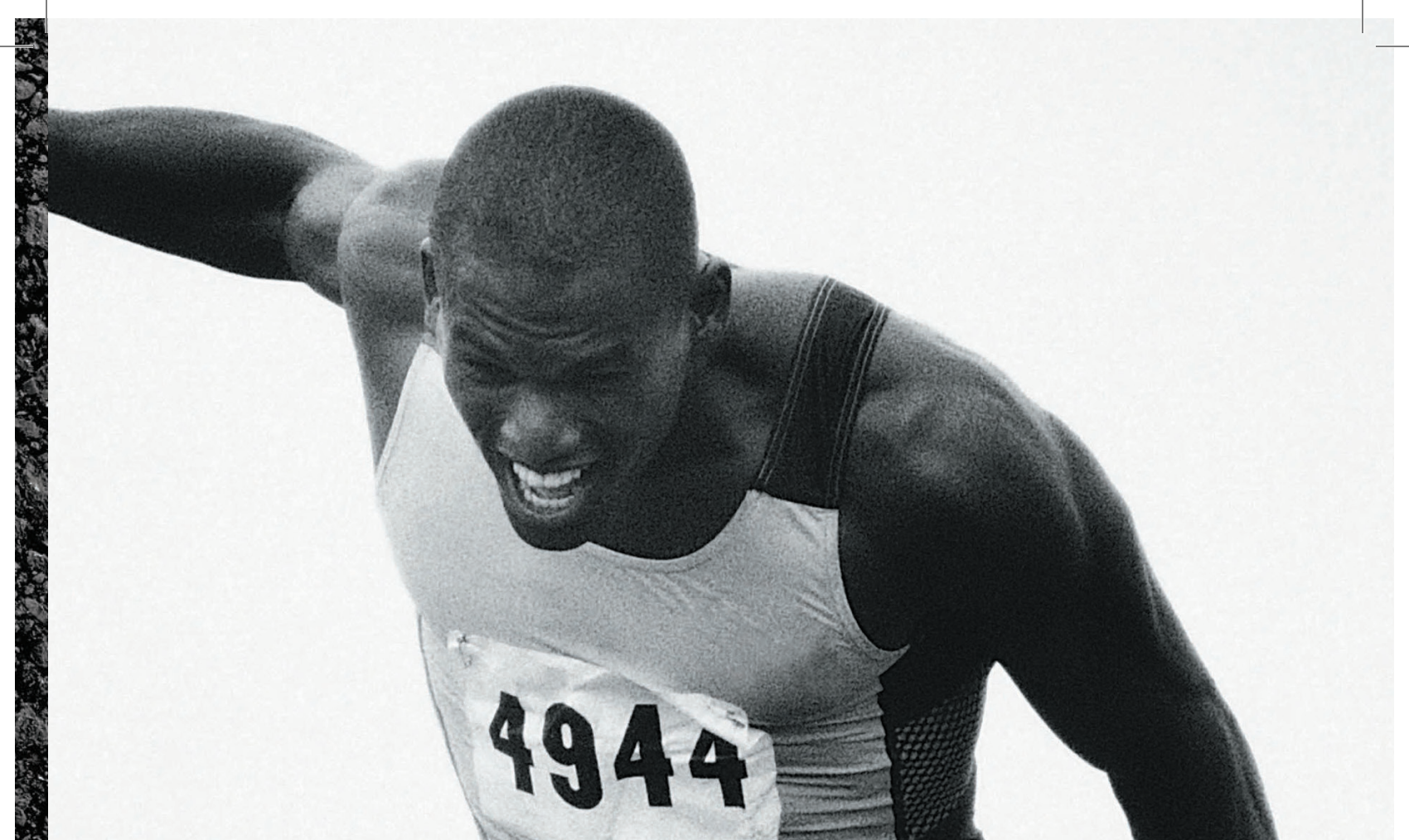
A programação técnica dos trabalhos científicos conta com temas sobre materiais para pavimentação, estudos e projetos, manutenção, restauração e gerência de vias, técnicas de construção e controle de qualidade de pavimentos, segurança e meio ambiente em vias, abertura e fechamento de valas de redes subterrâneas, SMS (segurança, meio ambiente e saúde ocupacional) e casos de pavimentação.

Todas as informações sobre o evento e datas para o envio de trabalhos estão disponíveis nos sites www.abpv.org.br e www.rpu.org.br.

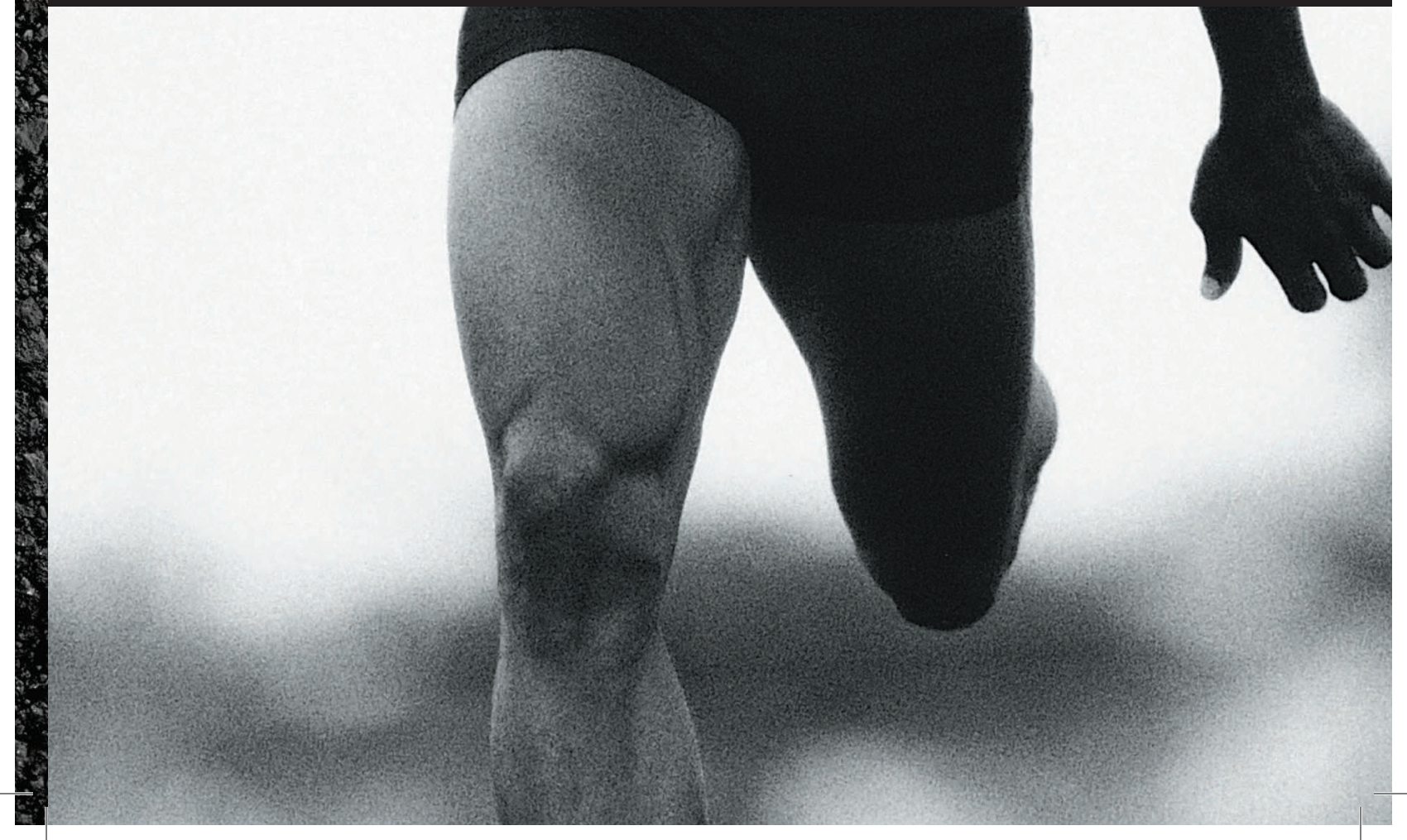
QUANDO UM ATLETA
FALAR QUE PASSOU
POR UMA LONGA
ESTRADA ATÉ SUBIR
AO PÓDIO, ACREDITE.

Ministério do
Esporte

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA



A conquista do direito de sediar a Copa do Mundo FIFA de 2014 e os Jogos Olímpicos de 2016 trouxe mudanças positivas para nosso país. Os investimentos em transporte público, portos, aeroportos e infraestrutura geram emprego e renda e abrem oportunidades para muitos setores da economia, em especial para a engenharia nacional. Acesse esporte.gov.br e saiba tudo o que vem sendo feito no campo esportivo para o Brasil continuar criando vitoriosos.



Seção de notas da Revista

PAVIMENTAÇÃO

mariana@abpv.org.br

Brazil Road Expo 2012 – 6º Coninfra

O ponto de encontro internacional de tecnologia em pavimentação e infra estrutura viária e rodoviária será realizado este ano entre os dias 2 e 4 de abril no Expo Center Norte em São Paulo. Informações no sítio www.brazilroadexpo.com.br.



Ensaio de caracterização das Misturas Betuminosas

O evento, que acontecerá em seis de março em Madri, será fundamentalmente prático e trará reflexões sobre as mudanças ocorridas no controle das misturas betuminosas. Não visa abordar todos os aspectos e implicações oriundas das mudanças nas normas européias, nem explicar as bases e fundamentos dos ensaios resultantes de trabalhos técnicos elaborados por empresas e universidades. O público alvo são os administradores, os fabricantes de misturas betuminosas, os construtores, os consultores e os laboratórios de ensaios e materiais. www.asefma.es



Salão da Construção Feicon- Batimat

A Feicon-Batimat realizará sua 20ª edição, de 27 a 31 de Março, em São Paulo. Credenciamento através do sítio www.feicon.com.br.



TRA 2012 - 4th European Transport Research Arena

A Arena Européia de Pesquisa em Transporte 2012 (TRA) a ser realizada em Atenas, Grécia, de 23 a 26 de abril, irá possibilitar a troca de conhecimento dentre os que participam ativamente no setor de transportes, assim como promoverá a disseminação de pesquisas, melhores práticas e técnicas de aplicação que tiveram sucesso em alguns lugares do mundo.

O evento terá como foco os meios de transporte de superfície, com exceção da navegação marítima, e visa proporcionar aos especialistas de diversas áreas uma oportunidade de debates criativos sobre o futuro dos transportes em um local onde filó-

sofos gregos debateram questões importantes há 25 séculos. Mais informações no sítio: www.traconference.eu.



Encontro Mundial sobre Asfalto World of Asphalt 2012

A exposição e conferência serão realizadas em Charlotte, na Carolina do Norte – EU, nos dias 13, 14 e 15 de março. O evento traz uma programação educativa focada na indústria com exposição de inovações e tecnologias mais recentes de equipamentos, produtos e serviços relacionados à indústria do asfalto.



Traffic 2012

São Paulo sediará a VI FERIA Internacional de Tecnologia Viária e Equipamentos para Rodovias. O evento acontecerá entre os dias 8 e 10 de maio.

Simultaneamente, acontecerá as feiras EXPOSEC – XI Internacional Security Fair e Magnum Show – VII Feira Internacional de Armas, Municões, Cutelaria e Acessórios.

Mais informações e inscrições no site www.feirattraffic.com.br.

Curiosidade

Relíquias preservadas no asfalto

Do The New York Times

Quem imaginaria encontrar alguns dos mais extraordinários fósseis do mundo entre o County Museum of Art e a sede nacional do Screen Actors Guild?

Os fósseis nos depósitos de asfalto do La Brea Tar Pits foram descobertos nas minas de asfalto do Major Henry Hancock em 1870 quando Los Angeles ainda era apenas um vilarejo. Desde o início do século XX, mais de um milhão de ossos foram retirados dos poços durante escavações que, quando remontados, forneceram uma extraordinária cápsula do tempo de criaturas que percorreram o sul do estado da Califórnia entre 10.000 e 40.000 anos atrás.

O interesse nestes animais hoje, entretanto, vai além da curiosidade na pré-história. Muitas das espécies encontradas nos poços desapareceram com o aquecimento do planeta no final da última era glacial. Não se sabe completamente as razões para o desaparecimento, mas estas podem ser particularmente pertinentes para o entendimento dos efeitos da mudança climática nos animais atualmente.

O grande número de fósseis nos poços que ainda borbulham por todo parque existe devido ao alcatrão. O asfalto inoportuno que prendeu e sepultou os animais se mostrou um ótimo conservante. Milhares de crânios em perfeito estado e esqueletos quase completos representam mais de 200 espécies de vertebrados que foram recuperados da armadilha.

Dentre as espécies encontradas estão muitos animais gigantes como os mamutes, mastodontes e ursos.

A maior ponte reciclada do mundo sobre rio escocês

Com 30 metros de comprimento e feita inteiramente de resíduos plásticos, a estrutura é a ponte reciclada mais longa e robusta do mundo. Projetada por engenheiros da Rutgers University, a ponte utiliza um composto extra forte de material plástico a partir de garrafas pet e resíduos plásticos domésticos. É capaz de suportar pedestres, carros de passeio e veículos de carga pesada.

A estrutura é uma das cinco existentes no mundo, as outras são menores e estão localizadas nos Estados Unidos, e tem capacidade para até 44 toneladas. De acordo com a Vertech Composites, empresa Britânica responsável pelo projeto, a ponte é um protótipo com potencial para preencher os requisitos futuros de estradas e pontes ecologicamente corretas.

William Mainwaring, presidente da Vertech Composite, destaca que a reutilização de plásticos obsoletos, que seriam queimados ou aterrados, na construção da ponte trouxe um benefício primordial ao meio ambiente. Ele acrescenta que o composto de plástico reciclado fornece uma alternativa mais sustentável aos materiais já existentes para construção de pontes e não é propenso à degradação como o aço, as vigas e o concreto.

Segundo o professor Bob Lark, chefe da Escola de Engenharia da Cardiff University, "a ponte em Peeblesshire foi construída em propriedade particular para fugir das leis de segurança (que ainda não incluem compostos plásticos) do Departamento de Transportes do Reino Unido". E prossegue: "com o término da vida útil, o plástico utilizado na ponte poderá ser mais uma vez reciclado e usado para outros fins, o que significa que nunca terá

que ser aterrado. Mesmo assim, ainda temos muitos anos pela frente até circularmos em estradas e pontes de plástico", afirmou.

Livros – Lançamentos

A Editora Oficina de Textos acaba de lançar Manual de Dosagem de Concreto Asfáltico e Manual de Microrevestimento Asfáltico a Frio. Ambos editados em parceria com o Instituto Pavimentar. As publicações são dos autores Jorge Augusto Pereira Ceratti e Rafael Marçal Martins de Reis, e destinam-se a qualificação de profissionais do setor.



O transporte rodoviário em pavimentos asfálticos é dominante no Brasil, e para assegurar qualidade no desempenho, durabilidade e segurança das estradas, necessitamos de conhecimentos sólidos no laboratório e no campo. O Manual de Dosagem de Concreto Asfáltico estabelece normas e critérios para a dosagem do concreto asfáltico em laboratório, que auxilia os trabalhos construtivos em campo.

Já o segundo manual aborda a técnica de microrevestimento asfáltico a frio (MRAF), que é aplicada na conservação preventiva e corretiva de rodovias e vias públicas com pavimentação asfáltica. Tal técnica apresenta bons resultados de desempenho e crescente utilização, desde a década de 1990, quando foi introduzida no Brasil.

O incrível sistema de defesa do Japão

O Japão desenvolveu um enorme túnel de descarga para evitar enchentes numa região que cresce rapidamente. O projeto de engenharia se parece com um filme de ficção científica. A região perto de Tóquio que antes dava lugar as plantações de arroz que serviam para drenar a água pluvial e que foram substituídas por estradas, corre um sério risco com as enchentes.

Para evitar a enchente provocada pelo transbordamento de

rios na superfície, foram construídos uma série de tanques ligados a um túnel que deslocam a água de um lugar para outro. Com extensão de aproximadamente 6 km, o túnel está ligado a cinco tanques gigantescos dispostos em andares com 30 m de diâmetro e 70 m de profundidade cada um. O sistema é movido por quatro bombas enormes acionadas por turbinas a gás, essencialmente turbinas de avião modificadas, que quando ligadas podem drenar uma quantidade de água

equivalente a de uma piscina de 25 m, em um segundo. A estrutura em forma de caverna ajuda a estabilizar o fluxo de água entre os tanques e bombeia a água para um dos rios na superfície. Uma das funções da estrutura é armazenar água no subterrâneo. O sistema de drenagem já foi usado mais de cinquenta vezes nos últimos dez anos. Uma solução complexa para um problema da antiguidade. Acesse www.cnn.com para visualizar.

Cursos da ABPv



DRENAGEM RODOVIÁRIA

06 a 09 de dezembro de 2011

Professor: Cel. Engº Francisco José d'Almeida Diogo, M.Sc., Profº. IME

SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

13 a 15 de dezembro de 2011

Professor: Engº José Leomar Fernandes Júnior, D.Sc., Profº. EESC/USP



ERRATA: Na edição de nº 22, página 15, em Agradecimentos, na foto ilustrativa estão presentes as seguintes pessoas, na ordem: José Pedro Costa, Adriano Goularte, Jorge Augusto Pereira Ceratti, Márcia R. Dias e Fernando Druck.



O Processo de Licitação de obras públicas: novidades e atualidades



Victor Athayde*

1. Introdução

A pavimentação é uma atividade intimamente ligada às obras da Administração Pública.

E como se sabe, para hipótese de se contratar com o objetivo de se terceirizar a construção de obras públicas, a Administração deve realizar competição entre os interessados, onde se buscará alcançar a condição mais vantajosa para a ela (seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista técnico). A esse procedimento conhecemos como Licitação, que é regulada pela Lei Federal 8.666/93.

Com efeito, a construção de vias; rodovias; pontes e afins é atividade essencialmente pública, por isso, convém trazer ao leitor as alterações legais que ocorreram nos últimos anos, além de uma contextualização sobre fatos da atualidade em relação à Lei 8.666/93.

2. O privilégio às Micro e Pequenas Empresas e Empresas Nacionais.

Primeiramente, de 2006 até o início deste ano, destaco algumas alterações na Lei de Licitações.

No mês de julho de 2011, foi publicada a Lei nº 12.440, de 2011, que fez exigível, a partir de janeiro de 2012 a chamada Certidão Negativa de Débitos Trabalhistas-CNDT.

Para a contratação com o Poder Público, sempre foram exigíveis diversas Certidões Negativas de Débitos nas três esferas de competência. A inexistência de débito com o Poder Público é condição sine qua

non para se habilitar em participar do procedimento competitivo.

Nessa esteira, foi inserido no mundo jurídico a CNDT, que atesta se o licitante tem, ou não, cumprido sentenças em que tenha sido condenada na Justiça do Trabalho.

Não se trata de observar se há demandas ajuizadas contra o empregador mas, tão só, se saber se cumpre o que foi determinado judicialmente, uma vez esgotados os recursos respectivos.

Assim, a assessoria jurídica adequada se tornou ainda mais valiosa para empresas que contratam com o Poder Público.

Outras alterações que aconteceram relativamente há pouco tempo, fizeram mitigação ao princípio da igualdade de condições na participação em licitações (art. 37, XXI da CF/88).

A exemplo, as trazidas pelo Estatuto da Micro e Pequenas Empresas (Lei Complementar no 123/2006), que: (i) permitem essas espécies de Pessoas Jurídicas de terem benefícios, tanto na fase de habilitação (pois lhes é permitida a apresentação de regularidade fiscal somente na assinatura do Contrato – o que, em regra, para as demais empresas, é exigível tão só para a participação no certame); (ii) dá o benefício de preferências às MEs e EPPs no caso de empate (sendo esse considerado, inclusive, quando a sua proposta for de até 10% superior à melhor classificado. Nesse caso, as MEs e EPPs poderão formular nova proposta).

Na mesma esteira, a Lei 12.349/2010 veio privilegiar o princípio promoção do desenvolvimento nacional ao permitir condições mais vantajosas aos produtos manufaturados e serviços brasileiros que atendam a normas técnicas brasileiras e, para isso, incluiu os §§ 5º ao 12 no art. 3º da Lei 8.666/93.

A lei supra, fala em possibilidade de se estabelecer no edital licitatório “margem de preferência” para a produção e serviços nacionais, as quais se basearão em estudos técnico revistos a cada cinco anos, no máximo.

Chama a atenção, ainda, a alteração dada pela lei aos produtos “resultantes de desenvolvimento e inovação

**Advogado militante na Área de Direito Ambiental e Administrativo, Sócio-Diretor do escritório David & Athayde Advogados (www.da.adv.br), Professor de Pós-Graduação em Perícia Ambiental Judicial, ex-Assessor Jurídico do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo - IEMA, idealizador do Blog www.direitodomeioambiente.blogspot.com/ email: victor@da.adv.br*

tecnológica realizados no País”, que possuem “margem de preferência adicional” aos demais.

Esse breve relato das normas acima não é exaustivo. Tanto a LC no. 123/2006, quanto a Lei Ordinária no. 12.349/2010 alteraram a Lei 8.666/93 em outros pontos, que poderemos citar em outra oportunidade, mas, de qualquer forma, o que se quer demonstrar é que as alterações legislativas vão ao encontro de uma tendência desenvolvimentista da indústria nacional, ainda que tenha ocorrido de forma tardia e tímida.

3. A dispensa de licitação e os estados de emergência e calamidade pública.

Um ponto que já há muito está em vigor, e deve ser destacado, é o que trata das contratações públicas que se fazem necessárias por ocasião de desastres naturais.

Como se sabe, o fim do ano de 2011 e o início de 2012 tiveram um índice pluviométrico considerável na região Sudeste do Brasil, por exemplo.

Rodovias, diques, pontes, enfim, um grande aparato de equipamentos públicos foi perdido como decorrência das chuvas e suas consequências desastrosas.

Diversas famílias passaram a correr risco de morte, serviços e patrimônio público ficaram sob risco.

Só no Estado de Minas Gerais, até o dia 13 de janeiro de 2012, haviam 153 municípios com Estado de Emergência decretado pelos respectivos Municípios.

Nesse caso, a mão do Estado se faz urgente e, para que proceda de forma adequada, a licitação pode ser um atraso para que se alcance o interesse público, que é a preservação das vidas e do patrimônio como um todo.

A Lei 8.666/93 prevê e permite que o Administrador suprima o procedimento licitatório para o atendimento à situações calamitosas e emergências, assim:

Art. 24. É dispensável a licitação:

[...]

IV - nos casos de emergência ou de calamidade pública, quando caracterizada urgência de atendimento de situação que possa ocasionar prejuízo ou comprometer a segurança de pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens, públicos ou particulares, e somente para os bens necessários ao atendimento da situação emergencial ou calamitosa e para as parcelas de obras e serviços que possam ser concluídas no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias consecutivos e ininterruptos, contados da ocorrência da emergência ou calamidade, vedada a prorrogação dos respectivos contratos;

Ocorre que não toda é qualquer emergência ou calamidade que permite a dispensa de licitação para a contratação pública com o fornecedor privado.

