

REVISTA

ABRVA

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

Ano VI - Nº 21 - Jun/Jul/Ago de 2011 - www.abrva.org.br - ISSN 1809-1865

**Análise da evolução
do comportamento
mecânico e funcional de
estruturas de pavimento**

**Alternativas no Estado
de Santa Catarina**

*Glicério Trichês
Guido Paulo Simm Júnior*

REVISTA
PAVIMENTAÇÃO
5 anos



**SOTREQ
PAVIMENTAÇÃO:
O FUTURO PASSA
POR AQUI.**



A Sotreq oferece as melhores soluções em equipamentos para pavimentação. As máquinas Caterpillar são referência mundial no setor, apresentam robustez, excelente performance e alta tecnologia, otimizando a produção e gerando os melhores resultados em sua construção. Sotreq Pavimentação, o futuro passa por aqui.

► Equipamentos ► Suporte completo ao produto (máquinas, peças, contratos) ► Amplo estoque de peças para rápida reposição

INTERATIVA: 0800 022 0080

www.sotreq.com.br | [@sotreqcat](https://twitter.com/sotreqcat)

 **Sotreq**
Pavimentação

Sotreq

CAT



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	JORNALISTA RESPONSÁVEL
Arq ^{ta} Georgina Libório Azevedo	Jean Pierre M. Santiago
georgina@abpv.org.br	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^o 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. Bernuá; 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 Marçílio 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^o 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:

Ponte Construtor João Alves, inaugurada em 2006. Com extensão de 1.800m, possui 4 pistas para veículos, ciclovia e passagem para pedestres. Liga as cidades de Aracaju à Barra dos Coqueiros.

Foto: Georgina Libório Azevedo

Sumário

- 2** Editorial
- 3** Revista PAVIMENTAÇÃO
Um sonho realizado
- OPINIÃO**
- 5** Entrevista com o Prof^o Márcio Muniz de Farias
- 9** Seção de notas
- ESPAÇO JURÍDICO**
- 16** Um dado importante sobre o Projeto de Lei do Novo Código Florestal Brasileiro
- ARTIGOS TÉCNICOS**
- 20** Análise da evolução do comportamento mecânico e funcional de estruturas de pavimento alternativo no Estado de Santa Catarina
Glicério Trichês e Guido Paulo Simm Júnior
- 32** Utilização de material fresado para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários
Flávio de A. Queiroz, Igor Amorim Beja, Adriano Elísio de F. Lopes Lucena e John Kennedy Guedes Rodrigues
- 42** Estudo da viabilidade ambiental utilizando a escória de ferro silício manganês como lastro ferroviário
Ralph Werner Heringer Oliveira, Gilberto Fernandes, Fabiano Carvalho Sousa e Daniel Pinto Fernandes
- 51** Restauração de pavimentos rígidos Novas alternativas
Luiz Guilherme R. de Mello, Márcio Muniz de Farias, Euclides C. Neto, Ariovaldo Roriz e José M. Morheb
- 67** Normas básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

Editorial

A edição de número 21 da Revista PAVIMENTAÇÃO circula juntamente com a realização da 17ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana, em Porto Alegre. Temos exaltado nos editoriais a importância da participação de toda a cadeia do setor de engenharia neste evento que se configura como um dos mais relevantes da área no País. Trata-se de um momento oportuno para a divulgação de pesquisas, troca de experiências, debate e interação dos profissionais.

A temática em torno da construção civil, principalmente no que tange às obras de infraestrutura, tem ganhado destaque no Brasil e, de certa forma, no mundo. No Brasil, a tônica tem sido dada por conta dos compromissos do País com os eventos esportivos de grande porte, o que exige grandes investimentos. No exterior percebe-se o esforço de países como a China, o México e a Coreia do Sul em impulsionar grandes obras de engenharia que garantam o desenvolvimento dessas nações. Tanto é fato que a Seção de Notas traz vários eventos internacionais.

A coluna Espaço Jurídico traz uma abordagem sobre o processo legislativo e a sociedade nas discussões sobre o Novo Código Florestal Brasileiro. Um tema que está imbricado nos projetos rodoviários e das construções em geral e que se faz imprescindível neste momento em que o País demanda grandes obras de infraestrutura.

Os artigos dessa edição trazem temáticas diversas. O primeiro faz uma análise da evolução do comportamento mecânico e funcional de estruturas de pavimento alternativas no Estado de Santa Catarina, um trabalho dos autores Glicério Trichês e Guido Paulo Simon Jr. O segundo artigo versa sobre a utilização de material fresado para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários, dos autores Flávio de Almeida Queiroz, Igor Amorim Beja, Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena e John Kennedy Guedes Rodrigues. O terceiro trabalho é um estudo da viabilidade ambiental utilizando a escória de ferro silício e manganês com lastro ferroviário. Os autores são Ralph Werner Henriger Oliveira, Gilberto Fernandes, Fabiano Carvalho Souza e Daniel Pinto Fernandes. O quarto e último trata da restauração de pavimentos rígidos e suas novas alternativas, um trabalho dos autores: Luiz Guilherme Rodrigues de Melo, Marcio Muniz de Farias, Euclides C. Neto, Ariovaldo Roriz e José Maria Morheb.

Neste ano de 2011, a Revista PAVIMENTAÇÃO está completando 5 anos de publicação ininterrupta. Um sonho realizado. A partir dessa edição serão lembrados os pontos altos de nossa história.

E em breve os leitores e os associados poderão desfrutar da versão digital da Revista, um projeto que a Diretoria da ABPv vem se dedicando para concretizar. A Associação acredita nas ações de integração entre profissionais, acadêmicos e a sociedade como meio primaz de transferência de tecnologia e conhecimento.

Revista PAVIMENTAÇÃO

Um sonho realizado

Cinco anos, divulgando conhecimento e inspirando novos desafios

Produção científica no Brasil é sempre um desafio, seja pelo fomento, seja pelo apoio dos setores competentes, pelo conhecimento dos pesquisadores ou pela qualidade dos trabalhos publicados em periódicos. Desafio, então, passa a ser visto como estímulo à produção científica.

Em 2008, registrou-se um vigoroso aumento de 56% da produção científica brasileira. Este recrudescimento deveu-se, em grande parte, ao aumento do número de revistas científicas nacionais indexadas no Institute for Scientific Information – ISI – que é o banco de dados da empresa Thomson Reuters. O banco reúne estatísticas sobre aquelas que são consideradas as melhores revistas científicas do mundo. O fato foi motivo de celebração, pois demonstra um reconhecimento da qualidade dos periódicos brasileiros no cenário internacional.

PAVIMENTAÇÃO é uma das revistas científicas que têm colaborado para a qualidade da produção científica na área da engenharia. Publicada e editada pela ABPv, a revista foi lançada em 2006, com a proposta ousada de, além de produzir conhecimento, permitir a transferência de tecnologia, servir de meio de integração do setor de engenharia e áreas afins, atendendo a um ícone dos tempos atuais que é a interdisciplinaridade. Está avaliada pela Qualis Capes com o conceito B3. No seu setor, é a única revista científica de engenharia no Brasil.

São cinco anos de publicação ininterrupta com a veiculação de artigos e pesquisas de profissionais, discentes e docentes de cursos de pós graduação das



mais renomadas escolas de engenharia do País. Para a publicação, os artigos são submetidos a um rigoroso critério de avaliação por parte do Comitê Técnico Científico composto por mais de 40 profissionais renomados. A revista acolhe artigos nacionais e internacionais que são apresentados em concordância com as normas de submissão para publicação.

Ao longo deste quinquênio, a Revista procurou também manter viva a memória da pavimentação do Brasil. A coluna Fatos Históricos traz para as novas gerações os avanços passo a passo do desenvolvimento rodoviário do País e destaque para personalidades do setor. São abordados também no Espaço Acadêmico as teses e dissertações que estão sendo produzidas nos bancos escolares, como forma de acompanhar a dinâmica das produções acadêmicas.

Na parte denominada Estudo de Casos, relatamos a parte prática, são trabalhos que, apesar de não conterem o rigor do artigo técnico, ilustram brilhantemente o dia a dia daqueles que trabalham na área.

Mais recentemente, foi inserida na publicação a coluna Espaço Jurídico, que procura abordar e discutir os mais diversos temas pertinentes da engenharia rodoviária e suas implicações jurídicas e jurídico-ambientais. De certo, o meio ambiente é um tema que não poderia passar ignorado. Sabe-se que a

construção civil é um dos setores que mais causa impacto no meio ambiente. A conscientização e responsabilização civil, administrativa e criminal são aspectos que não podem estar desfocados.

A Revista atualmente é distribuída aos sócios coletivos e individuais da ABPv, nas universidades, nos órgãos públicos das esferas federal, estadual e municipal.

Além das edições regulares, existem as Edições Especiais. Estas, por sua vez, veiculam projetos específicos de temática relevante ou amplas pesquisas que requerem divulgação exclusiva.

Outro fator importante é o seu caráter de integração. Os principais eventos da engenharia e da pavimentação do Brasil e do exterior têm espaço privilegiado na publicação. A Revista atua na divulgação e no incentivo à participação de toda a comunidade afim e faz a cobertura dos eventos para que a interatividade possa ser mais um aspecto de contribuição ao desenvolvimento do setor.

Nas próximas edições apresentaremos o resgate histórico onde serão acolhidas também as opiniões dos engenheiros, pesquisadores, professores e empresários sobre a contribuição que a Revista tem oferecido e o que mais pode ser feito para que a qualidade da pesquisa no Brasil seja cada vez melhor.



Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Analisando a explicação vemos que o ser humano também cabe nesta definição e tal qual o pavimento é: rígido ou flexível. Conviver em grupo torna-nos mais expostos e vulneráveis, mas cada dia mais pessoas sentem a necessidade de fazer parte de coletivos e associações.

A ABPv é uma prova disso. São 51 anos reunindo profissionais para intercâmbio de idéias e encontros. Um desses encontros aconteceu para a realização desta matéria.

Reunimos as opiniões de vários profissionais e começamos com um acadêmico, o Prof. Márcio Muniz de Farias, de Brasília, com o qual nos comunicamos por email e como resultado temos um pequeno panorama da situação da pavimentação no Brasil.

Rosane Santiago – Jornalista

TEMPO E CONTRIBUIÇÕES

Pavimentação: Há quanto tempo o senhor está neste mercado?

Marcio Muniz: Sou Engenheiro Civil, formado pela Universidade Federal do Ceará (UFC), desde julho de 1983; portanto, 28 anos de carreira, dos quais dediquei 25 anos como professor da Universidade de Brasília (UnB). Após a graduação obtive títulos de mestrado (PUC-Rio, 1986), doutorado (Swansea, Reino Unido, 1993) e pós-doutorado (Nagoya, Japão, 1999). Tenho atuado tradicionalmente na área Geotécnica, em especial em modelagem numérica, e na área de Pavimentação, com especial interesse em materiais alternativos e métodos de projeto avançados.

Pavimentação: Quais os profissionais que citaria como fundamentais e responsáveis pelo estágio atual



da pavimentação no Brasil e especificamente na região onde atua?

Marcio Muniz: No início, as principais contribuições vinham dos órgãos rodoviários, principalmente do antigo DNER e mais especificamente do IPR; atualmente o principal foco de contribuição vem das universidades, com destaque para a COPPE e USP (São Paulo e São Carlos) no Sudeste; UFRS e UFSC no Sul; UnB e UFG no Centro-Oeste; UFC e UFPb no Nordeste; e UFAM no Norte do país. Quanto a pessoas, para citar as unanimidades nacionais nas duas pontas, apontaria as contribuições do engenheiro Murilo Lopes de Souza, no DNER, e do professor Jaques de Medina, na COPPE. Aqui no Centro-Oeste citaria a contribuição do professor Luiz Gonzaga Rodrigues Lopes.

Pavimentação: Quais de seus trabalhos poderia citar como inovação ou grande contribuição para a história da pavimentação nos últimos cinquenta anos?

Marcio Muniz: Seria um tanto presunçoso tentar incluir meus trabalhos entre as grandes contribuições do último meio século, mas acredito que temos feitos

modestas contribuições. A principal delas, sem sombra de dúvidas, é na área de formação de recursos humanos: os meus alunos. Sinto muito orgulho em encontrar um andar quase inteiro do DNIT com profissionais jovens, interessados e bem qualificados que estudaram comigo ou que foram meus orientados diretos. Também me orgulho muito de meus alunos que agora estão em outras universidades e institutos superiores, repassando os conhecimentos e as atitudes éticas que tentamos transmitir aqui na UnB. Do ponto de vista puramente técnico, temos pequenas contribuições para divulgação do uso do asfalto-borracha no Brasil e atualmente me sinto bastante empolgado com o estudo e divulgação de outros tipos de materiais alternativos reciclados, como o RCD e asfalto fresado rejuvenescido.

IMPORTÂNCIA E ORGANIZAÇÃO DO SETOR

Pavimentação: Qual a importância da engenharia de pavimentação para a sociedade?

Marcio Muniz: As estradas são fundamentais para sociedade desde a antiguidade, sendo responsáveis pelo escoamento de produção e de pessoas. Na sociedade brasileira, em particular, o setor rodoviário tem um peso desproporcional em relação aos outros modais de transporte, respondendo por cerca de 62% do transporte de cargas e de 90% do transporte de passageiros. Neste contexto, o estado das rodovias tem forte impacto sobre o custo final das mercadorias e sobre o tempo e conforto dos deslocamentos de passageiros.

Pavimentação: Como este setor tem se organizado?

Marcio Muniz: A organização do setor tem mudado radicalmente desde o advento das agências reguladoras, como a ANTT. O que se vê é um gradual esvaziamento do papel do Estado como responsável direto pela construção e manutenção das rodovias, repassando estas tarefas para a iniciativa

privada por meio de empresas concessionárias. Entretanto, este movimento tem levado a uma forte assimetria e acentua as desigualdades regionais, uma vez que apenas os mercados das regiões Sul e Sudeste, e em menor escala o do Centro-Oeste, são viáveis ou interessantes para as empresas privadas, ficando as regiões Norte e Nordeste em verdadeira condição de calamidade.

TECNOLOGIA

Pavimentação: Quais as mais recentes tecnologias que hoje envolvem o mercado de pavimentação?

Marcio Muniz: Há uma série de inovações no mercado de pavimentação que vão desde a concepção de projeto até novos materiais e técnicas construtivas. Na frente relativa ao projeto, citaria a crescente aceitação dos chamados métodos mecanísticos (ou mecanicistas) em relação aos projetos mais empíricos de algumas décadas atrás, embora ainda existam arestas a serem removidas. Os projetos mecanísticos estão fortemente atrelados com a necessidade de revisão de ensaios e especificações que centrem em propriedades que reflitam melhor o desempenho dos materiais. Dentre os novos materiais destacaria o maior uso de agentes modificantes do ligante asfáltico, tais como polímeros e, mais especificamente, do asfalto-borracha. Com relação a novos tipos de revestimento, citaria o SMA (*Stone Matrix Asphalt*), para tráfegos muito pesados, e a inovação dos "asfaltos mornos", que permitem a redução na temperatura de usinagem e de compactação, com consequentes ganhos com a redução do consumo de energia e redução da emissão de poluentes.

Pavimentação: Qual o futuro destas tecnologias?

Marcio Muniz: Estas tecnologias já estão bem estabelecidas e já são corriqueiras na prática comum em diversos países. Por exemplo, o asfalto-borracha é bastante utilizado em vários estados americanos, como no Arizona e na Califórnia. Asfaltos mornos são co-

mundos na Europa. O Brasil ainda carece de pesquisas e, principalmente, de especificações dos dados oficiais em relação a algumas tecnologias de ponta, que cada vez mais ganham espaço.

Pavimentação: Como funcionam os métodos de pavimentação ecológica? São viáveis? Qual a preocupação ambiental nestas construções?

Marcio Muniz: O termo pavimentação ecológica é um tanto amplo e ambíguo. Entretanto há várias técnicas que empregam algum tipo de reciclagem que poderiam se enquadrar neste rótulo. Citaria, por exemplo, o uso de asfalto-borracha e a reciclagem de entulhos de construção e demolição (RCD), incluindo a reutilização da capa asfáltica fresada. Ambas as técnicas são altamente viáveis, tanto do ponto de vista econômico quanto técnico, apresentando resultados em geral superiores às técnicas tradicionais. Em qualquer tipo de utilização de material reciclado é importante fazer os ensaios prescritos pela ABNT com relação à toxicidade, solubilidade e lixiviação. Uma preocupação adicional no caso de asfalto-borracha é a necessidade de um controle de qualidade mais rigoroso e de temperaturas mais elevadas. Este último problema pode ser contornado com o uso de aditivos químicos empregados nos asfaltos mornos, unindo o que há de melhor nas duas técnicas.

CONDIÇÃO DAS ESTRADAS BRASILEIRAS

Pavimentação: Qual a verdadeira condição das estradas brasileiras?

Marcio Muniz: A extensão de nossa malha total do Brasil é comparável à do Japão, país com um território 23 vezes menor que o nosso e a maior parte montanhosa. Entretanto quase toda malha japonesa é pavimentada, enquanto nosso índice de pavimentação é inferior a 12%. Além disso, cerca de 50% de nossas rodovias estão em condição regular ou

ruim, demandando intervenções urgentes. A situação das rodovias brasileiras, portanto, é preocupante e um forte fator limitante para o desenvolvimento do país. Estudos do banco mundial mostram uma relação direta entre investimento em rodovias e o crescimento do PIB.

Pavimentação: Uma nova postura dos governos e das concessionárias poderia melhorar a situação?

Marcio Muniz: Falamos muito na qualidade dos projetos e dos materiais, mas acredito que o principal gargalo na área de pavimentação esteja relacionado à falta de controle de qualidade durante a fase de construção e à falta de manutenção durante a fase de operação das rodovias. Em ambas as etapas, tanto o governo quanto as concessionárias têm forte responsabilidade pela situação. O governo, como proprietário ou responsável pela concessão das rodovias, deveria ser o mais interessado em um rigoroso controle de qualidade. Infelizmente isto não ocorre na prática por diversos motivos, mais relacionados com política ou mesmo política do que com falta de opções técnicas. Acredito que novas formas de contrato, baseadas no pagamento de bônus e de penalidades de acordo com o desempenho, sejam uma forma de mitigar este problema.

MERCADO E TRABALHO

Pavimentação: Qual a sua opinião a respeito da falta e/ou qualificação dos profissionais no mercado da construção, enfocando aqui a área de pavimentação?

Marcio Muniz: A situação do mercado de construção na área de pavimentação reflete o caso mais geral da construção civil. Tivemos as décadas perdidas de 1980 até 1995, quando houve uma expressiva queda na procura por Engenharia Civil, salvo raras exceções. Isto veio acompanhado de um sucateamento de vários órgãos que atuavam na área de pavimentação em todas as esferas: federal, estadual e municipal. Muitos profissionais altamente qualificados se

aposentaram, levando consigo grande parte da memória e expertise da área de pavimentação. Felizmente este quadro começou a se reverter na última década, e o que se vê agora é uma forte demanda (e escassez) por profissionais qualificados. Há uma grande procura por formação neste setor em todas as universidades e em todos os níveis: graduação, especialização, mestrado e doutorado. Acredito que estamos em condições de suprir esta necessidade de formação e vejo com grande entusiasmo e otimismo a renovação que atualmente se efetua em vários órgãos, como o DNIT, em especial.

Pavimentação: Sabemos que a indústria de pavimentação engloba desde a indústria química à de construção etc... qual o futuro desta indústria no Brasil?

Marcio Muniz: A indústria de pavimentação e construção civil em geral é a que mais rapidamente responde, para melhor ou para pior, às variações globais da economia nacional. Atualmente o cenário é bastante positivo, porém é impossível prever até quando se manterá. Torcemos para que o Brasil atinja um patamar de crescimento sustentado, com evolução do PIB em torno de 5% ao ano. Caso este cenário otimista se realize, podemos antever um futuro promissor para a indústria da pavimentação diante da forte demanda reprimida e da necessidade de investimentos em infraestrutura de transporte para manter esse nível de crescimento. Já a indústria química tem um perfil ligeiramente diferente em função do mercado de combustíveis, plásticos, asfalto etc. Isto a torna um pouco mais estável que o mercado de pavimentação. Acrescentem-se os fortes investimentos que o Brasil vem realizando na área de exploração de petróleo e a necessidade de novas refinarias e petroquímicas, e creio que a perspectiva nesta área seja bastante positiva.

ABPv E REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Pavimentação: Qual a representatividade da ABPv para o mercado?

Marcio Muniz: A Associação Brasileira de Pavimentação é uma referência para todos os profissionais da área. Seus cursos são uma base de apoio imprescindível para a atualização e formação continuada daqueles que militam na área. Seus congressos anuais são um ponto de encontro e de troca de ideias e experiências que não encontra paralelo em outros eventos nacionais e internacionais da área. O que torna os encontros da ABPv tão especiais para mim é o equilíbrio correto entre prática e teoria. Lá encontramos os profissionais mais renomados e atuantes em um saudável intercâmbio com acadêmicos altamente qualificados. Isto é o que dá tanta representatividade para a ABPv, para a qual eu desejo uma longa vida.

Pavimentação: A Revista Pavimentação completa 5 anos. Em todos estes anos quais os trabalhos publicados lhe despertou interesse?

Marcio Muniz: A Revista Pavimentação da ABPv é um sonho que se realizou. Tenho participado com entusiasmo desde seu primeiro número. A Revista veio preencher uma lacuna na divulgação técnica e científica muito cobrada pela comunidade até 2006. Acredito que todos os trabalhos publicados são de interesse e passam por rigorosa revisão técnica. Ainda há muito que aperfeiçoar até recebermos o selo máximo de qualificação da CAPES, mas já conseguimos o mais importante: o reconhecimento e respeito dos profissionais da área. Aproveito para parabenizar a Diretoria da ABPv e os colegas da Revista Pavimentação em especial pelos relevantes serviços prestados à nossa comunidade.

Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO



**Engº Etelvino
de Oliveira Freitas**
***14/02/1953 +07/08/2011**

A engenharia brasileira perdeu um de seus importantes nomes. Faleceu no dia 7 de agosto o engenheiro Etelvino Freitas, em Aracaju.

Filho de Tomas Aquino Freitas Almeida e Maria Bernadete de Oliveira Freitas. Seu pai, conhecido como Mestre Aquino, foi o primeiro representante do Conselho de Engenharia de Sergipe, foi também um dos primeiros construtores de Aracaju, edificando várias obras públicas a partir do governo de Maurício Graccho Cardoso. Etelvino formou-se em engenharia pela Universidade Federal de Sergipe no ano de 1979. Entrou para o Departamento de Estradas de Rodagens (DER) em 1980, iniciando suas atividades na fiscalização das construções das estradas vicinais do Programa Polo Nordeste, na região sul do estado, sob a jurisprudência da residência rodoviária de Estância.

Esteve à frente da Diretoria de Obras da Cohab, hoje Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas (Cehop) em 1989, onde participou da construção de quase 30 mil habitações, considerado o maior programa habitacional de Sergipe, retornando ao mesmo cargo em 2003. Ainda neste ano, participou, pela ABPv, da Comissão Organizadora da 12ª RPU, em Aracaju. Presidiu o Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura de Sergipe (Crea) por dois mandatos. Foi presidente da Empresa de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Sergipe (Pronese), em 2005, e ocupou a presidência da Empresa Sergipana de Gás (Emsergás), em 2006. Seu último cargo foi como membro do Conselho Federal de En-

genharia, Arquitetura e Agronomia (Confea), de 2008 a 2010.

Etelvino era casado com Viveca Oliveira Freitas, e pai de Cybele e Cynthia. Nosso querido colega e amigo deixará saudades eternas.



CONINFRA 2011

A Associação Nacional de Infraestrutura de Transportes – ANDIT realizou entre os dias 10 a 12 de agosto, no Bourbon Convention Ibirapuera, o Congresso de Infraestrutura de Transportes – COINFRA 2011, que nesta sua 5ª edição foi voltado para o tema “Transportes: Desenvolvimento para o Brasil



de 2011 a 2014”. Com a participação de autoridades de todos os setores, onde foram abordados assuntos relacionados a rodovias, vias urbanas e cicloviárias; aeroportos; metrô e ferrovias; portos e hidrovias; dutovias; logística e intermodalidade. Contou com 37 palestras, 51 trabalhos técnicos, seis painéis e 32 pôsteres apresentados para profissionais de 17 países, no evento ainda foi lançada a revista científica: *ANDIT TRANSPORT JOURNAL*, que abordará os temas relacionados a Transportes.

EXPO2011 e M&T

Aconteceu entre os dias 10 a 13 de agosto, no centro de exposição imigrantes em São Paulo, pela Sobrateria – Associação Brasileira de Tecnologia para Equipamentos e Manutenção, a M&T Peças e Serviços – Feira Latino-Americana de Peças e Serviços para Equipamentos de Construção e Mineração e



a Construction EXPO 2011 – Feira Internacional de Soluções para Obras e Infraestrutura.

Montadas em parceria com entidades do setor e empresas patrocinadoras, reuniram em seus 27.738m² de área de exposição 347 expositores, sendo 126 internacionais.

Juntos, os dois eventos estabeleceram um canal de comunicação direto entre os responsáveis pelas obras de infraestrutura em implantação no país e os fornecedores de produtos e serviços.

CONCRETE SHOW 2011

O Concrete Show South America é um evento internacional considerado um dos mais importantes que envolve a cadeia produtiva do concreto para a construção civil em toda a América Latina.

A edição 2011 do evento aconteceu em São Paulo, entre os dias 31 de agosto e 2 de setembro e reu-



niu os grandes *players* do setor da construção mundial. Foram homenageadas entidades que apoiaram o evento, entre elas a ABPV.

Conferência sobre Transporte Urbano Nacional em Long Beach

O centro de transporte METTRANS irá sediar a 4ª Conferência sobre Transporte Urbano Nacional (4th National Urban Freight Conference) em Long Beach nos dias 12 a 14 de outubro de 2011. Informações no sítio: www.mettrans.org

Reunião Anual da AASHTO

A Reunião Anual da AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials será realizada de 13 a 17 de outubro de 2011 em Detroit, Michigan. Terra da lendária gravadora Motown, da indústria automobilística e da primeira avenida do mundo a ser pavimentada com concreto, a Woodward



Avenida em Detroit, EUA: primeira no mundo pavimentada com concreto.

Avenue. A conferência acontecerá na cidade que revolucionou o mundo dos transportes. Informações no sítio da associação: <http://www.transportation.org>

CBR&C BRASVIAS

Serão realizados entre os dias 24 e 26 de outubro em Foz de Iguaçu (PR), no Bourbon Cataratas Convention

Resort, o 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C e a 7ª Exposição Internacional de Produtos para Rodovias – BRASVIAS, informações pelo site: www.cbrcbbrasvias.com.br

O CBR&C 2011 tem como novidade a realização do IRF Brazil Conference, consequência de uma parceria entre a ABCR e a International Road Federation – IRF.

O IRF Brazil Conference será realizado no dia 26 de outubro, com palestras, sessão plenária e mesa-redonda sobre pavimentos, gestão de ativos, sistemas inteligentes de transporte (ITS) e segurança em rodovias, entre outros, sob o ponto de vista da tecnologia, inovação, procedimentos, gerenciamento, finanças e sustentabilidade. Os que se inscreverem para o CBR&C e BRASVIAS 2011 terão direito a assistir a programação técnica do IRF Brazil Conference, dia 26 de outubro. Já a programação do IRF Certified Training, que será realizado nos dias 27 e 28 de outubro, tem inscrição à parte, feita diretamente com a IRF (<http://www.irfnews.org/news-events/event-detail/irf-brazil-conference-abcr-annual-meeting>)



X CDBMA

A décima edição do Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente (CBDMA) – Cidades: qualidade de vida e justiça social já está com toda a sua programação fechada. De 26 a 28 de outubro, no Clube de Engenharia – RJ. São temas centrais do congresso: “Mudanças climáticas e vulnerabilidade das cidades”; “Resíduos e emissões gerados pelas cidades” e “Metrópoles saudáveis”. Faça sua inscrição gratuitamente e obtenha mais informações no hot site do congresso em http://www.profixconsultoria.com.br/defesa_meio_ambiente_2011/dma2011_abertura.htm



XXV ANPET em Minas Gerais

De 7 a 11 de novembro, em Belo Horizonte, acontecerá o XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em

Transportes. O evento será realizado na Escola de Engenharia da UFMG.