Há certas divergências doutrinárias acerca da conceitualização do que é uma situação emergencial ou calamitosa, por isso, nada mais seguro que expor o entendimento do Ministro Carlos Átila [Plenário nº 347/94], que fez parte do Tribunal de Contas da União, que fala por si só:

“Calamidade pública. Emergência. Dispensa de licitação. Lei nº 8.666/93, art. 24, IV. Pressupostos para aplicação. 1 – que a situação adversa, dada como de emergência ou de calamidade pública, não se tenha originado, total ou parcialmente, da falta de planejamento, da desídia administrativa ou da má gestão dos recursos disponíveis, ou seja, que ela não possa, em alguma medida, ser atribuída a culpa ou dolo do agente público que tinha o dever de agir para prevenir a ocorrência de tal situação; 2 – que exista urgência concreta e efetiva do atendimento a situação decorrente do estado emergencial ou calamitoso, visando afastar risco de danos a bens ou à saúde ou vida de pessoas; 3 – que o risco, além de concreto e efetivamente provável, se mostre iminente e especialmente gravoso; 4 – que a imediata efetivação, por meio de contratação com terceiro, de determinadas obras, serviços ou compras, segundo as especificações e quantitativos tecnicamente apurados, seja o meio adequado, efetivo e eficiente de afastar o risco iminente detectado.”

Isso que dizer que, se por um lado se suprime o processo licitatório, será necessário um procedimento específico para motivar a dispensa, contendo todos os elementos e requisitos elencados na decisão acima, incluindo os respectivos Decretos de Situação de Emergência e ou Calamidade.

E não é só. Os eventuais contratados devem estar aptos a contratarem com o Poder Pública possuindo, por exemplo, as Certidões negativas exigíveis.

4. Conclusão

Como se viu, prezado leitor, as empresas que visam contratar com o Poder Público devem obedecer a regras rígidas para tal desiderato.

Entretanto, em determinados casos, há formas de se possibilitar uma contratação pública diferenciada, ora com benefícios, por ocasião da própria condição das empresas (se micro, pequenas ou nacionais), ora por fatores externos, que exigem uma pronta e plena resposta do Administrador, por isso, as empresas devem estar atentas a essas possibilidades.

Errata: ao contrário do que foi dito na edição de no. 22 desta Revista (Set/Out/Nov de 2011, p. 17), em verdade, o Ato Administrativo que regula a Guia de Utilização é Portaria DNPM Nº 144 de 03 de maio de 2007.

ARTIGO TÉCNICO

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 normais vigentes no sítio www.revistapavimentacao.org.br. Os trabalhos são apresentados na íntegra, sendo de responsabilidade do autor toda a informação nele contida.

Utilização do MEPG – *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* na análise estrutural e funcional de pavimentos flexíveis

Diego Arthur Hartmann

Doutorando, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: diego.hartmann@gmail.com

Luciano Pivoto Specht

Professor doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. E-mail: luspecht@ufsm.br

Deividi da Silva Pereira

Professor doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. E-mail: dsp@ufsm.br

Rinaldo Pinheiro

Professor doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. E-mail: rinaldo@ufsm.br

RESUMO

A construção de pavimentos envolve custos elevados, devido ao grande volume de materiais, mobilização de equipamentos e mão-de-obra especializada. Faz-se importante o estudo de alternativas construtivas que venham a maximizar os benefícios dos pavimentos. Dentre os diversos fatores importantes na determinação da vida útil dos pavimentos, tem-se o projeto estrutural. O mecanismo de degradação do pavimento depende principalmente das espessuras das camadas, bem como de suas propriedades mecânicas (resistência e rigidez). Estes dois fatores determinam a maneira como serão distribuídas as tensões atuantes. Esta pesquisa tem como objetivo verificar a influência de ligantes com diferentes desempenhos e das espessuras e módulos das camadas nas respostas estruturais e funcionais de pavimentos flexíveis através do software MEPDG da AASHTO. Depois de realizadas as simulações, os dados foram tabelados e analisados estatisticamente, procurando encontrar as variáveis de maior influência nas propriedades mecânicas e de trafegabilidade do pavimento. Para as variáveis analisadas, o módulo da base foi a variável mais influente tanto nas respostas estruturais (trincamento e afundamento de trilha de roda) quanto na irregularidade longitudinal.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos flexíveis, projeto, AASHTO.

ABSTRACT

The pavements construction involves high costs, due to the great volume of materials, equipment mobilization and skilled labor. It is very important to study constructive alternatives in order to maximize the benefits of the pavements. Among several important factors involved in pavements performance, a well done structural design is mandatory. The pavement performance depends mainly on the thickness of the layers, as well as on their mechanical properties (resistance and stiffness). These two factors determine the load spread and, consequently, the stress state. This research verified the influence of different binders, thickness and layers stiffness in the structural and functional response of flexible pavements through MEPDG of AASHTO. The results were analyzed statistically aiming to find the variables which exert larger influence in the structural and functional behavior of pavements. For the analyzed variables, the base stiffness was the most influential variable both in the structural answers (fatigue cracking and rutting) and in the roughness.

KEYWORDS: flexible pavement, design, AASHTO.

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos pavimentos asfálticos está ligada a diversos fatores de grande complexidade, tais como o trincamento por fadiga, afundamento de trilha de roda, envelhecimento, desagregação, entre outros. Estes fatores são comandados por uma gama de variáveis, podendo-se citar o tráfego, meio ambiente, processos construtivos e materiais utilizados. O papel do engenheiro é então projetar um pavimento de maneira a manter suas capacidades estruturais e de trafegabilidade em níveis admissíveis, mesmo sobre influência destas condições adversas, durante um determinado período e otimizando os recursos disponíveis.

Um pavimento projetado adequadamente é capaz de suportar as cargas advindas do tráfego, transferindo os esforços solicitantes para as camadas subjacentes, prevenindo então danos como a ruptura ou deformações permanentes das camadas inferiores e o trincamento do revestimento e/ou das camadas cimentadas (Brown, 1997; Franco, 2007; Papagiannakis e Massad, 2008).

Os mecanismos de degradação do pavimento dependem principalmente das espessuras das camadas, bem como de sua rigidez. Estes dois fatores determinam a maneira que serão distribuídas às tensões advindas do tráfego; camadas mais rígidas e espessas elevam o grau de abertura do cone de tensões e reduzem os esforços solicitantes nas camadas subjacentes.

Sendo assim, para que um pavimento seja estruturalmente eficiente, é necessário que haja uma relação intrínseca entre as diferentes camadas, assim como possuir espessuras e rigidezes adequadas.

Do ponto de vista funcional, a irregularidade longitudinal é um dos fatores que mais afeta os usuários da via. Pode ser conceituada como o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico e que afeta a dinâmica dos veículos, as cargas e a drenagem superficial. Um índice internacional para quantificação destas irregularidades foi criado, denominado de IRI – International Roughness Index, e sua medida (em m/km) quantifica os desvios da superfície em relação ao projeto (Sayers e Karamihas, 1998; Gillespie, 1992; Bernucci *et al.*, 2006).

Atualmente diversas instituições pesquisam e tentam desenvolver métodos de dimensionamento de pavimentos calçados na mecânica dos pavimentos, visando ao máximo excluir a parcela empírica contida nos métodos

atuais. Os modelos obtidos no país através de regressões de dados obtidos em ensaios laboratoriais acabam não representando a realidade em campo, e necessitam da utilização de fatores de calibração (*shift-factor*), exato ponto onde se encontra o empirismo das funções de transferência (Franco, 2007).

A AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) desenvolveu em 2002 e vem aprimorando desde então o programa computacional MEPDG (*Mechanistic Empirical Pavement Design Guide*) para projeto e restauração de pavimentos, fundamentado nos conceitos do totalmente reestruturado guia de projetos da AASHTO.

O programa MEPDG inserido no Guia da AASHTO é a ferramenta mais atual e poderosa para dimensionamento de pavimentos em geral, fundamentado em critérios mecanísticos-empíricos (Peterlini *et al.*, 2008). No Brasil, o SisPav desenvolvido na COPPE/UFRJ por Franco (2007) tem o mesmo propósito.

Tendo em vista estes aspectos, o presente trabalho objetiva investigar a influência e importância das variáveis espessuras e materiais envolvidos, bem como suas relações nas respostas de afundamento na trilha de roda, vida de fadiga e índice de irregularidade de pavimentos flexíveis.

2. METODOLOGIA

2.1. Planejamento do experimento

Este trabalho contempla a implementação de diversas estruturas teste no programa MEPDG, a fim de se analisar suas influências nas respostas estruturais do pavimento: trincamento por fadiga (TF) e afundamento na trilha de roda (ATR), assim como na resposta funcional índice de irregularidade internacional (IRI). Na Tabela 1 encontra-se a relação das variáveis a serem analisadas, as quais geraram 81 combinações de valores que foram testados.

Tabela 1: Variáveis analisadas

LG - Ligante		ER - Espessura do Revestimento (cm)	EB - Espessura da Base (cm)	MB - Módulo da Base (MPa)
PG de Alta	PG de Baixa			
64	-22	5,0	15,0	150
70		7,5	30,0	300
76		10,0	45,0	450

Nota: PG de Alta e PG de Baixa: significam, segundo a especificação Superpave, a máxima e a mínima temperaturas do pavimento em que será utilizado o ligante; PG = Performance Graded.

O programa MEPDG, devido à sua complexidade, solicita uma infinidade de valores para que possa obter resultados mais precisos. Sendo assim a etapa de implementação merece grande destaque, pois é nela que foram definidas todas as constantes que servem como base para as simulações subseqüentes, e desta maneira será descrita com especial ênfase no item a seguir.

2.2. Implementação

O guia da AASHTO de 2002 é fundamentado em métodos mecanístico-empíricos para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Primeiramente o método calcula mecanisticamente as respostas estruturais como tensões, deformações e deflexões, e então calcula o dano que se acumulará com o tempo. O próximo passo realizado é, empiricamente, correlacionar o dano sofrido ao longo do tempo com os defeitos especificados pelo projetista. Na Figura 1 está representado um fluxograma para interpretação dos dados do *software*.

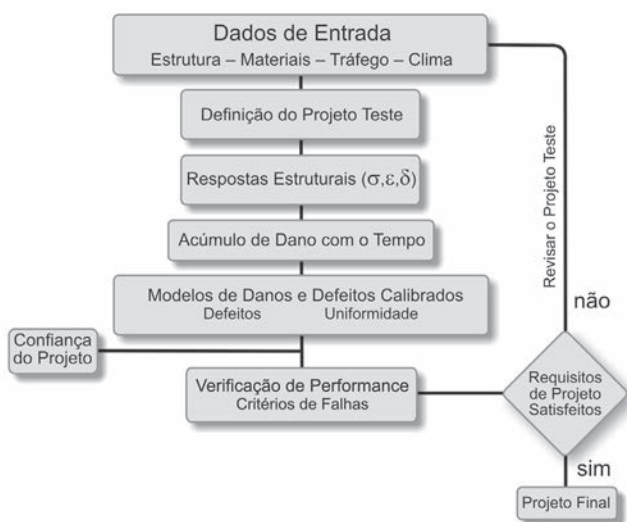


Figura 1: Diagrama de blocos representando o método da AASHTO (AASHTO 2004)

A relação a seguir segue a seqüência exemplificada pelo manual da AASHTO de 2004. Ressalta-se que qualquer item existente no programa, mas não mencionado na relação a seguir, teve sua característica mantida como o padrão fornecido pelo próprio *software*.

O pavimento deverá ter um IRI inicial de 63 polegadas por milha (aproximadamente 1 m/km), onde geralmente o valor ideal para pavimentos novos é entre 50 e 75 polegadas por milha (0,79 a 1,18 m/km).

A rodovia hipotética será construída entre Ijuí e Panambi, no Rio Grande do Sul, e possuirá uma média anual de chuvas de 50,56 polegadas (1284,22 mm). Para tal, definiu-se no programa a localização da rodovia no estado da Flórida nos Estados Unidos, por possuir um clima que em geral se assemelha ao encontrado na região.

A média anual de tráfego de veículos comerciais diárias (AADTT) estimada foi de 2240, esta média foi obtida em projetos realizados pelo DNIT em 2008. Com 50% dos caminhões trafegando no sentido de projeto (DNIT, 2008).

A mistura asfáltica terá distribuição de agregados do centro da Faixa B do DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul) ou IV-B do Instituto do Asfalto com tamanho máximo de granulares de 19,1 mm e passante na #200 de 7%. Consideraram-se três diferentes tipos de ligante, com PGs de 64 -22, 70 -22 e 76 -22 (conforme metodologia SUPERPAVE).

A mistura possuirá uma quantidade efetiva de ligante de 12% (em volume) e um volume de vazios de 4%. A massa específica da mistura é 2290 kg/m³. O coeficiente de Poisson utilizado é de 0,30 e a temperatura de referência de 77 graus fahrenheit (25 graus Celsius). A espessura da camada de revestimento foi definida como sendo de 2, 3 e 4 polegadas (5, 7,5 e 10 cm).

A camada de base possuirá espessuras de 6, 12 e 18 polegadas (15, 30 e 45 cm), módulos de 21755, 43511 e 65267 psi (150, 300 e 450 MPa) e coeficiente de Poisson de 0,35.

Por fim, a camada do subleito é de material argiloso, classificação A-7-5 na HRB e possui espessura infinita. Seu coeficiente de Poisson foi definido em 0,40. Os detalhes completos da implementação encontram-se em Hartmann (2009).

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos dados coletados foi realizada uma análise estatística do tipo ANOVA utilizando o programa Estatística for Windows (versão 4.3B), visando determinar quais variáveis independentes apresentam maior influência nas variáveis resposta, assim como determinar o modelo de regressão para prever a variável resposta a partir das variáveis independentes.

As variáveis independentes sendo espessura da base (EB), espessura do revestimento (ER), módulo da base (MB) e tipo de ligante (LG) tiveram seus valores codifi-

cados linearmente entre -1 e 1, onde, por exemplo os módulos de 150, 300 e 450 MPa codificados se transformaria em -1, 0 e 1. Isso permite a comparação direta dos índices do modelo.

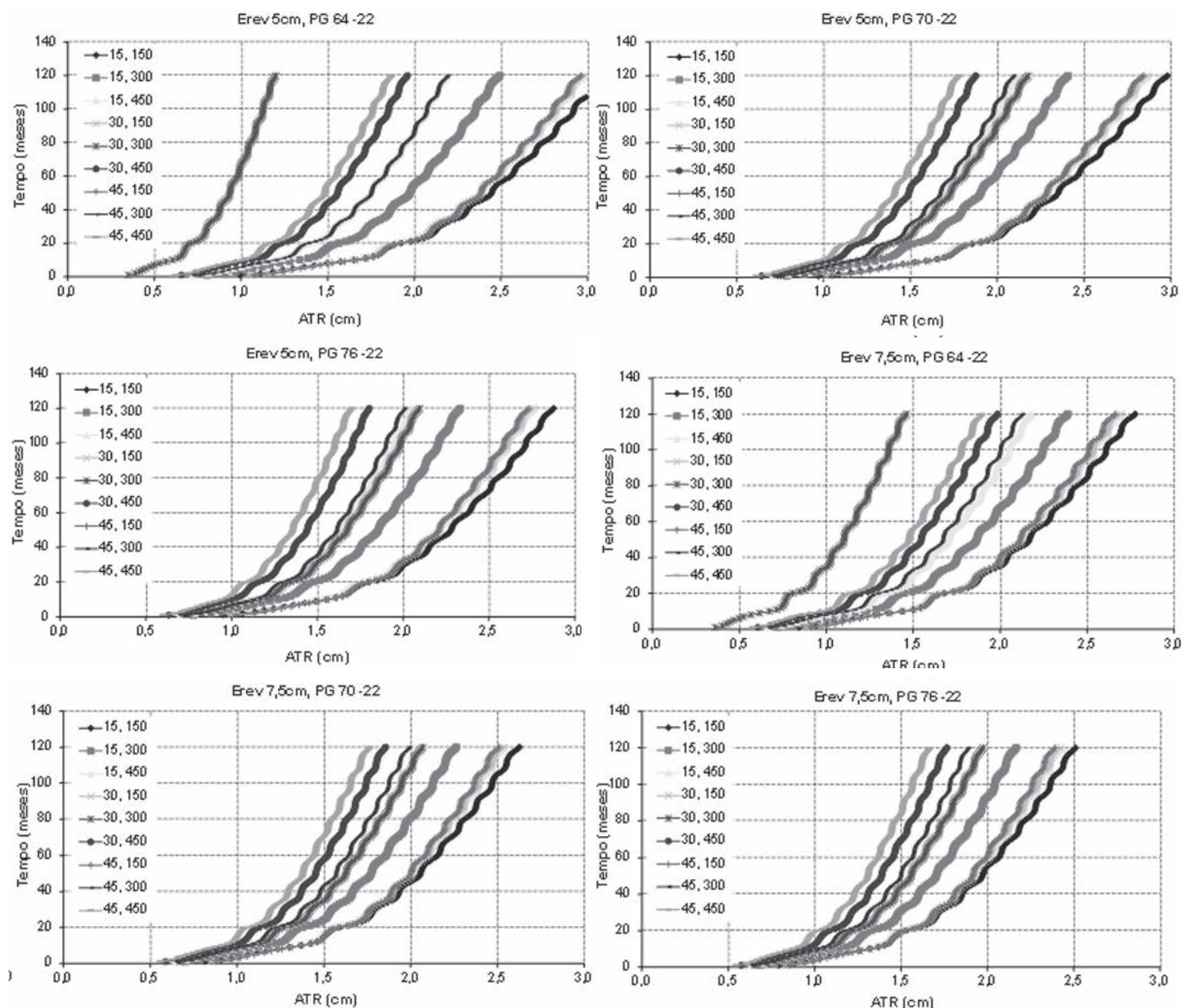
Para as variáveis de resposta, devido à existência de resultados para cada mês de cada ano, os intervalos foram definidos a cada 24 meses, ou seja, a análise foi realizada para os tempos 24, 48, 72, 96 e 120 meses. Como se pretende analisar o afundamento de trilha de roda (ATR), o trincamento por fadiga (TF) e o índice de irregularidade (IRI), as variáveis resposta ficaram definidas como ATR24, ATR48, ATR72, ATR96, ATR120, TF24, TF48, TF72, TF96, TF120, IRI24, IRI 48, IRI 72, IRI96, IRI120.

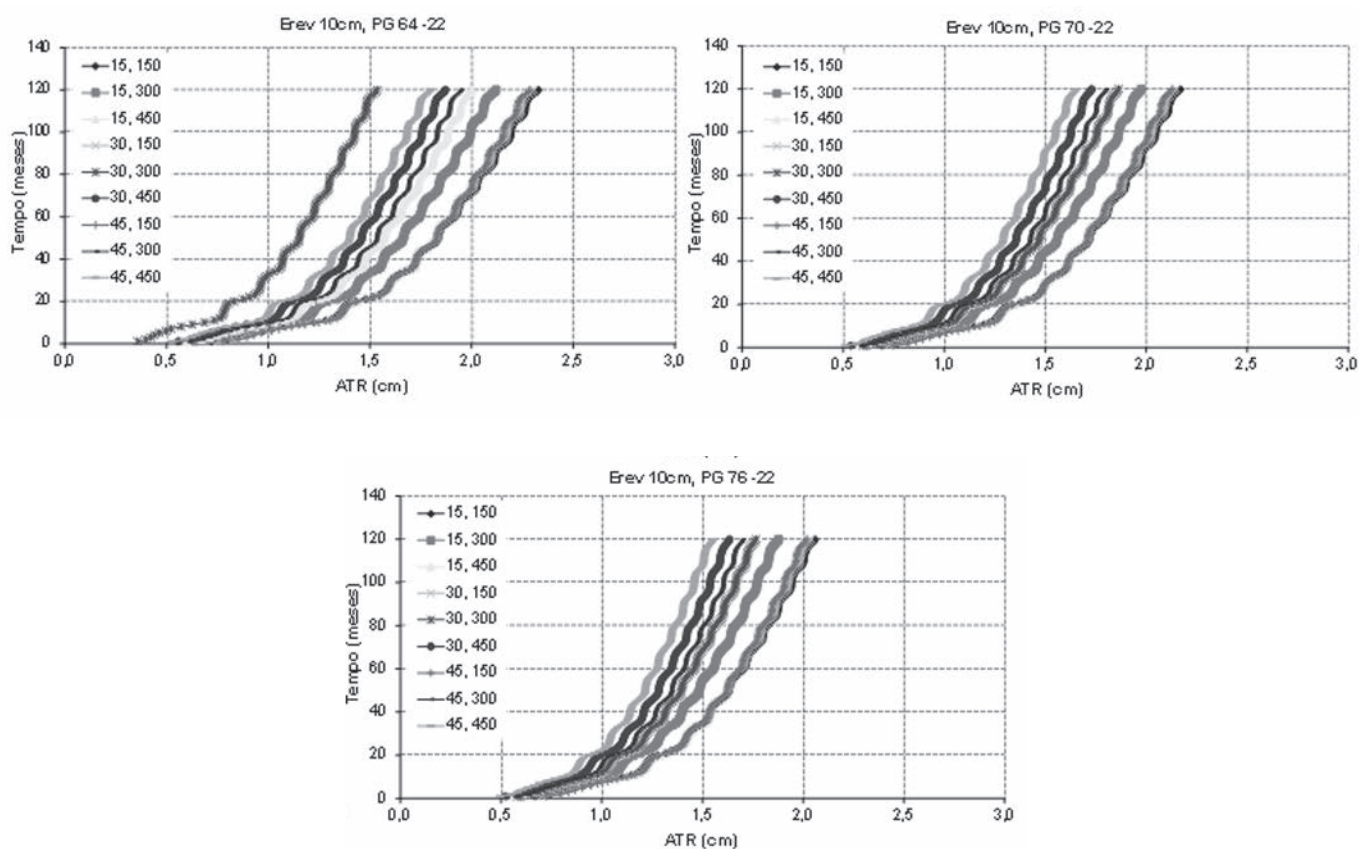
3.1. Afundamento de trilha de roda

A Figura 2 apresenta a comparação dos resultados para cada estrutura analisada em relação ao ATR; onde na coluna da esquerda têm-se os resultados do ligante de PG 64-22, na central os de PG 70-22, e na da direita os de PG de 76-22. Na ordenada está plotado o tempo e na abscissa o valor do ATR; a prática brasileira define o máximo ATR em 1,3 cm (DNIT, 2006), comparado aos 1,9 cm (0,75 in) definidos como padrão pelo programa.

Em comparação ao desempenho do pavimento para diferentes tipos de ligante, é possível verificar que o ligante de PG 76-22 apresentou menores deformações comparado ao ligante de PG 64-22, o ligante de PG 70-22 apresentou resultados intermediários.

Figura 2: Comparações dos resultados de ATR





Ainda, observando os coeficientes das variáveis, pode-se afirmar que, em média, o MB é 1,71 vezes maior que ER. Ambos têm sinal negativo, ou seja, um acréscimo em seu valor implica na redução do valor da variável de resposta. Numericamente,

considerando um horizonte de projeto de 10 anos (ATR120), a variação de MB de 150MPa para 450MPa levaria a uma redução de 0,678cm, ou seja, aproximadamente 50% do limite máximo em que há ruptura por ATR.

Tabela 2: Dados estatísticos de ATR

Resposta	Modelo de Previsão	R ²	εp
ATR24	$-0,242 * MB - 0,146 * ER - 0,06 * EB - 0,009 * LG + 1,241$	0,86	0,11
ATR48	$-0,276 * MB - 0,160 * ER - 0,07 * EB - 0,01 * LG + 1,457$	0,87	0,13
ATR72	$-0,299 * MB - 0,173 * ER - 0,09 * EB - 0,01 * LG + 1,612$	0,87	0,14
ATR96	$-0,321 * MB - 0,185 * ER - 0,09 * EB - 0,02 * LG + 1,748$	0,87	0,15
ATR120	$-0,339 * MB - 0,194 * ER - 0,107 * EB - 0,02 * LG + 1,87$	0,87	0,16

3.2 Trincamento por fadiga

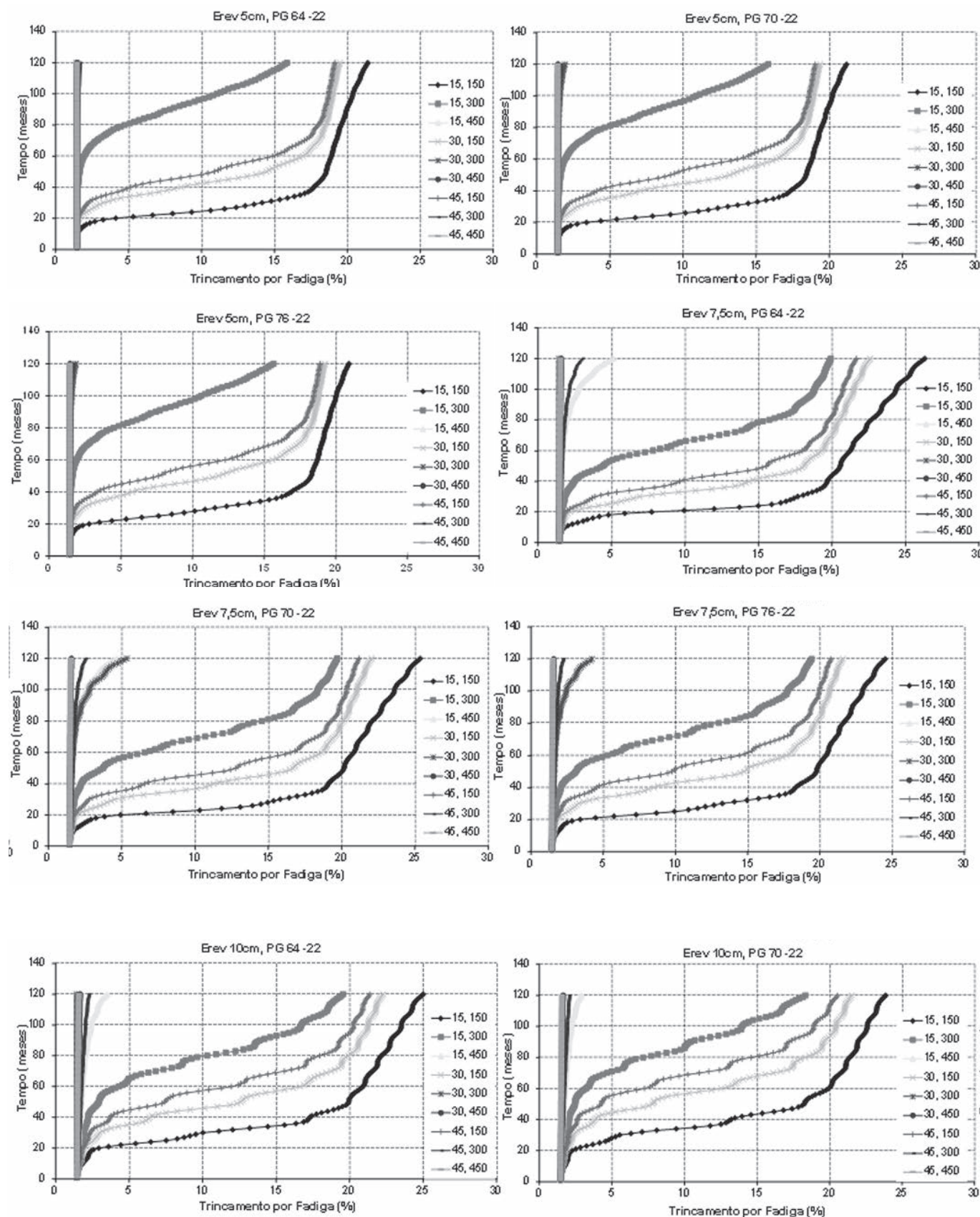
A Figura 3 apresenta a comparação dos resultados de trincamento por fadiga, onde na coluna da esquerda têm-se os resultados do ligante de PG 64-22, na central os de PG 70-22, e na da direita os de PG de 76-22.

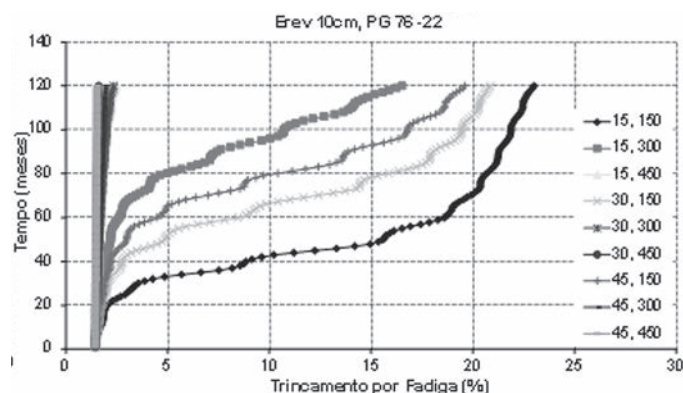
Nota-se dois padrões distintos no formato dos gráficos, algumas estruturas tem pequena evolução no trinca-

mento ao longo do tempo enquanto outras, com formato de cela, apresentam acentuada evolução e atingem valores importantes de trincamento (entre 15 e 27%).

Em comparação ao tipo de ligante, tem-se que para o ligante de PG 76-22 os resultados foram levemente menores, apresentando trincamentos inferiores em cerca de 3% quando comparados com o ligante de PG 64-22.

Figura 3: Comparações dos resultados de TF





A Tabela 3 apresenta as equações obtidas através da análise de regressão múltipla, para as variáveis resposta do TF, considerando os 81 casos para cada tempo. Também estão expostos os valores de R^2 e do erro padrão.

É possível verificar que para todos os gradientes de

tempo, as variáveis de maior influência mantêm-se as mesmas, o módulo da base (MB) e a espessura da base (EB), ambas com sinal negativo, ou seja, aumentando o módulo da base e/ou sua espessura tem-se uma redução do trincamento.

Tabela 3: Dados estatísticos do TF

Resposta	Modelo de Previsão	R^2	ϵ_p
TF24	$-1,321 * MB - 1,042 * EB - 0,206 * LG - 0,120 * ER + 1,148$	0,82	1,48
TF48	$-5,740 * MB - 1,901 * EB - 0,369 * LG - 0,452 * ER + 1,854$	0,96	1,84
TF72	$-8,334 * MB - 1,695 * EB - 0,237 * LG - 0,016 * ER + 3,359$	0,98	1,86
TF96	$-9,339 * MB - 2,567 * EB - 0,533 * ER - 0,090 * LG + 4,973$	0,97	2,83
TF120	$-9,775 * MB - 3,432 * EB - 0,693 * ER - 0,009 * LG + 6,329$	0,93	3,38

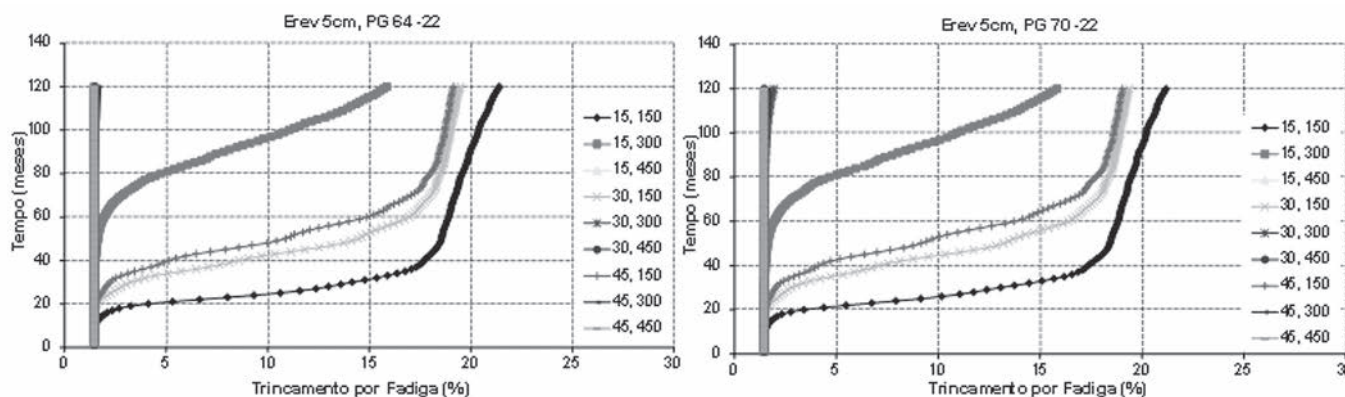
Objetivamente, o emprego de bases granulares mais rígidas (MB=450MPa) conduz a valores insignificantes de trincamento enquanto que com bases mais flexíveis (MB=150MPa) conduz a um trincamento compatível com a ruptura da estrutura. Desta forma reforça-se a importância dos processos de seleção e produção de agregados, enquadramento granulométrico e teor de umidade, compacta-

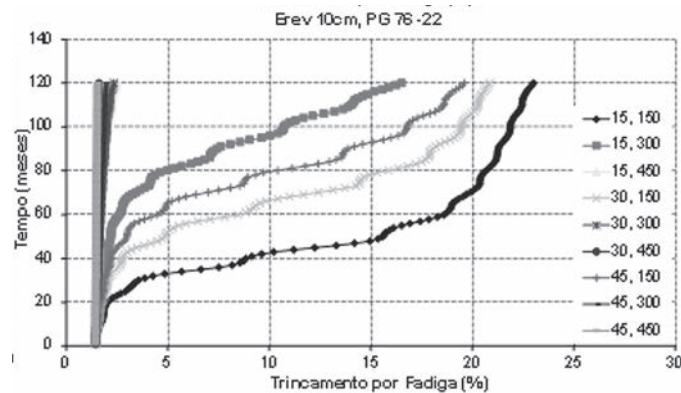
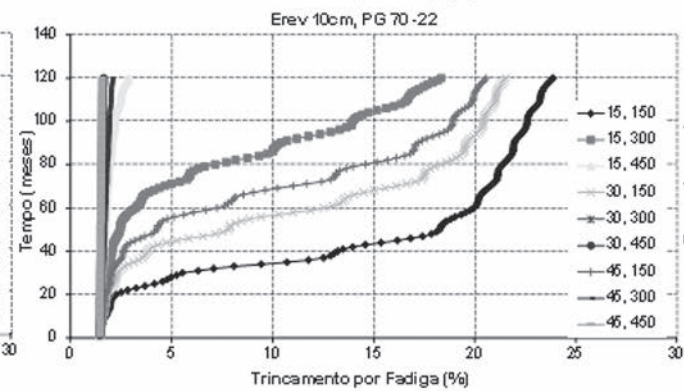
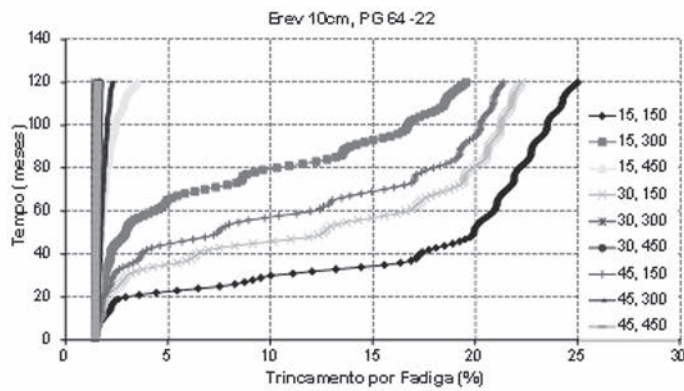
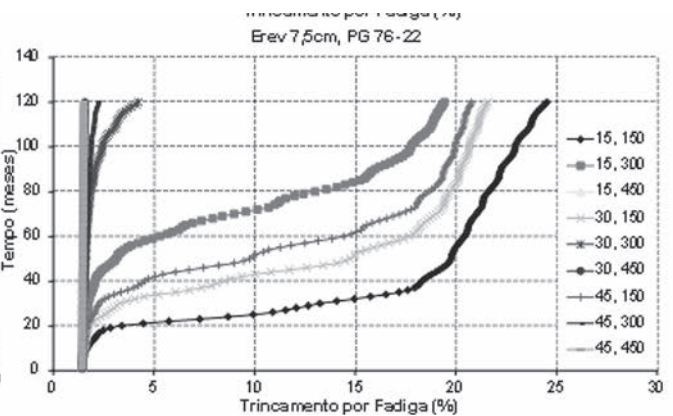
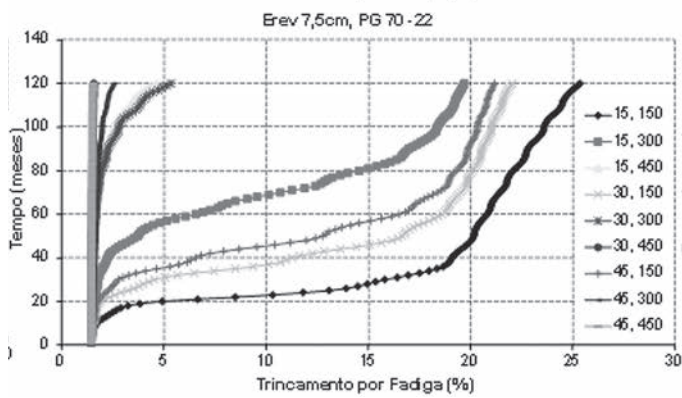
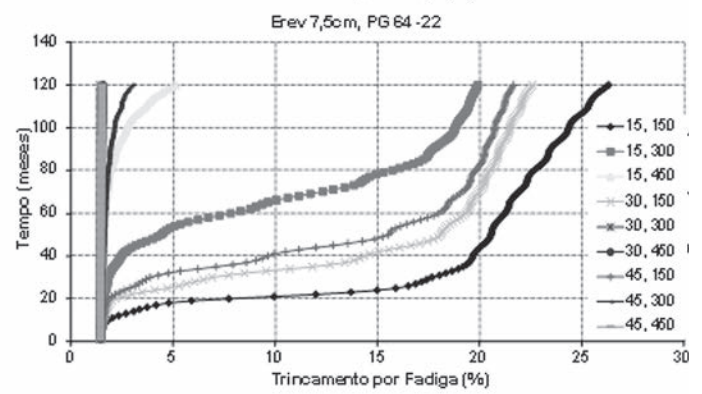
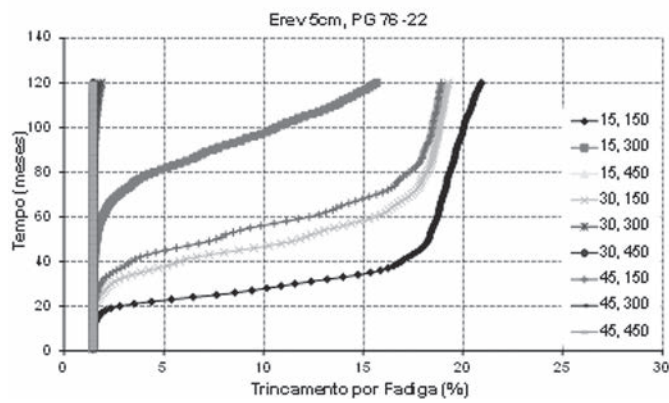
ção e exaustivo controle tecnológico das bases granulares.

3.3 Irregularidade

A Figura 4 apresenta a comparação dos resultados de irregularidade longitudinal, onde na coluna da esquerda têm-se os resultados do ligante de PG 64-22, na central os de PG 70-22 e na da direita os de PG de 76-22.

Figura 3: Comparações dos resultados de IRI





Verifica-se para o ligante de PG 64-22 que com a elevação da espessura tem-se uma queda dos valores de IRI para todas as configurações de estruturas exceto para a com base de 30 cm e módulo de 300 MPa, que apresentou um aumento considerável no IRI, apesar de sempre se permanecer com resultados gerais inferiores. Já para os ligantes de PG 70-22 e 76-22 o IRI teve um declínio para todos os casos.

Em comparação entre ligantes, nota-se que os resultados de IRI para o ligante de PG 76-22 apresentaram valores semelhantes, porém sempre inferiores aos do ligante de PG 70-22, seguidos pelo de PG 64-22.

Apenas por caráter de informação, todas as estruturas cumpriram com os valores mínimos de 3,5 m/km men-

cionados nas especificações brasileiras.

A Tabela 4 apresenta as equações obtidas através da análise de regressão múltipla, para as variáveis resposta do IRI, considerando os 81 casos para cada tempo considerado. Também estão expostos os valores de R^2 e do erro padrão.

É possível verificar que para todos os gradientes de tempo as variáveis de maior influência mantêm-se as mesmas, sendo o módulo da base (MB) seguida da espessura do revestimento (ER), o MB é 2,10 maior que ER. Vale reforçar que estas são as mesmas variáveis que aparecem com maior significância para o ATR e a variável MB aparece um primeiro para as três respostas analisadas (ATR, TF e IRI).

Tabela 4: Dados estatísticos IRI

Resposta	Modelo de Previsão	R^2	ϵ_p
IRI24	-0,080 * MB - 0,044 * ER - 0,022 * EB - 0,002 * LG + 1,713	0,87	0,035
IRI48	-0,098 * MB - 0,049 * ER - 0,029 * EB - 0,003 * LG + 1,812	0,89	0,040
IRI72	-0,113 * MB - 0,053 * ER - 0,035 * EB - 0,004 * LG + 1,904	0,90	0,044
IRI96	-0,126 * MB - 0,056 * ER - 0,041 * EB - 0,004 * LG + 1,999	0,90	0,047
IRI120	-0,137 * MB - 0,059 * ER - 0,047 * EB - 0,005 * LG + 2,093	0,91	0,050

4. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma análise da influência da espessura e das propriedades mecânicas nas respostas estruturais e funcionais de pavimentos flexíveis, implementadas no programa MEPDG da AASHTO. Apesar de não ser o foco do trabalho são apresentados modelos que podem ser utilizados para prever a evolução dos defeitos estudados.

Notou-se, para as três variáveis de resposta estudadas, ATR, TF e IRI que o módulo da base é o fator que mais influencia na degradação ao longo do tempo. A espessura do revestimento aparece em segundo lugar para ATR e IRI enquanto que para TF a espessura da base aparece em segundo lugar.

Verificou-se que todas as estruturas com bases de módulo de 150 MPa (menor módulo de base utilizado nas simulações) apresentaram elevados graus de trincamento, quando comparados as outras estruturas, as quais apresentaram menor variabilidade. A análise

estatística pode comprovar o que foi verificado nos gráficos, ressaltando a importância do módulo da base no desempenho geral do pavimento. Pavimentos com bases granulares mais rijas apresentam menor deslocamento do revestimento, resultando em menores tensões de tração e compressão e conseqüentemente, melhor desempenho.

Notou-se que na maioria dos casos os pavimentos com melhores desempenhos foram aqueles simulados com o ligante de PG 76-22, e os com menores desempenho os com ligante de PG 64-22. Este fato, como era de se esperar, está ligado às melhores propriedades reológicas do ligante.

Finalmente, reforça-se que a adequada seleção e caracterização de bases segundo critérios de deformabilidade, o que ainda não é prática corrente em nosso país, pode ser uma ferramenta que potencialize projetos de pavimentos mais duráveis e que tragam o maior benefício para a sociedade que os provém.

Referências Bibliográficas

- AASHTO. (2004) AASHTO 2004 - Guide for design of pavement structures. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- BERNUCCI, L; CERATTI, J; MOTTA, L; SOARES, J. (2006) Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro. 504p.
- BROWN, S. F. (1997) Achievements and challenges in asphalt pavement engineering. In: ISAP – 8th International Conference of Asphalt pavements. Seattle. Proceedings.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2006) Manual de restauração de pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro. 314p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2008) Relatório dos estudos preliminares – elaboração de projeto básico de e executivo de engenharia para restauração de rodovia tipo CREMA – Zetapa – Rio grande do Sul – estudos de tráfego e capacidade. Porto Alegre.
- FRANCO, F. (2007) Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos - SISPAV. 2007. 315p. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Civil), - COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro.
- GILLESPIE, T. D. (1992) Everything you always wanted to know about the IRI, but were afraid to ask! Road Profile Users Group Meeting. Nebraska.
- HARTMANN, D. A. (2009) Análise dos defeitos e da irregularidade de pavimentos flexíveis a partir do guia da AASHTO de 2004. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIJUI, Ijuí. 75p.
- PAPAGIANNAKIS, A. T.; MASSAD, E. A. (2008) Pavement design and materials. Hoboken: John Wiley & Sons. 542p.
- PETERLINI, P. S; MARCON, A. F. (2008) Apresentação do programa computacional MEPDG inserido no guia da AASHTO/2002. In: CONINFRA – CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2008, São Paulo. Anais...São Paulo.
- SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. (1998) The little book of profiling. Basis information about measuring and interpreting road profiles. The regent of the University of Michigan. 98p.

Reutilização de material fresado em acostamentos como agente regularizador e nivelador

Marcelo M. Pinto

Engenheiro civil, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
E-mail: marcelopinto.eng@hotmail.com

Tatiana C. Cervo

Professora doutora, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
E-mail: cervo.tatiana@ufsm.br

Deividi S. Pereira

Professor doutor, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
E-mail: dsp@ufsm.br

RESUMO

A preocupação ambiental está presente hoje em todas as áreas da construção, e a reutilização de material fresado como alternativa para emprego em obras de infraestrutura viária vem crescendo a cada dia. Este artigo justifica-se por estudar a reutilização de agregado proveniente da fresagem de pavimentos, como forma de reciclagem, em acostamentos deteriorados de rodovias, sem nenhuma alteração ou adição de outros insumos. Com esta possibilidade de reaproveitamento, além de destinar um local adequado para este resíduo, que por muitas vezes são depositados como entulho causando problemas ao meio ambiente, pode-se também diminuir a exploração de novas jazidas de material pétreo e, ainda, reduzir custos na manutenção de pavimentos. Foram realizados ensaios de laboratório para avaliação da granulometria do fresado (com e sem extração do betume), equivalente de areia, abrasão Los Angeles e Índice Suporte Califórnia (ISC) com o intuito de caracterizar e estimar seu desempenho quanto à resistência ao tráfego, bem como sua capacidade de suporte. Os ensaios foram realizados com a intenção de verificar se atendem as exigências do DNIT para agregados. Os resultados apontaram que o agregado analisado apresentou Abrasão Los Angeles de 36,67%, porém a capacidade de resistir aos esforços é limitada, devendo-se ponderar os locais de emprego e sua função estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem, fresagem, meio ambiente.

ABSTRACT

The environmental concern is today present in all the areas of construction. However, there are still some doubts about the appropriate final destination of left over residues from infrastructure sites. This article is justified in the study of recycling (re-usage) of aggregated material from milled pavement in deteriorated highway shoulders without any alteration or addition of other materials. This possibility of re-usage, besides designating an adequate area for this residue, which are often deposited as rubbish material causing environmental problems, also reduce the exploration of new deposits of stony material and still reduce costs in pavement's maintenance. Laboratory rehearsals were carried out to evaluate the main material's properties with the intention of characterizing and estimating their performance about traffic resistance, as well as their support capacity. The results pointed that the aggregated material analyzed presented good abrasion behavior. Nevertheless, the capacity of resistance efforts is limited, considering the places used and the structural function.

KEYWORDS: recycling, milling, environment.

1 INTRODUÇÃO

A economia brasileira depende, cada vez mais, das boas condições de trafegabilidade de suas estradas. Rodovias em mau estado de conservação aumentam drasticamente os custos em transportes de cargas e produtos, uma vez que elevam o consumo com combustíveis, a demanda por manutenção veicular, o tempo de viagem, além de avariar cargas e reduzir a segurança viária e o conforto de seus usuários.

Pensando nestes fatores, é necessário que existam estudos de formas e tecnologias alternativas capazes de melhorar as condições das vias com um menor custo, para assim serem mais bem aproveitados os recursos destinados para tal fim.