Entre os temas a serem abordados estão: Análise de Sistemas de Transportes, Economia dos Transportes, Engenharia e Segurança de Tráfego, Formação de Recursos Humanos em Transporte, História e Geografia dos Transportes, Logística e Novas Tecnologias.

Os demais temas, programação e inscrições estão disponíveis no site www.xxvanpet.com.br



IBRACON 2011

O Congresso Brasileiro do Concreto chega a sua 53ª edição e será realizado de 1º a 4 de novembro, em Florianópolis.

Os temas abordados serão: Gestão e Normalização: Materiais e Propriedades; Projeto de Estruturas; Métodos Construtivos; Análise Estrutural, Materiais; Produtos Específicos e Sistemas Construtivos Específicos.

Informações completas no site: www.ibracon.org.br



XVI CILA

De 20 a 25 de novembro de 2011, no Rio de Janeiro, será realizado a 16ª edição do Congresso Ibero-Latino-americano do Asfalto. A chamada dos trabalhos técnicos já está em execução. Mais informações no site www.xvicila.com.br.



INFRABRASIL EXPO & SUMMIT 2012

De 30 de janeiro a 1º de fevereiro de 2012, acontecerá em São Paulo a InfraBrasil Expo & Summit.

Trata-se de um evento que abordará os principais setores da infraestrutura nacional por meio de seis eventos colocados com uma expressiva área de

exposição para realização de negócios e *networking*. Além de temas de políticas públicas, investimentos públicos e privados, regulação e concessões, os congressos apresentarão o estado da arte de tecnologias de construção, equipamentos, soluções inovadoras e *softwares* para cada setor.

A InfraBrasil Expo & Summit tem por objetivo ainda a promoção do diálogo entre todos os setores da infraestrutura reunindo, em um mesmo local, representantes, líderes de tecnologias e executivos dos segmentos de aeroportos, portos, ferrovias, rodovias, transportes públicos urbanos e saneamento, recursos hídricos e resíduos sólidos. Mais informações no sítio: www.infrabrasilsummit.com.br



ABCD – Asphalt Binder Cracking Device

O Professor Sang-Soo Kim, Ph.D., PE de Engenharia Civil da Faculdade Russ de Engenharia e Tecnologia da Universidade de Ohio, desenvolveu um equipamento que mede a resistência da camada de asfalto e o ponto exato em que ocorre a fissura causada por baixa tem-



peratura chamado de ABCD- Asphalt Binder Cracking Device. A medição pode ser feita facilmente e com confiança, já que o teste simula a condição real de uma estrada. A AASHTO adotou o dispositivo como um método de teste padrão para resolver o problema do custo com reparo de rodovias e estradas dos Estados Unidos, que somam milhões de dólares por ano. Informações: <http://www.fhwa.dot.gov/hfl/partnerships/asphalt.cfm>

CURSOS REALIZADOS PELA ABPv

CURSO BÁSICO DE MATERIAIS E SERVIÇOS ASFÁLTICOS

Abril 2011

Professores/Instrutores

Eng^a Luciana Nogueira Dantas, M.Sc. – (IPR/DNIT)

Eng^a Dilma dos Santos Guarçoni (ABPv)



CURSO DE PAVIMENTOS E PLANEJAMENTO DE AEROPORTOS

Mai 2011

Professores/Instrutores

Eng^o Silvio Rodrigues Filho, M. Sc. – (ABPv / ESA Engenharia)

Major Brig. Av. Eng^o Adyr da Silva – PhD – ITA – Brasil / UnB

Cel Eng^o Oswaldo Fonseca, Ph.D. – DIRENG

Eng^o Francisco José d'Almeida Diogo, M. Sc. Prof.IME
Arquiteto Marcos Antônio Cals – (ADP Arquitetura)





CURSO PRÁTICO DE MATERIAIS E MISTURAS ASFÁLTICAS

Maio 2011

Professor

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, D.Sc, Prof IME
Ben-Hur de Albuquerque e Silva, D.Sc, Prof IME

Técnicos

Jorge Paixão Filho, DNIT
Luiz Romário de Macedo Silva, IME

CURSO DE DRENAGEM

Maio 2011

Professor

Engº Francisco José d'Almeida Diogo,
M.Sc., Prof. IME



CUSTOS RODOVIÁRIOS, FERROVIÁRIOS, AQUAVIÁRIOS E DE EDIFICAÇÕES – SICRO 3

Maio 2011 – Instrutor: Engº Cel Osvaldo Rezende Mendes



CURSO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

Maio e junho de 2011

Professores

Geraldo Luciano de Oliveira Marques, D. Sc., Prof UFJF
Celso Reinaldo Ramos, M. Sc.
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, D. Sc., Prof IME
Dilma dos Santos Guarçoni, ABPv
Vânia Luzia do Espírito Santo Tizo Láo, PCRJ
Ben-Hur de Albuquerque e Silva, D.Sc, Prof IME

CURSO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Agosto de 2011

Professores

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães, D. Sc., Prof. IME
Prepredigna D. E. Almeida da Silva, Dra., DNIT
Ben-Hur de Albuquerque e Silva, D.Sc, Prof IME





Máquina Universal de Ensaios



Soquete Elétrico (CBR)



Prensa Hidráulica Elétrica p/ Concreto Mod. CI



Prensa manual p/ Concreto com indicador digital



Argamassadeira



Recuperador Elástico



Extratora Rotativa à Gasolina



Perfuratriz Elétrica



Pêndulo Britânico



Flow Table Elétrica Digital



Prensa (CBR / Marshall) Elétrica



Extrator de Amostras Universal



Analizador de Corrosão



Prensa (CBR) Manual



Detector de Vergalhões



Esclerômetro



Viga Linear Digital



Máquina de Abrasão Losangeles



Reunião Anual de Pavimentação 3 a 5 de outubro de 2012 ExpoCeará - Pavilhão Leste

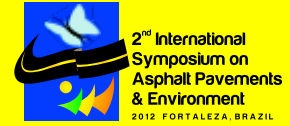
TEMÁRIO PARA TRABALHOS TÉCNICOS:

- 1 - Materiais: asfálticos, concreto, solos, britas, etc.
- 2 - Métodos de dimensionamentos:
 - * Pavimentos asfálticos
 - * Pavimentos de concreto
 - * Pavimentos ferroviário
 - * Pavimentos aeroportuários
- 3 - Processos construtivos
- 4 - Mecânica dos pavimentos
- 5 - Técnicas de conservação e restauração de pavimentos
- 6 - Processos de decisão sobre reabilitação e gestão de pavimentos
- 7 - Dimensionamento de restauração e retroanálise
- 8 - Melhoramentos de pavimentos e SMS na pavimentação
- 9 - Planejamento e gestão rodoviária
- 10 - Operação e segurança viária
- 11 - Meio ambiente e legislação ambiental aplicada a pavimentação
- 12 - Drenagem
- 13 - Casos de obras (relatos de experiências bem ou mal sucedidas)

CALENDÁRIO PARA REMESSA DE TRABALHOS TÉCNICOS:

- 30/02/2012 - prazo final para submissão do resumo
- 30/03/2012 - prazo final para comunicação de aceite do resumo
- 30/04/2012 - prazo final para submissão do trabalho completo
- 30/06/2012 - prazo final para comunicação de aceite do trabalho completo
- 30/07/2012 - prazo final para reenvio do trabalho completo com as revisões incorporadas

Destaque da Programação



1 a 3 de outubro de 2012
www.det.ufc.br/isap2012

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

EXPO PAVIMENTAÇÃO

A primeira edição da ExpoPavimentação – Feira de Materiais e Equipamentos para Pavimentação está programada para o período de 03 a 05 de outubro de 2012, no ExpoCeará, novo centro de feiras e eventos do Estado do Ceará e um dos mais modernos do Brasil.

O evento promete revolucionar o mercado, trazendo as maiores novidades em tecnologia, produtos, soluções e equipamentos para o setor de infraestrutura de pavimentação

RESERVE SEU ESPAÇO: contato@expopavimentacao.com.br | 55 85 4012.9933

REALIZAÇÃO



ikö
eventos

COORDENAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

IKONE
EVENTOS

Cadastro Ministério do Turismo - 06.002527.80.0001-4

Um dado importante sobre o Projeto de Lei do Novo Código Florestal Brasileiro



Victor Athayde*

1. Prelúdio: o Processo Legislativo e a sociedade

O foco da mídia, até algumas semanas atrás, estava todo voltado ao Projeto de Lei nº 1.876/1999, de autoria do Deputado Federal Sérgio Carvalho, do PSDB de Rondônia: o Novo Código Florestal.

Em 24 de maio de 2011 foi aprovado na Câmara dos Deputados e seguiu para o Senado Federal, onde ainda vai ser votado para, se não houver mudanças (emendas), seguir para sanção ou veto (parcial ou total) presidencial. Esse é o Processo Legislativo

Ordinário Constitucional Brasileiro, é assim que se constroem as Leis Ordinárias Brasileiras¹.

Sobre esse processo, de uma forma geral, antes que o Projeto de Lei vá à Casa Legislativa respectiva (Câmara ou Senado) para deliberações e votação, ele é discutido nas diversas comissões que fazem parte de cada uma delas.

As comissões contam com o apoio de servidores capacitados, com alto grau técnico.

É fundamental dizer que é um trabalho árduo, complexo e longo (dura anos) e que foge ao conhecimento da grande maioria de brasileiros.

A sociedade e demais entes federativos, em determinados casos, também participam dessa fase do Processo, ora, está a se falar da formação da lei, símbolo do Estado Democrático de Direito, construída pelos representantes populares, eleitos pelo povo (todo o Poder emana dele).

Paralelo ao procedimento interno do Congresso Nacional, a sociedade tende a se mobilizar de forma independente diante de determinados projetos, são ensaios, pareceres, artigos, reportagens, sim-

* Advogado militante na Área de Direito Ambiental, 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/ e-mail: victor@da.adv.br

¹ Como já foi dito em outra oportunidade (Revista ABPv nº 20), as diversas espécies de normas que compõem o sistema jurídico são hierarquizadas e, como citei o Procedimento Legislativo Ordinário, deve ser dito que há outras espécies de lei previstas constitucionalmente e que seguem Rito Legislativo Qualificado, com maior exegese quanto a quórum e trâmite entre as Casas, como são os casos de Emendas à Constituição Federal e Lei Complementares – daí a hierarquia entre elas. No Procedimento Legislativo Sumário, por exemplo, há prazo para que o Congresso e o Senado (45 dias para cada) aprove projetos de lei e de iniciativa presidencial (art. 64 da CRFB/88).

pósios, seminários e, no caso específico do Projeto de Lei em foco, o que se vê são posições ora alarmistas, ora realistas, ora ruralistas, que tendem para lados opostos, o conservador e o liberal

Neste caso, Parlamento brasileiro está sob os olhares da imprensa e da sociedade civil.

Esse é o contexto da atual discussão, que merece uma ressalva.

Há de ser dito: artigos jurídicos sobre projetos de lei podem ser perda de energia.

O fato de não ter havido o fim do processo legislativo faz da análise do texto ainda não publicado uma temeridade.

Se por um lado há esse risco, por outro é válido, proporcionalmente à relevância do tema, uma vez que traz aos olhos da sociedade tema discutido pela sua representação.

2. As Áreas de Preservação Permanente e o CONAMA

Por uma questão de ordem cronológica, é importante reconhecer que a norma florestal federal em vigor, a Lei 4.771/65, necessita ser atualizada sim, mas, principalmente, com fixação de marco regulatório.

É uma verdade singela: nos últimos quase cinquenta anos da vigência do Código Florestal (Lei

Federal no. 4.771/65), o Poder Público falhou em pôr em prática as disposições do mesmo.

É de se reconhecer o incremento e os avanços da Administração Ambiental na última década, mas antes disso, de maneira geral, deixou de fazer o que lhe incumbia (art. 225, § 1º, VII da Constituição Federal).

Não muito longe, nos idos dos anos 1970, derrubada de extensões de mata e o corte de imensas árvores como marco do início de obras públicas se davam sob o testemunho de cerimônias políticas.

Aliás, se tem notícia² que o Governo brasileiro, ainda naquela época, fomentava projetos como o PROVARZEA, que promovia ao desmatamento da mata ciliar, sob o pretexto de incentivo agrícola, financiando, inclusive, os insumos respectivos (que contaminam solo, água etc.).

A questão cultural, do Administrador e do Administrado, também é um gargalo do processo, por isso a anistia³ não pode parecer um absurdo jurídico, mas um dever, uma concessão de quem tem parcela nessa gama de culpas.

Após tais considerações, a fim de contextualizar o leitor, é importante definir o que são as áreas de preservação permanente.

Trata-se de áreas genericamente definidas por lei ou atos do Poder Público⁴, que têm o uso restrito ou intervenção impossibilitada, tudo com fim de manter "a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a

² "APP em área urbana consolidada." MIRANDA, Anaiza Helena Malhardes. Boletim Eletrônico, Irib, Ano VIII. São Paulo, 23 de janeiro de 2008.

³ Para explicar esse tema que não será tratado neste breve ensaio, convém trazer à baila notícia do *site* da Câmara dos Deputados, que fala por si só:

"Anistia e regularização

Dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) indicam a existência de cerca de 13 mil multas, com valor total de R\$ 2,4 bilhões, até 22 de julho de 2008. A maior parte delas ocorreu por causa do desmatamento ilegal de APPs e de reserva legal em grandes propriedades da Amazônia Legal.

Os estados de Mato Grosso, Pará, Rondônia e Amazonas respondem por 85% do valor das multas aplicadas até julho de 2008 e ainda não pagas.

Para fazer jus ao perdão das multas e dos crimes ao meio ambiente cometidos, segundo o projeto aprovado, o proprietário rural deverá aderir ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), a ser instituído pela União e pelos estados.

Os interessados terão um ano para aderir, mas esse prazo só começará a contar a partir da criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o que deverá ocorrer em até 90 dias da publicação da futura lei. Todos os imóveis rurais deverão se cadastrar." (fonte: <http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias/MEIO-AMBIENTE/197560-CAMARA-APROVA-NOVO-CODIGO-FLORESTAL-COM-MUDANCA-EM-REGRAS-PARA-APPS.html>).

⁴ Remetem-lhes aos artigos 2º. e 3º. do atual Código Florestal e as Resoluções CONAMA nºs 302 e 303, ambas de 2002.

paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”, conforme definido no Código Florestal.

Alguns exemplos dos gêneros previstos em Lei são: “as bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; topo de morros, montes, montanhas e serras; nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; ao longo dos rios ou de qualquer curso d’água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será de 30 (trinta) metros para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura;” entre outras.

A Lei protege e define essas áreas, mas também prevê hipóteses de exceção, em que haverá possibilidade do seu uso, com fins específicos.

É o que se extrai do artigo 4º do Código Florestal, que define e atribui competências para definição dessas hipóteses, de forma genérica.

A Norma estabelece que as intervenções somente poderão ocorrer nos casos “de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio⁵, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto.”

Entre alguns exemplos de atividade de utilidade pública estão, predominantemente, obras de infraestrutura relacionadas à pavimentação.

Em 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, o órgão consultivo e deliberativo, criado do Ministério do Meio Ambiente (MMA), com representações públicas e privadas, que compreende,

principalmente, o conhecimento técnico-ambiental (arts. 6º, II da Lei 6.938/81 e arts. 3º, II e 5º e 6º do Decreto nº 99.274/90), estabeleceu parâmetros mais objetivos e claros sobre o que seriam atividades de utilidade pública; interesse social e baixo impacto ambiental⁶.

As definições do CONAMA obedeceram (e seguem) a intensa discussão plenária, de ordem técnica.

Aliás, citando um trabalho de grande relevância do órgão, foi através da Resolução CONAMA nº 237/1997 que o procedimento de Licenciamento Ambiental, previsto desde 1981, na Política Nacional de Meio Ambiente, enfim, ganhou definições claras e efetividade.

Dentro desse contexto, o celebrado autor Edis Milaré, ao comentar sobre a Política supra, aduz que o CONAMA, “órgão superior do Sistema Nacional do Meio Ambiente- SISNAMA, tem editado normas importantes em matéria ambiental”⁷.

E vai além: “é certo que se esboça um início de Política Ambiental, mas apenas limitada à observância das normas técnicas editadas pelo CONAMA.”⁸

Desta forma, está devidamente demonstrado que o CONAMA é órgão regulamentador de um sistema que se busca fortalecer⁹ e que, por isso, possui importante papel na execução de Política Pública Nacional, a de Meio Ambiente.

Há quem questione o poder regulamentar do CONAMA¹⁰, justamente fundamentado no Estado Democrático de Direito e no Princípio da Legalidade, uma vez que ninguém é obrigado a fazer ou deixar de fazer em virtude de lei (remeto-lhes aos conceitos de formação da Lei *stricto sensu* trazidos, *unt passant*, no início deste despretensioso artigo).

O entendimento é respeitável e aplicável, principalmente quando o CONAMA limita Direitos

⁵ Pode haver interpretação excessivamente burocrática nesse trecho da lei, uma vez que, para tal intervenção, basta que esteja motivada por pareceres objetivos, no respectivo procedimento administrativo de licenciamento ambiental, e não num rito em apartado.

⁶ O CONAMA deixou as portas abertas para que os entes federativos que detêm Conselhos de Meio Ambiente definam o que seria uma atividade de baixo impacto (Res. CONAMA no. 369/2006, art. 11, XI).

⁷ Direito do Ambiente, São Paulo: RT, 2004, p. 392.

⁸ *Ibidem*.

⁹ <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=107>

¹⁰ http://www.jornaldemocrata.com/index.php?option=com_content&view=article&id=430:juiz-jales&catid=55:miguelopolis-news&Itemid=80

de Pessoas Físicas e Jurídicas, do Direito Público ou Privado.

Contudo, é impossível não reconhecer sua importância em definir parâmetros para a Administração Ambiental, sem os quais ela não evoluiria.

3. O que o Projeto do Novo Código Florestal dispõe sobre o acima sustentado

A Câmara dos Deputados dá a seguinte notícia sobre a regulamentação do assunto acima tratado:

“As hipóteses de uso do solo para atividade de utilidade pública, interesse social ou de baixo impacto serão previstas em lei e, em todos os casos, deverão ser observados critérios técnicos de conservação do solo e da água.”¹¹

No Projeto de Lei há o artigo 8º, que assim dispõe:

Art. 8º A intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente e a manutenção de atividades consolidadas até 22 de julho de 2008 ocorrerão nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas em lei, bem como nas atividades agrossilvopastoris, ecoturismo e turismo rural, observado o disposto no § 3º.

Ora, na leitura sistematizada dos trechos acima, fica claro que as hipóteses de intervenção ou

supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente, para o caso de atividades de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto, ainda serão definidas em futura lei.

Será definido por Lei, e não por uma Resolução do CONAMA.

O que se vê com isso é que grande parte do que está disposto pelo atual Código Florestal (que será revogado pelo Novo, na íntegra, conforme se vê do art. 69 do PL), e também pelo CONAMA, acerca de atividades de utilidade pública, interesse social ou de baixo impacto, será sumariamente revogado e somente estará previsto em uma legislação futura.

Com a simples sanção do Projeto de Lei do Novo Código Florestal, todos os parâmetros definidos, com muito custo, serão extirpados do ordenamento jurídico nacional.

Restará uma lacuna, uma indefinição contraproducente, e a solução ficará à mercê da produção do legislador, que é demorada por questões técnicas (pois o tema assim é) e políticas.

Haverá aí grande esvaziamento do árduo trabalho do CONAMA e o surgimento de um vácuo legal que o setor produtivo, e também o público, pode começar a temer.

Se nada for feito para impedir essa disposição no Projeto de Lei do Novo Código Florestal, se teme que o procedimento de licenciamento fique sem definições claras para ser balizado e, assim, por certo, será ainda mais moroso, talvez, infundável.

¹¹ <http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias/MEIO-AMBIENTE/197560-CAMARA-APROVA-NOVO-CODIGO-FLORESTAL-COM-MUDANCA-EM-REGRAS-PARA-APPS.html>

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

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

Análise da evolução do comportamento mecânico e funcional de estruturas de pavimento alternativas no Estado de Santa Catarina

Glicério Trichês, Dr.

ecvlgtri@ecv.ufsc.br

Guido Paulo Simm Júnior, M.Sc.

guido.simm@dnit.gov.br

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados obtidos com o controle tecnológico adotado no monitoramento de oito pistas experimentais construídas durante as obras de implantação de uma rodovia de médio volume de tráfego localizada na região oeste do Estado de Santa Catarina. As estruturas experimentais de pavimento foram construídas sobre dois tipos de subleito: rocha detonada e solo argiloso compactado nas energias de Proctor Normal e Intermediário. Para a camada de base foram empregados brita graduada e macadame seco. O revestimento asfáltico adotado foi do tipo concreto asfáltico usinado a quente com espessura de 5cm, típico para rodovias de baixo volume de tráfego. O controle tecnológico abrangeu o período de construção dos segmentos experimentais e o monitoramento de desempenho durante dois anos após a abertura ao tráfego. Foi empregado o

controle deflectométrico com viga Benkelman, o que compreendeu a medida de bacias de deflexão em todas as camadas da estrutura de pavimento executada, inclusive o subleito, e fez-se o monitoramento da evolução das deflexões com o tempo. Foram realizadas medidas de irregularidade longitudinal e de afundamento de trilha de roda imediatamente após a abertura ao tráfego e depois de dois anos de serviço da rodovia. Com base nos resultados obtidos do controle, pôde-se concluir que os segmentos experimentais apresentaram comportamento estrutural e funcional satisfatório, equivalente àquele observado na estrutura de pavimento convencional adotada para o restante da rodovia.

PALAVRAS-CHAVE

Controle deflectométrico, pavimento de baixo custo, evolução do desempenho.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina apresenta diversas peculiaridades que tornam suas atividades socioeconômicas fortemente dependentes da infraestrutura de transporte viário. O estado caracteriza-se pela ocupação equilibrada do seu território que, aliada às suas condicionantes climáticas e geomorfológicas e as diferentes culturas dos povos que realizaram sua colonização, deu origem a propriedades rurais e empresas de pequeno e médio porte, organizadas em polos econômicos e políticos regionais, contrapondo-se ao modelo centralizador observado noutros estados brasileiros. Parte significativa da malha estadual pavimentada corresponde a rodovias rurais de baixo volume de tráfego, cuja pavimentação, além de melhorar o escoamento de produtos agrícolas e reduzir os custos operacionais de transporte, ajuda na fixação do homem no campo e permite o acesso fácil e rápido a equipamentos de saúde e educação, que geralmente estão distantes destas comunidades. Uma redução nos custos de pavimentação permitiria uma melhor distribuição dos recursos destinados à infraestrutura e o aumento da malha pavimentada. Essa realidade motivou a realização da presente pesquisa, que se destina a analisar o comportamento estrutural e funcional de pistas experimentais construídas com estruturas de pavimento, embora não constituam soluções inéditas, sendo algumas já aplicadas no Estado de Santa Catarina com sucesso, porém de modo empírico e sem o devido enfoque da Mecânica dos Pavimentos.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DAS PISTAS EXPERIMENTAIS

Os estudos foram realizados durante as obras de implantação da rodovia SC-469, trecho: Campo Erê – Saltinho – Serra Alta e Acesso a Bom Jesus do Oeste, localizada no extremo oeste catarinense, próxima à divisa com o Estado do Paraná. O trecho pertence à rede rodoviária estadual de Santa Catarina e é de jurisdição do Departamento Estadual de Infraestrutura – DEINFRA/SC. As obras tiveram início em setembro de 2003 e a inauguração ocorreu no dia 19 de março de 2005. A pesquisa conta com a execução de sete pistas experimentais, sendo seis pistas com extensão de 200 metros cada uma e uma pista com 130m de extensão, totalizando 1.330m, e uma pista de controle com extensão de 1km. A tabela 1 mostra as principais características da estrutura de pavimento da rodovia, a qual foi dimensionada para um tráfego de projeto de $3,44 \times 10^6$ para um período de 10 anos. Complementando as informações de tráfego, são apresentados, na parte inferior da tabela, dados obtidos do Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA/SC) através do Estudo “Plano Diretor Rodoviário para o Estado de Santa Catarina – PDR/SC”. Verifica-se que o tráfego diário médio anual aumentou cerca de 3% no segundo ano, com uma média geral para os dois anos da ordem de 1.353 veículos/dia. Porém, houve um aumento bastante expressivo na quantidade de caminhões semirreboques em relação ao ano-base, da ordem de 74%, acompanhado de

Tabela 1– Estrutura de pavimento dimensionada para a rodovia e dados de tráfego

Número N de projeto (USACE)	CBR Projeto (%)	ESPESSURA DAS CAMADAS DE PAVIMENTO (cm)				
		Concreto betuminoso usinado a quente CBUQ	Base de brita granulada	Sub-base de macadame seco		
$3,44 \times 10^6$	11,00%	5,0	15,0	16,0		
Tráfego diário médio anual (TDMA veículos/dia)						
	Total	Motos/outros	Automóveis	Caminhões	Semirreboques	Especiais
Ano 1	1.334	11,09%	65,97%	18,52%	4,05%	0,37%
Ano 2	1.372	10,28%	66,11%	16,47%	6,85%	0,29%

uma pequena redução da participação percentual de outras modalidades de veículos.

As características das pistas experimentais construídas são as seguintes:

Pista 01: localizada entre os kms 4+740 e 4+940 da rodovia, com extensão total de 200 metros. O subleito foi executado com solo argiloso compactado a 100% do Proctor normal, sendo os últimos 20cm compactados na energia de 100% do Proctor intermediário. A camada de base foi executada com 20cm de macadame seco, sendo a regularização superficial feita com uma camada de 4cm de Crushed Surfacing Top Course – CSTC. Trata-se de uma camada de brita de granulometria fina, indicada pelo Departamento de Transporte de Washington para a regularização de camadas de base de superfície irregular. O revestimento é do tipo concreto asfáltico usinado a quente, com espessura de 5cm;

Pista 02: localizada entre os kms 6+180 e 6+380 da rodovia, com extensão total de 200 metros. O subleito foi executado com solo argiloso compactado a 100% do Proctor normal, sendo os últimos 20cm compactados na energia de 100% do Proctor intermediário. Camada de base executada com 20cm de macadame seco e regularizada com 2cm de massa fina de CBUQ. Revestimento asfáltico de CBUQ, com espessura de 5cm;

Pista 03: localizada entre os kms 6+580 e 6+710 da rodovia, perfazendo 130 metros. O subleito foi executado com solo argiloso compactado a 100% do Proctor normal, sendo os últimos 20cm compactados na energia de 100% do Proctor intermediário. Camada de base executada com 20cm de brita graduada e o revestimento asfáltico de CBUQ, com 5cm de espessura;

Pista 04: localizada entre os kms 8+020 e 8+220 da rodovia, com extensão total de 200 metros. A camada final foi executada com rocha detonada proveniente dos próprios cortes rodoviários. A camada de base foi executada com 16cm de macadame seco, regularizada com 4cm de brita na granulometria CSTC. Para o revestimento asfáltico, utilizou-se de CBUQ com espessura de 5cm;

Pista 05: localizada entre os kms 7+780 e 7+980 da rodovia, com extensão total de 200 metros. A ca-

mada final foi executada com rocha detonada proveniente dos próprios cortes rodoviários. A camada de base foi executada com 16cm de macadame seco e regularizada com 2cm de massa fina de CBUQ. Para o revestimento asfáltico, utilizou-se de CAUQ com espessura de 5cm;

Pista 06: localizada entre os kms 7+540 e 7+740 da rodovia, com extensão total de 200 metros. A camada final foi executada com rocha detonada proveniente dos próprios cortes rodoviários. A camada de base foi executada com 16cm de brita graduada. Para o revestimento asfáltico, utilizou-se de CBUQ com espessura de 5cm;

Pista 07: localizada entre os kms 8+260 e 8+460 da rodovia, com extensão total de 200 metros. A camada final de terraplenagem foi executada com rocha detonada proveniente dos próprios cortes rodoviários, sendo a camada de sub-base de 16cm de macadame seco e a camada de base de 15cm de brita graduada. O revestimento asfáltico de CBUQ apresenta espessura de 5cm;

Pista 08: Corresponde a uma pista de controle de 1km de extensão, no segmento compreendido entre as estacas 10+000 e 11+000 (doravante denominada Pista 08), cujo pavimento está assente sobre subleito de solo compactado a 100% do Proctor normal. A camada de sub-base possui 16cm de macadame seco e a camada de base, 15cm de brita graduada. O revestimento asfáltico de CBUQ apresenta espessura de 5cm.