O setor da construção rodoviária vem em uma crescente procura por soluções técnicas mais econômicas, e o alto consumo de matéria-prima pede por materiais alternativos com características adequadas para o emprego em diversas obras de pavimentação. A reciclagem de pavimentos parece ser uma solução bastante conveniente e vem-se estudando formas de emprego desta ao longo dos últimos anos.

Por ser o material fresado um resíduo local, na grande maioria das obras de conservação, não há custo adicional devido a sua aquisição ou obtenção. Não reutilizar este material pode gerar passivos ambientais por possibilitarem a contaminação de mananciais hídricos. Consequentemente, o emprego deste material é de grande interesse tanto econômico como ambiental, o que torna sua utilização de grande valia para a sociedade. O material proveniente da fresagem, antes considerado um entulho problemático, passa a ser um excelente produto para reciclagem (DNIT, 2005).

A reciclagem de pavimentos já foi bastante empregada no Brasil, contudo existem poucos estudos sobre este procedimento. Essa carência de estudos se verifica tanto na parte de projeto das misturas recicladas como no controle tecnológico e avaliação do desempenho do pavimento ao longo do tempo. (DAVID, 2006)

De acordo com uma pesquisa realizada pela CNT (2009), em 53,7% (41.435 km) das rodovias há acostamento e 22% destes encontram-se sem condições nenhuma de tráfego, oferecendo grandes riscos a segurança do usuário. Desníveis acentuados entre pista e acostamento estão presentes em grande parte destes segmentos viários.

O presente artigo estuda a aplicabilidade, em forma

de reciclagem a frio *in situ*, de material proveniente da fresagem de pavimentos asfálticos existentes como agente regularizador e nivelador de acostamentos em obras de restauração e manutenção de rodovias pavimentadas.

Este trabalho apresenta a solução adotada nos acostamentos dos trechos da RSC-287 pertencentes ao Lote 06 do Programa Emergencial para Recuperação de Rodovias Estaduais Pavimentadas do RS. Como o projeto não previa restauração da estrutura do pavimento, e com os acostamentos, em sua maioria, deteriorados e apresentando degraus elevados em relação à pista, a aplicação do tratamento diretamente sobre a superfície se tornou inexecutável, inviabilizando sua execução. Foi, então, apontado o uso de material proveniente da fresagem, da própria pista, nos acostamentos de modo a corrigir/complementar a base. Simultaneamente, foram realizados ensaios laboratoriais com o material fresado para conhecer suas características.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o surgimento da Crise do Petróleo em 1974, e conseqüentemente com o aumento do valor desse material, a engenharia rodoviária deu mais atenção à reciclagem de pavimentos betuminosos, e houve então muitos avanços em pesquisas nesta área objetivando a procura de soluções economicamente mais viáveis. Outro fator que contribuiu para o desenvolvimento da reciclagem foi o surgimento das máquinas de fresagem a frio, fato que aumentou a oferta de material asfáltico desagregado. Em 1986, 23% dos revestimentos asfálticos produzidos nos Estados Unidos continham algum teor de material reciclado. Atualmente, no mesmo país, em torno de 33% dos pavimentos betuminosos fresados são reutilizados para reciclagem (MOREIRA, 2005).

A reciclagem de pavimentos pode ser definida como o reaproveitamento de agregados e ligantes remanescentes do processo, na maioria das vezes, de fresagem do pavimento envelhecidos para produção de novas misturas, com ou sem acréscimo de novos materiais, como, por exemplo, CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), EAP (Emulsão Asfáltica de Petróleo) ou aglomerantes hidráulicos (BERNUCCI et al., 2008).

Pode-se dizer que há uma crescente procura por materiais alternativos e renováveis para o emprego na construção em todos os segmentos, porém estes materiais estão cada vez mais escassos. Segundo o DNIT

(2005), além de poupar recursos naturais da região, a reciclagem permite ao pavimento envelhecido um ciclo de vida prolongado.

David (2006) realizou um estudo de laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado em misturas asfálticas recicladas a frio com o intuito de verificar o comportamento mecânico da mistura para a utilização em base na recuperação de pavimentos. Como insumos, foram utilizados emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta RL-1C e agente de reciclagem emulsionado ARE-75 adicionados de diferentes formas. Foram obtidos resultados de resistência à tração e módulo de resiliência aplicando o método de dosagem Marshall. A adição com o material fresado de RL-1C mostrou melhores resultados de resistência à tração em relação ao processo com ARE-75. Já quanto ao módulo de resiliência, as duas combinações resultaram em valores bastante semelhantes. Estes resultados mostraram que a emulsão asfáltica pode ser um ótimo elemento a ser empregado para estes serviços.

Adicionando diferentes teores de material fresado às misturas asfálticas recicladas a frio e alterando os modos de compactação destas, Moreira (2005) obteve características mecânicas muito interessantes. A mistura foi concebida com emulsão asfáltica RL-1C, agregado virgem e variação de teores de fresado. Quanto maior o teor deste último incorporado a mistura (fresado), menores foram os valores de resistência à tração em comparação com CBUQ convencional. Com 25% de agregados fresados, o módulo de resiliência mostrou-se satisfatório. Concluiu o autor que este tipo de reciclagem é uma alternativa apenas para vias de baixo a médio volume de tráfego de veículos.

Castro (2003) mostra algumas considerações obtidas por meio do estudo do processo de reciclagem a frio *in situ* com espuma-asfalto em diferentes rodovias do país, dentre as quais um trecho da RJ-106. Esta técnica de reciclagem de pavimentos foi considerada promissora e satisfatória quando há restauração do perfil da rodovia, especialmente quando há incorporação e recuperação da base. Destacou que um teor de 3,5 % de espuma asfalto para este caso alcançou todos os resultados mínimos das especificações vigentes para base. Na mistura foi testado cal e cimento como agentes de reciclagem, em curto prazo, o segundo obteve maior resistência à tração. Ressaltou que é preciso realizar um minucioso estudo dos defeitos da superfície a ser reciclada e do perfil do pavimento atual.

Tratando-se de reciclagem a quente, Domingues e

Balbo (2006) analisaram o comportamento de misturas de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) originadas em usinas transportáveis de pequeno porte. O agregado fresado foi dominante na mistura, tendo algumas misturas a adição de agente de reciclagem como óleo rico em malteno e cimento asfáltico de petróleo novo. As principais conclusões relatadas foram que quando é adicionada uma pequena quantidade de fresado na mistura, há uma produção otimizada, aplicada a pequenos reparos, porém os materiais no tambor da mini-usina ficam sujeitos a superaquecimento tornando um produto final de alta rigidez, melhor aplicável em bases; em contrapartida, o emprego em grande volume de material fresado produz um melhor CAUQ, devido ao melhor controle do aquecimento, podendo este ser aproveitado como superfície de rolamento. Um detalhe importante é do controle de adição de agente de reciclagem, pois uma quantidade fora da ideal pode comprometer a qualidade da mistura, exigindo mão-de-obra qualificada para este tipo de serviço.

Em uma avaliação técnico/econômica do uso de reciclagem de pavimentos asfálticos em área urbana utilizando técnica de reciclagem a frio em usina, Dau (2001) indica quando é considerado vantajoso o emprego do método neste meio:

- Quando no projeto de restauração constar a solução de simples reparação do revestimento asfáltico somente;
- Se houver depósito de materiais fresados em volumes substanciais;
- Facilidade e locais adequados para a instalação de usinas, preferencialmente o mais próximo possível da obra;
- O dimensionamento da estrutura a receber cargas provenientes da rodagem de veículos preverem tráfego leve e muito leve.

3. METODOLOGIA

O material utilizado para análise foi obtido por meio da fresagem do pavimento existente na Rodovia RSC-287 entre os Km 206 e 210. Este trecho foi conceituado como "ruim", a partir de Levantamento Visual Contínuo (LVC), apresentando trincamento severo tipo FC-3 (trincas com abertura superior a 1,0 mm e com erosão nas bordas).

3.1 Descrição da solução adotada

A solução adotada de reutilizar o material fresado para regularizar o nível do acostamento foi justificável

devido à péssima situação da superfície e pela disponibilidade de material fresado em estoque originado na própria obra. Pode-se observar na Figura 1 (a) e (b) a impossibilidade de execução do revestimento (do acostamento) sem adoção de alguma regularização, isto se dá em razão das irregularidades geradas pelo acúmulo de defeitos somados ao elevado desnível entre pista e acostamento.



(a) Descontinuidade do revestimento



(b) inexistência de parte da estrutura

Figura 1: Irregularidades no acostamento da rodovia RSC-287 (km 206 a 210)

A execução em campo ocorreu similarmente à aplicação de base granular, em que a molhagem acontece no local. O material foi carregado em caminhão basculante e descarregado nos acostamentos, ficando a motoniveladora responsável pelo espalhamento e conformação da camada, em camada única de 100mm em média. Após a regularização, a superfície foi molhada por caminhão-

pipa e revolvida pela lâmina da motoniveladora até o perfeito espalhamento; posteriormente o agregado foi compactado por rolo de chapa liso vibratório. As etapas estão resumidas na Figura 2 (a), (b), (c) e (d).



(a) Carregamento do caminhão



(b) Espalhamento da carga



(c) Regularização da camada e revolvimento



(d) Compactação

Figura 2: Etapas de execução da solução aplicada na rodovia RSC-287 (km 206 a 210)

3.2 Coleta de amostras

Foram retiradas amostras de material fresado estocados próximo aos locais de execução dos acostamentos, conforme as indicações da DNER-PRO 120/97. Três volumes de aproximadamente 50 Kg foram extraídos de três pilhas distintas, situadas em média a 2 km uma da outra. As amostras foram retiradas de partes diferentes de cada pilha, sendo que a crosta superficial formada pela ação das intempéries foi removida, na profundidade de 100mm, com o intuito de haver uma coleta mais representativa possível. Os locais de estocagem não possuíam cobertura, estando estes a céu aberto. A redução das amostras extraídas deu-se pelo

uso de um separador de amostras, conforme indicado pela DNER-PRO 199/96, procedimento este que fora adotado para todos os ensaios realizados em laboratório.

Para a caracterização das amostras foram realizados análises granulométricas por peneiramento, determinações do teor de ligante e equivalente de areia. A granulometria foi realizada antes e depois da extração de betume do material. Para analisar o comportamento abrasivo do material fresado, realizou-se o ensaio de Abrasão Los Angeles do material fresado.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Granulometria

A partir do ensaio de granulometria realizado, conforme a DNER-ME 83/98, pôde-se definir a curva granulométrica do material (Figura 3). Por meio da norma DNER-ES 303/97 foi possível o enquadramento dos agregados entre seis faixas, variando da "A" até a "D" para volumes de tráfego elevados e, da "E" a "F" quando estradas de baixo volume. O material analisado não se ajustou a nenhuma faixa por completo, fugindo do estipulado em alguma peneira, ficando mais aproximado da faixa "A" para agregados miúdos e, "B" para graúdos, detalhes estes que indicariam que o material se enquadra em mistura contínua de graduação aberta, justamente por não haver nenhum controle da sua obtenção e também pela ação do betume em aglutinar os grãos. Os valores encontrados estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1: Granulometria do material fresado

Peneiras		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média (%)
Nº ou pol.	(mm)	Passante (%)	Passante (%)	Passante (%)	
2"	50,800	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,100	98,02	100,00	100,00	99,34
1"	25,400	91,69	89,80	89,67	90,38
3/4"	19,100	82,32	78,89	82,54	81,25
1/2"	12,700	76,34	70,07	77,36	74,59
3/8"	9,500	71,30	66,67	74,29	70,75
4"	4,760	51,63	46,57	52,48	50,23
10"	2,000	24,28	18,86	25,48	22,87
30"	0,590	8,42	4,82	8,69	7,31
40"	0,420	5,44	2,86	5,52	4,60
200"	0,074	0,57	0,43	0,65	0,55

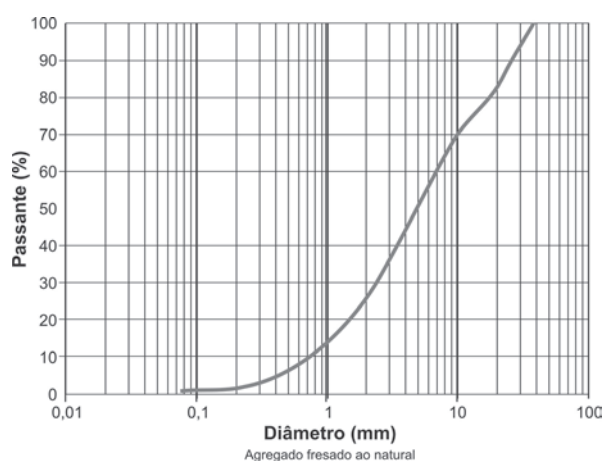


Figura 3: Curva granulométrica do material fresado

Com o intuito de conhecer a homogeneidade do material e verificar a existência de grumos formados pela ação do material asfáltico envelhecido na mistura, foram realizados três ensaios de peneiramento do agregado fresado com e sem a extração do ligante. O betume foi extraído das três amostras em suas totalidades e o processo ocorreu através do uso de um equipamento extrator centrífugo Rotarex. O procedimento da extração seguiu o método DNER-ME 053/94. O teor de betume médio encontrado foi de 6,27%, valor este que caracteriza um traço com elevada quantidade de material fino. Foram realizadas as duas curvas granulométricas, com e sem o ligante (Figura 4).

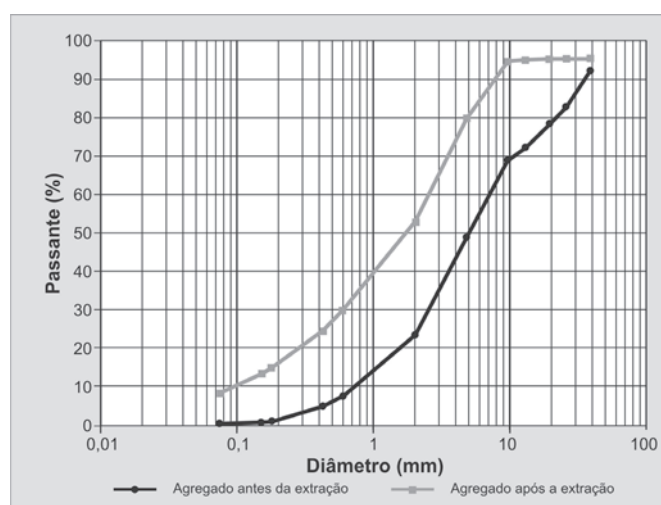


Figura 4: Curvas granulométricas do material fresado deste estudo com e sem ligante asfáltico

O material fresado no estado em que é retirado apresentou uma graduação do tipo aberta, devido

a insuficiência de finos (menor que 0,075mm) presentes na mistura. Este fato é explicado pela ação do betume em aglomerar as partículas menores formando pequenos grumos que agrupam o pó em frações maiores.

Próximo de 63% do fresado se concentrou entre as peneiras de 0,59 mm e 4,76 mm. Após a extração do betume o agregado se caracterizou em sua grande maioria por frações de pequena dimensão, revelando 99,5% menores que 9,5 mm e 84% inferiores a 4,76 mm, a quantidade de pó aumentou consideravelmente.

4.2 Equivalente de areia

A fresadora utilizada, quando corta o pavimento existente, não faz nenhuma separação do material final gerado. A quantidade de partículas indesejáveis para o uso em estruturas de pavimento, tais como a sujeira gerada pelo atrito do pneu com o pavimento e demais contaminações como a poeira do solo local, pode interferir nas características do material. Para analisar estas intervenções, realizou-se o ensaio de equivalente de areia de três amostras, de acordo com a DNER-ME 054/97. O resultado médio obtido foi de 64,1%, (superior aos 30% exigido pelo DNIT para base estabilizada granulometricamente) o que possibilita, para este quesito, o emprego do material em função da baixa contaminação (Tabela 2), uma vez que demonstra não ter ocorrido a mistura de material fino plástico ao fresado.

Tabela 2: Memória de cálculo do equivalente de areia

Amostra passante na peneira no 4	1	2	3
Leitura no topo da argila - Larg.	11,9	11,0	11,3
Leitura no topo da areia - Lare.	7,5	7,0	7,4
Equivalente de areia (EA) - $\frac{Lare.}{Larg.} \times 100$	63,3	63,6	65,5
Equivalente de areia médio	64,1%		

4.3 Abrasão Los Angeles

São características fundamentais para o material utilizado em pavimentação a resistência à quebra, desintegração e deterioração, tanto no momento da execução das camadas estruturais quanto após sua exposição ao tráfego. O ensaio de Abrasão Los Angeles foi realizado segundo a norma DNER-ME 035/98. Neste ensaio é verificado o desgaste que o agregado sofrerá pelo impacto de esferas de aço

maciças. Na pior hipótese, o valor de abrasão Los Angeles do material usado em base não pode exceder 40%. O agregado fresado ensaiado apresentou 36,37% (Tabela 3), o que torna este adequado ao fim destinado.

Tabela 3: Determinação da Abrasão Los Angeles

Peso da amostra inicial - P _{ig} (g)	5002,6	A=(P _p /P _i) x 100
Peso da amostra retida na peneira nº 12 (1,7mm) - P _p (g)	3152,1	
Peso da amostra passando na peneira nº 12 (1,7mm) - P _p (g)	1834,4	Abrasão Los Angeles 36,67%

4.4 Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia (*Califórnia Bearing Ratio*), chamado de ISC em português e CBR em inglês, também foi avaliado. Para definir esse valor, foram compactados cinco corpos de prova do material fresado em teores crescentes de umidade. A energia de compactação utilizada foi a modificada, através de cinco camadas, que, em cada uma aplicou-se 56 golpes de soquete. O experimento seguiu as etapas recomendadas pela DNER-ME 049/94. Para encontrar o valor a ser comparado com a resistência da mistura de materiais considerada padrão, fez-se necessário submeter a amostra compactada na umidade ótima saturada à penetração

Após a compactação, os corpos de prova foram imersos em água com extensômetros acoplados nos cilindros para a determinação da expansão das amostras durante quatro dias. Os valores encontrados são,

respectivamente, para os cinco cilindros utilizados: 0,10%, 0,05%, 0,02%, 0% e 0%. Explica-se a baixa expansão obtida pela presença de material asfáltico envolto aos grãos, insumo este impermeável, não havendo absorção na partícula de grande parte da água misturada. Este resultado é bastante positivo no que diz respeito ao comportamento do material quando saturado, não apresentando grandes deformações devido à presença da água.

Pôde ser determinado, por meio do traçado da curva de compactação, a umidade requerida para se obter a maior densidade do material compactado, que foi de 1,798 g/cm³, e assim encontrou-se 8,5% o teor de umidade ótima da mistura, conforme mostra a Figura 5.

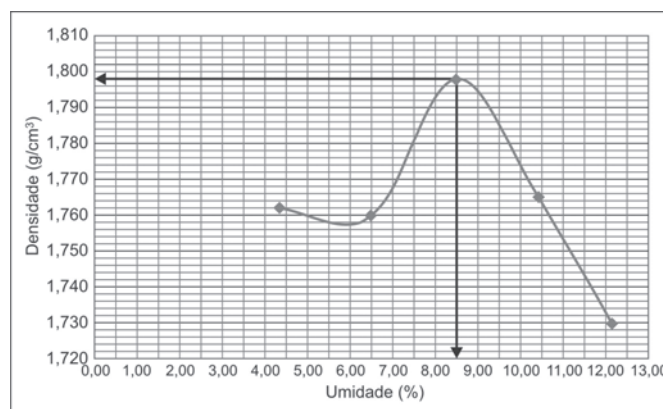


Figura 5: Curva de compactação

Com os resultados, traçou-se a curva de pressão por penetração (Figura 6) e o ISC resultou no valor de 38% (Tabela 4). A Figura 7 mostra a variação do ISC em função do teor de umidade.

Tabela 4: Cálculo do Índice de Suporte Califórnia

Tempo em minutos	Penetração		Pressão padrão (kg/cm ²)	Leituras no extensômetro (mm)	Molde		
	(mm)	(pol)			Pressão		ISC (%)
					Calculada (Kg/cm ²)	Corrigida (Kg/cm ²)	
0,5	0,63	0,025	-	80	8,08		
1,0	1,27	0,050	-	145	14,65		
1,5	1,90	0,075	-	180	18,18		
2,0	2,54	0,100	70	240	24,24	-	34
3,0	3,81	0,150	-	330	33,33		
4,0	5,08	0,200	105	400	40,40	-	38
6,0	7,62	0,300	132	480	48,48		
8,0	10,16	0,400	161	600	60,60		
10,0	12,70	0,500	182	670	67,67		

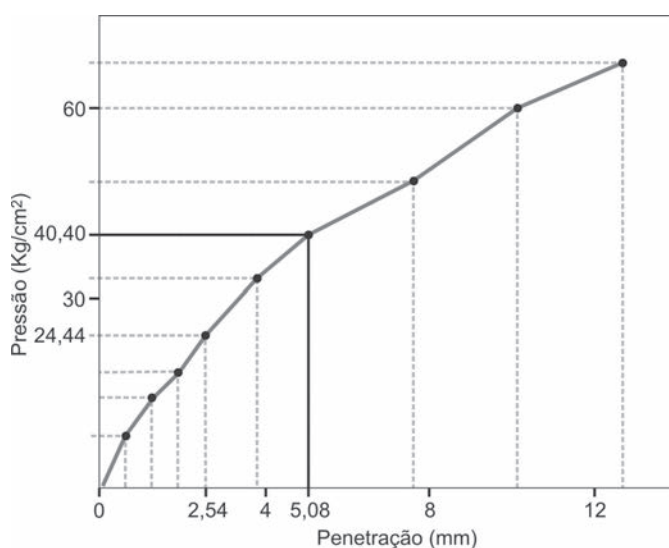


Figura 6: Curva Pressão-Penetração

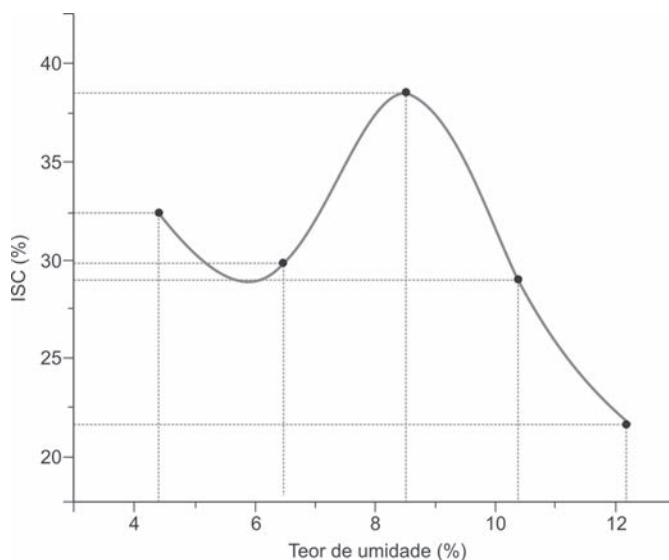


Figura 7: Variação do ISC conforme a umidade adotada

O ISC alcançado de 38% pode ser explicado pela ausência de maior quantidade de material graúdo e também de filer, este último responsável por preencher os vazios gerados no contato dos grãos, densificando, assim a mistura. Por se tratar de um material não convencional, o fresado poderia ser avaliado, em próximo estudo, também por outros métodos de ensaio, como, por exemplo, módulo de resiliência.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados resultados de ensaios realizados em material provido da fresagem a frio *in situ* de pavimentos asfálticos existentes, empregados como agente regularizador e nivelador de acostamentos

em obras de restauração e manutenção de rodovias pavimentadas.

Comparando a distribuição granulométrica do fresado no estado em que o material será empregado com as faixas normalizadas pelo DNIT para bases estabilizadas granulometricamente, mesmo não se enquadrando perfeitamente em nenhuma delas, ficou bastante aproximado aos limites destas. Caso o fresado fosse empregado como tal haveria a necessidade de uma correção granulométrica para estabilizar a mistura com a adição de filer, tais como cal, cimento Portland ou pó de pedra, por exemplo.

O valor de equivalente de areia encontrado satisfaz as normas, mostrando que não há quantidade de material argiloso carregado no ato da fresagem a ponto de influenciar a consistência da mistura.

Por ser constituído de aglomerações de partículas, o agregado fresado se torna bastante susceptível a desfragmentação dos grumos. Esta característica específica da mistura já envelhecida era de fundamental análise para intuir acerca de seu comportamento frente à ação do tráfego. O material apresentou bom resultado e se situou abaixo do máximo valor de Abrasão Los Angeles exigido para a pior situação a ser empregado como base.

A expansão em contato com a água e em estado de saturação foi quase nula, resultado já esperado devido à película de asfalto que envolve os agregados, sendo o primeiro um material impermeável.

O ISC obtido (38%) indica que o agregado fresado retirado deste trecho da rodovia não é propício para usar em base de pavimentos na faixa de rolamento, porém apresenta resultados bastante satisfatórios para a reutilização nos acostamentos que recebe solicitações bem inferiores quando comparado com a pista de rolamento, conforme Oliveria (2007), isto é, próximo a 1% do tráfego de dimensionamento da via.

Por fim, o agregado fresado utilizado mostrou características adequadas a sua reutilização como material alternativo em acostamentos, mostrando que este tipo de agregado pode apresentar qualidade sem a adição de novos insumos, porém sempre apoiado nas respectivas normas para cada função empregada.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação asfáltica formação básica para engenheiros. Programa Asfalto na Universidade. Rio de Janeiro, 2008.
- CASTRO, L. N. Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES; SEST SENAT (2009). Pesquisa CNT de Rodovias. Relatório Gerencial. Brasília, 2009.
- DAU, F. N. F. Uma avaliação técnico/econômica da reciclagem de revestimentos asfálticos a frio em usina em área urbana. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- DAVID, D. Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.
- DNER. Soluções para reabilitação funcional de pavimentos – Lote 06. Programa Emergencial para Recuperação de Rodovias Estaduais Pavimentadas do RS - Projeto. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Porto Alegre, 2009.
- DNER. Agregados - determinação da abrasão “Los Angeles”. DNER-ME 035/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1998.
- DNER. Coleta de amostras de agregados - Procedimento. DNER-PRO 120/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1997.
- DNER. Misturas betuminosas – percentagem de betume. DNER-ME 053/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1994.
- DNER. Equivalente de areia. DNER-ME 054/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1997.
- DNER. Agregados - análise granulométrica. DNER-ME 083/98. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1997.
- DNER. Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório - Procedimento. DNER-PRO 199/96. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1996.
- DNER. Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. DNER-ME 049/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1994.
- DNER. Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. DNER-ES 303/97. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1997.
- DNIT. Manual de Conservação Rodoviária. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2005.
- DOMINGUES, M. P.; BALBO, J. T. Estudo de características de misturas asfálticas recicladas a quente com o emprego de usinas transportáveis de pequeno porte. São Paulo, 2006. Artigo Científico. Disponível em: <<http://www.ptr.poli.usp.br/Imp/artnac.htm>>. Acesso em: 05.02.2011.
- MOREIRA, H. S. Comportamento mecânico de misturas asfálticas a frio com diferentes teores de agregado fresado incorporado e diferentes modos de compactação. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005.
- OLIVEIRA, E. L. Considerações sobre o projeto de acostamentos para rodovias. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 2007.

Cenário atual e quesitos para implantação de laboratórios em concessionárias

Lenice Mirian da Silva

Mestranda, Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP.
Engenheira civil do Grupo CCR NovaDutra. E-mail: le_mirian@yahoo.com.br.

Delma de Mattos Vidal

Doutora, engenheira civil, Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Divisão de Engenharia Civil – Departamento de Geotecnia, São José dos Campos, SP. E-mail: delma@ita.br.

RESUMO

Um laboratório de ensaios capaz de atender as necessidades de uma concessionária no que se refere a serviços de manutenção ou implantação é um importante aliado para atingir as metas e contribuir para a evolução da tecnologia rodoviária. Ele atua em todas as fases dos serviços necessários ao bom desempenho da via (projeto, controle de qualidade e monitoramento), no treinamento de equipes técnicas de modo a garantir a qualidade dos ensaios e no desenvolvimento de pesquisas. Este artigo tem por objetivo discutir o cenário atual no Brasil no que se refere aos laboratórios e ensaios mais realizados/solicitados pelas concessionárias, os quesitos para a implantação de laboratórios que atendam suas necessidades, e os procedimentos para garantir a qualidade de suas atividades, incluindo um exemplo de programa interlaboratorial.

PALAVRAS-CHAVE: laboratório, tratamento de dados, garantia da qualidade, programa interlaboratorial, concessionárias.

ABSTRACT

A testing laboratory which is capable of fulfilling the needs of an utility concession in relation to maintenance or implantation services is an important allied in order to achieve goals and contribute to the evolution of road technology. It acts in all phases of the services needed for good performance of the road (design, quality control and monitoring), in training of technical teams so that the quality of tests and development of research are guaranteed. This article aims at discussing the current scenario in Brazil concerning labs and most accomplished/required tests by utility concessions, the queries for the implantation of labs that fulfill their requirements and the procedures in order to guarantee the quality of its activities, including one example of interlaboratory program.

KEYWORDS: laboratory, data management, quality guarantee, interlaboratory program, utility concessions.

1 INTRODUÇÃO

O processo de implantação de concessões rodoviárias iniciou-se no Brasil em 1995 com uma parceria entre o governo federal e os governos estaduais, dando continuidade ao processo de descentralização das atividades do Estado na área de transporte. Estas concessões transferem à iniciativa privada a prestação de determinados serviços que, apesar de serem essenciais à sociedade, não precisariam necessariamente ser oferecidos pelo poder público (ANTT 2010a).

As concessionárias são responsáveis pela administração das rodovias, cabendo a elas, entre outras responsabilidades, a implementação dos serviços relacionados ao bom funcionamento da via, tais como, projeto, construção, controle de qualidade, conservação, restauração e reconstrução.

Para administrar a malha viária e atender aos serviços de pavimentação, as concessionárias contam com Sistemas de Gerência de Pavimentos – SGP. Estes sistemas englobam várias atividades, tais como planejamento, construção, monitoramento, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos. Face ao grande volume de dados envolvidos nestas atividades, para que sejam mais eficientes é importante que estes sistemas estejam associados a bancos de dados completos e eficazes, continuamente alimentados com as informações sobre a via e de fácil acesso.

Para alimentar corretamente o SGP da concessionária, é recomendável que o banco de dados esteja associado ao laboratório responsável pela obtenção e controle de qualidade dos parâmetros que o alimentam. Deste modo, as concessionárias que utilizam um SGP como ferramenta para gerenciar toda a malha viária, tem interesse em implantar laboratórios de ensaios para atender toda a demanda do SGP. Os laboratórios de ensaios instalados nas concessionárias são responsáveis pelo controle de qualidade das obras executadas, dosagem de misturas de solos e asfalto, obtenção de parâmetros para projeto e gerência e pesquisa. As concessionárias que não possuem o laboratório em suas instalações, geralmente utilizam laboratórios terceirizados, por meio de contratos de ensaios.

Os laboratórios de ensaios são fundamentais para o fomento de pesquisas, fornecendo subsídios aos pesquisadores, proporcionando treinamento de equipes técnicas e pesquisas de novos materiais para atender as necessidades brasileiras em infraestrutura, e compor um

banco de dados capaz de dar subsídios às futuras ações da concessionária. Segundo Bernardo Figueiredo, Diretor Geral da ANTT (ANTT 2010b), uma verba no montante de 0,25% da Receita Bruta de Pedágio anual é destinada ao Recurso para Desenvolvimento Tecnológico - RDT, previsto em alguns contratos de concessão de rodovias federais para fomento da pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área de engenharia rodoviária. Estes recursos devem ser utilizados para desenvolvimento de projetos de pesquisas aprovados pelo Poder Concedente, que os acompanha e fiscaliza. Diversos trabalhos, frutos do RDT, vêm sendo publicados em congressos da área, e várias pesquisas são realizadas com a participação de instituições acadêmicas.

Deste modo, o laboratório de ensaios de uma concessionária possui finalidades diferenciadas dos laboratórios convencionais, pois além da necessidade de executar grande volume de ensaios de controle e dar suporte a laboratórios móveis e avançados, é instrumento de pesquisa específica e de formação de um banco de dados com grande influência na garantia de qualidade das atividades em andamento e futuras da empresa.

Este artigo discute o cenário atual e os quesitos básicos para a implantação de laboratórios de concessões, os ensaios mais executados e os procedimentos de controle de qualidade. Para avaliar alguns dos tópicos abordados são apresentados resultados de pesquisa junto a concessionárias e um exemplo de programa interlaboratorial com o intuito de verificar as condições que envolvem este programa.

2. CENÁRIO ATUAL

Um laboratório de ensaios para atender a demanda de uma concessionária rodoviária deve ser capaz de realizar ensaios com os materiais mais usuais nas atividades relacionadas com o pavimento: solos, materiais granulares, cimentados/concreto, materiais asfálticos, geossintéticos e aços.

Para avaliar o cenário atual no Brasil dos laboratórios de ensaio das concessionárias, formulários de pesquisa foram preparados e enviados às concessionárias federais, ligadas à ANTT (totalizando 14 trechos de concessões correspondendo a 4.763,80 km), e às concessionárias rodoviárias do Estado de São Paulo, ligadas à ARTESP (totalizando 19 trechos de concessões correspondendo a 5.300 km). As respostas recebidas equivalem a 72% da extensão total da malha rodoviária ligada à ANTT, e 60%

do total da malha ligada à ARTESP, conforme mostra a Figura 1.

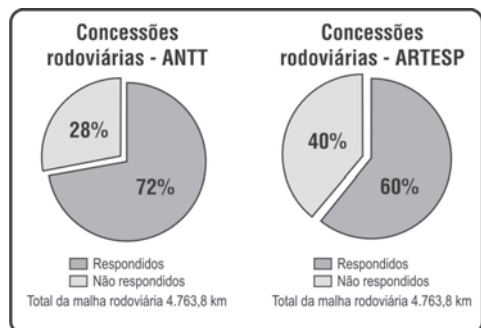


Figura 1 - Distribuição das respostas em relação à malha rodoviária (Silva 2011).

Algumas destas concessionárias fazem parte de um mesmo grupo empresarial, onde os grupos enviaram uma única resposta ao formulário recebido, representando o conjunto das concessões do grupo. Para avaliar os resultados da pesquisa optou-se por fazer a análise conjunta de cada grupo, identificando-se cinco grupos distintos denominados: I, II, III, IV e V.

Tendo a pesquisa o intuito de verificar a situação dos laboratórios nas concessionárias e quais são os tipos de ensaios realizados nestes laboratórios com os diferentes materiais utilizados na área de infraestrutura rodoviária, ensaios de avaliação de pavimentos, para as condições funcionais, estruturais e índice de condição de pavimentos, não foram contemplados.

Por ser uma pesquisa subjetiva, a escolha das opções frequentemente ou usualmente, ficou a critério da própria empresa ao responder a pesquisa. Coube a empresa, assinalar se os ensaios descritos eram frequentemente ou usualmente realizados na própria instituição ou solicitados em laboratórios contratados, ou ainda se não eram realizados/solicitados. Os formulários indicavam uma lista de ensaios básicos e tinham um campo para as empresas inserirem outros ensaios que elas considerassem relevantes.

Os resultados das pesquisas, para os materiais de solos, granulares, cimentados, asfálticos, geossintéticos e aço, estão resumidos nas Tabelas 1 a 4.

Silva (2011) apresenta uma discussão detalhada destes resultados, das normas utilizadas para a realização dos ensaios e uma lista dos tipos de ensaios básicos recomendados para os diversos materiais, como sugestão para a implantação de um laboratório de concessionária rodoviária e aeroportuária. A autora relata que as normas utilizadas na realização dos ensaios são as normas

brasileiras, tais como ABNT, DNIT (DNER), americanas, como AASHTO e ASTM, e em alguns casos DIRENG e especificações particulares.

Em relação ao objeto deste artigo, da análise destas tabelas pode-se aprender alguns aspectos interessantes:

- laboratórios de ensaios já são realidade em várias concessões;
- estes laboratórios estão equipados para realizar os principais ensaios de caracterização de solos, materiais granulares, cimentados e asfálticos;
- esta caracterização é feita com frequência;
- materiais especiais como os geossintéticos ou aço não vem sendo ensaiados nestes laboratórios, nem em relação as suas características físicas; e
- alguns dos laboratórios já fazem também com frequência alguns dos ensaios de comportamento, principalmente em solos, materiais cimentados e asfálticos.

Tabela 1 – Resultados da pesquisa para os ensaios de materiais granulares e cimentados.

Materiais Granulares	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Análise Granulométrica	+	+	+	+	+
Equivalente de areia	+	+	+	+	+
Teor de umidade	+	+	+	-	+
Compactação	+	+	+	-	+
Abrasão	+	+	+	-	-
Durabilidade	+	+	+	-	-
Outros:					
Determinação do índice de forma	+				+
Vazios de agregados finos não compactados	+				
Adesividade		+			
Massa específica					+
Massa unitária solta					+
Massa unitária seco compactado					+
Azul de metileno					+
Angulosidade					+
CBR					
Densidade "in situ"					
Resistência ao choque					
Massa unitária					
Materiais Granulares	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Moldagem e cura de corpos de prova cilíndrico ou prismático	-	+	+	+	+
Compressão de corpos de prova cilíndricos	+	+	+	+	+
Água para amassamento de concreto de cimento Portland	-	+	+	-	x
Outros:					
Ruptura injeção de cimento	+				
Fluidez de calda de cimento	-				
Calda para injeção de cimento de tirantes e vigas protendidas		+			+
Compactação					+
Análise Granulométrica					+
Titulação					
Resistência a tração na flexão					
Abatimento					
Legenda: + Solicitado/realizado frequentemente na própria empresa - Solicitado/realizado eventualmente na própria empresa + Solicitado/realizado frequentemente contratado - Solicitado/realizado eventualmente contratado x Não solicitado/realizado					

Tabela 2 – Resultados da pesquisa para os ensaios de materiais asfálticos.

Materiais Asfálticos	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Danos por umidade induzida	+	—	—	+	+
Densidade cimento asfáltico	+	—	×	+	+
Densidade máxima teórica da mistura		+	+	+	+
Formação de espuma a 175°C	+	+	+	+	+
Gotejamento	—	×	×	×	—
Moldagem 120 golpes	+	+	×	×	+
Penetração	+	+	+	+	+
Ponto de amolecimento	+	+	+	+	+
Retorno alástico	+	—	+	+	+
Titulação	+	×	×		
Viscosidade	+	+	+	+	+
Outros:					
Determinação da resistência a por compressão diametral	+				+
Determinação da percentagem de ligante asfáltico em misturas asfálticas a quente	+				+
Condicionamento de mistura asfáltica e quente	+				
Cal hidratada - Porcentagem de óxido de cálcio (CaO)	+				—
Ponto de fulgor		+			
Determinação do módulo de resiliência			—		
Dosagem Marshall Moldagem com 75 golpes por face				+	
Análise Granulométrica					+
Compactação de corpos de prova					+
Massa específica					+
Estabilidade e Fluência					+
Cantabro					—
Adesão de areia pela máquina LWT					—
Perda por abrasão úmida					—
Adesividade					
Teor de betume					

Legenda: + Solicitado/realizado frequentemente na própria empresa
 — Solicitado/realizado eventualmente na própria empresa
 + Solicitado/realizado frequentemente contratado
 — Solicitado/realizado eventualmente contratado
 × Não solicitado/realizado

Tabela 3 – Resultados da pesquisa para os ensaios de solos.

Solos	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Análise Granulométrica	+	+	+	—	+
Límite de Liquidez	+	—	+	—	+
Límite de Plasticidade	+	—	+	—	+
Determinação do teor de umidade natural	—	+	×	—	+
Compactação	+	+	+	—	+
CBR	+	+	+	—	+
Determinação do módulo de resiliência	—	—	×	—	—
Adensamento unidirecional	×	×	×	×	×
Resistência ao cisalhamento	×	×	×	×	×
Condutividade hidráulica	×	×	×	×	×
Outros:					
MCT		—			
Densidade real					+
Densidade do campo-cilindro					+
Densidade do campo-frasco de areia					+
SPT					+

Legenda: + Solicitado/realizado frequentemente na própria empresa
 — Solicitado/realizado eventualmente na própria empresa
 + Solicitado/realizado frequentemente contratado
 — Solicitado/realizado eventualmente contratado
 × Não solicitado/realizado

Tabela 4 – Resultados da pesquisa para os ensaios de geossintéticos e aços.

Ensaio Geossintéticos	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Massa por unidade de área		—	×		—
Resistência a tração unidirecional não confinada		—	×		—
Resistência ao puncionamento		—	×		—
Resistência à queda do cone			×	×	—
Permeabilidade normal		—	×		—
Capacidade de fluxo do plano		—	×		—
Outros:					
Durabilidade					
Abertura aparente de poros					
Ensaio Geossintéticos	Concessionárias Rodoviárias				
	I	II	III	IV	V
Tração		+	×	—	—
Determinação da massa por unidade de área		+	×	—	—
Verificação da aderência		+	×	—	—

Legenda: + Solicitado/realizado frequentemente na própria empresa
 — Solicitado/realizado eventualmente na própria empresa
 + Solicitado/realizado frequentemente contratado
 — Solicitado/realizado eventualmente contratado
 × Não solicitado/realizado

IMPLANTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO COORDENADOR

1 Laboratório Coordenador

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) deve considerar os vários tipos de materiais que compõem a estrutura de um pavimento ou dão suporte a ele. Laboratórios da própria concessionária ou parceiros, permitem realizar ensaios de solo, materiais granulares, asfalto, materiais cimentados, geossintéticos e aço, contribuindo para a evolução da tecnologia rodoviária.

Silva e Vidal (2011) discutem o interesse da implantação de um laboratório de ensaio relacionado a um SGP, relatando que uma vez que o laboratório é implantado, ele contribui de forma significativa em todos os processos:

- em projetos, fornecendo informações relevantes sobre os materiais para as alternativas de projeto, inclusive dando suporte aos trabalhos ou análises de estabilidade em cortes e aterros,
- nas etapas de construção, manutenção e avaliação, contribuindo com a garantia da qualidade dos serviços executados,
- nas pesquisas de interesse da concessionária, fornecendo condições de análise para melhores desem-

penhos dos produtos relacionados ao laboratório de ensaios.

Considerando que as atividades de uma concessionária ou de um grupo de concessões, geralmente envolve ensaios em laboratórios avançados, temporários e móveis é conveniente que a concessão ou grupo tenha um laboratório coordenador que coordene o conjunto das atividades, agrupando os dados obtidos nos vários laboratórios e no monitoramento das vias, evitando a fragmentação e perda das informações e sendo responsável pelo treinamento das equipes técnicas, pela garantia da qualidade dos laboratórios permanentes, móveis e temporários, e pelo desenvolvimento interno.

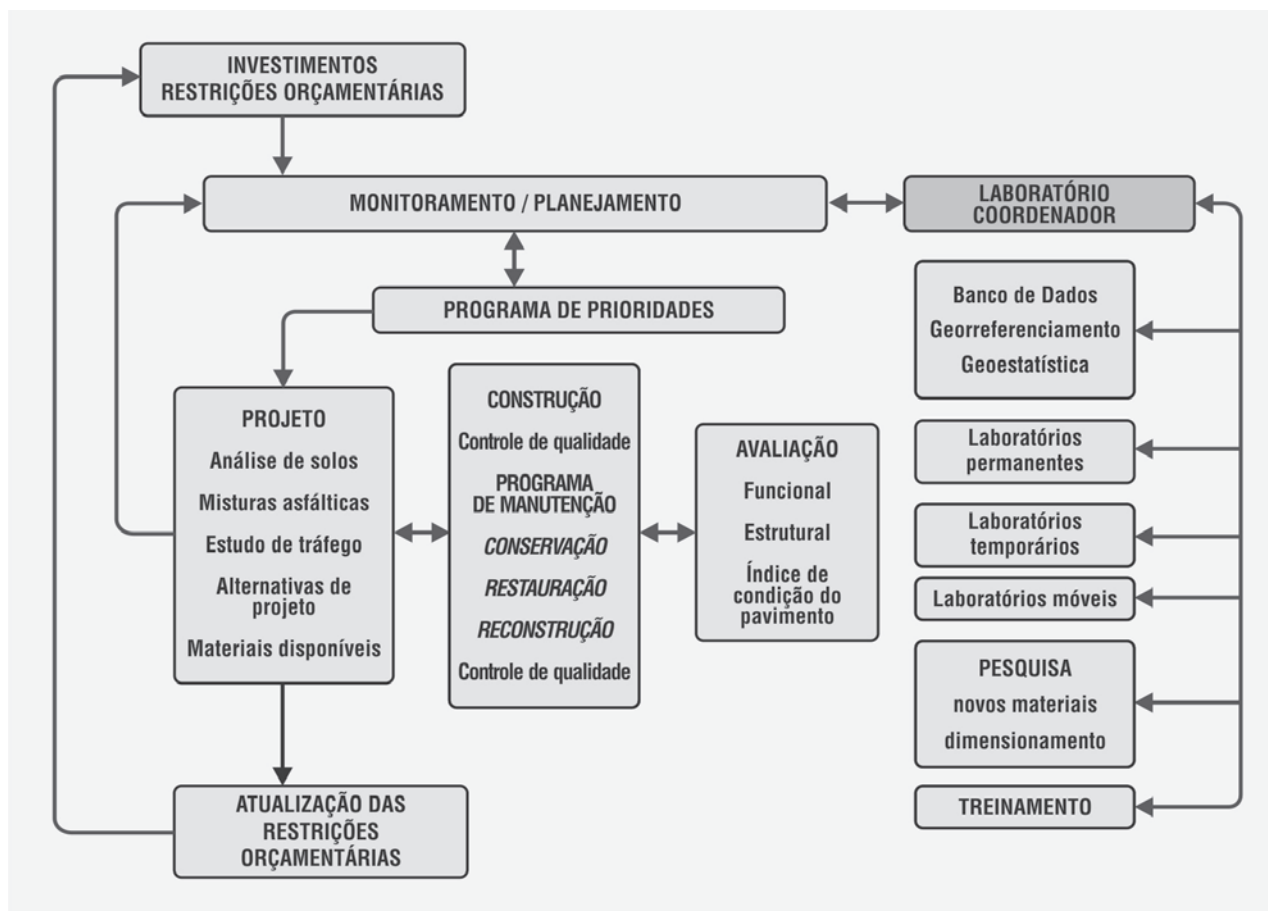
O laboratório coordenador está diretamente ligado com a atividade de monitoramento/planejamento, e este por sua vez recebe todas as informações das demais atividades do SGP. Em função das necessidades da concessão, podem ser necessários diversos laboratórios associados a um laboratório coordenador. No fluxograma

ilustrado na Figura 2, estão apresentadas as atividades do laboratório coordenador, que gerencia todas as informações do banco de dados, e é o responsável pelos laboratórios permanentes, temporários e móveis.

O laboratório deverá instituir, documentar, implementar, manter e melhorar continuamente a eficácia de um Sistema de Gestão da Qualidade. Pode-se dizer que o produto do laboratório são os ensaios nele realizados, e quanto aos recursos humanos, o pessoal que executa atividades que afetam a qualidade do produto deve ser competente com base em educação, treinamento, habilidades e experiência apropriada (GOMES 2002).