A figura 1 apresenta o diagrama linear das estruturas construídas.

Todos os segmentos foram construídos em seções de aterro, em tangente e com a menor inclinação de greide possível, como ilustra a figura 2. As pistas experimentais foram identificadas em campo com marcos de concreto no quilômetro inicial e quilômetro final de cada pista no lado direito da rodovia, no bordo do acostamento.

A tabela 2 apresenta, de forma simplificada, os custos totais de pavimentação de cada alternativa estudada, considerando uma plataforma pavimen-

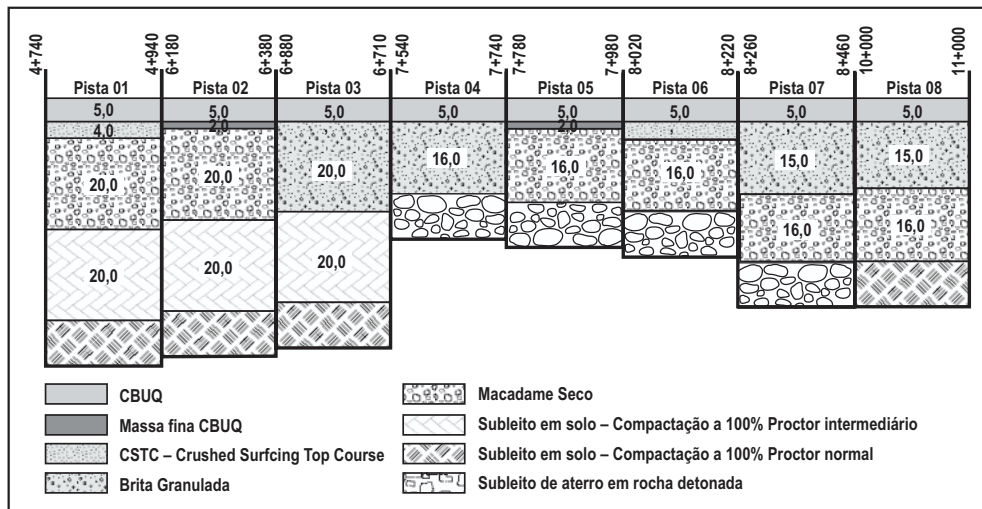


Figura 1 – Diagrama linear com os materiais e localização das pistas experimentais



Figura 2 – Pista experimental 06 após a construção.

tada de 7m de largura e 1.000m de extensão. Os custos foram calculados originalmente em 2006 utilizando a planilha de preços do DEINFRA/SC e atualizados neste trabalho com uso dos índices de reajuste de preços de obras rodoviárias do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) para janeiro de 2011.

Os custos de pavimentação compreendem a execução das camadas, transporte, aquisição e fornecimento dos materiais. Já nos custos de terraplenagem foram consideradas apenas a compactação da cama-

da final de terraplenagem em solo ou rocha (espessura de 60cm) e a camada de brita para fechamento da rocha.

Os serviços de escavação e carga da rocha apresentam valor bem superior à escavação e carga de solo. A camada final em rocha só é competitiva se a rocha estiver disponível, por exemplo, se hou-

ver cortes em rocha ao longo do trecho projetado. Para efeitos comparativos, não foram considerados os valores desses serviços. O transporte de rocha e solo deve ser considerado para cada obra. Neste comparativo, as distâncias de transporte de solo e de rocha são praticamente iguais, portanto, seu custo não foi considerado no comparativo econômico.

Na tabela, verifica-se que as pistas 01, 03, 04 e 06 apresentaram-se mais econômicas se comparadas à pista de controle 08, o que deriva principalmente da eliminação da camada de sub-base. A alternativa 07 apresenta custo similar ao da pista de controle 08, sendo levemente superior devido ao fato de a camada final de rocha, embora de compactação mais barata, necessite da adição de uma camada superficial de brita para fechamento. Já as pistas 02 e 05, mesmo com a eliminação da camada de sub-base, apresentaram um custo ligeiramente superior ao da pista

Tabela 2 – Comparativo de custos de pavimentação

Alternativa	Estrutura	Total (R\$)	% em relação a pista 8	Classificação
Pista 01	5CBUQ + 4BG + 20MS + regula PI + solo	256.361,16	9,0%	2º
Pista 02	5CBUQ + 2MF + 20MS + regula PI + solo	299.079,92	-6,2%	8º
Pista 03	5CBUQ + 20BG + regula PI + solo	261.429,31	7,2%	4º
Pista 04	5CBUQ + 4BG + 16MS + rocha	250.976,38	10,9%	1º
Pista 05	5CBUQ + 2MF + 16MS + rocha	293.695,14	-4,3%	7º
Pista 06	5CBUQ + 16BG + rocha	252.101,10	10,5%	2º
Pista 07	5CBUQ + 15BG + 16MS + rocha	291.261,08	-3,4%	6º
Pista 08	5CBUQ + 15BG + 16MS + regula PN + solo	281.610,52	0,0%	5º

de controle, devido ao uso de massa asfáltica fina (de custo elevado) para a regularização da camada de base de macadame seco.

3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS MATERIAS EMPREGADOS

3.1. Camada final de terraplenagem em solo argiloso

A camada final de terraplenagem (com espessura de 60cm) das pistas 01, 02, 03 e 08 foi executada com uma argila siltosa avermelhada, solo residual de rocha basáltica, sendo que, nas pistas 01, 02 e 03, os 40cm inferiores foram compactados com a energia de 100% do Proctor normal e os últimos 20cm compactados na energia de 100% do Proctor intermediário. Na pista de controle 08, a camada final foi toda compactada na energia de 100% do Proctor normal. A caracterização do comportamento resiliente dos materiais empregados no subleito foi feita através de ensaios triaxiais dinâmicos, conforme o Método de Ensaio DNER-ME-131/94. Os modelos obtidos foram do tipo bilinear, típico de solos coesivos. A figura 3 apresenta o resultado do ensaio triaxial dinâmico para o material coletado no subleito da pista 03, sendo que para as demais pistas os resultados obtidos foram similares. Verificou-se que, para este tipo de solo, a compactação mais enérgica provocou uma melhoria significativa do comportamento resiliente, com módulos mais elevados para o mesmo nível de tensão aplicada. Essa melhoria do comportamento do material de subleito reflete, ainda, nas camadas superiores de pavimento, visto que quanto mais rígido o subleito, melhor o desempenho das camadas granulares de base e sub-base.

3.2 Camada final de rocha detonada

O subleito das pistas 04, 05, 06 e 07 foi executado com rocha detonada proveniente dos próprios cortes da terraplenagem. Trata-se de uma rocha basáltica densa, de granulação fina e cor cinza a marrom. Os últimos 60cm do aterro foram construídos com blo-

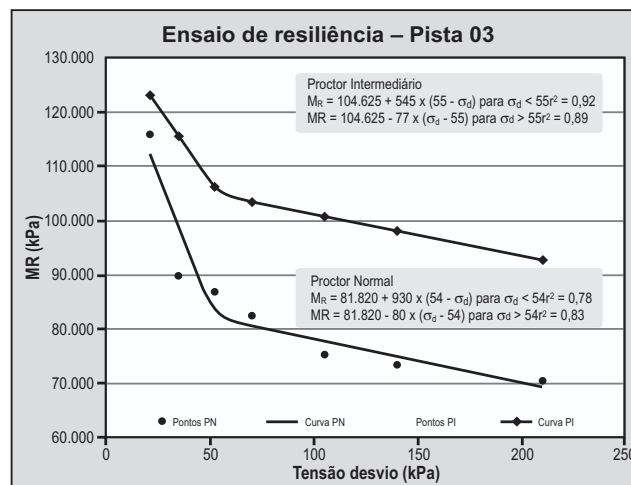


Figura 3 – Resultado dos ensaios triaxiais dinâmicos para o subleito da pista 03

cos de diâmetro máximo de 20cm, misturados a pedras e pedriscos de menores dimensões, a fim de se obter um bom preenchimento e reduzir o número de vazios. A superfície foi regularizada com brita fina, proveniente de pedreira. O controle foi feito em bases visuais, passando-se um rolo de pneu sobre a superfície e avaliando-se a ocorrência de sulcos ou deformações.

3.3 Macadame Seco

A camada de macadame seco foi executada de acordo com as especificações do DEINFRA/SC. O agregado graúdo é constituído por material resultante da britagem primária de graduação uniforme, com diâmetro máximo de 100mm, admitindo-se o valor máximo de 10% passando na peneira de 25,4mm. Os agregados para bloqueio e fechamento são constituídos de uma mistura de aproximadamente 50% de material com granulometria entre 19,00mm e 9,50mm e 50% com granulometria entre 9,50mm e 0,0mm, em volume.

3.4 Camada de CSTC (Crushed Surfacing Top Course)

Nas pistas 01 e 04, utilizou-se uma camada de 4cm de CSTC (Crushed Surfacing Top Course) para a regularização da superfície da base de macadame seco, objetivando dessa maneira a formação de

uma superfície homogênea para a execução do revestimento asfáltico. A camada foi executada obedecendo à faixa granulométrica estabelecida pelo Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT, 2006). Os limites extremos da faixa preconizada são 100% de material passante na peneira 3/4" (19,1mm) e máximo de 10% de material passante na peneira nº 200 (0,075mm). Esta camada foi compactada de maneira similar à base de brita graduada.

3.5 Base de brita graduada

A base de brita graduada foi executada com a faixa granulométrica tipo I do Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina (DEINFRA/SC). A amostra foi compactada com densidade aparente máxima de 25,9kN/m³ e umidade ótima de 6,5%. A brita graduada apresentou comportamento resiliente de solo granular, sendo expresso pelo modelo K-q (modelo de Biarrez), conforme equação:

$$M_R = 16.816 \times \theta^{0.57} \quad (\text{eq.1})$$

onde:

θ – Invariante de tensões. É a soma das tensões principais σ_1 , σ_2 e σ_3 , em kPa; e

M_R – definido anteriormente, em kPa.

3.6 Revestimento de concreto asfáltico

O ligante asfáltico utilizado na usinagem do concreto asfáltico foi do tipo CAP-50/70, sendo a mistura dosada com um teor de betume de 5,5% e massa específica de 26kN/m³. A determinação do módulo de resiliência da mistura de CBUQ utilizada no revestimento asfáltico das pistas experimentais foi feita através do ensaio de compressão diametral dinâmico, de acordo com o método de ensaio DNER-ME-133/94 (DNER, 1994c). Foram ensaiadas um total de quatro amostras para cada pista. A figura 4 apresenta os valores modulares médios obtidos para cada pista. Os valores variaram de 3.995MPa, na pista 05, a 6.394MPa, na pista 04.

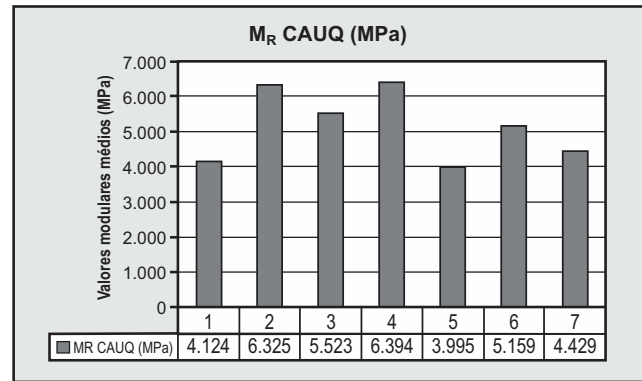


Figura 4 – Módulos resilientes médios das amostras de CBUQ analisadas

4. RESULTADOS OBTIDOS COM O CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO

4.1 Controle deflectométrico durante o processo construtivo

Em adição ao controle tecnológico tradicional prescrito pelas especificações do DEINFRA/SC, realizou-se o controle deflectométrico com viga Benkelman durante todo o processo construtivo da rodovia. Foi feito o levantamento de bacias deflectométricas em todas as pistas experimentais e em todas as camadas, inclusive o subleito. As bacias foram medidas a

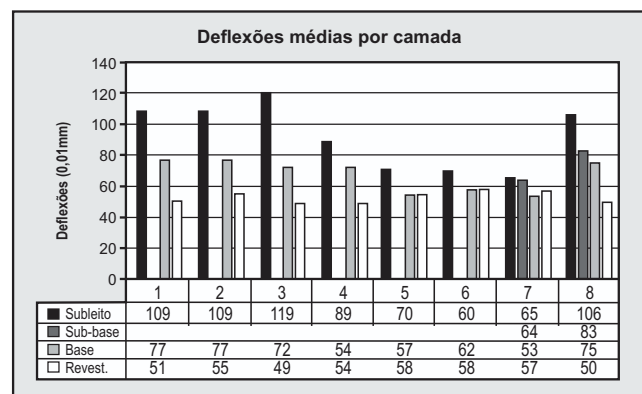


Figura 5 – Deflexões médias por camada (0,01mm).

cada 20m, na posição correspondente à trilha de roda externa, nas duas faixas de tráfego. A figura 5 apresenta as deflexões médias obtidas em cada camada durante o processo construtivo.

A análise da figura 5 mostra que as pistas 01, 02, 03 e 08, assentes sobre subleito argiloso, obtiveram

uma redução bastante significativa do nível deflectométrico após a execução das camadas superiores de pavimento (i.e. base e revestimento). Já as pistas 04, 05, 06 e 07, assentes sobre subleito de aterro em rocha, apresentaram comportamento bastante diverso daquele observado para as pistas assentes sobre subleito argiloso. Embora as deflexões medidas sobre o subleito em rocha detonada fossem reduzidas se comparadas àquelas medidas sobre o subleito argiloso, o nível deflectométrico se alterou pouco com a execução das camadas superiores, sendo que, no final, as deflexões médias obtidas sobre o revestimento asfáltico foram bastante similares em todas as pistas, independente do tipo de subleito.

Esse comportamento aparentemente contraditório pode ser explicado a partir da Mecânica dos Pavimentos, através da análise do comportamento resiliente dos solos granulares e dos solos coesivos dentro da estrutura projetada sob ação do carregamento aplicado. Nos materiais não coesivos, o módulo resiliente é função principalmente da tensão de confinamento aplicada. Assim, quanto maior o nível de tensões atuante na camada granular, maior será o valor modular obtido. No caso de solos coesivos, o módulo resiliente é função inversa da tensão-desvio aplicada, isto é, quanto menor for esta tensão, maior será o módulo resiliente do material. Desta forma, à medida que a construção das camadas do pavimento avança, tem-se uma redução do nível de tensões atuante nas camadas inferiores devido ao carregamento externo aplicado pelo caminhão usado para a medida das deflexões. É de se esperar, então, a variação dos valores modulares para mais no caso dos materiais argilosos e para menos no caso dos materiais granulares. Com isso, se tem uma conseqüente mudança no nível deflectométrico.

Esse efeito pode ser mais bem vislumbrado por meio de uma análise computacional com o programa Kenlayer. Para a simulação, adotou-se na simulação numérica o mesmo carregamento padrão empregado no controle deflectométrico em campo, isto é, eixo simples com roda dupla de 82KKN, afastamen-

to entre centros dos pneus de 32cm, raio de 10,8cm e pressão de contato de 560kPa. Foi adotado um coeficiente de Poisson de 0,3 para o concreto asfáltico, de 0,35 para os materiais não coesivos e de 0,45 para os solos coesivos. Para a caracterização do comportamento resiliente do subleito e da base, foram utilizados os modelos determinados nos ensaios triaxiais dinâmicos. Quanto ao revestimento asfáltico, foram adotados os valores modulares médios determinados nos ensaios de compressão diametral cíclico.

A figura 6 apresenta os resultados obtidos por meio da simulação numérica da pista experimental 03, escolhida por se dispor de modelos de comportamento resiliente para todos os materiais empregados na pavimentação. Verifica-se que, no caso do carregamento aplicado sobre o subleito, obteve-

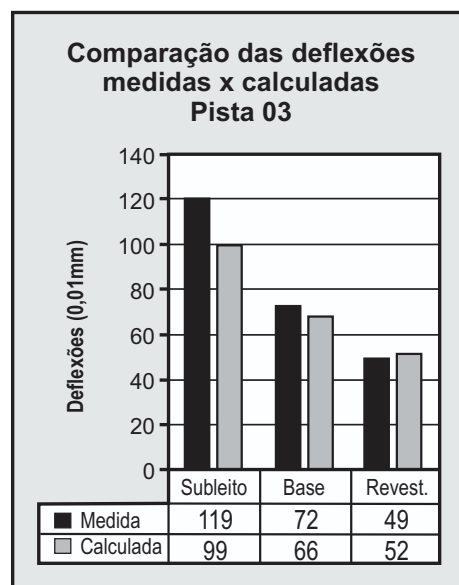


Figura 6 – comparação das deflexões medidas e calculadas – Pista 03

se uma deflexão calculada de 99x0,01mm, um pouco inferior à deflexão média de campo, de 119x0,01mm. No caso do carregamento aplicado sobre a base, a deflexão calculada foi de 66x0,01mm, valor este bastante próximo da deflexão média obtida em campo, de 72x0,01mm. Quanto ao carregamento aplicado sobre o revestimento asfáltico, obteve-se uma correlação campo/laboratório bastante satisfatória, com uma deflexão calculada de 52x0,01mm,

valor muito próximo da deflexão média de campo, da ordem de $49 \times 0,01 \text{ mm}$.

Em relação a pista 06, é evidente que não é possível avaliar por meio de ensaios laboratoriais o comportamento mecânico de um aterro em rocha, dada as grandes dimensões dos granulares. No entanto, pode-se supor que o modelo de comportamento mecânico de tal camada seja similar ao de um material granular de menores dimensões, como, por exemplo, a brita graduada. Considerou-se um expoente k_2 similar àquele obtido para a brita graduada. Na sequência, fez-se a determinação do coeficiente k_1 por meio de tentativas, através do ajuste da bacia deflectométrica calculada com aquelas de campo. Com este procedimento, chegou-se ao seguinte modelo para representar a camada de pedra detonada:

$$M_R = 7.000 \times \theta^{0,6} \quad (\text{eq.2})$$

onde:

θ – soma das tensões principais σ_1, σ_2 e σ_3 , em kPa; e
 M_R – definido anteriormente, em kPa.

A figura 7 apresenta os resultados das análises efetuadas para o segmento experimental 06. Verifica-se que as deflexões calculadas apresentaram uma excelente concordância com as deflexões medidas no

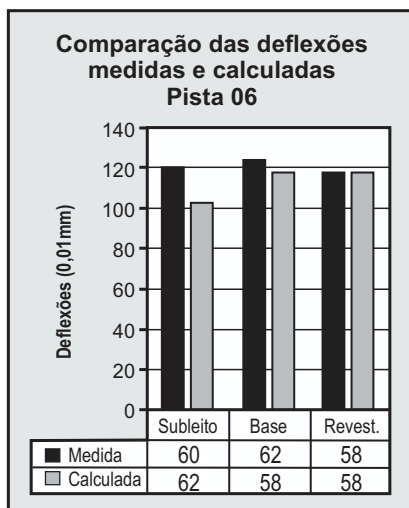


Figura 7 – comparação das deflexões medidas e calculadas – Pista 06

campo. A análise dos resultados permite concluir que, com a execução das camadas subsequentes de pavimento, ocorreu também a redução do nível de tensões atuante na estrutura. Como o comportamento resiliente dos materiais granulares é função da tensão confinante aplicada, ocorre também redução do valor modular. Os módulos dos materiais granulares empregados, são muito mais sensíveis a variações no nível de tensões aplicado do que os solos coesivos. Isso ocorre porque, no caso dos materiais granulares, o módulo resiliente varia exponencialmente de acordo com a tensão confinante, enquanto que o módulo resiliente dos solos coesivos varia de maneira linear de acordo com a tensão desvio aplicada, e, em geral, essa variação não é tão expressiva.

4.2 Retroanálise das bacias deflectométricas

Em adição ao controle deflectométrico tradicional, foram medidas bacias deflectométricas sobre o revestimento asfáltico, espaçadas de 20m entre si. Foram medidas deflexões afastadas a 0–12,5–25–50–75–100–125–150cm do ponto de aplicação da carga (afastamento da ponta de medição da viga Benkelman em relação ao eixo traseiro do caminhão), constituindo assim a bacia deflectométrica. Essas bacias foram retroanalisadas com o uso do programa JULEA (Jacob Uzan Layered Elastic Analysis) para a determinação dos módulos resilientes médios *in situ* das camadas. Não foi objeto de análise a camada de concreto asfáltico, visto que, dada a pequena espessura da mesma, o procedimento de retroanálise torna-se pouco sensível. Na análise, foram adotados, para a camada de concreto asfáltico, os módulos resilientes médios obtidos dos ensaios de compressão diametral, já que o procedimento de retroanálise não possui sensibilidade o suficiente para determinar com razoável acurácia, com base na deflectometria, os módulos de camadas tão delgadas. Não foram medidas bacias deflectométricas para a pista de controle 08.

A análise da figura 8 mostra que as bases executadas com macadame seco apresentaram módulos

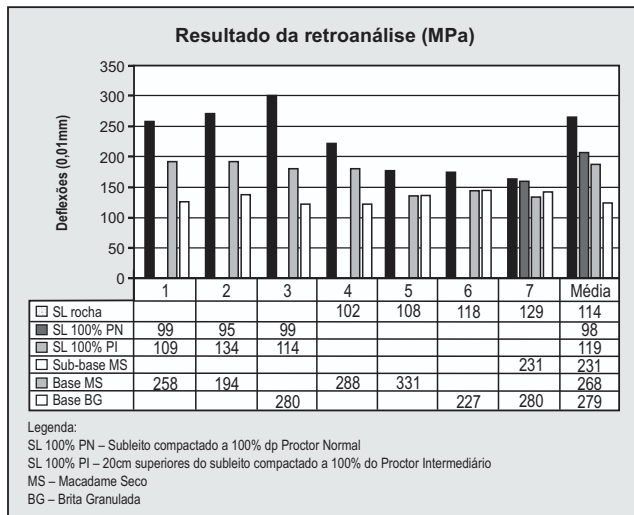


Figura 8 – Resultados da retroanálise, em MPa.

resilientes similares àqueles obtidos para as bases executadas com brita graduada indicando, no tocante à performance mecanicista, um comportamento similar. No caso das camadas finais de terraplenagem de solo argiloso, ao se comparar o módulo obtido para os últimos 20cm do subleito, compactado a 100% do Proctor intermediário, com os 40cm inferiores, compactados a 100% do Proctor normal, vê-se que a compactação mais enérgica do topo do subleito conduziu a módulos resilientes maiores, como havia sido indicado pelos resultados dos ensaios triaxiais dinâmicos.

4.3 Acompanhamento da evolução das deflexões

Finalizada a construção, toda rodovia passa por um estágio denominado de fase de consolidação. Durante esse período, a ação do tráfego provoca uma pós-compactação nas camadas do pavimento, o que aumenta a rigidez da estrutura e reduz o nível deflectométrico. O controle tecnológico aplicado após a abertura ao tráfego objetiva acompanhar essa evolução das deflexões. Foram medidas bacias deflectométricas a cada 20 metros, com o emprego da viga Benkelman. As medições foram feitas 1, 6, 18 e 27 meses após a abertura do tráfego.

A figura 9 apresenta a evolução das deflexões médias com o tempo. Verifica-se que, de maneira

geral, houve uma redução bastante significativa na deflexão média até o sexto mês após a abertura do tráfego. Após este período, ocorreu uma tendência à estabilização das deflexões, o que pode ser facilmente constatado observando os gráficos das pistas 02, 03, 05 e 07. As exceções foram as pistas 01, 04 e 06, que ainda apresentaram uma redução significativa após este período. Verifica-se que algumas das pistas experimentais apresentaram no 27º mês deflexões levemente superiores àquelas obtidas no 18º mês. Essas pequenas variações, no entanto, são esperadas e são inerentes ao processo de medida de deflexão com viga Benkelman. Fatores como o teor de umidade das camadas, a temperatura ambiente e a temperatura do concreto asfáltico afetam a determinação das deflexões. No entanto, pode-se dizer que a fase inicial de consolidação da rodovia – na qual o efeito de pós-compactação provoca o aumento da capacidade estrutural do pavimento e a conseqüente redução no nível deflectométrico – já está concluída e a mesma encontra-se na segunda etapa de sua vida útil, a chamada fase elástica – na qual a deflexão permanece

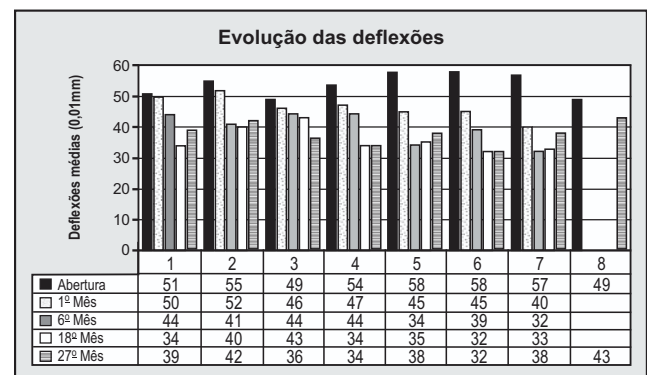


Figura 9 – Variação da deflexão média com o tempo

com valores praticamente constantes. De acordo com Trichês (2000), na rodovia bem executada e finalizada com CBUQ, normalmente ocorre uma redução inicial da deflexão até por volta do sexto/oitavo mês. A partir daí, a estrutura entra em um regime quase que elástico, e a ruptura por fadiga normalmente se iniciará por volta do oitavo/nono ano (para período de projeto de 10 anos). De maneira geral, as pistas com subleito em rocha apresentaram uma redução de-

flectométrica significativamente maior do que as pistas com camada final em solo. Verifica-se que, nas pistas com subleito de solo coesivo, obteve-se uma redução na deflexão média de 22% após 27 meses. Nas pistas com subleito de rocha, obteve-se uma redução média de 37% no final do período de análise.

5 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

5.1 Levantamento da irregularidade longitudinal – IRI

O levantamento da irregularidade longitudinal e do afundamento em trilhas de roda foi executado com o Perfilômetro Laser Ciberométrica (CiberLaser). Trata-se de um sistema de medição do perfil longitudinal do pavimento realizado com auxílio de medidores de distância sem contato (α laser), medidores de aceleração vertical do veículo (acelerômetros), de sistema preciso de medição de deslocamento/velocidade. A irregularidade foi levantada em QI e posteriormente convertida para IRI. Foram realizadas medições dois meses após a abertura ao tráfego e uma nova medição 27 meses depois, isto é, cerca de dois anos após a abertura.

A figura 10 apresenta os valores médios de IRI obtidos para as oito pistas experimentais. De maneira geral, pode-se dizer que todas as pistas apresentaram valores de IRI satisfatórios, com a maioria enquadrando-se na condição “Excelente” do DNIT ($IRI < 1,9 \text{ m/km}$). Exceção feita à pista 02, que apresentou valores de irregularidade mais elevados e superiores a $1,9 \text{ m/km}$, o que a rebaixa para a condição “Boa” do DNIT ($1,9 < IRI < 2,7 \text{ m/km}$).

Verifica-se, ainda, que os resultados obtidos indicam que no segundo ano houve o aumento da irregularidade em algumas das pistas e redução em outras. É evidente que, sem medidas de manutenção, a irregularidade de uma superfície de pavimento não pode reduzir, mas apenas aumentar com o tempo. O que esses valores indicam, portanto, é que ocorreu uma variação muito pequena da irregularidade e não foi possível estabelecer com clareza esta variação de-

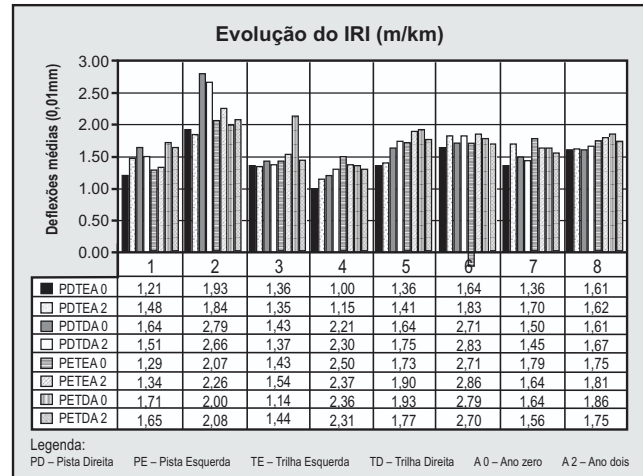


Figura 10 – Valores médios de IRI observados nos anos zero e dois (em m/km)

vido às próprias variações e imprecisões do equipamento e/ou sistema de leitura. Desta feita, torna-se difícil determinar quais pistas apresentaram maior aumento de irregularidade. No entanto, pode-se afirmar com segurança que, após dois anos de abertura ao tráfego, as pistas apresentam valores de IRI adequados e que a tendência observada na primeira campanha de medições manteve-se na segunda. Isto é, as pistas 01 e 04, executadas com base de macadame seco e CSTC, apresentaram os menores valores de IRI, seguidos pelas pistas com base de brita graduada, enquanto os maiores valores de IRI foram observados nas pistas com base de macadame seco regularizado com massa fina de CAUQ.

5.2 Levantamento do afundamento de trilha de roda

Na figura 11, são apresentados os valores médios de afundamento de trilha de roda medidos no campo. Os valores obtidos no levantamento do ano zero foram baixos, como era esperado para uma rodovia recém-construída. Observou-se, no segundo ano, um aumento expressivo do afundamento médio de trilha de roda. Esse aumento pode ser atribuído, na fase inicial da vida útil de um pavimento, a pós-compactação das camadas de pavimento, inclusive o subleito, devido à ação do tráfego. O mesmo efeito de pós-compactação que melhora o comportamento mecânico da

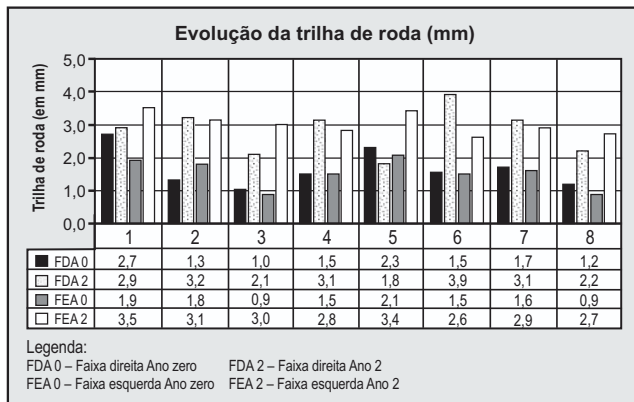


Figura 11 – Valores médios de afundamento de trilha de roda obtidos no ano zero e dois anos após a abertura ao tráfego (em mm).

estrutura gera deformações permanentes, que afetam a qualidade funcional da mesma. Verifica-se que, de maneira geral, ocorreu um aumento da ordem de 165% no valor dos afundamentos das trilhas de roda observadas. Até o momento, os resultados não permitiram estabelecer com segurança ou clareza se um determinado material de base (macadame seco ou brita graduada) conduz a maiores trilhas de roda.

6. CONCLUSÕES

- Pôde-se constatar que o controle defletoométrico durante o processo construtivo é uma importante ferramenta para o controle da deformabilidade de uma estrutura e para a estimativa das deformações atuantes sobre a mesma. Além disso, pôde-se constatar que o comportamento resiliente dos materiais afeta de maneira muito significativa o comportamento defletoométrico observado em campo e deve ser levado em consideração durante o projeto e estabelecimento das deflexões admissíveis para cada camada. Subleitos de comportamento defletoométrico totalmente distinto, com deflexão média de 71x0,01mm, no caso de um subleito em rocha, e 111x0,01mm no caso de um subleito de argila, podem conduzir a deflexões semelhantes ao final da construção. Essa observação de campo pôde ser explicada através da análise do comportamento resiliente dos materiais empregados, por meio de análise computacional. Verificou-

se que, com a execução das camadas de base e revestimento asfáltico, ocorre a redução do valor modular do aterro em rocha. Essa redução ocorre por causa da redução do nível de tensões atuante sobre a camada, o que conduz a menores tensões de confinamento e, conseqüentemente, a módulos menores;

- Os resultados da retroanálise indicaram um comportamento modular semelhante para as bases de brita graduada e de macadame seco. Verificou-se ainda que, nas pistas executadas com subleito de solo, a camada superior compactada em Proctor intermediário apresentou módulos maiores do que aqueles obtidos na parte inferior da camada, compactada na energia de Proctor normal;

- O acompanhamento da evolução das deflexões mostrou que as pistas executadas sobre subleito argiloso apresentaram uma redução na deflexão média de cerca de 22% ao final do período de análise. Já as pistas executadas sobre aterro em rocha apresentaram uma redução da deflexão muito mais expressiva, tendo ocorrido uma redução média de 37% em relação à deflexão inicial. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que não existe uma metodologia de controle da compactação do subleito de rocha detonada, sendo que a liberação da camada é feita com base no nível defletoométrico obtido e em observações visuais;

- No tocante à irregularidade longitudinal (IRI), as pistas experimentais apresentaram valores de IRI adequados para uma rodovia que está no início de seu ciclo de vida. A pista 02, de base de macadame seco regularizada com massa fina, foi a que apresentou o pior desempenho no tocante à irregularidade; e

- Quanto ao afundamento de trilha de roda, os valores obtidos são adequados para uma rodovia recém-construída no início de sua vida útil. Como esperado, ocorreu um aumento significativo da trilha de roda no segundo ano. Isso porque, durante o período de consolidação, após compactação exercida pelo tráfego, se por um lado melhora o comportamento mecânico da estrutura de pavimento, por outro provoca deformações permanentes nas camadas, que se manifestam sob a forma de trilhas de roda na superfície.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa PROSUL Ltda., ao Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa

Catarina (DEINFRA/SC), pelo apoio dado ao desenvolvimento deste trabalho e pelo fornecimento dos dados, e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos recursos fornecidos.

REFERÊNCIAS

- DNER (1994). *Método de Ensaio – Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman* - DNER-ME 061/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1994). *Método de Ensaio – Solos – Determinação do módulo de resiliência* – DNER-ME 131/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1994). *Método de Ensaio – Misturas Betuminosas – Determinação do módulo de resiliência* – DNER-ME 133/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ.
- MEDINA, J. (1997). *Mecânica dos Pavimentos*. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- PROSUL (2005). *Relatório de Acompanhamento - Pistas Experimentais Rodovia: SC-469, Trecho: Campo Erê – Saltinho – Serra Alta*. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- SIMM, G. P. S. (2007). *Estudo do Comportamento de Estruturas de Pavimentos com Materiais Alternativos Visando à Redução dos Custos de Pavimentação no Estado de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- TRICHÊS, G. (2000). *Avaliação Estrutural Durante o Processo Construtivo: Um Salto de Qualidade Para as Obras Rodoviárias Brasileiras*. In: 2º Seminário Nacional de Modernas Técnicas Rodoviárias. Florianópolis, SC.
- WSDOT (2006). *Standard Specifications for Road, Bridge, and Municipal Construction*. Washington State Department of Transportation, Washington D.C, Washington, EUA.

Utilização de material fresado para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários

Flávio de Almeida Queiroz
flavioalmeidanet@gmail.com

Igor Amorim Beja
igorbeja@hotmail.com

Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena
lucenafb@uol.com.br

John Kennedy Guedes Rodrigues
profkennedy@hotmail.com

RESUMO

A preocupação mundial em proporcionar um destino ecologicamente correto aos resíduos gerados pelas atividades de manutenção e restauração rodoviárias tem impulsionado a adoção de técnicas para a reutilização de resíduos industriais nos canteiros de trabalho. Desta forma, esta pesquisa tem por objetivo apresentar uma alternativa viável, técnica e econômica para a utilização dos resíduos de fresagem em camadas de sub-base e/ou base de pavimentos rodoviários, através das misturas com solo de jazida, cal e cimento. O estudo foi dividido em duas etapas: a avaliação das propriedades físicas dos materiais utilizados e a avaliação das propriedades mecânicas das misturas de SOLO+MF, SOLO+MF+CAL E SOLO+MF+CIMENTO. Com base no experimento piloto realizado com as misturas de solo e material fresado (MF) nos teores de 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45%, foi adotado o percentual fixo de 45% de MF para adição dos aglomerantes, por apresentar o maior

valor de CBR igual a 25%, que atendeu às especificações do DNIT para uso em camadas de sub-base (DNIT – ES 139/10). Foram adicionados a cal e o cimento nos teores de 2%, 4%, 6%, 8% e 10% ao experimento piloto. A adição de cal e cimento às misturas ocasionou aumentos significativos nos valores de CBR quando comparados com os resultados obtidos para o solo puro e para as misturas de solo e MF. Os melhores resultados foram obtidos nas misturas realizadas com a adição de cimento, onde foram observados valores de CBR variando entre 92% e 201%, compatíveis com as especificações do DNIT para uso em camadas de base de pavimentos rodoviários (DNIT – ES 142/10). Quanto à expansão, todos os valores obtidos ficaram dentro dos limites estabelecidos pelo DNIT para uso em sub-bases e bases de rodovias.

PALAVRAS-CHAVE

Material fresado, Estabilização de Sub-bases e Bases, Pavimentos Rodoviários.

ABSTRACT

A worldwide concern to provide an environmentally friendly destination of waste generated from maintenance activities and road reparation has driven the adoption of techniques for the reuse of industrial waste at the construction worksite. This research aims to present a technically and economically viable alternative to the use of milling waste in layers of sub-base and / or base pavements, through the mixing of soil deposit, lime and cement. This study was divided into two stages: the evaluation of physical properties of the materials used and the evaluation of mechanical properties of mixed soil + MF, soil + MF + lime and soil + MF + cement. Based on a pilot experiment performed with mixtures of soil and milled material in the levels of 20%, 25%, 30%, 35%, 40% and 45%, we adopted the fixed percentage of 45% milled material for the addition of binding by presenting a CBR

value equal to 25%, which met the specifications for use in DNIT layers of sub-base (DNIT-ES 139/10). Then, were added in the pilot experiment, lime to cement with contents to 2%, 4%, 6%, 8% and 10%. The addition of lime and cement mixtures caused significant increases in CBR values when compared with the results obtained for the pure soil and soil mixture and soil milled material. The best results were obtained in mixtures made with the addition of cement, which were observed CBR values ranging from 92% to 201% compatible with the specifications of DNIT for use in base layers for road pavements (DNIT-ES 142/10). As for expansion, all values were within the limits set by DNIT for use in sub-bases and road bases.

KEYWORDS

Milled material, Stabilization of sub-bases and Bases, Paved highway.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais observa-se a preocupação mundial com o meio ambiente e com os impactos causados pelas atividades do homem, principalmente os que se referem a processos industriais utilizados na manutenção e restauração rodoviária, geradores de uma grande quantidade de resíduos que, em sua maioria, não possuem um destino final ambientalmente adequado.

A fresagem de pavimentos asfálticos é, nos dias atuais, uma das técnicas constantemente aplicadas no processo de manutenção e restauração do sistema rodoviário como parte do processo de restauração de pavimentos deteriorados, em especial com o objetivo de solucionar problemas frequentemente encontrados, como a elevação do greide das estradas, além de atenuar a propagação de trincas e evitar o alteamento dos dispositivos de drenagem etc. (BONFIN, 2007).

A dificuldade em encontrar jazidas com materiais de boa qualidade para a execução das cama-

das de base e sub-base em rodovias, principalmente quando se trata de materiais que não atendem às especificações para estabilização granulométrica de camadas do pavimento, pode ser solucionada através da mistura de solos ou de novos materiais à camada do pavimento. Verifica-se que a incorporação de material fresado ao solo utilizado nas camadas estruturais do pavimento pode melhorar a qualidade da mistura.

No Projeto Executivo para Adequação de Capacidade e Restauração da BR-101 – Lote 05 e na implantação das vias vicinais do perímetro urbano da Cidade de Alhandra/PB, optou-se em utilizar o material fresado misturado ao solo de jazida para a execução de uma camada de sub-base estabilizada granulometricamente. Esta solução possibilita mitigar o impacto ambiental e melhorar as características do material a ser empregado na rodovia.

Portanto, a utilização da mistura do material fresado com solo de jazida para a estabilização em pavimentos rodoviários apresenta-se como uma

das possíveis alternativas para o emprego dos resíduos gerados nas atividades de manutenção e restauração de rodovias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa constituíram-se de material fresado, solo de jazida, cal hidratada e cimento Portland.

O material fresado utilizado na pesquisa foi coletado a partir dos trabalhos de fresagem da restauração da pista existente da BR 101/PB - Lote 05 (figura 1), seguindo as delimitações de área e profundidade prescritas no Projeto Executivo de Adequação da Capacidade da BR-101 (trecho: entre PB-025 à Divisa PB/PE), com cortes variando entre 4,0 (quatro) a 6,0 (seis) centímetros de espessura.

O solo estudado foi coletado na Jazida 09 (nove) da obra da BR-101/Lote 05 (figura 2), no Estado da Paraíba, localizada no quilômetro 110 (cento e dez) / (Estaca 1790), classificado como A-2-4 de acordo com

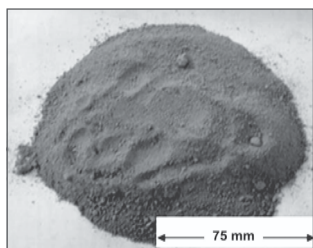


Figura 1 – Material fresado (BR 101/PB)

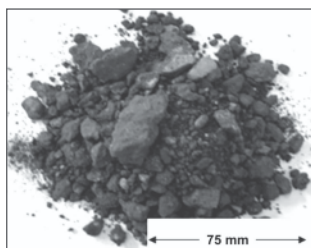


Figura 2 – Solo de jazida (BR 101/PB)

o sistema TRB (Transportation Research Board). As amostras de solo foram coletadas à profundidade de 1,5m, como forma de evitar a contaminação com a camada superficial de matéria orgânica. O solo estudado foi o mesmo adotado como solução de projeto para a execução da camada de sub-base com mistura de material fresado para a implantação das vias vicinais da BR-101 (perímetro urbano da Cidade de Alhandra/PB).

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II – Z – 32 da marca Campeão. Escolhido para ser utilizado

como estabilizante químico. A cal utilizada na pesquisa foi do tipo hidratada da marca MegaO, com massa específica igual a $2,30 \text{ g/cm}^3$. Optou-se pela utilização da cal também como estabilizante químico devido aos bons resultados na estabilização de solos finos.

2.2 Métodos

Os métodos de ensaios utilizados foram baseados em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), utilizando os ensaios de CBR e Compressão simples para avaliar as propriedades mecânicas das misturas.

2.2.1 Granulometria

A distribuição granulométrica do solo e material fresado foi determinada através do ensaio de granulometria por peneiramento, normatizados pelas normas DNIT-ME 080/94 para o solo e DNIT-ME 083/98 para o material fresado. Conforme as normas, para a realização dessa análise, uma amostra de cada material estudado foi separada e submetida ao peneiramento em uma série-padrão de peneiras, cuja abertura de malhas tem a sequência definida na ABNT EB-22 (ABNT, 1988).

2.2.2 Experimento Piloto

Com o intuito de verificar a influência do material fresado (MF) sobre o comportamento mecânico do solo, inicialmente foram feitas adições de fresado ao solo nas proporções de 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45% (em relação ao peso total da amostra) e uma amostra testemunha contendo apenas solo, para comparação dos resultados. Para estes teores foram realizados ensaios de compactação e, em seguida, o ensaio de CBR. A partir dos resultados obtidos foi fixado o teor de material fresado em 45%, pois este teor apresentou o CBR mínimo para atender ao pré-requisito de material de sub-base (DNIT- ES 139/10), que foi utilizado no decorrer da pesquisa para as misturas de SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO.

2.2.3 Adição de aglomerantes à mistura

Os aglomerantes escolhidos foram a cal e o cimento, devido à eficácia de ambos na estabilização de solos finos. Com a adoção do percentual fixo de 45% de material fresado, conforme os resultados obtidos no Experimento Piloto, optou-se em adicionar os aglomerantes nos teores de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, em relação ao peso total da amostra. A definição destes teores teve como objetivo melhorar as propriedades da mistura SOLO + MF, possibilitando uma solução técnica e economicamente viável a ser adotada em uma obra, devido à facilidade de aquisição dos aglomerantes utilizados.

2.2.4 Ensaio de compactação

Os ensaios de compactação foram realizados segundo o Método de Ensaio (ME 162/94) na Energia do Proctor intermediário, normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Inicialmente, o ensaio de compactação foi realizado apenas para amostras de solo puro e SOLO+MF. Em seguida, foram realizados ensaios de compactação para as misturas de SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO.

2.2.5 Ensaio de CBR e expansão

O ensaio de CBR foi realizado segundo o Método de Ensaio (ME 049/94) normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) com duas réplicas para cada teor de variação dos aglomerantes. Primeiramente, o ensaio de CBR foi realizado apenas para amostras de solo puro e SOLO+MF. Em seguida, o ensaio foi realizado para as misturas de SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO.

Os corpos de prova foram confeccionados e colocados em imersão, sendo acompanhados durante quatro dias para análise do comportamento do nível de expansão de todas as amostras ensaiadas.

2.2.6 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados segundo Método de Ensaio NBR

12025 (ABNT, 1990). Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados com as amostras de solo puro, SOLO+MF (com a percentagem de MF fixada em 45%), SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO (com a variação do solo e aglomerantes).

Os corpos de prova foram moldados de acordo com os procedimentos da norma NBR 12024 da ABNT (1992), após a moldagem foram submetidos à cura realizada ao ar em câmara úmida por um período de sete dias, antes da execução do ensaio de Resistência à Compressão Simples.

3. RESULTADOS

3.1 Granulometria

Os resultados dos ensaios de granulometria por peneiramento do solo e do material fresado são apresentados no gráfico da figura 3.

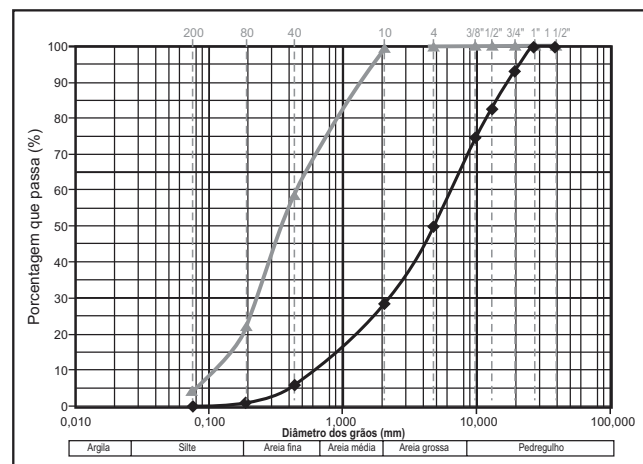


Figura 3 – Gráfico da distribuição granulométrica do solo e do material fresado.

3.2 Experimento Piloto

Os resultados obtidos com os ensaios de CBR para o solo puro e para o solo com adições de material fresado nas proporções de 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45% em massa, em relação à massa total da amostra (6.000g), são apresentados na figura 4. Os valores de CBR foram obtidos da média de três ensaios realizados para cada teor estudado.

Analisando os resultados apresentados na figura 4, observa-se que houve variações significativas

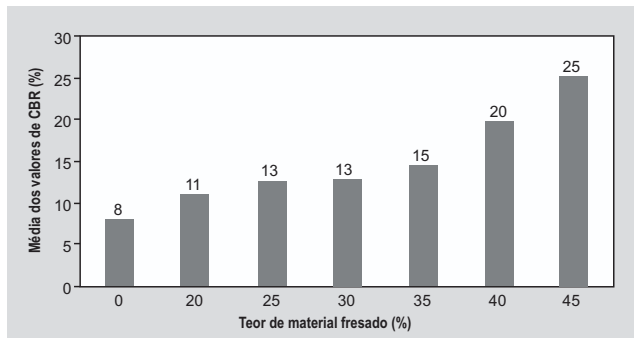


Figura 4 – Efeito da adição do material fresado nos valores de CBR.

nos valores obtidos para o CBR, que apresentaram um aumento de resistência proporcional à quantidade de material fresado adicionado à mistura. Com a adição do percentual de 45% de material fresado, obteve-se um CBR igual a 25%, que conforme a norma DNIT-ES 139/10 já possibilitaria a execução de uma camada de sub-base estabilizada granulometricamente. Com base nos resultados obtidos, optou-se em

adotar o percentual fixo de 45% de material fresado para avaliar a adição de aglomerantes à mistura.

3.3. Ensaio de compactação

Tendo como base o percentual fixo de 45% de material fresado, obtido no experimento piloto, foram adicionados cimento e cal nos teores de 2,0%, 4,0%, 6,0%, 8,0% e 10%, por se tratarem de matérias de fácil aquisição e usualmente empregados na estabilização química de solos.

Os resultados obtidos no ensaio de compactação para o solo puro e para a mistura de 55% de solo e 45% de material fresado em peso são mostrados na tabela 1.

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as misturas com solo, material fresado e a adição dos aglomerantes.

Ao analisar os resultados da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima do experi-

Tabela 1 – Resultados obtidos no ensaio de compactação para o solo e para a mistura de solo e MF.

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	Umidade ótima (%)
Solo puro	1,96	10,1
Solo 55% + MF 45%	1,99	9,1

Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio de compactação para as misturas de solo, MF e cal.

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	Umidade ótima (%)
Solo - 45% MF - 2,0% cal	1,86	13,7
Solo - 45% MF - 4,0% cal	1,85	14,4
Solo - 45% MF - 6,0% cal	1,87	13,8
Solo - 45% MF - 8,0% cal	1,86	14,1
Solo - 45% MF - 10% cal	1,84	14,3

Tabela 3 – Resultados obtidos no ensaio de compactação para as misturas de solo, MF e cimento.

Amostra	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	Umidade ótima (%)
Solo - 45% MF - 2,0% cal	1,86	13,7
Solo - 45% MF - 4,0% cal	1,85	14,4
Solo - 45% MF - 6,0% cal	1,87	13,8
Solo - 45% MF - 8,0% cal	1,86	14,1
Solo - 45% MF - 10% cal	1,84	14,3

mento piloto para as amostras com diferentes teores de cal e cimento apresentados nas tabelas 2 e 3, observa-se que os valores obtidos da massa específica apresentaram pouca variação. Já a umidade ótima apresentou um aumento perceptível, comparando-se as misturas SOLO+MF e SOLO+MF+CAL, isto devido à água absorvida nas reações químicas dos aglomerantes adicionados à mistura. Dentro dos próprios grupos variando apenas o teor do aglomerante utilizado, não houve diferenças significativas nos valores de massa específica seca e de umidade ótima.

3.4 Ensaios de CBR e Expansão

A tabela 4 apresenta os valores de CBR e de Expansão (ambos na energia Proctor intermediário) adotados pelo DNIT para solos melhorados com cimento. Salienta-se que os valores de referência fazem parte das especificações de serviços para uso em estradas com tráfego pesado, calculados para $N > 5 \times 10^6$.

Os resultados dos ensaios de CBR para as misturas SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO são apresentados nas tabelas 5 e 6, contendo o teor do aglomerante adicionado à mistura, os valores obtidos para

Tabela 4 – Valores de referência para solos melhorados com cimento Portland.

Camada do Pavimento	CBR	Expansão
Sub-base (ES - 140/10)	$\geq 30\%$	Máxima de 1%
Base (ES - 142/10)	$\geq 80\%$	Máxima de 0,5%

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cal.

Teores de cal (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-prova (g/cm ³)	CBR (%)	Média dos valores de CBR (%)	Expansão (%)
2	9,0	1,80	57	46	0,03
	8,4	1,97	59		0,09
	7,6	1,80	22		0,04
4	10,7	1,81	64	68	0,04
	8,6	2,03	66		0,03
	8,7	2,11	75		0,06
6	8,8	2,06	64	76	0,07
	8,0	2,07	91		0,03
	9,0	1,96	73		0,18
8	9,4	2,01	81	81	0,09
	9,6	1,97	73		0,03
	8,4	2,00	89		0,09
10	6,9	1,96	115	75	0,05
	9,5	1,92	63		0,09
	10,7	1,95	48		0,04

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cimento.

Teores de cimento (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-prova (g/cm ³)	CBR (%)	Média dos valores de CBR (%)	Expansão (%)
2	10,6	1,95	78	92	0,04
	10,7	1,93	100		0,07
	10,8	1,98	99		0,06
4	9,1	2,06	189	167	0,07
	10,9	2,00	143		0,09
	11,0	1,96	170		0,07
6	12,3	1,89	184	169	0,09
	10,9	1,95	161		0,09
	9,9	1,92	162		0,12
8	11,7	1,88	251	201	0,08
	10,7	1,94	133		0,12
	10,2	1,98	218		0,09
10	10,1	1,94	199	195	0,10
	31,1	1,63	202		0,12
	10,4	1,94	184		0,08

umidade (%), a massa específica aparente seca (g/cm), os valores de CBR (%) e a expansão (%).

Observa-se que os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas contendo 2,0%, 4,0%, 6,0%, 8,0% e 10% de cal (figura 5) são superiores aos valores recomendados pelo DNIT para uso em sub-bases, e, com a adição de 8% de cal, o material já pode ser utilizado na execução de bases. Quanto à expansão, todos os valores obtidos estão em conformidade com as especificações de serviços da tabela 4.

Observa-se que os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas contendo cimento (figura 6) possibilitaram, a partir do teor de 2% do referido aglomerante, o uso da mistura para execução

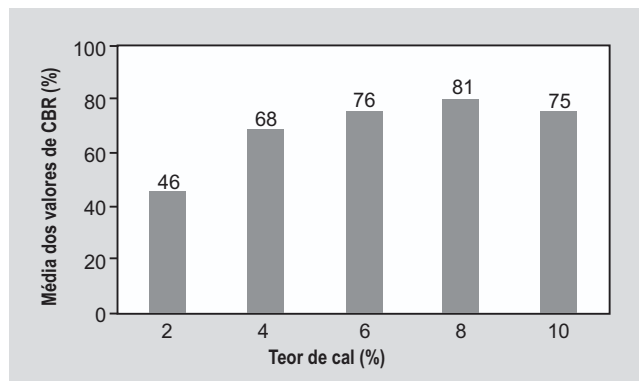


Figura 5 – Efeito da adição de cal à mistura nos valores de CBR.