Convém que a análise crítica da capacidade do laboratório determine se este possui os recursos físicos, de pessoal e de informações necessários, e se o pessoal do laboratório tem as habilidades e a especialização necessárias para a realização dos ensaios e calibrações. A análise crítica pode também incluir resultados de participação em ensaios de proficiência e programas de calibração experimental (ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005).

Figura 2 - Principais classes de atividades de um SGP (SILVA e VIDAL 2011).



2 Tratamento de Dados

Estando o laboratório de acordo com as normas para o qual ele está inserido, deve-se verificar a questão do tratamento de dados, este um fator preponderante na análise dos resultados dos ensaios.

Os laboratórios de ensaios, permanentes, temporários ou móveis, geram uma quantidade significativa de informações que necessitam ser gerenciadas. Para que estas informações sejam manipuladas de forma a garantir uma eficácia para futuras análises e consultas, é necessário que elas estejam contempladas em um banco de dados da concessionária. O banco de dados deverá conter informações para diversos projetos, a partir dos ensaios realizados, sendo informações para projetos geotécnicos, de pavimentos e drenagem.

O termo banco de dados pode estar associado a um simples armazenador de informações ou a um complexo sistema computadorizado (OLIVEIRA 2009, p.ex.). Um SGP eficiente deveria estar associado a um banco de dados especialmente concebido para armazenar, tratar e fornecer rapidamente as informações necessárias, o que exige um complexo sistema computadorizado. Complementarmente Albuquerque (2007) relata que o banco de dados é uma ferramenta muito importante e utilizada em Sistemas de Gerência de Pavimentos, e deve ser bem estruturado e conter dados confiáveis.

Devido ao volume de dados resultantes do controle de materiais e processos coordenados por este laboratório, é necessário que os dados sejam adequadamente armazenados num banco de dados. Além de um banco de dados eficiente é importante também que o laboratório coordenador tenha suporte para aplicação de uso de técnicas estatísticas.

Uma das ferramentas estatísticas mais interessantes para o tratamento dos dados obtidos ao longo de uma rodovia ou na pista ou pátio de aeroportos, é a geoestatística, que poderá fornecer subsídios tanto para a estratégia de gerenciamento da concessão, como para futuras concorrências e licitações.

Através da Geoestatística é possível descrever a variabilidade espacial e temporal de parâmetros de desempenho do pavimento, podendo ser utilizada também na otimização de amostragem em campanhas de monitoramento. Por exemplo, Albuquerque (2007) compara dados reais de desempenho de pavimentos, levantados em campanhas de monitoramento com dados estima-

dos por esta ferramenta para avaliar a quantidade de segmentos ótima para amostragem na malha rodoviária.

Shinohara et al. (2006) relata que com o uso de técnicas como a geoestatística é possível estimar o tamanho das áreas que precisam ser pavimentadas, como também as que exigem um serviço de manutenção mais eficiente, tais como micro-fresagem e recapeamento. Os autores utilizaram a geoestatística para estimar, quantificar e determinar a distribuição espacial dos valores de atrito em uma pista aeroportuária.

GARANTIA DA QUALIDADE DOS ENSAIOS REALIZADOS

Considerações gerais

É necessário que o laboratório possa garantir a realização dos ensaios conforme os procedimentos estabelecidos, possuir equipamentos com calibração adequada, ter uma equipe técnica bem qualificada para a realização dos ensaios, tratamento e armazenamento dos dados, incluindo o uso de técnicas estatísticas. Recomenda-se ainda que o laboratório tenha programas de ensaios de proficiência internos que considerem e avaliem os procedimentos e sua repetibilidade, e ensaios externos, realizando comparações interlaboratoriais, com a finalidade de validar seus resultados e garantir a confiabilidade dos mesmos.

A partir do cenário das concessões rodoviárias apresentado neste artigo, pode-se vislumbrar a possibilidade de realizar programas interlaboratoriais entre as concessionárias, que poderiam, por exemplo, ser coordenados pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias – ABCR.

Ensaio de proficiência com uso de técnicas estatísticas pode ajudar no entendimento da variabilidade e, desta forma, auxiliar as organizações a resolver os problemas e melhorar a sua eficácia e eficiência. Tais técnicas, facilitam um melhor uso dos dados disponíveis para orientar na tomada de decisões (ABNT NBR ISO 9000:2005).

Análise estatística de ensaios de proficiência

Chui et al. (2004) apresentam as técnicas estatísticas mais utilizadas nos programas para qualidade analítica, sendo:

- técnica de z-score, para avaliação do desempenho técnico de laboratórios;
- técnica do gráfico da elipse de confiança, utilizada

- para verificar a compatibilidade entre os laboratórios, e segue o método de Youden;
- c. teste de Cochran e de Grubbs, o teste de Cochran é aplicado quando se deseja comparar variâncias, ou seja, verificar se a variância dos resultados obtidos por um laboratório é diferente da variância dos demais laboratórios, e o teste de Grubbs, que verifica se as médias obtidas pelos vários laboratórios são compatíveis, após efetuado o teste de Cochran;
 - d. análise das variâncias (ANOVA)-fator único é um dos modelos estatísticos recomendados, quando os resultados de um programa interlaboratorial são utilizados para estudar o efeito devido à variabilidade de laboratórios;
 - e. índices de repetitividade-Repê (r) e reprodutibilidade-Reprô (R), dois parâmetros de precisão que têm demonstrado serem necessários e suficientes para descrever as variabilidades de um método de ensaio.

De acordo com o Guia da ABNT ISO/IEC GUIA 43-1:1999, os resultados dos ensaios de proficiência podem aparecer de diversas formas, e as técnicas estatísticas precisam ser apropriadas para cada situação. O guia relata as técnicas estatísticas para o tratamento de dados dos ensaios de proficiência, abordando procedimentos para a determinação do valor designado e sua incerteza, cálculos de estatísticas de desempenho, avaliação de desempenho, e em alguns casos a determinação preliminar da homogeneidade de itens de ensaio.

Para a determinação do valor designado e sua incerteza, os procedimentos envolvidos são os valores conhecidos, valores de referência certificados, valores de referência, valores de consenso de laboratórios especialistas ou participantes. Quando se aplica os valores designados por técnicas de consenso, o uso de estatística como valor qualitativo ou quantitativo deve ser aplicado.

Para o cálculo de estatística de desempenho, deve-se considerar o desempenho de itens únicos de ensaio e valores de desempenho combinado. As medidas de variabilidade incluem desvio padrão, coeficiente de variação, e percentis. A diferença percentual pode ser utilizada para expressar os resultados quantitativos. Em alguns casos a avaliação de desempenho pode ser expressa através de consenso de especialistas, adequação ao propósito, determinação estatística para valores e consenso dos participantes.

Programa interlaboratorial

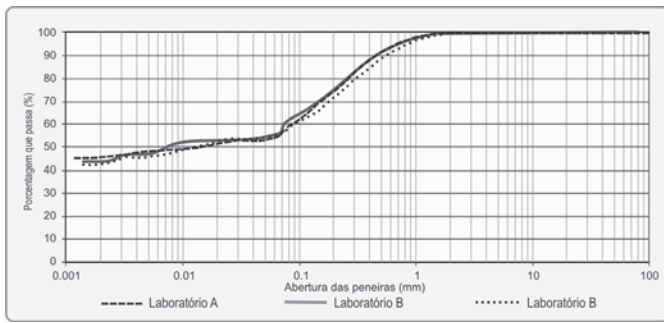
A participação de um laboratório de ensaios em programas interlaboratoriais é uma importante ferramenta para avaliar sua competência nos resultados dos ensaios realizados. O programa interlaboratorial é caracterizado como um tipo de ensaio de proficiência, podendo ser utilizado no processo de credenciamento junto aos órgãos pertinentes.

Silva (2011) discute a importância de programas interlaboratoriais para os laboratórios das concessionárias e apresenta um exemplo simplificado de programa interlaboratorial, fornecendo instruções para que este processo possa vir a ser utilizado na implantação e operação de um laboratório de ensaios de uma concessionária rodoviária ou aeroportuária.

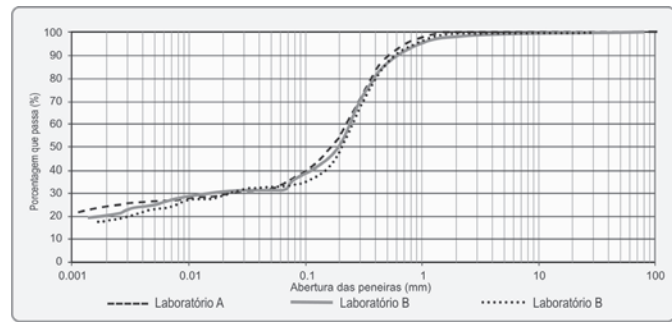
Para facilitar a compreensão e avaliar as dificuldades de um programa interlaboratorial, Silva (2011) apresenta um exemplo deste tipo de programa. Para o exemplo em questão foram convidados três diferentes laboratórios de ensaios: um laboratório de concessionária rodoviária, um laboratório de instituição acadêmica e um laboratório acreditado pelo INMETRO para a realização do programa.

Como o objetivo era exemplificar um programa e verificar as condições deste, foram adotados poucos ensaios e poucos laboratórios, com apenas duas amostras base, uma de solo argiloso – Amostra 1, e uma de solo arenoso – Amostra 2, a serem distribuídas entre os laboratórios. As amostras foram coletadas e identificadas, numa única ocasião e imediatamente encaminhadas aos laboratórios participantes. O programa avaliou os ensaios para determinação da densidade dos grãos do solo (densidade real), análise granulométrica, compactação Proctor Normal e Índice de Suporte Califórnia (ISC) sem carga e não saturado, determinado nos corpos de prova do ensaio de compactação. Informações mais detalhadas sobre coleta de amostras, escolha da jazida, e técnicas estatísticas utilizadas podem ser encontradas em SILVA (2011).

Para a aplicação de técnicas estatísticas, é preciso estabelecer valores a serem comparados. Por exemplo, a Figura 3 apresenta os resultados de ensaios referente a análise granulométrica por peneiramento e sedimentação. As curvas permitem observar uma boa correspondência entre os resultados, mas para uma análise estatística é preciso escolher valores característicos.



(a) Amostra 1.



(b) Amostra 2.

Figura 3 - Resultados do ensaio da análise granulométrica

Para avaliação dos resultados dos ensaios de análise granulométrica foram escolhidos os diâmetros característicos d85 e d60 para a análise do peneiramento, d30 (Amostra 2) e d50 (Amostra 1) para a análise da sedimentação. Os valores de teor de umidade ótimo e peso específico aparente seco máximo, são os parâmetros escolhidos para análise do ensaio de compactação. No caso do ensaio ISC foi adotado o valor de ISC estimado para o teor de umidade ótimo.

o valor quantitativo representado pela média do conjunto de laboratórios para cada resultado característico avaliado. No cálculo de estatística de desempenho, os dados resultantes dos ensaios realizados são transformados, através da diferença percentual, auxiliando a interpretação e permitindo comparação entre os laboratórios. As medidas de variabilidade estão expressas através do cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação.

Definiu-se como valor designado para cada parâmetro

Os parâmetros resultantes dos ensaios das amostras 1 e 2, são apresentados na Tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Parâmetros resultantes dos ensaios da Amostra 1.

Parâmetros resultantes dos ensaios	Amostra 1 – Solo argiloso					
	LABORATÓRIO A	LABORATÓRIO B	LABORATÓRIO C	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO
Densidade Máxima Seca (g/cm ³)	1,660	1,617	1,610	1,629	0,027	2%
Umidade Ótima	20,0	21,6	21,1	20,9	0,8	4%
ISC (%)	15,5	14,0	20,0	16,5	3,1	19%
d85	0,350	0,350	0,380	0,360	0,017	5%
d60	0,082	0,076	0,085	0,081	0,005	6%
d50	0,0081	0,0075	0,0125	0,0094	0,0027	29%
Densidade Real (g/cm ³)	2,646	2,646	2,680	2,663	0,017	1%

Tabela 6 – Parâmetros resultantes dos ensaios da Amostra 2.

Parâmetros resultantes dos ensaios	Amostra 2 – Solo argiloso					
	LABORATÓRIO A	LABORATÓRIO B	LABORATÓRIO C	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIACÃO
Densidade Máxima Seca (g/cm ³)	1,890	1,857	1,76	1,836	0,068	4%
Umidade Ótima	13,5	13,3	12,7	13,2	0,4	3%
ISC (%)	25,5	29,0	32,0	28,8	3,3	11%
d85	0,450	0,450	0,470	0,457	0,012	3%
d60	0,230	0,230	0,250	0,237	0,012	5%
d50	0,0250	0,0180	0,0200	0,0210	0,0036	17%
Densidade Real (g/cm ³)	2,646	2,664	2,650	2,653	0,009	0%

Para a análise quantitativa, utiliza-se a diferença percentual, obtida a partir de:

$$\text{Diferença Percentual} = \frac{(x-X)}{X} \times 100 \quad (1)$$

Onde "x" é o resultado do laboratório participante e "X" é o valor designado, neste caso, a média dos três

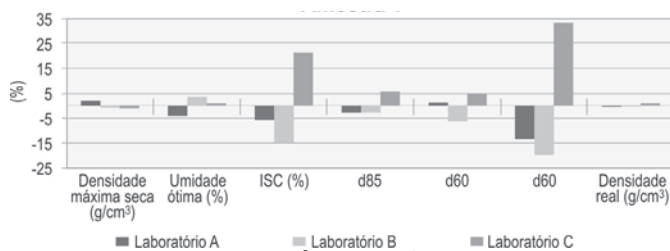
laboratórios, como pode ser observado na Figura 4.

A avaliação de desempenho pode ser obtida através de consenso de um grupo consultor, que determinam se os resultados dos laboratórios participantes estão adequados. A partir da análise estatística dos resultados mostrada nas Tabelas 5 e 6, observa-se diferenças significativas entre os laboratórios nos resultados dos ensaios de sedimentação e

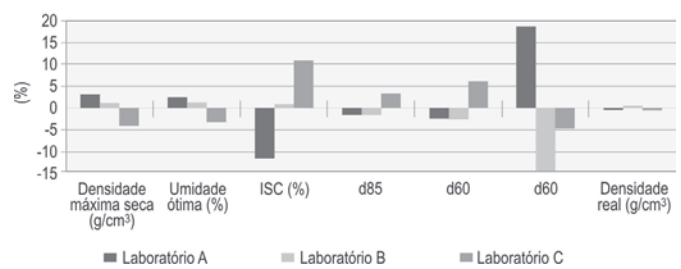
de Índice de Suporte Califórnia nas duas amostras. O ensaio de sedimentação tem procedimento bastante susceptível a erros mas as curvas apresentadas na Figura 3 mostram boa coerência entre os resultados mas a comparação entre valores no trecho da curva praticamente paralelo ao eixo em escala logarítmica implica em maior dispersão de valores característicos. O ensaio ISC mostrou diferenças consideráveis, tanto no valor característico como nas curvas ISC_{xh}, indicando a necessidade de avaliar os procedimentos e refazer os ensaios.

Outro aspecto interessante foi observado em relação aos ensaios de compactação. Apesar de coeficientes de variação baixos, as curvas obtidas foram bastante diferentes como ilustra a Figura 5 para o caso da amostra 2. Verificando os procedimentos, observa-se que a curva do Laboratório C foi obtida sem secagem prévia (procedimento adotado pelo laboratório), e os laboratórios A e B executaram o ensaio com secagem prévia. A descrição dos ensaios indicava apenas a norma que deveria ser adotada, sem atentar para o fato de que a norma de compactação indica três processos, o primeiro relacionado à compactação com secagem prévia e os dois seguintes com amostra na umidade natural. Em princípio, considerando o conhecimento teórico pode-se imaginar que um laboratório optasse naturalmente pelo procedimento sem secagem prévia desde que recebesse uma amostra que tivesse sua umidade natural preservada.

Na realidade, os estudos mostrando a importância da compactação na umidade natural (FERRIER e COCHET 1980, HRB 1962, p.ex.) são pouco difundidos e as normas de ensaio NBR 6457:1986 (preparação de amostras) e NBR 7182:1986 (ensaio de compactação) indicam como primeiro procedimento a preparação da amostra com secagem prévia, mas apresentam mais dois procedimentos para amostras que foram convenientemente embaladas para evitar perda de umidade, com início da compactação antes e depois da umidade ótima presumida. Elas não alertam sobre o fato de que a compactação com secagem prévia só deveria ser adotada na impossibilidade de preparar a amostra a partir da umidade natural.



Amostra 1.



Amostra 2.

Figura 4 – Diferença percentual nos ensaios.

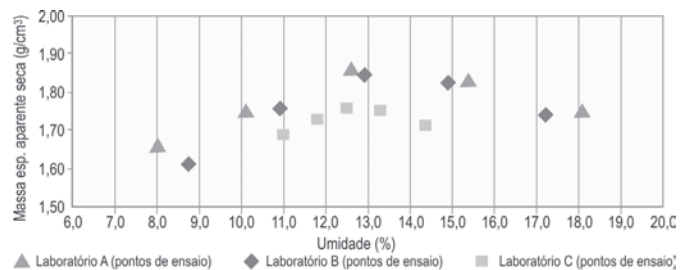


Figura 5 - Exemplo de ensaio que precisaria ser reavaliado para amostra 2.

DISCUSSÕES E COMENTÁRIOS

Um laboratório de ensaios implantado na própria concessionária é de fundamental importância, uma vez que ele pode dar suporte as atividades do SGP, possibilitando o aperfeiçoamento dos serviços de construção, avaliação e manutenção, e permite o desenvolvimento de pesquisas.

Através da pesquisa sobre o cenário atual das concessões, que obteve respostas de 72% do total da malha rodoviária das concessões federais e de 60% do total da malha rodoviária das concessões do Estado de São Paulo, foi possível verificar que dos cinco grupos de concessionárias rodoviárias identificados, apenas um deles contrata os ensaios para os materiais descritos na pesquisa, sendo que os outros quatro possuem laboratórios em suas próprias instalações. A frequência com que os ensaios são realizados/solicitados varia de uma concessionária para outra. Observa-se certa similaridade nos tipos de ensaios executados, dependendo da rodovia administrada, em função da necessidade de obras de ampliação, reconstrução, reforço, obras com geossintéticos, obras que exijam ensaios de aço. De uma maneira geral, as concessionárias rodoviárias apresentaram maior número de ensaios para os materiais asfálticos. Pode-se dizer que os laboratórios são uma necessidade atualmente nas concessionárias rodoviárias.

Analisando os ensaios realizados/solicitados pelas

empresas, pode-se dizer que a maior parte dos ensaios básicos listados no formulário da pesquisa são executados, exceto para os geossintéticos e aços, para os quais mesmo os ensaios mais simples não são usuais.

A existência de um laboratório coordenador com um banco de dados eficiente e operacional também foi salientada. Além disto, foi ressaltada a importância do apoio estatístico e do uso da geoestatística na obtenção e análise dos parâmetros, bem como dos ensaios de proficiência para verificar a qualidade dos laboratórios e ensaios realizados. O exemplo de interlaboratorial mesmo contando apenas com três laboratórios envolvidos, permitiu verificar diferenças de procedimento e avaliar como funciona um programa interlaboratorial e quanto este tipo de programa é importante na rede de laboratórios de ensaios.

Deste modo, recomenda-se a realização da prática de programas interlaboratoriais nos laboratórios de ensaios, possibilitando a aplicação de técnicas estatística,

nas quais, ajudam na avaliação de desempenho para avaliar a competência dos laboratórios na realização dos ensaios. É possível realizar um programa interlaboratorial entre as concessionárias que possuem laboratórios em suas próprias instalações e nos laboratórios contratados, para os diversos materiais listados.

Para as concessionárias rodoviárias que possuem laboratórios de ensaios permanentes, móveis e temporários, o uso da prática de programas de proficiência considerando avaliação interna e externa é de fundamental importância para que os equipamentos possam ser verificados quanto a sua utilização, a equipe técnica possa ser avaliada e treinada, e o laboratório possa demonstrar a confiabilidade nos resultados dos seus ensaios.

AGRADECIMENTOS

Aos técnicos e à equipe dos laboratórios participantes na realização dos ensaios do programa interlaboratorial e às empresas que responderam ao questionário enviado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Concessão de rodovias. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/concessaoRod/apresentacaorod.asp>>. Acesso em: 24 nov. 2010a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. V Workshop Desenvolvimento Tecnológico nas Concessões Rodoviárias. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/eventos>>. Acesso em: 01 dez. 2010b.
- ALBUQUERQUE, Fernando Silva. Sistema de gerência de pavimentos para departamentos do Nordeste Brasileiro. Porto Alegre, RS, 2007. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Guia 43-1: ensaios de proficiência por comparações interlaboratoriais: Parte 1: desenvolvimento e operação de programas de ensaios de proficiência. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 9000: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2005. 2ª edição.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO/IEC 17025: requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. Versão Corrigida: 1988.
- CHUI, Queenie S. H.; BISPO, João M. A.; e IAMASHITA, Célia O. O papel dos programas interlaboratoriais para a qualidade dos resultados analíticos. Revista Quim. Nova, v. 27, n. 6, p. 993-1003, 6 jul. 2004.
- FERRIER, H e COCHET, D. Comportement d'une argile raid au compactage. Colloque Inter. du Compactage. Paris, França, v. 1, p. 35-39. 1980.
- GOMES, Rosângela de Oliveira Munhoz. Modelo de Implantação de um laboratório de geossintético. São José dos Campos, SP, 2002. Dissertação de mestrado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica.
- HRB. Factors influencing compaction test results. Bulletin 319.USA. 1962.
- OLIVEIRA, Heber Lacerda. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Fortaleza, CE, 2009. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará.
- SHINOHARA, Eduardo Jun; RODRIGUES FILHO, Oswaldo Sansone; QUINTANILHA, José Alberto; BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. Uso da ferramenta de análise da geoestatística para o estudo do atrito em pista de aeroporto. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE. Brasília, DF, 2006
- SILVA, L. M.; VIDAL, D. M. Importância dos laboratórios de ensaios para as concessionárias – Técnicas e os cuidados básicos para garantia da qualidade. In: CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 5, 2011, São Paulo.
- SILVA, Lenice Mirian. Implantação de laboratórios de ensaios em concessionárias rodoviárias e aeroportuárias. São José dos Campos, SP, 2011. Dissertação de mestrado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica.

Desempenho e manutenção em pavimentos com materiais não convencionais

Marlova Grazziotin Johnston

Doutora, engenheira, Centro de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagens do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. E-mail: marlovajohnston@gmail.com.

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Professor doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: jorge.ceratti@ufrgs.br

RESUMO

O desempenho de um pavimento rodoviário é assegurado pelas manutenções realizadas durante sua vida útil. Por outro lado, os recursos para conservação ou manutenção de rodovias são escassos, tornando imprescindível um estudo detalhado e objetivo de cada caso, para que se faça um investimento justificável, o qual venha a realizar intervenções que considere custos para o usuário e se preocupe com o retorno do investimento para a sociedade. O presente trabalho apresenta o desempenho e a importância de um programa de manutenção na vida útil de pavimentos com base e/ou sub-base de materiais não convencionais, como basalto alterado e lateritas, e revestimento de tratamento superficial. O estudo foi realizado em trechos experimentais de rodovias pavimentadas com essas estruturas no interior do Rio Grande do Sul, e o desempenho desses pavimentos foi analisado a partir de levantamentos periódicos dos defeitos funcionais e estruturais. Trincheiras foram abertas para o conhecimento das espessuras das camadas da estrutura e a coleta de materiais para caracterização em laboratório. Os módulos de resiliência das camadas constituídas de materiais não convencionais retroanalisados através de programa computacional serviram como parâmetros para o entendimento do comportamento estrutural dos pavimentos. As análises de desempenho desses pavimentos permitiram identificar o momento ideal para se executarem as manutenções.

PALAVRAS-CHAVE: desempenho, manutenção, materiais não convencionais.

ABSTRACT

The performance of road pavements is assured by the maintenance during its lifetime. Nonetheless, the financial resources for such maintenance schemes are scarce, highlighting the importance of detailed studies for each case scenario in order to enable investments to be sourced based on the road user cost and the, therefore, indicating the society's profit with such investments. The present work discusses the performance and the need of a pavement lifecycle maintenance program with base and/or sub base of non-conventional materials, such as weathered basalt and laterites with superficial treatment coating. The study was carried out at experimental test section of surfaced roads with this type of structure in the countryside of Rio Grande do Sul state. The performance of these pavements was analyzed based on periodical surveys of the functional and structural defects. Trial pits revealed the thickness of the pavement layers and allowed material collection for laboratory characterization. The resilient modulus of the non-conventional layers were determined through back analysis of the deflection basins aided by a computational software program, and they were used as a key parameter for the understanding of the structural behavior of the sections. The performance analysis of these pavements allowed identifying the ideal moment for the maintenance works to be put in force.

KEYWORDS: performance, maintenance, non-conventional materials.

1 INTRODUÇÃO

Em 2007, estudos desenvolvidos na Universidade de Washington, nos Estados Unidos da América (www.greenroads.us), deram os primeiros passos na incorporação dos conceitos de sustentabilidade e responsabilidade social para uma rodovia, concluindo que a rodovia precisa estar de bem com a natureza, preservando a flora e a fauna da região: protegendo os mananciais, estando integrada ao paisagismo da região, respeitando a história e as comunidades que vivem ao seu entorno, utilizando materiais lindeiros, ou matéria-prima reciclada, ou subprodutos da indústria, e minimizando o consumo de energia e de emissões de gases na sua construção, manutenção e operação, além de ser segura, confortável e econômica ao usuário.

A utilização dos materiais lindeiros torna a pavimentação da rodovia sustentável, satisfazendo o usuário, que quer uma superfície regular e, ao mesmo tempo, segura, protegendo o meio ambiente com economia, pois está aproveitando os materiais locais sem altos custos de transporte.

A viabilização econômica da pavimentação dessas rodovias, normalmente, ocorre através da utilização de uma camada de revestimento delgado sobre as camadas de base e sub-base de materiais não convencionais. Esse tipo de pavimento é utilizado em rodovias com baixo volume de tráfego.

Para comprovar o bom emprego dos recursos do orçamento da União em manutenção de rodovias de baixo volume de tráfego, é importante considerar os benefícios do aumento do bem-estar social, tal como possibilitar a frequência a escolas, o atendimento à saúde e a outras necessidades da população das pequenas cidades servidas por essas rodovias. Quando esses benefícios são incluídos na decisão, pequenos melhoramentos nas condições da rodovia podem ser responsáveis por grandes aumentos nos benefícios ao usuário. Johansson (2006) esclarece que áreas consideradas frágeis são as que sofrem com o declínio da população, devido à dificuldade de manter serviços sociais fundamentais. Essa fragilidade é considerada na avaliação das prioridades de manutenção das rodovias públicas de baixo volume de tráfego da Escócia. Outra avaliação considerada na priorização das intervenções de manutenção na Escócia é lifeline, ou seja, verificar o quanto aquela rodovia é importante como ligação com outros centros urbanos.

Rodovias pavimentadas com materiais não convencionais exigem maior atenção na manutenção, pois os materiais utilizados são desconhecidos quanto ao seu desempenho. Essas rodovias apresentam custos iniciais menores, mas necessitam de manutenções periódicas, para apresenta-

rem uma vida útil adequada. A solução para problemas inesperados que possam surgir nesse tipo de pavimento é um acompanhamento constante a partir do primeiro ano de vida útil do mesmo.

Este trabalho apresenta a análise de desempenho de dois tipos de pavimentos com revestimentos delgados executados pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagens (DAER), no Estado do Rio Grande do Sul (RS), onde foram utilizados materiais não convencionais nas camadas de base e/ou sub-base. As análises de desempenho desses pavimentos mostram a importância da manutenção para esse tipo de pavimento, permitindo a sugestão de uma proposta de manutenção para essas rodovias.

2 LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS PAVIMENTADOS

O presente trabalho analisa o desempenho de dois segmentos experimentais existentes na rodovia ERS-536, pavimentada com base de laterita, denominados de SL1 (780m) e SL2 (460m), e de dois segmentos experimentais da rodovia ERS-132, pavimentada com base e sub-base de basalto alterado, denominados de SB1 (460m) e SB2 (660m). Essas rodovias estão localizadas no interior do Rio Grande do Sul, conforme é apresentado na Figura 1.

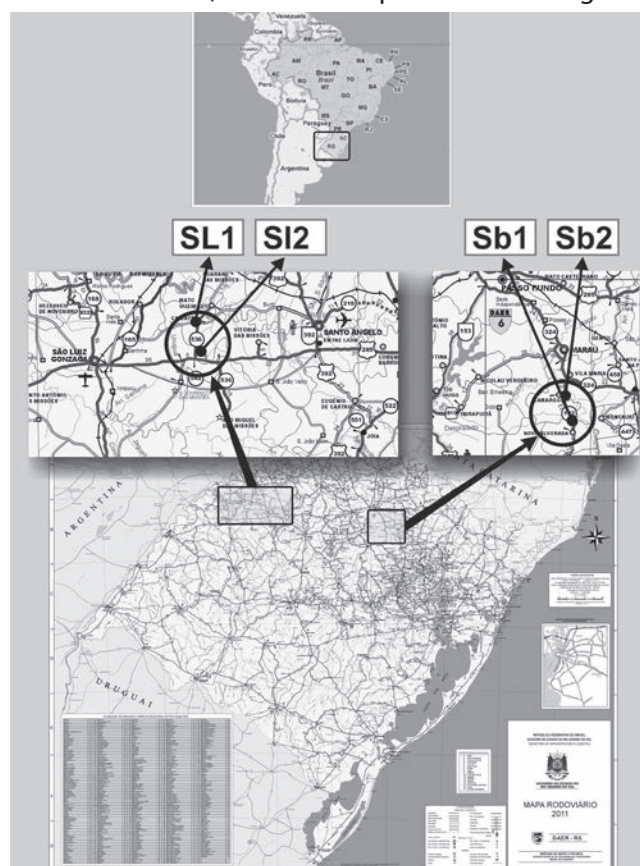


Figura 1: Localização das rodovias estudadas

3. RODOVIA ERS-536 — LATERITAS

3.1 Estrutura do pavimento

A base desse pavimento foi executada com lateritas, que passaram pelo britador primário, obtidas nas jazidas localizadas em rodovias secundárias à rodovia principal, nos quilômetros 6+700 LD e 9+800 LE. As crostas de lateritas ocorrem no local sob a forma de camadas horizontalizadas, com extrema dureza, impenetráveis a pá e picareta.

Foram escolhidos dois segmentos homogêneos da rodovia, classificados de acordo com dados de deflexão e o conceito de degradação do pavimento (IGG especificado pela NORMA DNIT 006/2003-PRO), representativos para a análise de desempenho realizada pelo estudo aqui apresentado. O segmento SL1 foi escolhido em local de conceito ÓTIMO, e o segmento SL2 foi escolhido em local de conceito RUIM.

Em julho de 2007, foi realizada uma trincheira em cada um dos segmentos, para verificação das espessuras das camadas do pavimento e coleta de amostras para realizar ensaios no laboratório. A Figura 2 apresenta a estrutura prevista em projeto e as estruturas encontradas no pavimento em cada um dos segmentos experimentais.

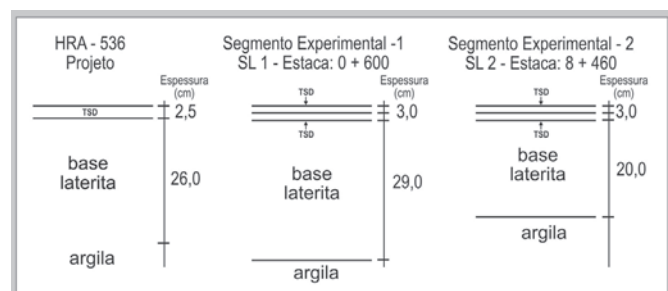


Figura 2: Estrutura do pavimento da ERS-536 prevista em projeto e encontrada in situ

3.2 Caracterização do material

Esse material foi caracterizado através de ensaios realizados com amostras obtidas nas duas trincheiras executadas em cada um dos segmentos experimentais em 2007.

Os ensaios realizados com as amostras obtidas do reforço do subleito identificaram o material, segundo a classificação AASHTO, como A7-6. O material apresentou peso específico aparente seco máximo de 16,95 kN/m³, umidade ótima de 22% e o Índice Suporte Califórnia (ISC) variando entre 9% e 12%.

Para analisar a quebra da laterita devido à compac-

tação, os ensaios de granulometria foram realizados com amostras obtidas em diferentes profundidades da camada de base e em amostras preparadas antes e após a compactação para a realização do ensaio Proctor modificado (energia utilizada na compactação da base do pavimento dessa rodovia).

As Figuras 3 e 4 apresentam a localização das amostras obtidas para os ensaios de laboratório e o resultado dos ensaios de granulometria das amostras ensaiadas do segmento experimental SL1 e do segmento experimental SL2 respectivamente. A granulometria da amostra obtida próxima da superfície da camada de laterita, nos dois segmentos experimentais, mostrou-se mais fina, quando comparada com a granulometria da amostra obtida em maior profundidade da camada. A granulometria das amostras preparadas após o ensaio de Proctor modificado também se mostrou mais fina quando comparada com a granulometria de amostras obtidas antes desse ensaio.

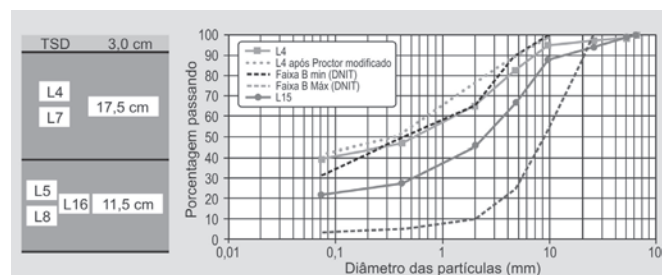


Figura 3: Localização das amostras e resultado dos ensaios de granulometria — SL1

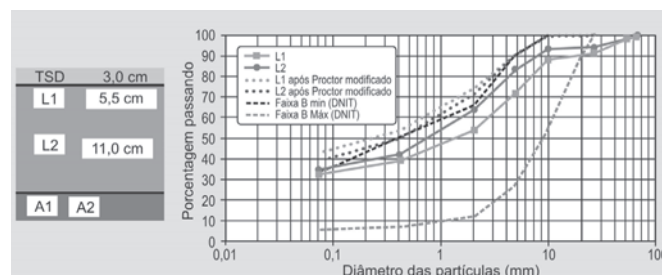


Figura 4: Localização das amostras e resultado dos ensaios de granulometria — SL2

3.3 Monitoramento da rodovia ERS-536

A rodovia em questão foi projetada considerando um estudo de tráfego realizado em 1980, com um Volume Diário Médio (VDM) de 352 veículos, sendo que 1983 foi considerado o ano de abertura da rodovia ao tráfego. No ano 2000, 18 anos após a pavimentação da rodovia, foram levantados dados de deflexão e dados de irregularidade longitudinal (IRI),

e foi realizado um levantamento da superfície do pavimento através de levantamento visual contínuo (LVC). A partir de 2007, o Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR) do DAER-RS definiu dois segmentos experimentais na ERS-536 (laterita), os quais passaram a ser monitorados a fim de se acompanhar o desempenho do pavimento através de levantamentos de dados de clima, tráfego, deflexão, IGG e IRI.

3.3.1 Clima

A rodovia em estudo localiza-se numa região de clima subtropical, com temperaturas médias anuais entre 18°C e 20°C. De acordo com os dados obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) para os anos desta pesquisa, na estação mais próxima da rodovia analisada, as precipitações de chuva acumu-

lam em média 1.900mm por ano. O ano de 2005 apresentou precipitação média anual igual a 2.169mm, e o ano de 2009 apresentou 2.171mm, valores maiores do que o previsto.

3.3.2 Tráfego

Os levantamentos de tráfego obtidos pela Equipe de Engenharia de Tráfego (EET) do CPR-DAER-RS para essa rodovia com base de laterita estão apresentados na Tabela 1, que também apresenta o número N acumulado de carga equivalente de eixo-padrão, de acordo com o USACE, a partir do primeiro levantamento de VDM até o último ano monitorado. Para os anos em que não foram realizados levantamentos de VDM, o DAER considerou a taxa de crescimento médio anual de 3%.

Tabela 1: Levantamento de dados de tráfego na rodovia ERS-536 — 1980-2008

DISCRIMINAÇÃO	1980	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Tipos de veículos									
Automóveis	276	-	304	-	-	-	-	-	-
Coletivos	2	-	22	-	-	-	-	-	-
Carga leve	22	-	30	-	-	-	-	-	-
Carga média	34	-	41	-	-	-	-	-	-
Carga pesada	16	-	16	-	-	-	-	-	-
Carga ultrapesada	2	-	23	-	-	-	-	-	-
VDM	352		436	-	-	-	-	-	-
N acumulado (x10⁶) (USACE)	0,03	0,81	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25	1,34	1,43

Fonte: Pesquisa de campo.

3.3.3 Defeitos superficiais

Os levantamentos superficiais de defeitos foram realizados através do procedimento DNIT 006/2003-PRO, e os dados de irregularidade foram coletados com o equipamento Merlin pela equipe de monitoramento de rede do CPR-DAER-RS.

Em 2003, a solução de restauração para o pavimento foi revestimento com tratamento superficial duplo (TSD), com a justificativa de que a base estava em bom estado e a rodovia apresentava apenas desgaste do revestimento.

Em 2005, o pavimento apresentava muitas painelas, e o revestimento estava muito desgastado. Nessa oca-

sião, após levantamento de deflexão, foram executados remendos localizados com rachão, reperfilagem descontínua com CBUQ nos subtrechos mais críticos e TSD em toda a extensão. No início de 2006, o pavimento já apresentou degradação, com ocorrência de painelas e com deformações plásticas. Nessa ocasião, foram refeitos alguns segmentos críticos, utilizando reperfilagem com CBUQ, sem, entretanto, se obter sucesso.

A Figura 5 mostra a evolução do trincamento, defeito mais significativo dessa rodovia, antes e após a restauração realizada em 2005, mostra também que, após a restauração, a evolução do trincamento continuou existindo, sofrendo uma aceleração.

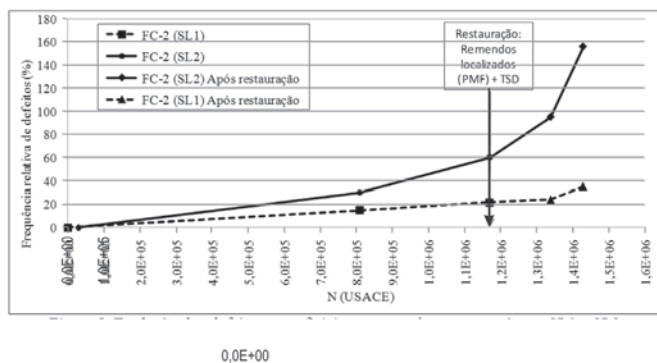


Figura 5: Evolução dos defeitos superficiais antes e após a restauração — SL1 e SL2

Apesar dos remendos realizados nas painelas existentes, o trincamento continuou aparecendo e, com o aumento de tráfego, evoluiu para novas painelas, provavelmente devido à perda estrutural da base de laterita antes mesmo da restauração.

Considerando o conforto ao rolamento, um critério de falência para o pavimento em que o valor de IRI deve ser menor ou igual a 3,5 m/km (DNIT, 2006), observa-se, na Figura 6, que, para o segmento SL1, o pavimento teve um bom desempenho. Nessa mesma figura, observa-se que, mesmo após as intervenções, o segmento SL2 sofreu perda acelerada de qualidade ao rolamento, provavelmente devido à ocorrência de novas painelas.

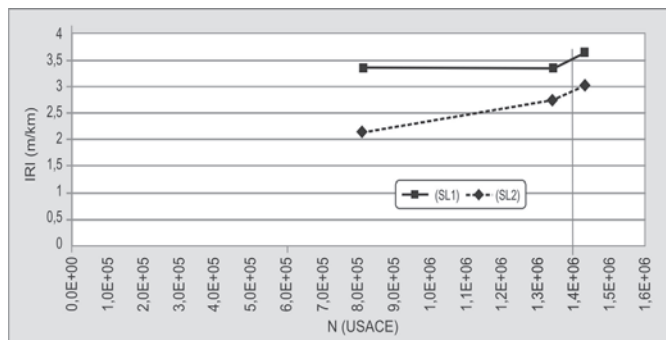


Figura 6: Evolução da irregularidade longitudinal — SL1 e SL2

3.3.4 Deflexões

Os dados de deflexão foram levantados com a Viga Benkelman (VB) em 2005 e 2007. A manutenção realizada em 2005 causou um ótimo efeito no pavimento, pois a deflexão característica no segmento SL1 diminuiu de $91 \times 10^{-2} \text{ mm}$, medida em 2005, para $69 \times 10^{-2} \text{ mm}$ medida em 2007. Apesar de não se conhecer a deflexão do

segmento SL2 em 2005, o levantamento realizado em 2007 mostrou que a deflexão era igual a $100 \times 10^{-2} \text{ mm}$, ou seja, continuava elevada.

No ano de 2007, além das deflexões verificadas com a VB, foram obtidos dados de deflexões com o FWD, possibilitando o estudo das bacias de deformação. A Figura 7 apresenta as bacias de deformação obtidas com o FWD para os dois segmentos experimentais.

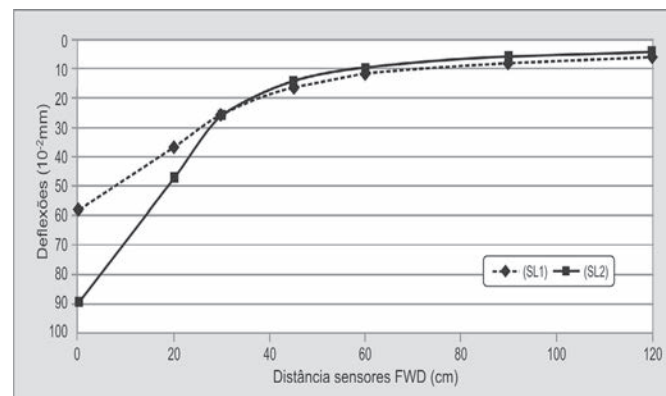


Figura 7: Bacias de deformação em SL1 e SL2 — 2007

De acordo com Fabrício *et al.* (1988), o raio de curvatura da bacia de deformação calculado para o SL2 indica que 92% desse segmento, em 2007, apresentavam problemas estruturais nas camadas superiores do pavimento (revestimento e base), e que 20% do SL1 já apresentavam problemas estruturais. Os dois segmentos apresentavam mais de 80% do pavimento com pouca resistência no revestimento+base, e o subleito encontrava-se em boas condições de resistência. A deflexão elevada do segmento SL2, em conjunto com valores baixos de raio de curvatura, indicou perda estrutural na camada de laterita.

A camada granular do SL1 apresentava 38% dos valores de número estrutural maiores ou iguais a 2,5, indicando maior resistência estrutural quando comparado ao SL2, onde, em apenas 4%, o número estrutural encontrava-se maior ou igual a 2,5.

3.4 Análise do comportamento elástico

O alto índice de trincamento do pavimento levou ao estudo do comportamento elástico de sua estrutura, pois trincas por fadiga podem ser causadas devido à deformabilidade da estrutura com baixo módulo de resiliência e/ou carência de uma espessura estrutural adequada.

A análise do segmento SL2, que, em 2007, se apresentava com alto índice de deterioração, foi realizada através das tensões que atuavam em dois pontos da base de laterita.

A partir do resultado dos ensaios de módulo de resiliência realizados nas amostras L1 e L2 (SL2) e utilizando-se os valores de deflexões obtidos com o FWD em 2007, foi possível calcular, com a ajuda do software EVERSTRESS (EVERSERIES, 2005), as tensões que atuam

na base do revestimento, em duas profundidades da camada de laterita e no topo do subleito na estaca 8+460. Substituindo essas tensões no modelo resultante do ensaio de módulo de resiliência para as amostras L1 e L2, foi possível determinar os módulos de resiliência da base do pavimento nesse ponto.

A Tabela 2 apresenta os valores dessas tensões e deformações e os módulos de resiliência calculados em duas profundidades da base de laterita na estaca 8+460.

Tabela 2: Tensões, deformações e módulo de resiliência na Estaca 8+460, em SL2 — 2007

PROFUNDIDADE DE ANÁLISE "z"	TENSÃO VERTICAL $\sigma_1 = \sigma_v$	TENSÃO RADIAL σ_3	TENSÕES PRINCIPAIS $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$	TENSÃO-DESVIO σ_d	DEFORMAÇÃO VERTICAL - (10-6)	DEFORMAÇÃO RADIAL - (10-6)	Mr (MPa)
3,00cm	-315,45 kPa	5.147,56 kPa	9.979,67 kPa	-5.463,01 kPa	-288,92	393,95	-
5,75cm	-273,58	-76	-425,58	-197,58	-2335,8	491,3	95
14,00cm	-147,2	-22	-191,2	-125,2	-1120,69	453,45	161
19,50cm	-97,61	-10,7	-119,01	-86,91	-1337,41	578,26	-

FONTE: Pesquisa de campo.

Nesse caso, a base de laterita está absorvendo praticamente todas as tensões do tráfego. A camada superior da base perdeu 41% de sua rigidez, apresentando deformações 108% maiores.

Os módulos de resiliência e as tensões que atuavam no meio da base e no topo do subleito do pavimento foram conhecidos através de retroanálise, através do software EVERCALC (EVERSERIES, 2005), utilizando-se as espessuras das camadas obtidas das trincheiras e dados de deflexões do FWD obtidos em 2007. A estaca 0+600, que representa o segmento em ÓTIMO estado, apresentou o centro da base de laterita com módulo de resiliência igual a 285MPa, enquanto o centro da base de laterita da estaca 8+460, que representa o segmento em estado RUIIM, apresentou módulo de resiliência igual a 134MPa. O segmento em ótimo estado apresentou módulo de resiliência mais elevado, mostrando absorver melhor tensões e deformações causadas pelo tráfego.

Ensaio de módulo de resiliência realizados em três amostras de laterita obtidas em profundidades diferenciadas da camada de base, moldadas com o peso específico aparente seco máximo encontrado no ensaio de Proctor modificado, mostraram a influência da umidade nesse material. O acréscimo de 0,7% de umidade causou decréscimo de 14% no módulo de resiliência. A

Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de módulo de resiliência.

Tabela 3: Módulos de resiliência obtidos em amostras de laterita moldadas com diferentes umidades

AMOSTRA DE LATERITA	γ_d (kN/m ³)	UMIDADE (%)	Mr (MPa)
L7	22,30	12,5	148
L5	22,32	11,8	172
L8	22,90	11,3	208

FONTE: Pesquisa de campo.

Nesse caso, a amostra de material obtida na parte superior da camada de base de laterita apresentou módulo de resiliência menor.