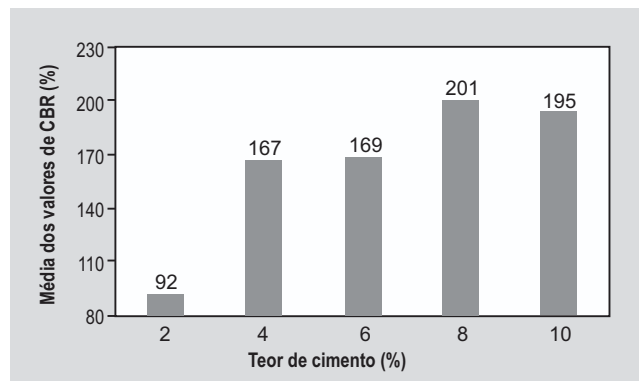


Figura 6 – Efeito da adição de cimento à mistura nos valores de CBR.

de bases rodoviárias com tráfego pesado, em conformidade com as especificações de serviços do DNIT (tabela 4).

Constata-se que a adição de cimento provocou um aumento mais significativo aos valores de CBR

do que a adição da cal, provavelmente devido às características da mistura solo e material fresado que é predominantemente composta por areia, apresentando um pequeno percentual de finos (silte/argila), o que atenuou as reações químicas da cal.

A mistura composta por 45% de material fresado, 47% de solo e 8% de cimento foi a que apresentou o maior acréscimo de resistência dentre os valores de CBR encontrados, com a expansão dentro do limite estabelecido pelo DNIT para utilização em sub-bases e bases de estradas.

3.5 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

As figuras 7 e 8 mostram os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples, tendo como base o percentual fixo de 45% de material fresado, obtido no experimento piloto, com a variação do teor de aglomerante em 2,0%, 4,0%, 6,0%, 8,0% e 10% para as misturas de SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO.

Nos resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão conforme as figuras 7 e 8, com os teores de aglomerante variando em 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, foi constatado que a adição da cal à mistura acarretou um acréscimo gradativo e moderado de resistência à compressão, com o valor mínimo de 0,84 MPa para 2% de cal e o máximo de 1,18 MPa para 10% de cal, enquanto a adição de cimento acarretou um acréscimo significativo e proporcional ao teor de aglomerante adicionado à mistura, conforme o valor mínimo de 0,74 MPa para 2% de cimento e o valor máximo de 3,50 MPa para 10% de cimento.

Observa-se que todos os valores encontrados nos ensaios de compressão simples do experimento piloto e das misturas com a adição de cimento e de cal foram superiores aos valores recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas, que estabelecem uma resistência à compressão simples mínima de 0,35 MPa para sub-base e de 0,7 MPa para base (BAPTISTA, 1976).

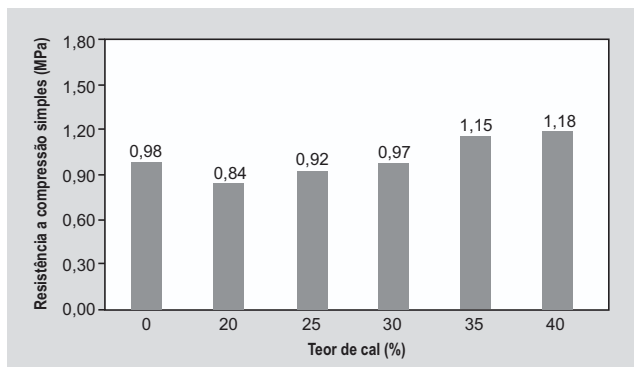


Figura 7 – Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples.

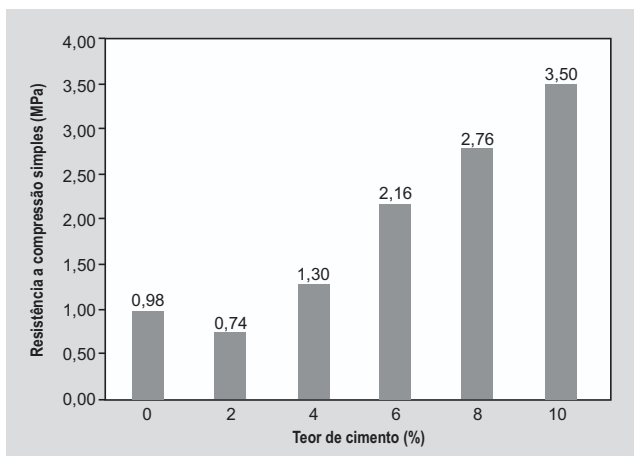


Figura 8 – Efeito do teor de cimento nos valores da resistência à compressão simples.

3.6 Estudo econômico

A utilização do material fresado em substituição aos agregados britados ou naturais, além de proporcionar a preservação dos recursos naturais, com a diminuição da exploração de jazidas de novos materiais, pode trazer uma solução de menor custo para a execução de obras rodoviárias. Portan-

to, foi realizada a comparação das misturas de solo e material fresado e solo, material fresado e cimento, em relação ao custo de soluções usualmente empregadas para execução das camadas de base e sub-base, se tratando de solos com baixa capacidade de suporte, tendo como base de preço o Sistema de Custo Rodoviário do DNIT - SICRO II/PB (Referência jan/11).

A tabela 7 compara a mistura de SOLO (55%) + MF (45%), que apresentou um valor de CBR compatível para execução de camadas de sub-base, com os preços de soluções usualmente adotadas pelo DNIT no SICRO II.

A tabela 8 compara a mistura de SOLO (53%) + MF (45%) + CIMENTO (2%), que apresentou o menor consumo de cimento e um valor de CBR compatível com a execução de camadas de base para tráfego pesado, com os preços de soluções usualmente adotadas pelo DNIT no SICRO II.

Nos preços dos serviços não foram considerados o transporte dos insumos e dos produtos de usinagem, que variam conforme cada caso de utilização e localização das centrais de usinagem e jazidas de exploração. Para as misturas de SOLO+MF e SOLO+MF+CIMENTO foram elaboradas fichas de composição, tendo com base de preços do SICRO II/PB (Referência jan/11).

Observa-se que as misturas de SOLO+MF e SOLO+MF+CIMENTO viabilizam menor preço dentre as soluções apresentadas nas tabelas 7 e 8 à execução de camadas de base e sub-base com solos de baixa capacidade de suporte. Isto ocorre por minorar

Tabela 7 – Comparação de preços para execução de sub-bases

Sub-base de solo melhorado com cimento (R\$/m ³)	Sub-base de solo areia AC (R\$/m ³)	Base estab. granul. c/ mistura (55% + 45% MF) (R\$/m ³)
2 S 0 2 2 4 3 0 1 (SICRO II)	2 S 0 2 2 1 0 5 1 (SICRO II)	-
64,76	22,45	11,08

Tabela 8 – Comparação de preços para execução de bases

Base de brita granulada BC (R\$/m ³)	Base est. granul. c/ mistura de solo brita BC (R\$/m ³)	Base estab. c/ mistura (53% + solo + 45% MF + 2% cimento) (R\$/m ³)
2 S 0 2 2 30 50 (SICRO II)	2 S 0 2 2 2 0 5 0 (SICRO II)	-
117,49	62,31	40,12

os gastos com a aquisição de insumos, tornando-se uma solução viável economicamente a ser adotada em uma obra rodoviária.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa desenvolvida avaliou os resultados das misturas de solo, material fresado, cimento e cal para aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários, de modo a disponibilizar uma alternativa técnica e ecologicamente viável à destinação final dos resíduos de fresagem de pavimentos asfálticos oriundos da restauração e manutenção de rodovias.

Foi observado que a adição de material fresado proporcionou o aumento significativo de resistência em relação ao solo puro, atingindo um CBR de 25 %, compatível com as especificações para uso em sub-bases de pavimentos rodoviários (DNIT-ES 301/97). Ao analisar o conjunto dos resultados obtidos para as misturas SOLO+MF, SOLO+MF+CAL e SOLO+MF+CIMENTO, pode-se concluir que os melhores resultados foram obtidos nas misturas de SOLO+MF+CIMENTO, em que todos os teores de cimento adotados possibilitaram o uso do material para execução de bases de pavimentos rodoviários, com o menor valor de CBR de 92%, acima do estabelecido pelo DNIT (CBR de 80%) para rodovias com tráfego pesado (DNIT-ES-142/10). Para todas as misturas, os valores de expansão foram compatíveis

para uso em camadas de base e sub-base de rodovias, conforme as especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

Os valores encontrados nos ensaios de compressão simples para o experimento piloto e para as misturas estudadas com material fresado foram satisfatórios, com resultados superiores aos recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas (DOT-Texas, EUA), que preconizam uma resistência mínima à compressão simples de 0,35 MPa para materiais de sub-base e de 0,7 MPa para materiais de base.

Constata-se a viabilidade econômica das misturas de solo e material fresado e solo, material fresado e cimento, em relação às soluções usualmente empregadas para a execução de camadas de base e sub-base com solos de baixa capacidade de suporte, ocasionada principalmente pela redução de gastos com a aquisição de insumos, proporcionando, além de uma solução econômica, a preservação dos recursos naturais, com a diminuição da exploração de jazidas de novos materiais.

5. AGRADECIMENTOS

A UFCCG, pelo apoio na realização deste projeto de pesquisa. Ao 2º Batalhão de Engenharia de Construção – por disponibilizar as amostras de materiais e o laboratório de solos para execução de parte dos ensaios desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, EB-22. Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6457. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-12024. Solo cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-12025. Solo cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.
- BAPTISTA, C. N. Pavimentação: Compactação dos Solos no Campo, Camadas de Base e Estabilização dos solos, 4ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1976.
- BONFIM, V. Fresagem de Pavimentos Asfálticos. São Paulo: Fazendo Arte, 2007.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME- 049. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia, 1994.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME- 080, Solos – Análise granulométrica por peneiramento, 1994.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME- 083, Agregados – Análise granulométrica, 1998.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 139. Solos – Pavimentação, Sub-base Estabilizada Granulometricamente, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 140. Solos – Pavimentação, Sub-base de Solo Melhorado com Cimento, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 141. Solos – Pavimentação, Base Estabilizada Granulometricamente, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 142. Solos – Pavimentação, Base de Solo Melhorado com Cimento, 2010.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, Sistema de Custos Rodoviário SICRO II/PB – Janeiro, 2011.

Estudo da viabilidade ambiental utilizando a escória de ferro silício manganês como lastro ferroviário

Ralph Werner Heringer Oliveira

rwhengenharia@gmail.com

Gilberto Fernandes

gilberto@em.ufop.br

Fabiano Carvalho Sousa

fabiano.carvalho@vale.com

Daniel Pinto Fernandes

danielfernandesambiental@gmail.com

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de ferroligas do mundo e o maior produtor de ferroligas da América Latina, gerando com isso uma grande quantidade de resíduo ou coproduto siderúrgico. Dentre todos os coprodutos siderúrgicos, a escória é o mais produzido e vem sendo estudada com a finalidade de encontrar novos campos de aplicação, com isso novas pesquisas estão sendo desenvolvidas buscando um maior valor para o seu reaproveitamento. Visando ao reaproveitamento como lastro ferroviário da escória de Ferro Silício Manganês, que é o coproduto da produção de ferroligas de Silício Manganês, este trabalho de pesquisa tem como finalidade, a caracterização e classificação ambiental da escória de Ferro Silício Manganês. Os ensaios de caracterização e classificação ambiental da escória foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto e foram balizados por meio dos ensaios prescritos pela NBR 10004/2004 – resíduos sólidos – classificação, para a identificação da lixiviação e solubilização do material, e potenciais impac-

tos ao meio ambiente. A escória foi coletada conforme prescrito na norma NBR 10007/2004 – amostragem de resíduos. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas no laboratório para a retirada de alíquotas para tratamento, seguindo as especificações técnicas das normas NBR 10005/2004 – lixiviação de resíduos e NBR 10006/2004 – solubilização de resíduos. Os resultados destes ensaios mostraram a viabilidade técnica do uso da escória como lastro ferroviário, com propriedades mecânicas superiores ao dos agregados convencionais.

PALAVRAS-CHAVE

Via Permanente; Lastro Alternativo; Escória de Ferro Silício Manganês (FeSiMn); Caracterização e Classificação Ambiental.

ABSTRACT

Brazil is one of the biggest producers of railway alloys in the world and the biggest producer in Latin America, generating with it a great quantity of residues or metallurgical byproducts. Of all metallurgical bypro-

ducts, slag is one of the mostly produced and is being studied with the finality of finding new fields of application; thus, research is being conducted seeking a bigger value on its re-use. In order to find reuse of Silicon Ferro Manganese slag as railway ballast, which is the byproduct of the production of ferroalloys made of Silicon Manganese, this research has as a goal the characterization and environmental classification of this type of slag. The experiments of characterization and environmental classification were conducted in the Railway and Asphalt Laboratory of the Federal University of Ouro Preto and were instructed by the NBR 10004/2004 – solid residues – classification for identification of material leaching and solubilization,

and potential environmental impact. The slag was collected as indicated by the standard NBR 10007/2004 – residue sampling. The samples were homogenized and quartered in the laboratory in order to take rates of treatment, following the technical specifications of the standards NBR 10005/2004 – material leaching, and NBR 10006/2004 – solubilization of residues. The results of these experiments showed technical viability of slag use as railway ballast, with mechanical properties superior to conventional aggregates.

KEY WORDS

Permanent Way; Ballast alternative; Slag Silicon Ferro Manganese (FeSiMn) Characterization of.

INTRODUÇÃO

As ferroligas são compostas de ferro com um ou mais elementos em proporções adequadas para o aproveitamento industrial ou para a introdução de novos elementos na própria liga.

As propriedades do aço são acentuadamente melhoradas pela incorporação desses elementos de liga, tais como níquel, manganês, silício, cromo, tungstênio, molibdênio, nióbio, titânio, vanádio e outros.

Estes elementos são às vezes introduzidos no aço na forma pura, a prática usual, contudo, é adicioná-los na forma de ferroligas, pois a incorporação no aço é mais fácil quando estes elementos estão sob esta forma e custam muito menos que o metal puro.

Na siderurgia, estes elementos são matérias-primas fundamentais e sua falta impossibilitaria a produção de vários produtos siderúrgicos, (LÚCIO et al., 1978).

A indústria de ferroligas está estreitamente associada à indústria do ferro e do aço que são os maiores consumidores de seus produtos.

O Brasil é o maior produtor de ferroligas da América Latina com 4,8% da produção mundial de ferroligas de manganês, (ANDRADE e CUNHA, 2009).

A produção de ferroligas no Brasil foi de 66% num total de 1.222.582t em 2004, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (ABRAFE). A Figura 1 mostra o gráfico da produção de ferroligas no Brasil.

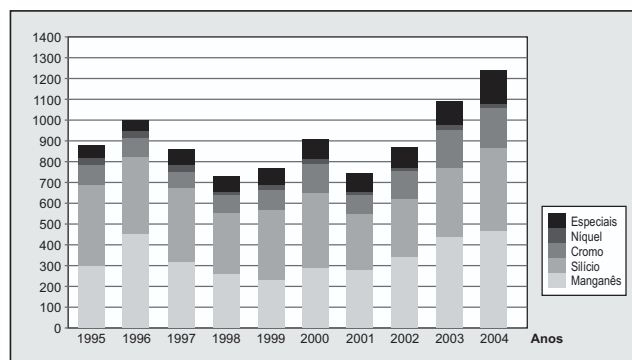


Figura 1 – Produção de ferroligas no Brasil (ABRAFE, 2004)

Com o crescimento industrial no Brasil nas últimas décadas, aumentou-se a preocupação com o meio ambiente, tendo em vista que a produtividade causa um sensível crescimento na geração de resíduos industriais ou coprodutos siderúrgicos, (FERREIRA et al., 2002).

É possível citar como coprodutos siderúrgicos: escória de alto-forno, pó e lama de alto-forno, escória de dessulfuração, escória de aciaria LD, lama

grossa e lama fina de aciaria, escória de fornos elétricos a arco submerso (Forno Elétrico de Redução - FER) ou escórias de ferroligas, carepa e os finos de carvão e minério (GEYER, 2001). A figura 2 apresenta o fluxograma de fabricação do aço e a geração de resíduos.

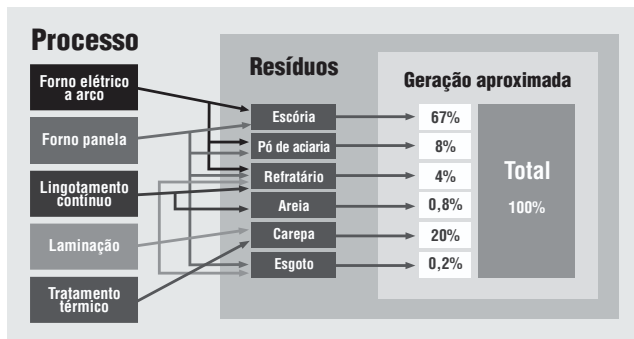


Figura 2 – Processo de fabricação do aço e a geração de resíduos (MANCIO, 2001).

Um dos coprodutos de maior volume gerado nas indústrias siderúrgicas são as escórias que constituem 67% de todos os resíduos, (MOURA, 2000).

Como os coprodutos siderúrgicos de maior volume são as escórias, o reaproveitamento da mesma tem sido cada vez mais estudado, (FERNANDES, 2005).

Para verificar a possibilidade do reaproveitamento da escória é necessária a caracterização tecnológica (caracterização ambiental, mineralógica, química, física, mecânica e ensaios tecnológicos específicos para um determinado emprego). O resíduo de um minério advindo de determinada planta de processamento mineral apresenta, em geral, características e peculiaridades próprias e, por isto, frequentemente, processos tecnológicos para utilização de um dado resíduo nem sempre poderão ser efetivos para um similar. Daí a neces-

sidade de pesquisas mais específicas e detalhadas para diferentes plantas, (REIS, 2005).

Oliveira et al., 2010, caracterizaram e classificaram a escória de Ferro Silício Manganês por meio dos ensaios prescritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e American Railway Engineering and Maintenance Association (AREMA). De acordo com os resultados dos ensaios de granulometria realizados, observou-se que o material, escória de ferro silício manganês, se enquadrava nas especificações da norma para lastro padrão nas faixas padrão A e B da ABNT. Os resultados dos ensaios de granulometria são apresentados nas figuras 3 e 4 que mostram os gráficos de enquadramento da curva na faixa padrão A e B da ABNT para o material estudado.

A escória mostrou-se bem graduada e uniforme, apresentando uma variação do diâmetro máximo característico de 63 a 50mm. O resultado do módulo de finura foi de 8,35 demonstrando a quantidade de fragmentos graúdos do material, o que o qualifica com material de lastro (OLIVEIRA et al., 2010).

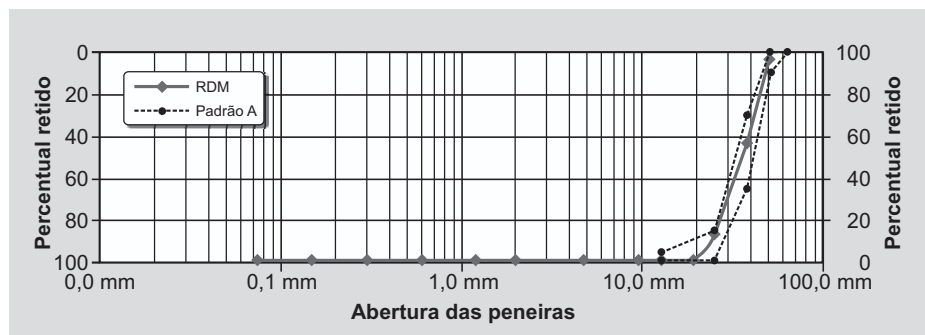


Figura 3 – Gráfico de enquadramento da curva na faixa padrão A da ABNT (OLIVEIRA et al., 2010).

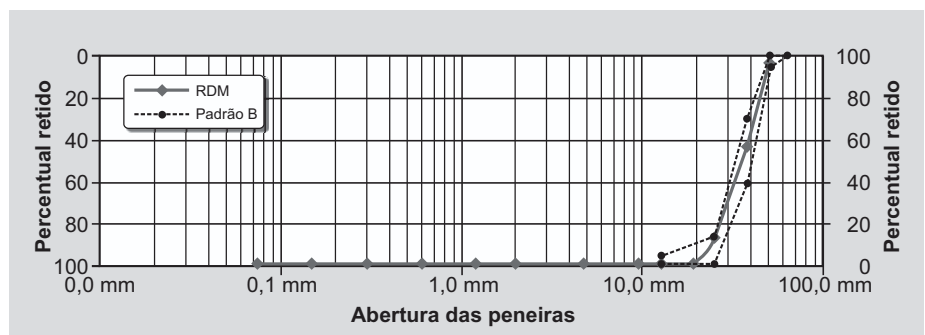


Figura 4 – Gráfico de enquadramento da curva na faixa padrão B da ABNT (OLIVEIRA et al., 2010).

Tabela 1 – Limites especificados por normas e resultados dos ensaios físicos e mecânicos.

Propriedades	NBR 5564, 1991 (lastro padrão)	Manual AREMA 2002		Amostra de ferro silício manganês
		Brita	Escória	Escória
Abrasão Los Angeles máxima (%)	40	25	30	13,20
Resistência ao choque "TRETON" máxima (%)	20	–	–	9,97
Massa específica aparente mínima (kN/m ³)	24	26	29	29,60
Absorção de água máxima (%)	1	1	2	1,01
Porosidade aparente máxima (%)	1	–	–	2,00
Formato das partículas.	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica
Fragmentos de macios e fráveis máximos (%)	5	5	5	4,70
Teor de argila em torrões (%)	0,5	0,5	0,5	0,15
Resistência a intempéries (%)	–	5	5	0,23

Comparando os resultados obtidos nos ensaios da escória estudada com as prescrições da ABNT e AREMA, em termos de resistência física e mecânica, a escória de Ferro Silício Manganês atende às funções de lastro (OLIVEIRA et al., 2010). Tabela 1 mostra os limites especificados por normas e os resultados dos ensaios físicos e mecânicos da escória estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo, foram utilizadas amostras de escória de Ferro Silício Manganês provenientes da siderúrgica Vale unidade de Ouro Preto-MG. A figura 5 mostra a escória de Ferro Silício Manganês.

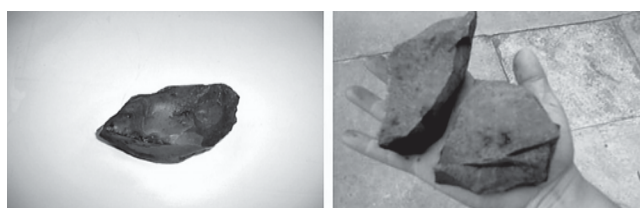


Figura 5 – Amostra de Escória de Ferro Silício Manganês utilizada nos ensaios.

A escória de Ferro Silício Manganês, por ser um resíduo sólido industrial, foi manipulada observando-se as disposições legais pertinentes no Decreto nº 96044/1988 e Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Foram cheçadas nesta pesquisa as propriedades ambientais recomendadas pela NBR 10004/2004 – Resíduos sólidos – classificação. As amostras foram coletadas conforme prescrito na norma NBR 10007/2004 – amostragem de resíduos e foram homo-

geneizadas e quarteadas no laboratório para a retirada de alíquotas para tratamento, seguindo as especificações técnicas das normas NBR 10005/2004 – lixiviação de resíduos e NBR 10006/2004 – solubilização de resíduos.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto.

Legislação e Caracterização

Os cuidados ambientais referentes à manipulação e utilização de resíduos sólidos industriais devem ser abordados observando-se as disposições legais pertinentes (Decreto nº 96044/1988 e Resoluções CONAMA 006/1988, 002/1991, 008/1991, 005/1993, 009/1993, 019/1994, 024/1994 e 037/1994), de forma a se evitar riscos, problemas e de eventuais punições previstas na Lei de Crimes Ambientais – Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. As normas técnicas nacionais para a definição e para a classificação de resíduos sólidos industriais (NBR 10004/2004; NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004) caracterizam tais resíduos, em estado sólido e semissólido. Todas as análises foram realizadas utilizando como referências analíticas: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), Environmental Protection Agency (EPA), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Companhia Estadual de Saneamento Básico (Cetesb-SP) e Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Feema-RJ).

Segundo a NBR 10004/2004, os resíduos podem ser classificados nas seguintes classes:

- a) Resíduo – classe I – Perigoso
- b) Resíduo – classe II – Não Perigoso
 - II A – Não Inerte
 - II B – Inerte

a) O resíduo enquadrado como Classe I – Perigoso, é assim classificado de acordo com:

- Norma NBR 10004/2004 item 4.2.1:

Essa norma estabelece que resíduo perigoso seja aquele que apresentar periculosidade, i.e., característica apresentada em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que pode apresentar: risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada; ou constem como resíduos perigosos de fontes não específicas ou resíduos perigosos de fontes específicas da referida norma.

- Avaliação de Corrosividade – NBR 10004/2004 item 4.2.1.2 item a:

Essa norma estabelece que o resíduo que apresentar características altamente ácidas ou básicas será caracterizado como tóxico, classe I – Perigoso.

- Avaliação de Reatividade - NBR 10004/2004 item 4.2.1.3 itens a, b, c, e:

Essa norma estabelece que o resíduo que apresentar características de reação violenta com água ou liberação elevada de enxofre ou cianeto será caracterizado como tóxico, classe I – Perigoso.

- Avaliação de Toxicidade. – NBR 10004/2004 item 4.2.1.4 e Anexo F:

Essa norma estabelece que, quando o extrato obtido desta amostra, segundo a NBR 10005/2004, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes na tabela de limite máximo de concentração no extrato obtido no ensaio de lixiviação (anexo F da norma NBR 10004/2004), o resíduo será caracterizado como tóxico classe I - Perigoso.

b) O resíduo enquadrado como Classe II - Não Perigoso é assim classificado de acordo com:

- Norma NBR 10004/2004 item 4.2.2.2 – resíduo – classe II B – Inerte:

Essa norma estabelece que resíduo – classe II B – Inerte é “qualquer resíduo que, submetido a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR

10006/2004, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme tabela padrões para o ensaio de solubilização (anexo G da norma NBR 10004/2004)”.

- Norma NBR 10004/2004 item 4.2.2.1 – resíduo – classe II A – Não Inerte:

Essa norma estabelece que resíduo – classe II A – Não Inerte é “aquele que não se enquadra na classificação de resíduo – classe I – Perigoso ou de resíduo – classe II B – Inerte, nos termos desta Norma”.

Ensaio de Lixiviação

Os resíduos são caracterizados como perigosos quando, submetidos a testes de lixiviação, conforme NBR 10005/2004 – Lixiviação de resíduos, apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes na listagem nº 07 anexa à norma.

Os ensaios de lixiviação foram realizados pelo Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto. O ensaio de lixiviação consiste na pesagem de 100g de amostra pulverizada retida na peneira 200 (0,075mm), que é, então, transferida a um frasco de lixiviação, para mistura com a solução de extração nº 1 ou nº 2 (ácido acético glacial ou solução de ácido acético e hidróxido de sódio, dependendo do pH do resíduo). Na sequência,

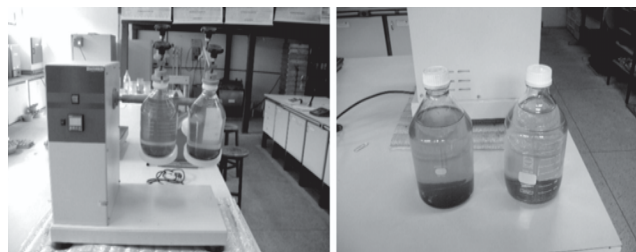


Figura 6 – Aparelho de agitação, tipo Wagner e os frascos, utilizado no ensaio de lixiviação.

o frasco é mantido sob agitação durante 18 horas à temperatura de 25°C, com rotação de 30 vezes por minuto em agitador rotatório. Após esse período, procede-se à filtração do produto, e o extrato lixiviado é

analisado, (FERNANDES e PRADO FILHO, 2007). A figura 6 apresenta aparelho de agitação, tipo Wagner e os frascos, utilizado no ensaio de lixiviação.