3.5 Identificação do momento ideal para as intervenções de manutenção preventiva

Os levantamentos realizados na rodovia com base de laterita identificaram o trincamento em conjunto com a evolução de tráfego como seu defeito característico de deterioração.

A análise do comportamento elástico apresenta valores dos módulos de resiliência para a base de laterita para essa rodovia. Em 2007 ($1,34 \times 10^6$), o segmento SL2, com muitos defeitos superficiais, encontrava-se com

módulo de resiliência igual a 134MPa e com trincamento muito severo.

A evolução do trincamento apresentada na Figura 5, em conjunto com os valores de módulo de resiliência encontrados, mostra que essa rodovia deveria ter recebido uma intervenção quando o revestimento apresentava área trincada entre 15% e 40%, concordando com o que preconiza a norma DNER-PRO 159/85 como restrição de desempenho.

4. RODOVIA ERS-132 — BASALTO ALTERADO

4.1 Estrutura do pavimento

A base e a sub-base desse pavimento foram executadas com basalto alterado encontrado numa cascalheira localizada à margem da rodovia, lado direito do km 12+250. Trata-se de rocha basáltica fraturada, com grau de alteração variando de muito alterada no topo do perfil (primeiros 2,50m), passando para pouco alterada no centro (espessura em torno de 7,00 m) e para extremamente alterada na base.

Durante a pavimentação dessa rodovia, o DAER construiu os dois segmentos experimentais, SB1 e SB2, para serem monitorados nas reais condições ambientais e de tráfego durante sua vida útil.

A Figura 8 apresenta a estrutura prevista em projeto e a estrutura encontrada no pavimento por ocasião da abertura de uma trincheira, em 2007, em cada um dos segmentos experimentais analisados.

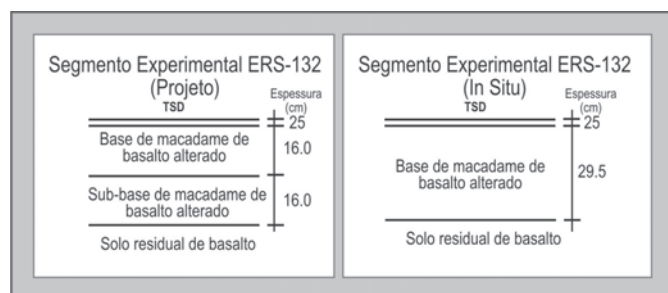


Figura 8: Estrutura do pavimento prevista em projeto e encontrada in situ

4.2 Caracterização do material

A rodovia ERS-132 desenvolve-se integralmente sobre litologias de Formação Serra Geral, constituída por rochas basálticas e riodacitos,

cujo solo do subleito foi classificado (AASHTO) como A-7-5, sendo que o valor do ISC médio encontrado foi de 13%.

O basalto alterado utilizado na construção da base do pavimento apresentava o índice de resistência à compressão puntiforme (Is(50)) de amostras secas ao ar igual a 11MPa e Is(50) de amostras imersas por sete dias igual a 10MPa. O quociente entre a resistência imersa e a resistência seca era igual a 0,91, qualificando essa rocha alterada para pavimentação. Essa qualificação foi assim considerada, uma vez que Arnold (1993) definiu 0,7 como o valor mínimo para o quociente entre as resistências imersa e seca, e o valor de 3,5MPa como mínimo para o índice de resistência de carga pontual em amostra previamente imersa.

O basalto alterado obtido da base de macadame, por ocasião da abertura das trincheiras em 2007, foi analisado para verificação da sua resistência através do ensaio de compressão puntiforme, mostrando que, após oito anos de uso como base de macadame seco, continua quantificado para o uso em pavimentação. A Tabela 4 apresenta o resultado desses ensaios.

Tabela 4: Índice de resistência à compressão puntiforme do basalto alterado obtido na base do pavimento da ERS-132 — 2007

CONDIÇÕES DA AMOSTRA	IS(50) (MPa)	IS(50)saturada / IS(50)seca
Seca ao ar	7,5	0,93
Saturada	7,0	0,93

4.3 Monitoramento da rodovia ERS-132 (base e sub-base de basalto alterado)

A rodovia em questão foi projetada considerando um estudo de tráfego realizado em 1992, com um VDM de 405 veículos e estimativa de abertura ao tráfego em 1995 com um VDM de 446 veículos/dia. O pavimento foi dimensionado considerando um número N de aplicação de carga (8,2t) igual a $5,8 \times 10^5$, que seria alcançado em 2002.

A abertura ao tráfego ocorreu em 1999, e, a partir do ano 2000, o Centro de Pesquisas Rodoviárias do DAER-RS, por iniciativa do Eng. José Augusto de Oliveira, vem monitorando os dois segmentos experimentais.

O monitoramento dos trechos experimentais foi re-

alizado para acompanhar o desempenho do pavimento através de levantamentos de dados de clima, tráfego, deflexão, IGG e IRI.

4.3.1 Clima

A rodovia em estudo localiza-se numa região de clima subtropical, com temperaturas médias anuais entre 16°C e 18°C. De acordo com os dados obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia, durante os anos desta pesquisa, na estação de Passo Fundo, a mais próxima à rodovia analisada, as precipitações de chuva acumulam em média 1.800mm por ano.

Salienta-se que a precipitação total para os meses de julho a dezembro de 2009 foi de 1.606mm, 89% do total médio previsto para o ano.

4.3.2 Tráfego

Os dados de tráfego foram levantados nos anos de 2003, 2004, 2007 e 2009.

Para os anos em que não foi possível realizar levantamento, foi previsto um acréscimo de 3% no VDM, taxa de crescimento anual utilizada pelo DAER. A tabela 5 apresenta os dados de tráfego levantados e o valor do número N acumulado para o período de monitoramento.

Tabela 5: Levantamento de dados de tráfego na rodovia ERS-132 — 1992-2010

DISCRIMINAÇÃO	1992	2000	2001	2003	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Tipos de veículos												
Automóveis	227	-	-	-	694	788	-	-	663	-	634	-
Coletivos	9	-	-	-	15	23	-	-	29	-	17	-
Carga leve	15	-	-	-	64	58	-	-	59	-	43	-
Carga média	139	-	-	-	120	102	-	-	84	-	90	-
Carga pesada	15	-	-	-	125	152	-	-	90	-	134	-
Carga ultrapesada	0	-	-	-	14	17	-	-	11	-	15	-
VDM	405	-	-	-	1.032	1.140	-	-	936	-	933	-
N acumulado (x10⁶) (USACE)	0,50	0,56	0,63	0,81	1,10	1,22	1,44	1,57	1,70	1,88	2,09	

FONTE: Pesquisa de campo

4.3.3 Defeitos superficiais

Foram realizados levantamentos superficiais de defeitos e coletados dados de irregularidade durante os 10 anos de monitoramento. A Figura 9 mostra a evolução da frequência relativa dos defeitos com maior influência na deterioração do pavimento nos segmentos experimentais SB1 e SB2, sendo que o trincamento (FC-2; J; TB) foi o defeito de maior incidência nos dois segmentos experimentais.

A importância da manutenção preventiva ficou clara nos dois segmentos, pois, no momento em que os trabalhos de manutenção, identificados como remendos (R), foram suspensos, as trincas (FC-2, J, TB) evoluíram para painelas (P).

No momento em que houve um acréscimo na carga, as trincas evoluíram para painelas. O trincamento continuou evoluindo por falta de manutenção.

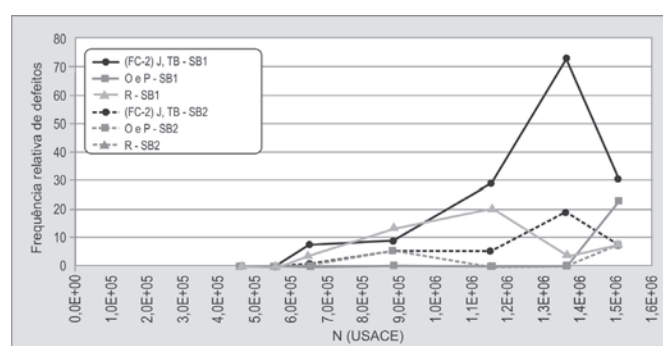


Figura 9: Evolução da frequência relativa de defeitos — SB1 e SB2

A Figura 10 apresenta a evolução da irregularidade para os dois segmentos experimentais entre 2001 e 2010.

Considerando o conforto ao rolamento, um critério de falência para o pavimento em que o valor de IRI deva

ser menor ou igual a 3,5 m/km (DNIT, 2006), observa-se, na Figura 10, que, para o SB1, onde claramente aparece falta de manutenção nos dispositivos de drenagem, o pavimento teve um desempenho razoável até o ano de 2003 ($N = 8,1 \times 10^5$). Salienta-se que, nesse ano, de acordo com os levantamentos realizados, começaram a aparecer remendos no SB1.

O SB2, que não apresentou problemas de drenagem, manteve um valor razoável de irregularidade ($IRI=3,0$ m/km) até o ano de 2007 ($N=1,57 \times 10^6$).

A partir de 2008 ($N=1,70 \times 10^6$), iniciou-se um processo de crescimento acelerado da irregularidade nos dois segmentos experimentais, indicando a falência do pavimento.

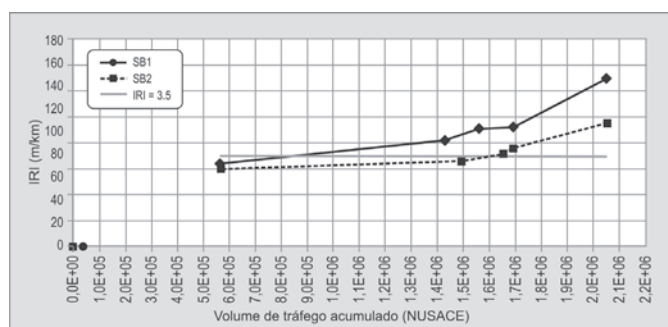


Figura 10: Evolução da irregularidade nos segmentos SB1 e SB2 da ERS-132 — 2001 e 2010

Os afundamentos das trilhas de roda não apresentaram evolução significativa em ambos os segmentos experimentais da ERS-132. Nesse caso, a flecha máxima medida foi 6,0mm no SB1.

4.3.4 Deflexões

A evolução da deflexão devido ao tráfego na ERS-132 também foi medida anualmente com a VB, e foram calculadas as deflexões características para cada um dos segmentos experimentais. Nesse caso, a deflexão característica resultou entre 69×10^{-2} mm e 84×10^{-2} mm até 2007, quando o número acumulado de volume de tráfego (NUSACE) era igual a $1,57 \times 10^6$. No período de 2007 a 2009, a rodovia não sofreu manutenções, houve um acréscimo no trincamento, e o volume acumulado de tráfego chegou a $1,88 \times 10^6$. Em 2009, a deflexão medida foi de 90×10^{-2} mm.

4.3.5 Situação do pavimento em 2010

O segmento SB1 encontra-se em um ponto de in-

flexão de uma curva vertical côncava com dispositivos de drenagem. Existe a possibilidade de ter ocorrido pouca compactação das camadas do pavimento onde se localizam os pontos baixos e sobre os dispositivos de drenagem. Esses locais passaram a ser pontos fracos desde o início da vida útil do pavimento, apresentando deflexões elevadas, trincamentos e conseqüente deterioração do pavimento.

No SB2, as trincas apareceram em áreas isoladas, provavelmente devido à idade do revestimento, com conseqüente desagregação do TSD. Essas trincas evoluíram para painéis, devido à infiltração de água da chuva e devido ao tráfego. A falta de manutenção, como a selagem de trincas, agravou a situação.

4.4 Análise do comportamento elástico

As retroanálises realizadas com os dados levantados pelo FWD em 2006 e 2009 mostram a influência da rigidez da camada de base do pavimento com basalto alterado no desempenho do pavimento. Nos locais de deflexão baixa, não apareceram trincamentos, os módulos de resiliência no meio da base apresentaram valores entre 300MPa e 400MPa e deformações específicas verticais entre 250×10^{-6} mm e 320×10^{-6} mm. No topo do subleito, os módulos variaram entre 176MPa e 231MPa, e as deformações específicas verticais variaram entre 223×10^{-6} mm e 292×10^{-6} mm. Nesses casos, a camada de basalto alterado apresentou o número estrutural maior ou igual a 2,5 indicando boa capacidade estrutural.

O segmento SB1 da ERS-132 apresentou maior número de pontos com deflexões altas, provavelmente devido à falta de compactação das camadas de base e sub-base sobre os dispositivos de drenagem.

Os dispositivos de drenagem que não receberam manutenção permitiram entrada de água na estrutura do pavimento. Nesses locais, as deflexões eram altas, os módulos de resiliência chegaram a se reduzir em 50%, as deformações aumentaram significativamente, e o número estrutural da camada de base era baixo ($SN=2$), indicando a perda estrutural do pavimento.

4.5 Identificação do momento ideal para as intervenções de manutenção preventiva

A análise dos dados obtidos durante o monitoramento dos dois segmentos experimentais da ERS-132 permitiu identificar gatilhos para a manutenção preventiva desse tipo de pavimento.

Os levantamentos de superfície, IRI e deflexão, realizados anualmente, possibilitaram a identificação dos defeitos de maior influência na deterioração do pavimento.

O trincamento foi o defeito que apresentou maior frequência relativa, calculada através do levantamento de superfície, realizado de acordo com a metodologia do procedimento do DNIT 006/2003-PRO.

A Figura 11 mostra a linha de tendência encontrada para o trincamento no segmento SB1 e no segmento SB2, considerando a falta de manutenção no pavimento e nos dispositivos de drenagem. De acordo com essa figura, o início das intervenções de manutenção deveria ter ocorrido quando o número acumulado de eixo-padrão N(USACE) alcançasse $1,10 \times 10^6$ (2004) no SB1 e $1,5 \times 10^6$ (2007) no SB2, ou seja, com 10% de frequência relativa de trincas deveria ter sido executada a primeira campanha de manutenções. Após esse ponto, as curvas aumentam a inflexão, mostrando a aceleração do trincamento. Por se tratar de um material alternativo, o ideal seria iniciar as intervenções de manutenção antes que o trincamento começasse a se acelerar.

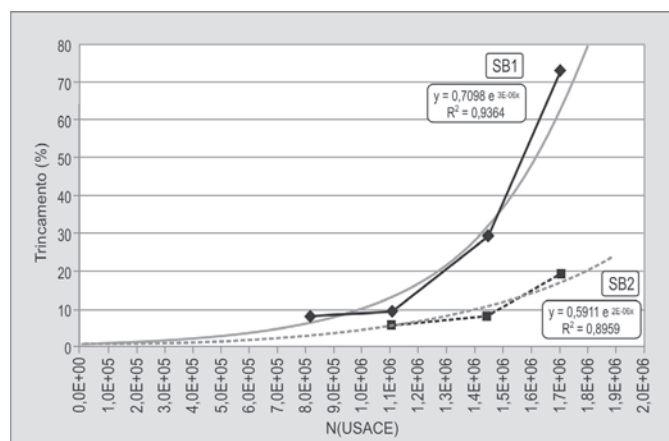


Figura 11: Tendência do trincamento na ERS-132 — SB1 e SB2

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Lateritas

O pavimento com base de laterita exige atenção com o trincamento que aparece no seu revestimento, pois, com o efeito do tráfego, este pode evoluir para a formação de panelas, exigindo reparos localizados, que, quando mal executados, podem refletir no acréscimo da irregularidade longitudinal.

A irregularidade longitudinal poderá ser amenizada, quando os reparos localizados forem executados

de acordo com as especificações de serviço de órgãos estaduais ou federais, tais como DAER ES-CON 010.0/07, DAER ES-CON 011.0/07 e DAER ES-CON 013.0/07, já que um reparo localizado mal executado pode aumentar a irregularidade longitudinal do pavimento.

O número estrutural e o raio de curvatura foram parâmetros importantes na avaliação estrutural desse pavimento. O conhecimento da bacia de deflexões facilitou o entendimento do comportamento estrutural da base de laterita.

A espessura da camada de laterita assume importância estrutural, uma vez que, conforme demonstrado neste artigo, no item 3.2, o material pode fraturar com a compactação. A camada mais superficial da base de laterita apresentou granulometria mais fina, provavelmente perdeu rigidez, apresentando maiores deformações.

O módulo de resiliência de uma camada de base de laterita diminui com o acréscimo de umidade. Nesse caso, a vida útil do pavimento será afetada, se a drenagem não sofrer manutenções periódicas.

A entrada de água por razões de trincamentos favorece a desagregação da laterita, desestruturando a base, que acaba perdendo resistência. Durante a execução desse tipo de pavimento, sugere-se a impermeabilização na base de laterita com uma camada de tratamento superficial simples (TSS) e, como revestimento, uma camada de tratamento superficial duplo.

Pavimentos com base de laterita e revestimento de tratamento superficial, com estrutura semelhante ao do presente estudo, devem receber manutenção sempre que o trincamento alcançar 35% de sua área. Já a limpeza nos dispositivos de drenagem deve ser realizada a cada seis meses.

5.2 Basalto alterado

O monitoramento dos segmentos experimentais da rodovia ERS-132 mostrou que o trincamento da superfície do pavimento foi o defeito mais significativo a ser considerado em um programa de manutenção para pavimentos com base ou sub-base de basaltos alterados.

A limpeza e a manutenção dos dispositivos de drenagem são itens indispensáveis para o bom desempenho desse tipo de pavimento, exigindo intervenções periódicas.

O revestimento estudado deve receber manutenção sempre que a frequência relativa de trincas FC-2 apresente 10% de trincamento, e os dispositivos de

drenagem devem ser limpos a cada seis meses.

A intervenção sugerida para prevenir que o trincamento de um revestimento de TSD não evolua para a formação de painéis é uma selagem de trincas. Para aumentar a vida útil desse tipo de pavimento com o revestimento de TSD envelhecido, apresentando desgastes, é sugerida a utilização de lama asfáltica ou microrrevestimento asfáltico, técnica utilizada em vários países para preencher os vazios dos agregados de um

tratamento superficial, possibilitando alto grau de fechamento e coesão do revestimento, ou seja, possibilita a impermeabilização do revestimento.

Nesse tipo de pavimento, a irregularidade longitudinal também poderá ser evitada, quando os reparos localizados forem executados de acordo com as especificações de serviço vigentes, uma vez que reparo localizado mal executado pode aumentar a irregularidade longitudinal do pavimento.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS — AASHTO (1986), *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington-D.C., 410p.
- ARNOLD, G. P. A. (1993), *Estudo do comportamento mecânico de basaltos alterados do Rio Grande do Sul para emprego em pavimentos rodoviários*. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Geotecnia)-Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF ISSMFE — (1982-1985), *Peculiarities of Geotechnical Behaviour of Tropical Lateritic and Saprolitic Soils*. Progress Report, ABMS. São Paulo.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGENS — DAER (2007) — DAER ES-CON 010.0/07 — *Remendo Superficial (Recomposição localizada de revestimento betuminoso)*. Porto Alegre, RS.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGENS — DAER (2007) — DAER ES-CON 011.0/07 — *Remendo Subsuperficial (Recomposição localizada de revestimento betuminoso + base granular)*. Porto Alegre, RS.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGENS — DAER (2007) — DAER ES-CON 013.0/07 — *Remendo profundo para reconstituição do subleito*. Porto Alegre, RS.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA TERRESTRE — DNIT (2003) DNIT 006/2003-PRO *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi Rígidos*. Rio de Janeiro-RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA TERRESTRE — DNIT (2007) — DNIT 098/2007 — *ES Pavimentação-base estabilizada granulométricamente com utilização de solo laterítico. Especificação de serviço*. Rio de Janeiro-RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM — DNER (1985), *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos* — DNER-PRO 159/85. Rio de Janeiro-RJ, 34p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA TERRESTRE — DNIT (2006). *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos* — Publicação IPR 720; Rio de Janeiro-RJ.
- EVERSERIES (2005). *User's Guide — Pavement Analysis Computer Software and Case Studies*. Washington State Department of Transportation. Disponível em: <www.wsdot.wa.gov/biz/mats/pavement>. Acesso em: 10 de março de 2009.
- FABRÍCIO J. M., FABRÍCIO O. F., GONÇALVES E. A. (1988), *Metodologia Não Destrutiva para Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis através da Interpretação das Bacias de Deformação*. 23a. Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis-SC, 28p.
- JOHANSSON, S. (2006), *Socio-Economic Impacts of Road Conditions on Low Volume Roads — Results of literature studies, interviews and calculations with a model and some proposals for road management policies*. Executive Summary. ROADDEX Northern Periphery III Project.

PAVIMENTAÇÃO EM DESTAQUE NO CEARÁ!



Fortaleza irá sediar de 01 a 05 de outubro de 2012 a 41ª Reunião Anual de Pavimentação - RAPV e o 2nd International Symposium on Asphalt Pavements & Environment - ISAP, no Centro de Eventos do Ceará, novo centro de feiras e eventos do Estado do Ceará e um dos mais modernos do Brasil. A semana contará, com o maior evento nacional de pavimentação, em paralelo, acontecerá a primeira edição da ExpoPavimentação – Feira de Materiais e Equipamentos para Pavimentação, evento que promete revolucionar o mercado, trazendo as maiores novidades em tecnologia, produtos, soluções e equipamentos para o setor de infraestrutura ligados à área de pavimentação.

OBJETIVOS

- Discutir problemas e soluções existentes na área de pavimentação e conservação;
- Apresentar avanços nas pesquisas e no desenvolvimento tecnológico relacionados com a área;
- Demonstrar produtos, equipamentos e tecnologia usados para construção, restauração, conservação e/ou melhorias de vias urbanas e rurais;
- Promover a atualização dos participantes;
- Propiciar o intercâmbio entre os visitantes, empresas e instituições que estarão expondo seus produtos e serviços.

PÚBLICO ALVO

Construtores, consultores, fabricantes e locadores de equipamentos, produtores de agregados, executores, empreiteiros, investidores, projetistas, representantes comerciais, distribuidores, especificadores, prestadores de serviço, professores, pesquisadores, estudantes de graduação e pós-graduação, técnicos e profissionais da construção e órgãos públicos.

CONTATO abpv@abpv.org.br | 55 21 2233.2020 | www.rapv.org.br
pavimentacao@ikone.com.br | 55 85 3261.1111 | www.expopavimentacao.com.br

REALIZAÇÃO



COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Infraestrutura

ORGANIZAÇÃO



Cadastro Ministério do Turismo - 05.002527.85.0001-4

A MÁQUINA COMPACTA QUE É UM GRANDE LANÇAMENTO.

A potente CAT AP255E é o novo lançamento da Caterpillar para o segmento de pavimentação. Equipada com o motor potente com baixo consumo de combustível, esta máquina foi projetada para oferecer conforto e segurança ao operador. Todas as funções são facilmente acessíveis, além do aquecimento elétrico da mesa e do controle independente de cada seção.

Conheça o que mais essa CAT pode oferecer:

Compacta e Versátil:

- Elevada altura ao solo que facilmente supera tampas. Para trabalhar em estacionamentos, ruas residenciais, calçadas, ciclovias, parques.

Largura de Pavimentação flexível:

- Largura padrão de 1,4m a 2,6 (hidráulico) ou 3,4m (extensões);
- Ajuste hidráulico central da mesa que permite trabalhar de 500mm a 1,4m de pavimentação.

Controle Preciso do Material:

- Três sensores de alimentação automático;
- Altura da rosca sem-fim ajustável.

A versatilidade de uma compacta e a robustez de uma grande máquina na medida certa para pavimentar obras de qualidade. Entre em contato com um de nossos consultores e adquira a sua.



MMIntegrada.com



CURTA, SIGA, COMPARTILHE. MARCOSA CONECTADA COM VOCÊ.



MAR: 0800 084 8585



www.marcosa.com.br