Ensaio de Solubilização

Para a avaliação da solubilidade dos compostos presente, utilizou-se a metodologia especificada pelo teste de solubilização, executado conforme prevê a norma NBR 10006/2004 – Solubilização de resíduos e outras recomendações citadas no trabalho de Fernandes e Prado Filho (2007). Este ensaio foi realizado também no Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto. O ensaio de solubilização consiste em se tomar 250g de amostra pulverizada retida na peneira 200 (0,075mm), misturá-la com 1000ml de água destilada, sem correção do pH. A mistura permanece em repouso, sendo agitada manualmente de tempos em tempos, durante um período sete dias. Após este período, a amostra é filtrada e o material filtrado analisado. Na norma de classificação de resíduos, este ensaio é utilizado para diferenciar um resíduo inerte (Classe II B) de um não inerte (Classe II A). A análise do filtrado foi feita de acordo com a metodologia proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (WEF, 1998).

RESULTADOS DOS ENSAIOS

Caracterização Ambiental de Lastro Ferroviário

Ensaio de Lixiviação

Os dados obtidos nos procedimentos de lixiviação para ensaio de toxicidade com parâmetros inorgânicos (separação de certas substâncias inorgânicas

contidas nos resíduos industriais por meio de lavagem ou percolação) encontram-se listados na tabela 2 que mostra a classificação de toxicidade por lixiviação.

Ensaio de Solubilização

Os dados obtidos nos procedimentos de solubilização para ensaio de toxicidade com parâmetros inorgânicos (realização de análise química em amostra representativa do resíduo, depois de dissolvido em água deionizada ou destilada e depois filtrado) encontram-se listados na tabela 3 que mostra a classificação de toxicidade por solubilização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o composto Alumínio presente na amostra de escória de Ferro Silício Manganês

Tabela 2 – Resultados da classificação de toxicidade por lixiviação

Parâmetros	Método analítico	Limites da norma NBR 10004, 2004 (mg/L)	Concentração no resíduo lixiviado amostra de ferro silício manganês (mg/L)	Concentração no resíduo lixiviado amostra de ferro silício manganês duplicada (mg/L)
Arsênio – As	SMEWW 3114-B	1,0	<0,01	<0,01
Bário – BA	SMEWW 3030, 3120-B	70,0	1,46	0,85
Cádmio – Cd	SMEWW 3030, 3120-B	0,5	<0,001	<0,001
Chumbo – Pb	SMEWW 3030, 3120-B	1,0	0,03	0,03
Cromo total – Cr	SMEWW 3030, 3120-B	5,0	<0,01	<0,01
Fluoreto – F	SMEWW 4500F-C	150	1,91	0,25
Mercúrio – Hg	SMEWW 3112-B	0,1	<0,0002	<0,0002
Prata – Ag	SMEWW 3030,3120-B	5,0	0,01	0,02
Selênio – Se	SMEWW 3114-B	1,0	<0,01	<0,01

Tabela 3 – Resultados da classificação de toxicidade por solubilização

Parâmetros	Método analítico	Limites da norma NBR 10004,2004(mg/L)	Concentração no resíduo lixiviado amostra de ferro silício manganês (mg/L)	Concentração no resíduo lixiviado amostra de ferro silício manganês duplicada (mg/L)
Inorgânicos				
Alumínio (mg Al/L)	SMEWW 3030,3120-B	0,2	0,33	0,33
Arsênio (mg As/L)	SMEWW 3114-B	0,01	<0,01	<0,01
Bário (mg Ba/L)	SMEWW 3030, 3120-B	0,7	0,03	0,04
Cádmio (mg Cd/L)	SMEWW 3030, 3120-B	0,005	<0,001	<0,001
Cianeto (mg CN/L)	SMEWW 4500 CN-B,C	0,07	<0,01	<0,01
Cobre (mg Cu/L)	SMEWW 3030,3120-B	2,0	<0,009	<0,009
Chumbo (mg Pb/L)	SMEWW 3030,3120-B	0,01	0,01	<0,01
Cloreto (mg Cl/L)	SMEWW 4500Cl-B	250	10,3	11,3
Cromo (mg Cr/L)	SMEWW 3030,3120-B	0,05	<0,01	<0,01
Ferro (mg Fe/L)	SMEWW 3030, 3120-B	0,3	<0,1	<0,1
Fluoreto (mg F/L)	SMEWW 4500 FC	1,5	0,48	0,56
Manganês (mg Mn/L)	SMEWW 3030,3120-B	0,1	<0,05	<0,05
Mercúrio (mg Hg/L)	SMEWW 3112-B	0,001	<0,0002	<0,0002
Nitrato (mg N/L)	SMEWW 4500 NO3-B	10,0	<0,05	<0,05
Prata (mg Ag/L)	SMEWW 3030, 3120-B	0,05	<0,01	<0,01
Selênio (mg Se/L)	SMEWW 3114-B	0,01	<0,01	<0,01
Sódio (mg Na/L)	SMEWW 3030,3120-B	200,0	0,86	1,00
Sulfato (mg SO4 ²⁻ /L)	SMEWW 4500 SO4-E	250	14,9	17,1
Zinco (mg Zn/L)	SMEWW 3030,3120-B	5,0	<0,1	<0,1
Orgânicos				
Fenóis Totais (mg C6 H5 Oh/L)	SMEWW 5530 -B,C,D	0,01	<0,001	<0,001
Surfactantes (mg MBAS/L)	SMEWW 5540-C	0,5	0,10	0,10

também se encontra presente na natureza, cinco parâmetros são apresentados para a utilização da amostra como lastro ferroviário.

1. Quantidade de água necessária para a solubilização em escala real de uso;
2. Drenagem da via permanente;
3. Sublastro da via permanente;
4. Manta de Geotêxtil;
5. Estabilização química da escória de Ferro Silício Manganês.

1. Considerando uma seção de 1m de comprimento e seção transversal idêntica à representada pela figura 7 abaixo.

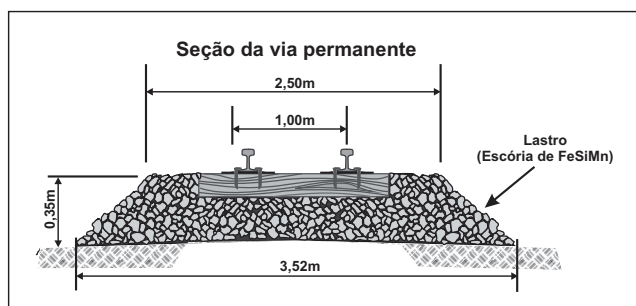


Figura 7 – Seção da via permanente.

Foi calculada a área de seção, utilizando a equação abaixo:

$$S = \frac{B + b}{2} \times h$$

Onde B – Base maior; b – Base menor e h – Altura.

O valor da área da seção obtido é de 1,05 metro lineares. Dessa forma obteve-se 3,12t de massa de escória presente em 1,05 metro linear de seção.

Como foi dito anteriormente, a norma NBR 10006/2004 – Solubilização de resíduos recomenda que se misture 250 g de amostra (passante na peneira de 9,5mm), com 1000ml de água destilada em um recipiente fechado. Ou seja, uma proporção de 4 (quatro) vezes a massa para 1 (uma) vez o volume da água.

Com isso, para que a escória em análise solubilize em campo, é necessário um volume de 12.480,00 litros de água para encher a seção (figura 7) que tem

35cm de altura e 1,05metros linear de área, considerando ainda que a seção em estudo esteja completamente estancada (ou seja, não haverá perda de água na seção e a mesma se manterá com seus 35cm de altura totalmente imersa em água).

Por ter apresentado uma precipitação acima dos padrões medidos nos últimos nove anos, foi utilizado como parâmetros de comparação o índice da precipitação no ano de 2009, na região de Belo Horizonte que foi de 2.165,10mm/m ou 2.165,10 l/m.

Os dados do índice da precipitação no ano de 2009 foram obtidos por meio do site: Tempo e Clima (<http://meteorologiaeclima.blogspot.com/2010/01/total-de-chuva-mm-bh-2009.html>).

Utilizando os dados do índice da precipitação de 2009 na seção (figura 7) com 1,05 metro linear de área, a quantidade de água que cai na seção será de aproximadamente 2.273,36l/m em um ano. Pressupondo-se que a seção esteja estancada, este volume de 2.273,36l/m de água encheria somente 6,38 cm de altura ou 18% da seção. Provando assim que a quantidade de escória que possa solubilizar estará dentro do recomendado pela norma NBR 10006/2004 – Solubilização de resíduos.

Ressalta-se também que, de acordo com a norma NBR 10006/2004 – Solubilização de resíduos, a massa de escória deve ficar imersa por 7 (sete) dias em água, ou seja, os frascos de solubilização mantêm a água destilada utilizada no ensaio sempre em contato com o resíduo. O que não ocorre na via permanente, pois a seção não é estanque, as chuvas não são constantes, e a seção está sempre sujeita à evaporação e infiltração, lembrando também que uma das funções do lastro é a de prover uma drenagem eficiente de eventuais líquidos ou fluidos que venham entrar em contato com via permanente.

2. Como é apresentado na figura 8, o sistema de drenagem existente na via permanente não permite que haja acúmulo de água no lastro, pois o abaullamento da plataforma é de 3%, criando assim um caminho preferência para a água em direção às valetas. Além disso, existe uma drenagem profunda que re-

baixa o lençol freático a uma profundidade de 1,5 m, eliminado com isso qualquer risco de contaminação do lençol freático.

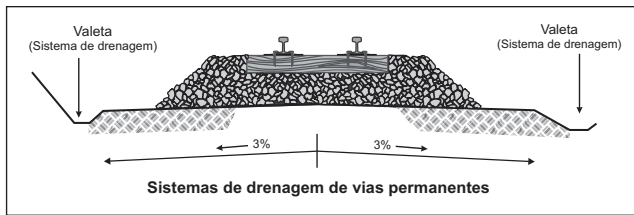


Figura 8 – Sistemas de drenagem da via permanente.

3. O sublastro é a camada que separa o lastro e o subleito, a função mais importante do sublastro é a de prevenir a penetração de partículas entre as camadas de lastro e subleito. Assim, são amplamente caracterizados como materiais de sublastro as misturas de areia-pedregulho com CBR superior a 30%, que atendem às exigências de filtro para o subleito. E ainda é uma matriz que contém argilo-minerais que, pelo seu número de valência, pode promover um processo de troca catiônica proporcionando compostos formados com o Alumínio. A figura 9 apresenta a montagem da via permanente.

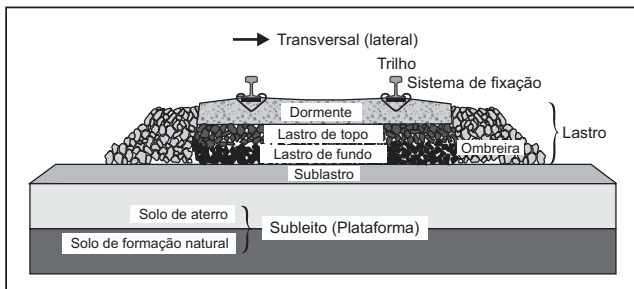


Figura 9. Representação da montagem da via permanente.

4. Sobre o solo do subleito e no contorno das valetas, a manta de geotêxtil exerce a função de elemento filtrante e separador entre o subleito e a camada de lastro, evitando a contaminação do subleito. Para proteger a manta de geotêxtil do efeito de punção do agregado que constitui o lastro, é aconselhado colocar entre a manta de geotêxtil e o lastro uma camada de areia grossa e uma camada de pedrisco, ambas com 5cm de espessura. A camada de areia grossa jun-

to com a camada de pedrisco forma mais um filtro, impedindo com mais eficiência o acúmulo de água no lastro e, conseqüentemente, impedindo que a amostra solubilize apresentando teor de Alumínio acima do recomendado por norma. A figura 10 mostra o sistema de dreno utilizando a manta de geotêxtil.

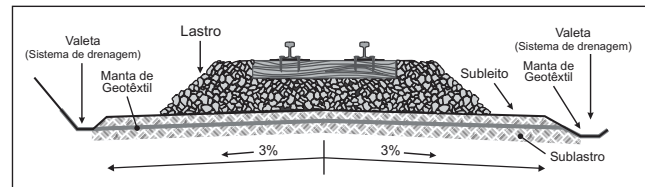


Figura 10 – Representação do sistema de drenagem com a manta de geotêxtil na via permanente.

5. Quando a escória é submetida a um processo de tratamento baseado na hidratação, o composto instável presente na sua composição química é estabilizado formando novo composto a partir do Alumínio e, dessa forma, não oferece risco ao meio ambiente, com isso se enquadra na classificação de resíduos, como resíduo inerte (Classe IIB).

Mediante os resultados encontrados, este estudo foi submetido ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) para a aprovação do uso da escória de Ferro Silício Manganês, em se tratando da sua caracterização e classificação ambiental. O estudo obteve o parecer positivo, por meio do Ofício nº 306/2010/NLA/SUPES/IBAMA/MG que aprova a utilização da escória de Ferro Silício Manganês como lastro ferroviário.

CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização baseados nas normas NBR 10004/ 2004, 10005/2004 e 10006/2004 (ABNT), para o resíduo originário da amostra de escória de Ferro Silício Manganês, classificam-no como Classe II A (Não Perigoso – Não Inerte) por apresentar teor de Alumínio na amostra solubilizada acima do limite máximo permitido.

O resíduo não é corrosivo, por não apresentar características corrosivas, segundo item 4.2.1.2

subitem α , da norma NBR 10004/2004. E não é reativo, por não apresentar características reativas, segundo item 4.2.1.3 subitens α , b , c , e , da norma NBR 10004/2004.

Dessa forma, pode-se afirmar em termos de caracterização e classificação ambiental, que o material está apto, ou seja, pode ser usado como lastro ferroviário.

Os cinco parâmetros descritos anteriormente apresentam alternativas técnicas que justifica e possibilita ainda mais a utilização da escória de Ferro Silício Manganês com lastro ferroviário.

O estudo obteve o parecer positivo, sendo aprovada a utilização da escória de Ferro Silício Man-

ganês com lastro ferroviário nos quesitos ambientais pelo Ibama.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte integrante de uma ampla pesquisa de caracterização tecnológica de materiais para lastro ferroviário desenvolvido pelo Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto. Os autores gostariam de agradecer a Vale, a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Fundação Gorceix pelo apoio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ABRAFE, Associação Brasileira de Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico. Anuário das Indústrias Brasileiras de Ferroligas e de Silício Metálico, 2004. Disponível em: www.abrafe.ind.br. Acesso em 22 de dezembro de 2009.
- ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S. O setor siderúrgico. Disponível em: www.bndes.gov.br/conhecimento/livro_setorial/setorial03.pdf. Acesso em 22 de dezembro de 2009.
- AREMA. Manual for Railway Engineering. Lanham: American Railway Engineering and Maintenance Association – AREMA, 2002.
- FERNANDES, D. P.; PRADO FILHO, J. F. Caracterização da escória de aciaria como base para indicação de uso em lastros de ferrovias. Ouro Preto: Relatório de pesquisa. UFOP/FAPEMIG, 2007. 60 p.
- FERNANDES, G. Comportamento de Estruturas de Pavimentos Ferroviários com Utilização de Solos Finos e/ou Resíduos de Mineração de Ferro Associados à Geossintéticos. Brasília: Tese de Doutorado. UnB, 2005. 253 p.
- FERREIRA, H. S.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. C.; NEVES, G. A. Uso de Rejeitos de Granitos como Matérias-Primas Cerâmicas. Cerâmica, São Paulo, v. 48, n. 306, p. 92-101, 2002.
- GEYER, R. M. T., Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. Tese de D. Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS, 2001.
- LÚCIO, A; MINES, C. R. C.; CASTRO, LF. A.; FIGUEIRA, R. M.; SAMPAIO, R. S. & SILVEIRA, R. C. Metalurgia dos Ferros ligas, vol. I e II, Belo Horizonte: editora UFMG, 1978.
- MANCIO, M. Contribuição ao Estudo do Fenômeno da Instabilidade Volumétrica das Escórias de Aciaria Elétrica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.
- MOURA, W. A. Utilização de Escória de Cobre como Adição e como Agregado Miúdo para Concreto. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.
- NBR 5564/1991 – Via Férrea Lastro Padrão – Especificação.
- NBR 10004/2004 – Resíduos sólidos – Classificação.
- NBR 10005/2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido.
- NBR 10006/2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- NBR 10007/2004 – Amostragem de resíduos.
- OLIVEIRA, R. W. H; FERNANDES, G; SOUSA, F. C., Estudo de Caracterização da Escória de Ferro Silício Manganês para a Aplicação em Lastro Ferroviário. 40ª RAPV – Reunião Anual de Pavimentação Rio de Janeiro, RJ - 26 a 28 de outubro de 2010.
- REIS, E. L., Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2005.
- TEMPO E CLIMA. Disponível em: <http://meteorologiaclima.blogspot.com/2010/01/total-de-chuva-mm-bh-2009.html>. Acesso em 12 de Maio de 2010.
- WITTENBORN e GREEN, J. L.; GREEN, J. J. Steelmaking slag: a safe and valuable product. The Steel Slag Coalition, Washington, 1998.

Restauração de pavimentos rígidos – Novas alternativas

Luiz Guilherme R. de Mello

Márcio Muniz de Farias

Euclides C. Neto

Ariovaldo Roriz

José Maria Morheb

RESUMO

Atualmente as rodovias federais que originalmente foram construídas com pavimentos rígidos estão sofrendo intervenções para restaurar sua funcionalidade e permitir seu uso. Entretanto, as técnicas utilizadas demandam tempo e são relativamente caras considerando a realidade brasileira. Outras metodologias, como a utilização de sobrecamadas com revestimento flexível, nem sempre conseguem atingir seus objetivos, muito em função do fenômeno de reflexão das fissuras e juntas existentes no pavimento rígido. Este trabalho vem apresentar uma nova metodologia, amplamente utilizada em outros países, que permite reabilitar um pavimento rígido com rapidez e de forma eficaz. A fragmentação é um processo que propõe reduzir o pavimento rígido em fragmentos que impedem a reflexão de fissuras, mantendo, em certo grau, o comportamento mecânico adequado para uma camada de base do revestimento asfáltico. Detalhes do processo são apresentados, fazendo o uso de um caso real. Os ensaios, equipamentos necessários e as análises requeridas são apresentados de forma a permitir um maior conhecimento da metodologia. Uma análise econômica também é feita com o intuito de verificar sua aplicabilidade em rodovias federais.

ABSTRACT

Brazilian federal highways that were built originally with rigid pavements are undergoing current interventions to restore its functionality and allow its use. However, the conventional rehabilitation techniques used are time consuming and are relatively expensive considering Brazilian reality. Other methodologies, such as hot mix asphalt overlays, do not always manage to achieve their objectives due to the reflection of cracks and existent joints in the old rigid pavements. This paper presents a new methodology called rubblization, which is widely used in other countries and allows rehabilitating rigid pavements quickly and effectively. Rubblization is a process that transforms the slabs into smaller fragments which prevent cracks reflection while keeping, to some degree, the proper mechanical behavior for a base layer. Details of the process are described and illustrated with a real case. The required testing equipments and the conditions for applying the proposed technique are presented in such a way as to enable a greater understanding of the methodology. An economic analysis is also presented in order to verify its applicability to Brazilian federal highways.

1. INTRODUÇÃO

A experiência histórica brasileira em pavimentos rígidos foi limitada a algumas poucas rodovias

executadas em estados como Pernambuco, Rio de Janeiro e São Paulo. Entretanto, recentes obras de construção de rodovias de grande porte estão permitindo que a Engenharia Rodoviária brasileira possa

adquirir e atualizar as tecnologias envolvidas na construção de pavimentos rígidos. Como exemplo, podemos citar o Rodoanel em São Paulo, a duplicação de quase 400km da BR-101/NE 1ª Etapa em fase final, a BR-232/PE, dentre outras. Consta ainda, apenas no âmbito federal, o início da duplicação da BR-101 nos estados de Alagoas, Sergipe e Bahia, bem como a BR-020 no estado do Ceará, a BR-364/MT e a BR-392/RS. Como se observa, o uso de pavimentos rígidos, para certas situações, vem sendo uma escolha que apresenta viabilidade técnica e econômica para os projetistas, Governo e para a Engenharia Rodoviária brasileira.

O pavimento é uma obra projetada para atingir um nível mínimo de aceitabilidade, definido como sua ruptura, dentro de um tempo estipulado de projeto. O papel do projetista é assegurar que a vida útil do pavimento coincida o mais próximo possível com a vida de projeto. Ora, o dimensionamento de um pavimento nada mais é que a escolha de materiais, com comportamento mecânico apropriado e a definição de espessuras das camadas constituintes, que possam formar uma estrutura que permita a trafegabilidade da rodovia por um determinado período. Para qualquer tipo de pavimento, o fim de sua vida útil está sempre atrelado a um processo de reabilitação do pavimento, seja por uma reconstrução, ou por uma restauração estrutural ou funcional que permita uma sobrevida ao mesmo.

O presente trabalho tem como objetivo principal demonstrar a técnica conhecida como fragmentação (*rubblization*, em inglês) e como ela poderá ser útil em algumas situações quando da necessidade de reabilitar um pavimento rígido. É bom ressaltar que a técnica da fragmentação não reabilita um pavimento rígido, estritamente, mas reaproveita a camada de concreto, dando a ela funções distintas daquela que possuía antes. Para demonstrar e verificar a aplicabilidade da técnica, um caso prático foi escolhido e uma análise econômica foi feita para demonstrar sua viabilidade. Para complementar a demonstração da viabilidade da técnica, Mello et

al.(2011) apresentam um artigo associado com um exemplo de dimensionamento de pavimento considerando a técnica da fragmentação e os conceitos da mecânica dos pavimentos.

2. REABILITAÇÃO COM TRATAMENTOS ANTIRREFLEXÃO DE FISSURAS

Em se tratando de pavimentos flexíveis, pode-se dizer que o Brasil possui grande conhecimento das técnicas e metodologias atualmente disponíveis no meio técnico para sua reabilitação. Por outro lado, a reabilitação de pavimentos rígidos requer conceitos e técnicas que, ao menos no âmbito federal, ainda estão aquém da atual necessidade. Toma-se como exemplo a BR-101/NE, trecho Pernambuco. Lá, a pista existente em pavimento rígido, com aproximadamente 50 anos de uso, encontra-se bastante deteriorada, com baixíssimo conforto ao rolamento, tendo passado por diversas intervenções ao longo dos anos. Com o advento da duplicação, o Projeto Executivo aprovado previu a restauração do pavimento rígido da pista existente para permitir que ambas as pistas estejam em condições similares de trafegabilidade.

Neste estado, as obras foram executadas em três diferentes lotes, cada um com aproximadamente 40km. Por serem objetos de empresas projetistas distintas, e considerando que o estado do pavimento à época da elaboração do projeto era distinto, dois lotes adotaram a solução de restauração do pavimento rígido utilizando a técnica do *overlay* em concreto asfáltico com a inclusão de grelha sintética, sem nenhuma intervenção nas placas de concreto antigas, excetuando-se aquelas com problemas estruturais. Enquanto isso, no terceiro lote, o recapeamento também foi escolhido em projeto como a técnica de restauração, porém utilizando a metodologia conhecida como *crack and seat* (craqueamento) como intervenção para reduzir a probabilidade de reflexão de trincas, já que neste trecho o pavimento encontrava-se com deterioração mais avançada. Obviamente, a escolha das metodologias de recuperação

de pavimentos rígidos depende, de forma significativa, do número de placas que necessitam intervenção localizada. Tais serviços são onerosos e podem influenciar sobremaneira no orçamento final da reabilitação. Portanto, conhecer adequadamente o pavimento existente, por meio de levantamentos distintos, permitirá a escolha do procedimento mais adequado à situação de campo.

Dentre as técnicas de tratamento de placas de concreto previamente à aplicação do *overlay* em concreto asfáltico, além do *crack and seat*, o *break and seat* e a técnica conhecida como *rubblization* (aqui denominada como fragmentação) são também utilizadas com o objetivo de reduzir a probabilidade da ocorrência de reflexão de trincas. A figura 1 ilustra de forma clara o entendimento sobre o conceito básico das formas de tratamento das placas de concreto citadas acima antes da aplicação das camadas de CBUQ. A figura mostra que a probabilidade de ruptura, independente do critério considerado, é sempre menor para espessuras de revestimento asfáltico maiores ($h_{02} > h_{01}$).

A questão da escolha do tipo de tratamento das placas de concreto é então definida levando em consideração a probabilidade de ruptura do pavimento pela premissa estrutural ou pelo aparecimento da reflexão de trincas. Um tratamento que produza fragmentos de tamanho reduzidos resultará numa camada com baixo módulo de elasticidade, possibilitando uma maior probabilidade de ruptura estrutural do pavimento (parte esquerda do gráfico). Por outro lado, um tratamento que pouco interfira na placa de concreto, resultando em fragmentos de maior porte, resultará numa camada com comportamento mecânico adequado, porém com uma alta probabilidade das juntas e/ou trincas se movimentarem horizontal ou verticalmente de forma a induzir fissuras no revestimento asfáltico (parte direita do gráfico).

O ideal, portanto, é achar um estado pós-tratamento das placas que permita um comportamento adequado, com baixa probabilidade de ruptura, tanto em relação à análise estrutural do pavimento quan-

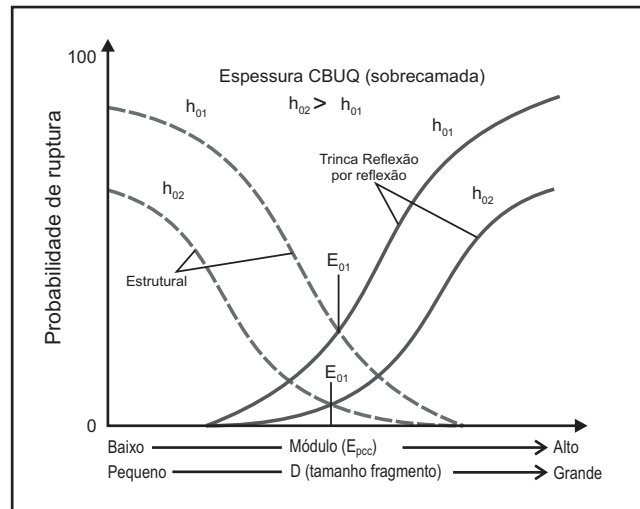


Figura 1 – Ilustração dos conceitos básicos para tratamento das placas de concreto (modificado – Shinnars 2009)

to em relação ao combate da reflexão das trincas (parte central do gráfico). Segundo Decker (2006), a técnica que consiste na quebra de placas para evitar a reflexão de trincas é balanceada pela necessidade de conservar o suporte estrutural da camada.

Thom (2008) ilustra o conceito para definir a escolha do tratamento a ser escolhido, fazendo uma associação com as expressões "fazer muito" ou "fazer menos". Fazer menos significa ter uma solução aceitável quando o pavimento encontra-se relativamente em boas condições. O recapeamento é, portanto, uma maneira de proteger a placa de concreto reduzindo as tensões advindas do tráfego. Por outro lado, deve-se ter em mente que algum tipo de tratamento antirreflexão de trincas deverá ser adotado. Fazer mais, entretanto, é uma solução a ser aplicada quando o pavimento apresenta grande quantidade de placas a serem recuperadas, que indicaria, como metodologia mais adequada, a fragmentação de todo o trecho. Nesse caso, deve dimensionar a espessura de CBUQ em função do comportamento mecânico da camada, sem que, portanto, seja preciso um tratamento antirreflexão de trincas.

Questões como essas, que dependem de diversos fatores, tais como estado do pavimento atual, tempo de execução e custo da solução, são relativamente recentes e carecem de mais estudos. Portanto,

discussões a respeito das novas tecnologias existentes poderão ajudar nas futuras decisões em obras de restauração de pavimentos rígidos.

3. A TÉCNICA 'CRACK AND SEAT'

A técnica da quebra do pavimento rígido foi criada na América do Norte e tem como objetivo principal reduzir a probabilidade do aparecimento das trincas de reflexão quando se aplica uma camada de concreto asfáltico sobre um pavimento rígido. Em situações como esta, as trincas aparecem nos locais das juntas das placas de concreto, ou em locais onde existem fissuras, permitindo a entrada de água no pavimento, causando uma brusca redução em sua vida útil. A reflexão de trincas ocorre pela concentração de tensões logo acima das juntas e/ou fissuras, sendo a velocidade da reflexão dependente de uma série de fatores. O movimento vertical bem como a expansão e contração térmicas das placas fazem com que essa concentração de tensões seja ainda maior. Nesses casos, diversas pesquisas estão sendo feitas no sentido de adotar os conceitos existentes na Teoria da Mecânica da Fratura para permitir o estudo do desenvolvimento das trincas no interior de uma camada asfáltica e possibilitar o entendimento dos fatores que interferem na propagação.

O processo de quebra das placas foi adotado com o intuito de reduzir a probabilidade da reflexão das trincas no concreto asfáltico. A proposta da metodologia baseia-se na redução do volume de concreto de forma a evitar a expansão e retração pela variação térmica e, assim, reduzir a possibilidade da reflexão de trincas no revestimento asfáltico. Da mesma forma, placas de concreto com problemas de suporte induzem o aparecimento de trincas. A proposta da metodologia é possibilitar que a placa quebrada passe a readquirir o suporte necessário para não haver movimentação vertical, reduzindo a possibilidade de reflexão de trincas. Para isso, é utilizado um rolo com o intuito de promover o assentamento das peças de concreto. A figura 2 demonstra

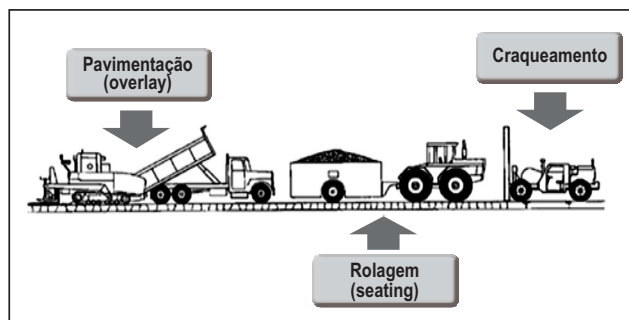


Figura 2 – Metodologia construtiva do *crack and seat* (modificado – SCHUTZBACH, 1988).

de forma esquemática a metodologia construtiva utilizando o procedimento *crack and seat*.

Usualmente, o processo de quebra das placas é realizado por um equipamento tipo guilhotina, que aplica golpes transversais à placa de concreto, com espaçamentos e energia determinados de forma a melhor obter a distribuição das trincas no pavimento, evitando quebras excessivas e resultando numa camada com certo intertravamento entre os blocos resultantes. Esse intertravamento ao longo das trincas é essencial para o bom comportamento mecânico da placa craqueada. De forma complementar, é usual a utilização de mantas sintéticas, conhecidas como geogrelhas, juntamente com a técnica de quebra das placas para retardar o aparecimento da reflexão de trincas. As mantas sintéticas ajudam a retardar a reflexão das trincas nas camadas de revestimento asfáltico. A figura 3 ilustra o aspecto de um pavimento rígido após a quebra.

A técnica da quebra para tratamento das placas de concreto e a aplicação da sobrecamada em revestimento asfáltico, conforme apontado por Thompson (1999), retarda, porém não elimina, o aparecimento das fissuras por reflexão. A eficácia da técnica do *crack and seat* na experiência brasileira, realizada na BR-232/PE, não pode ser comprovada pela ausência de parâmetros que possam mostrar o comportamento do pavimento ao longo do tempo.

Freeman (2002) avaliou diferentes seções de pavimento rígido reabilitadas com a referida técnica. Os resultados foram comparados com seções de controle onde a sobrecamada em concreto asfáltico foi



Figura 3 – Padrão de fissuramento com a metodologia *crack and seat* (Antigo Construction Inc.).

feito sem nenhum tipo de tratamento nas placas de concreto. Segundo o autor, a técnica do *crack and seat* não eliminou as trincas de reflexão nos projetos avaliados, conforme pode ser visto, por exemplo, na figura 4. Dessa forma, qualquer benefício em postergar o aparecimento da reflexão de trincas ou em melhorar o conforto ao rolamento deve ser avaliado em termos econômicos quando da utilização dos tratamentos antirreflexão de trincas (SCHUTZBACH, 1988).

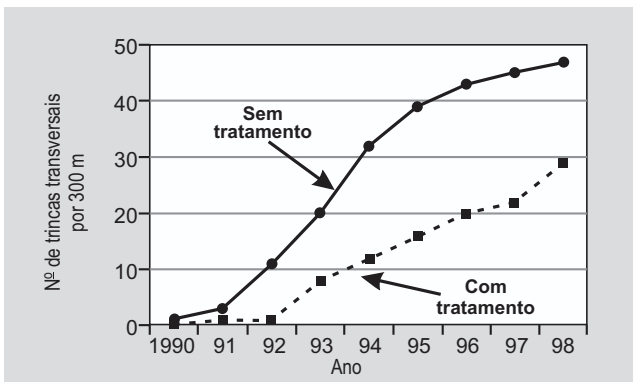


Figura 4 – Comparativo das trincas refletidas ao longo do tempo (modificado – FREEMAN, 2002).

Durante as tentativas de execução do processo de quebra das placas de concreto, nas obras da BR-101/PE, alguns fatores interferiram diretamente nos resultados observados. Pode-se citar, dentre outros, o desgaste existente nas trilhas de roda, levando a uma irregularidade transversal da placa de concreto. A ondulação transversal fez com que a guilhotina atingisse, primeiramente, a parte mais alta da placa, resultando em uma concentração da carga num ponto específico (figura 5). Dessa forma, o pa-

drão de fissuramento esperado não foi obtido, e diversas placas tiveram que ser removidas, aumentando de forma considerável o custo dos serviços. Diante da impossibilidade executiva de se atingir as premissas consideradas no projeto que adotou a solução por *crack and seat*, outras propostas foram consideradas para a restauração do pavimento rígido. Dentre elas, destaca-se a metodologia denominada fragmentação que será descrita a seguir. Ressalta-se que outras soluções foram estudadas, porém, considerando o percentual de placas previstas para serem recuperadas estimado no Projeto Executivo, a solução em fragmentação se mostrou técnica e economicamente viável.



Figura 5 – Ilustração da irregularidade observada na seção transversal da placa, com concentração de tensão em alguns pontos.

4. A TÉCNICA DA FRAGMENTAÇÃO (RUBBLIZATION)

4.1 Histórico e conceitos

A técnica de tratamento de pavimentos rígidos objetivando a reabilitação com a utilização de sobrecamadas em revestimentos asfálticos, aqui denominada de fragmentação, vem sendo utilizada desde o final da década de 1980 (VON QUINTUS et al., 2007). Segundo o *Wisconsin Department of Transportation* (WDOT), a intenção de fragmentar uma placa de concreto é produzir uma base estrutural que previna a reflexão de trincas, formando um "pacote" de fragmentos de concreto, fortemente intertravados, resultando num material de alta densidade (WDOT – Standards).

Essa camada é, então, recapeada com revestimento asfáltico ou até com outra camada de pavimento rígido. De acordo com o *Asphalt Institute*, mais de 42 milhões de metros de placas de concreto foram fragmentadas entre 1994-2004 nos EUA, tornando-se uma solução predominante sobre as demais.

Um dos primeiros trabalhos publicados sobre o assunto fez um apanhado dos projetos realizados nos EUA em diferentes estados, comparando alguns parâmetros obtidos em campo entre as metodologias fragmentação, *crack e break and seat*. Witzak & Rada (1992) estudaram cerca de 450 projetos onde as placas de concreto sofreram algum tipo de intervenção. Dentre as observações encontradas, talvez a mais interessante demonstre a variabilidade das características mecânicas das placas após o tratamento pelas três metodologias.

Considerando os 93 projetos onde avaliações estruturais com FWD (*Falling Weight Deflectometer*) foram efetuadas, os módulos de elasticidade da placa de concreto após a quebra foram retroanalizados, e um estudo estatístico ilustrou que a técnica da fragmentação e do *crack and seat* resultaram em menores coeficientes de variação do que a técnica do *break and seat* (figura 6). Além dessas informações, os autores demonstram que a evolução do índice PCI (*pavement condition index*) ao longo do tempo para os projetos onde se aplicou a fragmentação foi a melhor.

O processo executivo da fragmentação mostrou-se como uma evolução da metodologia por craqueamento, conforme ilustra a figura 7. O gráfico apresenta as áreas de pavimentos restaurados com a técnica do craqueamento e da fragmentação ao longo dos anos no Estado de Wisconsin, EUA. Como se observa, a substituição do processo foi feita de maneira progressiva, muito embora em alguns estados norte-americanos o processo de craqueamento ainda seja utilizado.

A técnica da fragmentação não pode ser utilizada de forma indiscriminada. Há premissas que devem ser observadas e que interferem diretamente na possibilidade da aplicação da solução. Dentre

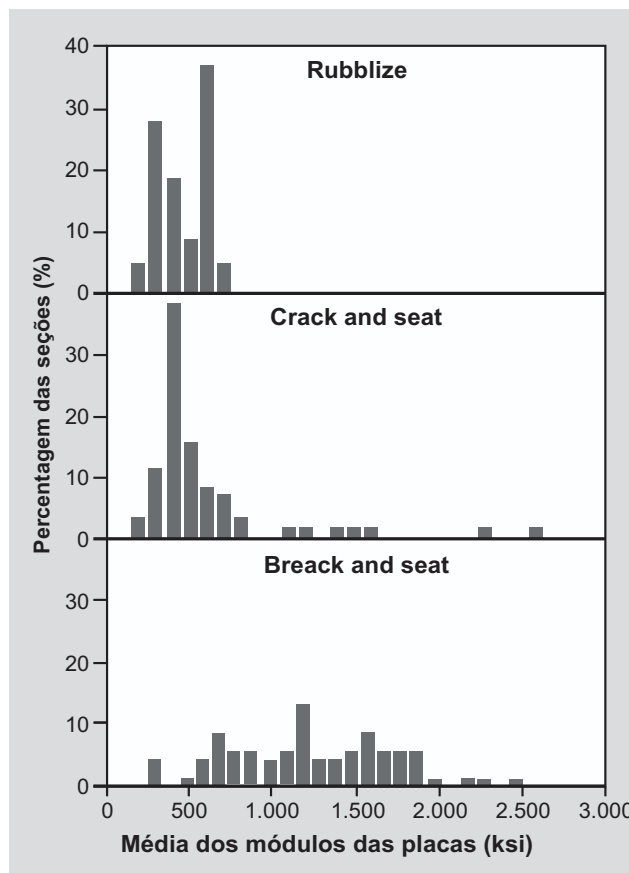


Figura 6 – Distribuição da frequência dos módulos das camadas de placas de concreto após a intervenção (modificado – WITCZAK & RADA, 1992).

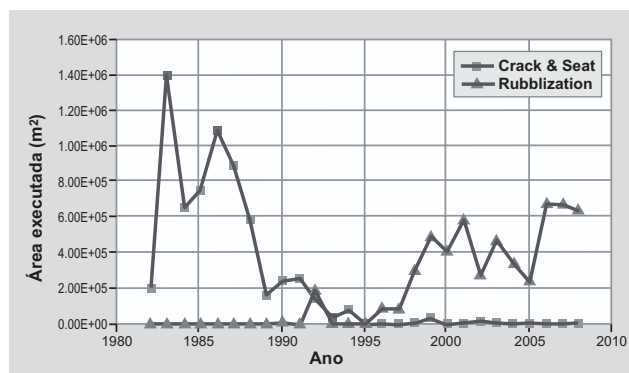


Figura 7 – Gráfico comparativo dos quantitativos executados pelas duas soluções (modificado – SHINNERS, 2009).

elas, destacam-se a condição das placas, sua espessura e as características do subleito. As especificações do WDOT, estado que detém reconhecida experiência no assunto, requerem uma verificação prévia da rodovia, no sentido de somente considerar viável a solução por fragmentação quando o pavimento rígido não possuir mais condições de suportar o

tráfego, ou seja, quando se observa grande quantidade de defeitos ao longo da rodovia. Dessa forma, avalia-se a aplicabilidade da solução se uma ou mais características abaixo estão presentes (WDOT 2009):

- Valor do PDI (*pavement distress index*) maior que 60;
- Mais que 20% das juntas necessitam reparos;
- Mais que 20% da superfície do pavimento foi recuperada;
- Mais que 20% das placas estão quebradas;
- Mais que 20% da rodovia possui defeitos nas juntas longitudinais com larguras maiores que 10,0 cm.

Heckel (2002), no mesmo sentido, afirma que se mais 12% da área do pavimento foi recuperada, então a fragmentação é economicamente viável. Obviamente, a escolha de se utilizar a fragmentação como um processo de tratamento de placas de concreto, para posterior recapeamento com concreto asfáltico, não é tão simples de ser feita. Outros aspectos devem também ser observados como o tempo de construção, o custo da solução, a vida útil estimada, dentre outros. Além disso, as premissas utilizadas no estudo da viabilidade técnico-econômica aplicada em outros países são diferentes daquelas utilizadas no Brasil (custo da rodovia fechada, custo dos materiais e da mão de obra etc.), e, portanto, antes de as decisões serem tomadas, um cuidadoso esforço deve ser feito em considerar as diversas variáveis que interferem na escolha da solução para a restauração de pavimentos rígidos.

Segundo recomendações do WDOT (2009), a solução em fragmentação, juntamente com a aplicação de nova camada em concreto asfáltico ou concreto de cimento Portland, deve ser considerada como uma substituição de pavimento e não como uma solução de restauração. Dependendo do tipo de material utilizado no recapeamento, a metodologia utiliza os conceitos de dimensionamento de pavimentos flexíveis ou rígidos.

4.2 Metodologia executiva

A progressiva troca da metodologia de tratamento das placas de concreto foi baseada em obser-

vações de campo. Em meados da década de 1990, seções restauradas utilizando-se o craqueamento começaram a demonstrar trincas oriundas das juntas e das fissuras das placas de concreto originais. Além disso, observações em campo vinham mostrando que, quanto menores as peças restantes após o processo de craqueamento, menor era a probabilidade de reflexão de trincas. Com isso, optou-se por reduzir os fragmentos das placas em dimensões que eliminariam, definitivamente, a possibilidade de reflexão de trincas. Assim, portanto, a fragmentação tornou-se uma metodologia que atendia às necessidades construtivas em relação ao fenômeno da reflexão de trincas. Além disso, uma das características da solução é que não há produção de bota-fora, já que todo o pavimento rígido é transformado em uma nova camada da estrutura do pavimento.

A fragmentação pode ser aplicada em qualquer tipo de pavimento rígido, incluindo os reforçados. Para tanto, nesses últimos, deve-se garantir que após a fragmentação a ligação aço-concreto tenha sido desfeita. Além de uma cuidadosa caracterização do pavimento existente, o estudo do subleito é fundamental para garantir que a solução em fragmentação é passível de ser utilizada. O WDOT (2009) possui experiência de insucessos na utilização de fragmentação em regiões onde o subleito foi caracterizado contendo solos do tipo A-6 e A-7. Von Quintus et al. (2007) relatam que experiências indicam que a fragmentação não é recomendada para pavimentos com fundações com valores de módulo de elasticidade menores que 70.000 kPa. Para obter parâmetros mecânicos do solo de fundação, a utilização de ensaios não destrutivos, como o FWD, e ensaios com o equipamento DCP (*dynamic cone penetrometer*) permitem realizar uma caracterização coerente do subleito. Outros procedimentos, como correlações com propriedades físicas dos solos, também podem fornecer uma ideia do comportamento mecânico do subleito.

Para se chegar à placa fragmentada, faz-se uso de máquinas capazes de aplicar energia suficiente à placa de concreto e transformá-la numa camada

composta por granulometria específica, dependente de alguns fatores, tais como a característica do subleito e dimensão da placa. Essa camada nada mais é que a placa de concreto fragmentada, porém sem perder seu intertravamento, essencial para o sucesso da metodologia.

A figura 8 ilustra algumas das máquinas utilizadas no processo de fragmentação. Recentemente, o equipamento mais utilizado no processo da fragmentação é o Multi-Head Braker® (fragmentador de múltiplas cabeças), composto por duas linhas de martelos, podendo ser autopropelido ou adaptado a um veículo propulsor. Os martelos podem dar golpes com alturas e pesos diferentes. Além disso, a velocidade do equipamento permite adaptar a energia necessária para a quebra da placa de acordo com as características do pavimento e do subleito. A versa-



Figura 8 – Exemplos de máquinas utilizadas na fragmentação: a) Fragmentadora ressonante (*resonant breaker*); b) Fragmentadora de múltiplas cabeças autopropelida (SHINNERS, 2009); c) Fragmentadora de múltiplas cabeças acoplada; d) protótipo inicial da Fragmentadora de múltiplas cabeças (THOMPSON, 2006).

tilidade do equipamento permite, por exemplo, aplicar maior energia nas extremidades das placas de concreto quando estas apresentarem seção transversal variável (placas tipo 9-7-9", como as existentes na BR-101/PE).

A escolha do tipo de equipamento a ser utilizado é dependente das condições locais, segundo

HECKEL (2002). A figura 9 mostra um ábaco que permite escolher o método a ser aplicado na fragmentação dependendo do valor do CBR no subleito e da espessura do pavimento (placa e sub-base). Os métodos descritos pela autora são:

- a. Método I: equipamento tipo *Multi-Head Braker*®;
- b. Método II: equipamento tipo *Resonant Breaker* com pneus com baixa pressão;
- c. Método III: equipamento tipo *Resonant Breaker* sem limitação de pressão nos pneus;
- d. Método IV: qualquer equipamento.

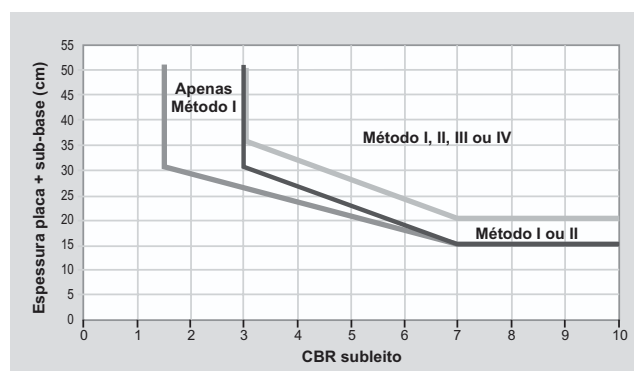


Figura 9 – Ábaco do Illinois Departamento of Transportation – IDOT para escolha da metodologia de fragmentação (modificado – HECKEL, 2002).

Alguns cuidados devem ser tomados antes do início da fragmentação. Para garantir a efetividade da solução, deve-se garantir a drenabilidade do subleito por meio de drenos subsuperficiais. Sua execução é recomendada, segundo Von Quintus (2007), pois a camada fragmentada aumenta a permeabilidade do pavimento sobremaneira, sendo preciso drenar o excesso de água rapidamente que porventura entre no pavimento. O sistema de drenagem deve estar efetivo antes da fragmentação para permitir a redução da saturação da sub-base e o subleito.

Mais ainda, locais onde o pavimento rígido foi recapeado com concreto asfáltico devem ser fresados antes da fragmentação. A existência de revestimentos asfálticos faz o processo da fragmentação perder a eficiência na aplicação da energia. Além disso, dificulta a inspeção visual ao longo da execução da solução. Seções-tipo para testes preliminares são sem-

pre um aspecto importante no início da execução de um projeto, de forma a permitir a adequação da energia (peso dos martelos, altura de queda, velocidade etc.) a ser aplicada às placas de concreto considerando as particularidades de cada obra.

O controle na execução da fragmentação é feito, principalmente, por meio da granulometria resultante após a passagem da máquina fragmentadora. Os departamentos estaduais norte-americanos possuem especificações distintas. Porém, observa-se que o conceito é único, ou seja: variação gradual da granulometria ao longo da camada, com fragmentos maiores na base e menores no topo. Segundo as especificações do WDOT, deve-se ter fragmentos menores ou igual a 30cm e também 75% dos fragmentos observados visualmente devem ter dimensões menores ou igual a:

- 23cm na metade inferior da camada;
- 7,5cm na metade superior da camada;
- 5,0cm na superfície da placa.

A avaliação da especificação é feita por amostragem por meio de sondagens no material fragmentado, verificando a distribuição da granulometria. Em áreas onde o pavimento apresenta instabilidade durante a passagem da máquina fragmentadora, onde possivelmente há problemas estruturais do pavimento ou da fundação, deve-se proceder à substituição das camadas com materiais compatíveis antes da pavimentação. Deve-se ter em mente que o controle da execução da camada após a fragmentação também deve ser feito por meio de retroanálises, de modo a garantir que o comportamento mecânico do pavimento observe as premissas utilizadas durante o projeto. Figura 10 ilustra a execução de sondagem numa placa fragmentada.

Após a execução da fragmentação, a compactação com um rolo chapa adaptado (tipo-Z) é efetuada para reduzir os fragmentos com granulometria maior que a especificação permite na superfície do pavimento. Paralelamente, rolos pneumáticos e chapas-lisos também são aplicados à camada fragmentada. Outro ponto destacado em diversos trabalhos



Figura 10 – Sondagem realizada na camada fragmentada para verificação da granulometria (DECKER & HANSEN, 2006).

técnicos sobre o assunto é a exigência de uma espessura mínima de CBUQ a ser executada sobre uma camada fragmentada. Essa exigência é baseada em aspectos construtivos observados em campo, sendo usual que a espessura mínima seja de 10,0cm.

A figura 11(a) ilustra o aspecto do pavimento fragmentado num

rodovia no estado de Wisconsin, em 2009, juntamente com o rolo chapa adaptado (tipo Z). A figura 11(b) demonstra o aspecto do pavimento rígido que estava sendo restaurado. Logo após a execução da fragmentação e da compactação, pode-se iniciar os serviços de aplicação do revestimento asfáltico na espessura definida em projeto. As especificações não permitem a execução da fragmentação em dias de chuva. Nesse sentido, o recapeamento com material asfáltico deve ser executado após período mínimo que garanta a drenagem da água no interior do pavimento. Em alguns projetos realizados no Estado de Wisconsin, EUA, utilizou-se uma camada de material granular acima da placa fragmentada com o objetivo de recompor a estrutura do pavimento.



Figura 11 – a) Aspecto do pavimento rígido antes da fragmentação; b) Aspecto visual da placa após a fragmentação.

5. ESTUDO DE CASO

A seguir, serão discutidos alguns aspectos sobre a metodologia utilizada para definir a viabili-

dade da utilização da técnica de fragmentação no caso da BR-101/NE no Estado de Pernambuco.

5.1 Estado atual do pavimento

O pavimento rígido da BR-101/PE possui aproximadamente 50 anos. As placas possuem seção transversal variável (9-7-9" ou 23-17-23cm), sem barras de transferência e com algumas barras de ligação sem funcionalidade pelo alto grau de corrosão apresentado. Além disso, o travamento das juntas transversais e longitudinais das placas foi considerado com a execução do encaixe tipo "macho-fêmea".

Segundo o Projeto Executivo de 2004, baseando-se em levantamento realizado por inspeção visual, cerca de 37% das placas necessitariam de intervenção do tipo *crack and seat* ou substituição. O projeto original considerou que o restante das placas estaria em bom estado de conservação, ou seja, podendo apresentar desgaste superficial, trincas de canto ou desnivelamento das juntas. Em 2008, uma atualização da real situação do pavimento foi realizada, também de forma visual, resultando um montante de 48% das placas com necessidade de intervenção prevista no projeto. Esse incremento pode estar diretamente relacionado ao término ou ausência de serventia do pavimento. Ressalta-se que parte das placas de concreto encontrava-se revestida de concreto asfáltico, demonstrando algum tipo de problema estrutural.

É importante salientar, ainda, que os levantamentos foram realizados, como mencionado anteriormente, de forma visual, sem a utilização de equipamentos que pudessem permitir a determinação das deflexões recuperáveis do pavimento. Ora, num levantamento visual, placas de concreto quebradas em quatro partes eram passíveis de sofrer algum tipo de intervenção mais agressiva (craquear ou substituir), tendo em vista o estado do pavimento e a alta probabilidade de reflexão das trincas no revestimento asfáltico. Por outro lado, levando em conta um estudo deflectométrico na referida placa e considerando que as deflexões fossem adequadas, o projetista poderia julgar que a placa não necessitaria de intervenção, sendo,

apenas, adotada uma solução para evitar a reflexão das trincas/juntas. Observa-se, portanto, que os diferentes tipos de levantamentos resultam em premissas de projeto distintas.

O estado do pavimento onde foi estudada a aplicação da solução de *overlay* em concreto asfáltico com tratamento das placas de concreto pela metodologia da fragmentação pode ser observado na figura 12. Observa-se ao longo da rodovia grande presença de fissuras longitudinais, assim como juntas com espaçamentos excessivos, desgaste do concreto e recapamentos com concreto asfáltico, que impedem a observação do estado das placas. Há também trechos com placas visualmente íntegras, como pode ser observado na figura.

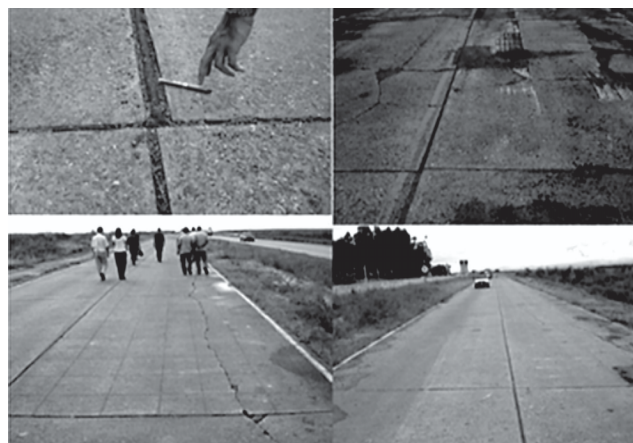


Figura 12 – Aspecto do pavimento rígido.

5.2 Ensaios e estudos iniciais

Para o desenvolvimento de qualquer projeto de Engenharia de forma adequada, um dos principais aspectos que deve obrigatoriamente ser atendido é a elaboração de um plano inicial para a escolha dos ensaios e estudos necessários para o dimensionamento. Em pavimentação, o estudo das características do subleito é crucial. Como demonstrado anteriormente, previamente à escolha da solução para tratamento das placas de concreto, deve-se conhecer detalhadamente as características e propriedades do solo de fundação, o que, de certa forma, permitirá ao projetista propor a melhor solução a ser aplicada.

No estudo de caso aqui apresentado, decidiu-se por utilizar, como ponto de partida, os dados origi-

nais do projeto executivo de pavimentação. Estes contemplam resultados referentes às características físicas do solo de fundação (limites de consistência, granulometria, densidade ótima etc.), bem como suas propriedades de resistência (CBR). Também, no sentido de verificar a condição atual do subleito, foram feitos ensaios de Índice de Suporte Califórnia, DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) e retroanálises por meio de ensaios deflectométricos dinâmicos.

Segundo os ensaios originais do Projeto Executivo, o subleito possui características favoráveis à aplicação da solução por fragmentação. Baseando-se nas informações de projeto e considerando os 84 ensaios realizados, o CBR do subleito possui valores médios de 30% para profundidades entre 20 e 40cm, enquanto que, para profundidades entre 40 a 100cm, os valores médios obtidos foram de 15%. Reunindo todos os valores, observa-se um percentual elevado de valores de CBR acima de 15% (figura 13). Acima do subleito, observou-se a existência de uma camada de material mais nobre, fazendo o papel da sub-base do pavimento rígido. Esse material obteve valores médios de CBR de 70% e desvio padrão de 8% para 42 pontos estudados.

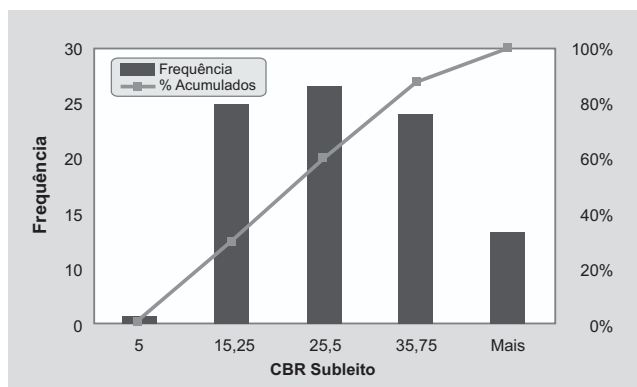


Figura 13 – Valores e frequência dos ensaios de CBR para o subleito

Para verificação do estado atual da estrutura do pavimento, foram coletadas amostras em pontos específicos da rodovia para a realização do ensaio de índice de suporte Califórnia, juntamente com ensaios de penetração dinâmica com DCP. O CBR médio obtido para a camada abaixo da placa de concreto foi de 32%, com desvio padrão de 10%

(9 pontos). A redução do CBR em relação aos valores relatados durante a elaboração do projeto pode estar associada à contaminação do material por finos, dado o avançado estágio de deterioração do pavimento. Para pontos abaixo dessa camada, ou seja, no subleito, foram feitas duas campanhas: a primeira resultou em médias de valores de CBR de 3% com desvio padrão de 12% (9 pontos). A tabela 1 apresenta os resultados e as estacas onde os testes foram realizados.

Na literatura técnica, pode-se observar diversos trabalhos que demonstram relações do tipo $CBR = f(DCP)$. Por ser um equipamento de fácil manuseio, resultando em valores de forma expedita, sua utiliza-

Tabela 1 – Estacas e valores dos ensaios DCP e CBR

Estaca	DCP médio (mm/golpes)	CBR (%)
70	7,95	*
187+3	10,21	46,10
275	14,02	83,38
375	3,25	61,41
482	5,07	31,39
575	5,05	114,04
1059+14	7,65	35,80
1194	5,17	29,43
1295	9,30	19,13
1395	14,63	32,08
1495	6,32	84,61
1595	5,23	75,78
1706	3,35	*
Média	7,48	55,74

* Resultados de CBR não obtidos

ção vem sendo uma grande aliada da Engenharia Rodoviária na caracterização dos materiais em campo. Considerando que os controles de compactação e, ainda, que alguns métodos de dimensionamento de pavimentos utilizam valores de CBR como parâmetros de origem, uma relação direta entre CBR e DCP facilitaria a verificação da execução e da uniformidade dos serviços de uma forma simples e rápida.

Diversos trabalhos, portanto, propõem correlações entre esses dois parâmetros, incluindo também relações com módulos de resiliência obtidos por ensaios laboratoriais ou por retroanálises (AI-REFEAI

& AL-SUHAIBANI, 1997; CHEN et al. 2005; CARVALHO, 2005; GEORGE et al. 2009). As seguintes correlações foram testadas neste trabalho:

Saskatchewan Highways and Transportation Standard (STP, 1992):

$$\text{Log}(CBR) = 2,628 - 1,273 \cdot \text{Log}(DCP) \quad (1)$$

Asphalt Institute (AI, 2007):

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}} \quad (2)$$

Al-Refecai & Al-Suhaibani (1997):

$$\text{Log}(CBR) = 2,50 - 1,07 \cdot \text{Log}(DCP) \quad (3)$$

Carvalho (2005):

$$\text{Log}(CBR) = 2,54 - 0,96 \cdot \text{Log}(DCP) \quad (4)$$

Onde DCP = taxa de penetração (mm/golpes) e CBR = índice de suporte Califórnia (%)

A partir dos valores obtidos em campo com o DCP, foi possível determinar o valor do CBR para os pontos estudados. A figura 14 ilustra os resultados obtidos por meio das quatro equações acima, todas elas indicando que os resultados de campo refletem valores de suporte do subleito com CBR acima de 20% (média acima de 40%).

Porém, as equações utilizadas foram obtidas para solos de outras regiões. Para obter uma correlação para o tipo de solo existente em campo na BR-101/PE, optou-se por cruzar os dados obtidos em campo, utilizando o DCP, com os valores de CBR obtidos em laboratório (figura 14). Observa-se certa dispersão dos resultados, embora com a mesma tendência observada pelas equações da literatura técnica. Deve-se ressaltar que os resultados com DCP são fortemente influenciados pela umidade do solo. Portanto, tendo em vista que a umidade de campo é dife-

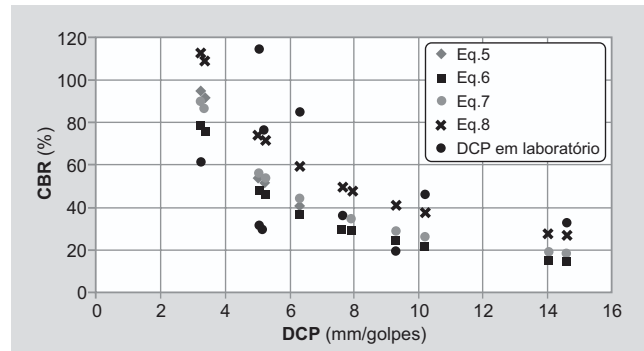


Figura 14 – Relação entre CBR e DCP com dados obtidos em campo e laboratório.

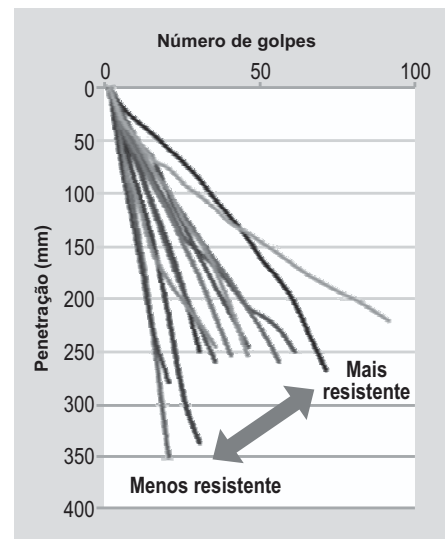


Figura 15 – Curvas relacionando penetração e número de golpes com o equipamento DCP.

rente da umidade na qual a amostra foi confeccionada em laboratório, deve-se ter cautela ao analisar os resultados obtidos.

A figura 15 ilustra os resultados dos ensaios de penetração dinâmica para 13 estacas. A inclinação da curva representa o valor da penetração (mm) pelo número de golpes.

Com o objetivo de caracterizar mecanicamente a estrutura do pavimento existente, foram realizados ensaios deflectométricos dinâmicos com o FWD em todas as placas de concreto, bem como naquelas revestidas com concreto asfáltico. Juntamente com uma avaliação objetiva, com o cadastramento dos defeitos no pavimento, foi possível determinar os índices que demonstram o estado do pavimento. Os re-

sultados dos ensaios deflectométricos foram retroanalisados de forma a obter as características mecânicas das camadas que compõem o pavimento. Além disso, pode-se obter o fator de transferência entre placas. No caso estudado, onde as placas não possuem barras de transferência mas sim um encaixe tipo macho-fêmea, essa característica é fundamental.

A retroanálise foi realizada com o auxílio do programa Elysym-5, baseado na teoria da elasticidade linear para sistemas com múltiplas camadas, o qual permite calcular a bacia de deslocamentos teórica para uma dada estrutura e para valores arbitrados de parâmetros de elasticidade. Por não ser um programa específico para retroanálises, o usuário deve ajustar sucessivamente os parâmetros de entrada do programa Elysym-5 até que a bacia de deslocamentos calculada se aproxime da bacia obtida experimentalmente dentro de uma faixa de erro aceitável. Para pavimentos rígidos, os resultados obtidos com a retroanálise forneceram os valores do módulo de elasticidade do concreto e da camada sob as placas. Esses valores podem ser usados posteriormente para se obter uma estimativa dos valores de CBR, com base em correlações empíricas propostas na literatura. Com os ensaios realizados ao longo da rodovia, observando a figura 16, pode-se observar que a grande maioria dos valores do módulo equivalente da fundação do pavimento estão acima de 100,0 MPa, valor mínimo considerado para aplicação da técnica por fragmentação segundo Von Quintus et al. (2007). Com relação a estimativa dos valores de CBR, observa-se que a grande maioria dos valores de CBR estão acima de 10%, ou seja, um subleito adequado em termos de suporte para aplicação da solução em fragmentação. A seguinte relação foi utilizada:

$$M_s = 1500.CBR \quad (5)$$

onde M_s é o módulo de elasticidade da camada sob as placas.

Considerando as deflexões observadas no pavimento, pode-se ter uma ideia do comportamento

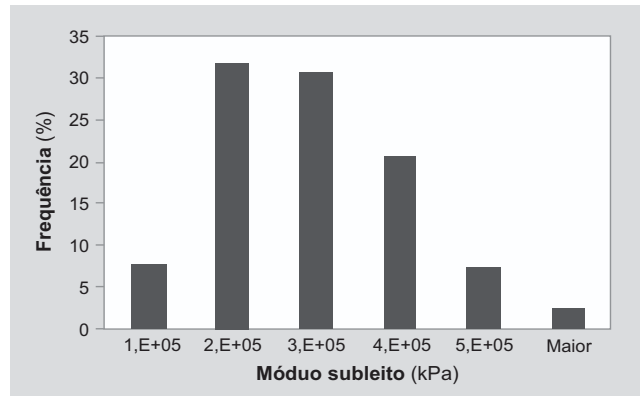


Figura 16 – Variação do módulo de elasticidade do subleito obtido por retroanálise ao longo da rodovia.

estrutural do pavimento. Tomando como base a deflexão obtida com o primeiro geofone do FWD (D_{f1}), posicionado no local de aplicação da carga, observa-se que o pavimento possui deflexão média de 18×10^{-2} mm, com desvio padrão de $9,9 \times 10^{-2}$ mm. A figura 17 mostra alguns resultados de bacias deflectométricas da rodovia.

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que o subleito ao longo da rodovia apresenta caracte-

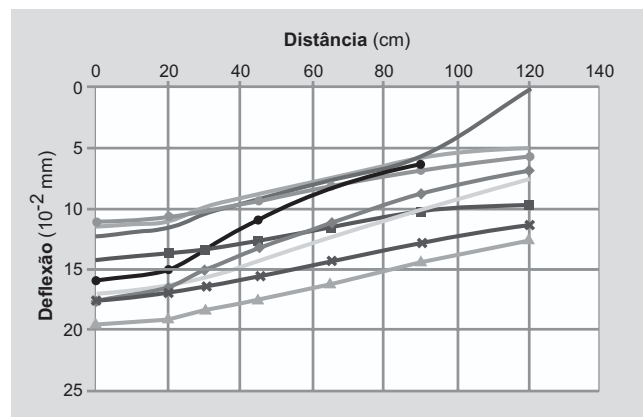


Figura 17 – Bacias deflectométricas características da rodovia.

terísticas adequadas para a utilização da solução por fragmentação. Além disso, os resultados de deflexão mostram que, em termos de suporte, o pavimento possui bom comportamento. Porém, considerando o estado das juntas transversais e longitudinais, bem como a quantidade de fissuras observadas nas placas de concreto, conclui-se que a reflexão de trincas é o principal problema a ser trata-

do na hipótese da restauração do pavimento com revestimento asfáltico.

Nesse sentido, portanto, optou-se por estudar a aplicação da técnica da fragmentação como tratamento das placas no intuito de reduzir o risco de reflexão de trincas quando do recapeamento com concreto asfáltico. Outras técnicas que objetivam retardar o aparecimento das trincas refletidas, tais como a utilização de polímeros no cimento asfáltico ou a aplicação de mantas sintéticas (geogrelhas) de alta resistência à tração, também são tecnicamente aplicáveis no presente caso. Contudo, uma análise econômica é fundamental para a definição da solução técnica mais vantajosa técnica-economicamente.

A definição da espessura de revestimento asfáltico quando da aplicação da técnica da fragmentação pode ser feita considerando os conceitos da mecânica dos pavimentos como apresentado em Mello et al. (2011).

5.3 Análise econômica

Toda solução criada para resolução de um problema na Engenharia, nesse caso a restauração de um pavimento rígido, deve vir acompanhada de uma análise econômica de sua viabilidade. A escolha da melhor solução, então, está diretamente relacionada com os custos advindos da nova escolha. Com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização da solução aqui apresentada quando da restauração de um pavimento rígido, considerou-se uma situação ideal onde se tem um pavimento rígido com 7,0m de largura (duas faixas) a ser restaurado. As seguintes soluções escolhidas para fazer este estudo são:

- *Overlay* em pavimento rígido;
- Fragmentação e *overlay* revestimento asfáltico.

Para fazer o comparativo entre as soluções algumas premissas foram adotadas. Considerou-se que o pavimento rígido a ser restaurado apresenta estágio de deterioração elevado, inviabilizando a solução com reabilitação pontual. No caso da solução em *overlay* em pavimento rígido, o custo baseou-se numa espessura de placa de 22,0cm. Para essas

espessuras, o pavimento proposto deverá atingir uma vida útil mínima de 20 anos. Para a solução em fragmentação, a espessura de concreto asfáltico utilizado sobre a camada fragmentada foi de 20cm. Baseado em um dimensionamento utilizando os conceitos mecanísticos e considerando características estruturais da camada fragmentada obtida em trabalhos técnicos e normatizações norte-americanas, a espessura de 20cm de revestimento asfáltico sobre a camada fragmentada resultaria numa vida útil equivalente a do *overlay* em pavimento rígido.

Para complementar o comparativo, foram definidos serviços complementares necessários para execução das duas soluções, tais como reconstrução de placas, camada intermediária sob o *overlay*, pintura de ligação, aquisição e transporte de materiais betuminosos etc. Os custos dos serviços foram obtidos de acordo com preços contratuais de um caso real, atualizados para dezembro de 2010. O custo do serviço de fragmentação foi definido como sendo R\$ 20,0/m, considerando a produtividade estimada num caso real. A produtividade da máquina foi estimada em 90.000m/mês, ou seja, cerca de 13km/mês numa plataforma de 7,0m.

O comparativo do custo das soluções deve levar em consideração o estado atual do pavimento. Para o caso da solução em *overlay* com pavimento rígido, considerou-se que um percentual de placas do pavimento a ser restaurado deveriam ser removidas. Esse quantitativo de placa a ser removido reflete diretamente no custo da solução, tendo em vista serem serviços de custos elevados. No caso da solução em fragmentação, optou-se por considerar que as placas em estágio avançado de deterioração, após a fragmentação, poderiam servir com camada de base.

A figura 18 ilustra o comparativo dos custos das duas soluções, variando-se o percentual de placas a serem removidas. Como mencionado anteriormente, quanto maior o percentual de placa, maior o custo da solução em *overlay* com pavimento rígido. O custo da solução em fragmentação, nessas condições, é independente do percentual e menor que o custo

da solução em *overlay*. Observa-se que, para um percentual reduzido de placas a serem substituídas, os custos das duas soluções se equivalem. Certamente, nesses casos, outras soluções devem ser analisadas, tal como intervenções pontuais nas placas.

Entretanto, a ideia de realizar comparativos de custos das duas soluções aqui expostas nem sempre

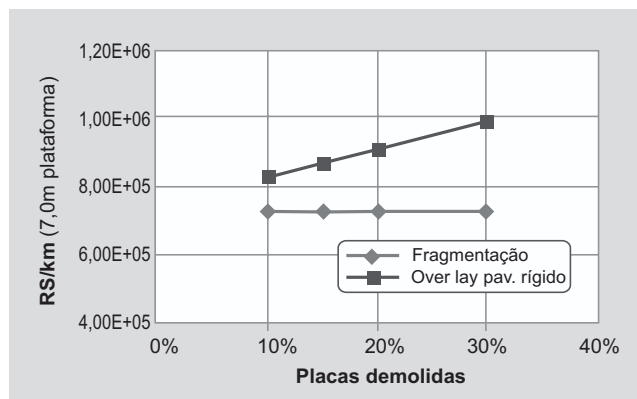


Figura 18 – Comparativo dos custos das soluções.

é uma proposta viável. Isso porque muitas vezes são soluções com objetivos distintos. A decisão de reabilitar um pavimento rígido deve passar por uma série de análises em relação ao custo da reabilitação, o prazo para a execução dos serviços, a futura perspectiva de uma reabilitação ou, inclusive, de uma necessária adequação de capacidade em função do crescente tráfego. Portanto, a agência responsável pela rodovia pode escolher uma solução cuja resposta executiva seja mais rápida em relação às demais, embora sua vida útil não seja tão elevada comparada a outras soluções. A solução utilizando o processo da fragmentação encaixa-se nessas condições, pois permite a reabilitação de um pavimento rígido de forma ágil, sem muita interferência com o tráfego.

Nesses casos, após esta reabilitação inicial, pensar em uma intervenção de maior porte numa segunda etapa, como, por exemplo, a reconstrução do pavimento, possibilitará um maior prazo para o planejamento de sua execução. Se, por outro lado, a proposta é realizar uma intervenção pesada de imediato, outras soluções passam a ser mais vantajosas do ponto de vista técnico-econômico. É por es-

sas razões que um comparativo entre soluções de reabilitação de pavimentos rígidos deve ser analisado de forma cautelosa.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar técnicas de reabilitação de pavimentos rígidos quando da utilização dos tratamentos antirreflexão de fissuras. Dentre as metodologias conhecidas, a fragmentação vem sendo uma solução que se mostra viável tanto técnica quanto economicamente. Sua utilização vem sendo largamente utilizada em outros países, especialmente nos EUA. No Brasil, sua técnica ainda não foi utilizada, e as reabilitações de pavimentos rígidos em rodovias federais continuam utilizando as técnicas tradicionais.

Um caso prático foi apresentado como uma possibilidade de aplicação da técnica de fragmentação, baseando-se em ensaios de campo e laboratório. Os resultados mostram que ensaios comumente utilizados podem definir se a técnica pode ser aplicada, tendo em vista que em certos casos sua utilização não é recomendada. No presente caso, observou-se que o comportamento mecânico das camadas de suporte do pavimento rígido apresentado permitia condições apropriadas para a aplicação da fragmentação.

Além da apresentação da técnica, dos detalhes construtivos e equipamentos utilizados, demonstrou-se que sua viabilidade econômica é possível em certos casos. Porém, é importante ressaltar que comparativos econômicos devem ser avaliados com cautela quando os objetivos da reabilitação são distintos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às empresas envolvidas neste trabalho, permitindo a obtenção dos resultados dos ensaios e das informações mais detalhadas sobre a técnica da fragmentação. Especial atenção aos técnicos do *Winsconsin Department of Transportation – WDOT*.

REFERÊNCIAS

- AI (2007). *The Asphalt Handbook MS-4*. Asphalt Institute. 2nd Edition
- AL-REFEAI, T. & AL-SUHAIBANI, A. (1997). Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer. *Journal of King Saud University*, Vol. 9, pp. 191-204.
- ANTIGO CONSTRUCTION INC. (www.antigoconstruction.com).
- CARVALHO, R. G. (2005). Correlações entre ensaios DCP e CBR para solos saprolíticos de textura fina. *Tese de Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos, SP, 141 pp.*
- CHEN, D., LIN, D., LIAU, P., B., J. (2005). A Correlation Between Dynamic Cone Penetrometer Values and Pavement Layer Moduli. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 28, Issue 1, pp. 42-48.
- DECKER, D. S. (2006). Rubblization – Design and Construction Guidelines on Rubblization and Overlaying PCC Pavements with Hot-mix Asphalt. *NAPA – National Asphalt Pavement Association, Information Series 132, 32 pg.*
- DECKER, D. S. & HANSEN, K. R. (2006). Design and Construction of HMA Overlays on Rubblized PCC Pavements. *TRC E-C087, Transportation Research Circular E-C087: Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements. Transportation Research Board, Washington, DC.*
- FREEMAN, T. E. (2002). Evaluation of Concrete Slab Fracturing Techniques in Mitigating Reflective Cracking Through Asphalt Overlays. *Final Report, Virginia Transportation Research Council.*
- GEORGE, V., Rao, N. C., Shivashankar, R. (2009). PFW, DCP and CBR Correlations for Evaluation of Lateritic Subgrades. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 10, Issue 3, pp. 189-199.
- HECKEL, L. B. (2002). Rubblizing With Bituminous Concrete Overlay – 10 Years's Experience in Illinois. *Physical Research Report n 137, Illinois Department of Transportation, 83 pg.*
- MELLO, L. G. R., FARIAS, M. M., NETO, E. C., RORIZ, A., MORHEB, J. M. (2011). Dimensionamento de um Pavimento Utilizando Conceitos Mecânicos na Reabilitação de Pavimentos Rígidos – A Técnica da Fragmentação. Artigo submetido à Revista Pavimentação – ABPV.
- SCHUTZBACH, A. M. (1988). The crack and seat method of pavement rehabilitation. *Physical Research Report n. 104, Illinois Department of Transportation, 44 pg.*
- SHINNERS, G. (2009). From Crack and Seat to Rubblization. *Apresentação feita em junho de 2009 ao Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes.*
- SHT (1992). *Standard Test Procedures Manual. Dynamic Cone Penetrometer. STP 240-20 Saskatchewan Highways and Transportation*, 9 pg.
- THOMPSON, M. (1999). Hot-Mix Asphalt Overlay Design Concepts for Rubblized Portland Cement Concrete Pavements. *Transportation Research Record, 1684, pp. 147-155.*
- THOMPSON, M. (2006). Rubblization Using Multi-Head Breaker Equipment. *TRC E-C087, Transportation Research Circular E-C087: Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements. Transportation Research Board, Washington, DC*
- THOM, N. (2008). *Principles of Pavement Engineering*. Thomas Telford Publishing, 1st Ed., Londres, UK, 469 pg.
- VON QUINTUS, H. L., RAO, C., MALLELA, J., AHO, B. (2007). Guidance, Parameters and Recommendations for Rubblized Pavements. *Winsconsin Highway Research Program, WHRP 06-13, 77 pg.*
- WDOT (2009). *Facilities Development Manual 14-25-15 – Concrete Pavement Rubblization. Winsconsin Department of Transportation Roadway Standards.*
- WITCZAK, M. W. & RADA G. R. (1992). Asphalt Concrete Overlay Design Methodology for Fractured PCC Pavements. *Transportation Research Record 1374, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 19-26.*

Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

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

Basic guidelines for submission of technical articles and contributions

1. The magazine PAVIMENTAÇÃO is a technical-scientific publication by ABPv. All contributions to the Periodical must be exclusively technical and professionals from the Road, Railroad and Airport Engineering.
2. The magazine may also present special contents, written by its editorial staff and board of directors such as opinions and comments considered relevant to the technical-scientific community.
3. All articles and contributions such as unpublished technical notes may be sent all year long so that they can be published in one of the four annual editions or in the following year, depending on the number of selected contents.
4. All papers, whether scientific or technical, comments and letters forwarded for a future publication will be evaluated by three professionals who are members of the Technical-Scientific Committee of the magazine, and will be chosen according to the profile of their content. The evaluating committee will not have cognizance of the authors or papers before the evaluation, and authors will not be allowed to know the identity of those chosen to evaluate their papers.
5. The experts who evaluate papers receive from ABPv a questionnaire that indicate the items to be evaluated in each contribution/paper sent to magazine PAVIMENTAÇÃO, and they may suggest three options in order to forward them:
 - (I) The paper is accepted for publication;
 - (II) The paper is not accepted for publication and will be sent back to the author;
 - (III) The paper might be accepted, if the author agrees with making some changes which may be suggested by one or more experts.
6. It is up to the Board of Directors to judge all negligent cases and allow the publication of papers and contributions that are not all technical, eventually, due to approached subjects and space availability.
7. The authors will be aware of the evaluation result of any contents sent to magazine PAVIMENTAÇÃO as well as the destination of their documents that may be informed to the authors and they will also be informed of what will happen to their contribution, which could be: immediate publication in the following editions according to the number of papers; no acceptance for publication.
8. The authors who have their papers accepted must allow of contents with no copyrights, since ABPv is a non profit association and the magazine PAVIMENTAÇÃO is preferably addressed to its partners.
9. All contributions to magazine PAVIMENTAÇÃO must be preferably sent over the internet, and they may be written in PDF format. All the original papers must be produced in Microsoft Word. All pictures must be on separated sheets, and at least 300dpi resolution. If it is a digital pictures do not belong to the author, he or she will be responsible for both credits and references and authorization for their publication. For graphics, authors must use symbols instead of colors which can clearly distinguish all relevant information of the figure.
10. Contributions must be of at least 2 pages and 15, at most, in A4 format, Times New Roman, size 12, single spacing. An exceeding number of pages may be accepted in extraordinary cases, depending on the magazine's Editor.
11. Foreign papers should be sent in their native language, and it is up to the author to translate it into Portuguese. Authors are responsible for the proofreading and bibliographic references. Articles must also present an abstract of about 200-300 words and indicate up to 5 keywords.
12. These specifications may suffer some changes at any time, by the magazine's editor and by the Board of Directors of ABPv. All articles or technical contributions must be addressed according to the rules in force.

AS MELHORES SOLUÇÕES PARA PAVIMENTAÇÃO

As Pavimentadoras Caterpillar são a melhor escolha, para você que procura desempenho e economia no mesmo equipamento. A CAT AP-555, por exemplo, é equipada com o potente motor C4.4, com Tecnologia ACERT®, que promove uma combustão otimizada, gerando maior desempenho do motor e economia de combustível.

A máquina também possui:



- | | |
|--|--|
| • Tração Dianteira de série; | • Gerador elétrico de 25 KWa integrado á maquina; |
| • A maior velocidade de descolamento do mercado; | • O exclusivo material rodante Mobil-trac™; |
| • Duas estações de operação; Com o Sistema de Monitorização Advisor (AMS) integrado no posto esquerdo; | • Exclusivo sistema de transporte do material asfáltico com controles independentes para cada esteira e rosca sem-fim; |
| • Sistema de arrefecimento de alta capacidade; | • Aquecimento elétrico da mesa pavimentadora de série. |

Entre outras vantagens, é por isso que as máquinas pavimentadoras CAT são a sua melhor escolha. Entre em contato com um de nossos consultores e adquira agora mesmo a sua.



NO NORDESTE **CATERPILLAR** É MARCOSA

MAI: 0800 084 8585

Marcosa 

www.marcosa.com.br



18

A EXPERIÊNCIA
NOS LEVOU A
UM CAMINHO:
INVESTIR EM
ASFALTO.



A ALE, quarta maior distribuidora de combustível do país, apresenta mais um negócio com sua reconhecida qualidade: o fornecimento de produtos asfálticos. Agora, seu empreendimento pode contar com a agilidade e as soluções de uma logística de comercialização que abrange todo o país. Conheça os novos produtos e as facilidades que só uma distribuidora experiente e com atuação nacional pode oferecer.



- Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) – 30/45 e 50/70
- Asfalto Diluído de Petróleo (ADP) – CM 30
- Emulsões Asfálticas – RR 1C, RR 2C, RM 1C e RL 1C
- Asfaltos Modificados com Polímeros
- Emulsões Asfálticas Modificadas