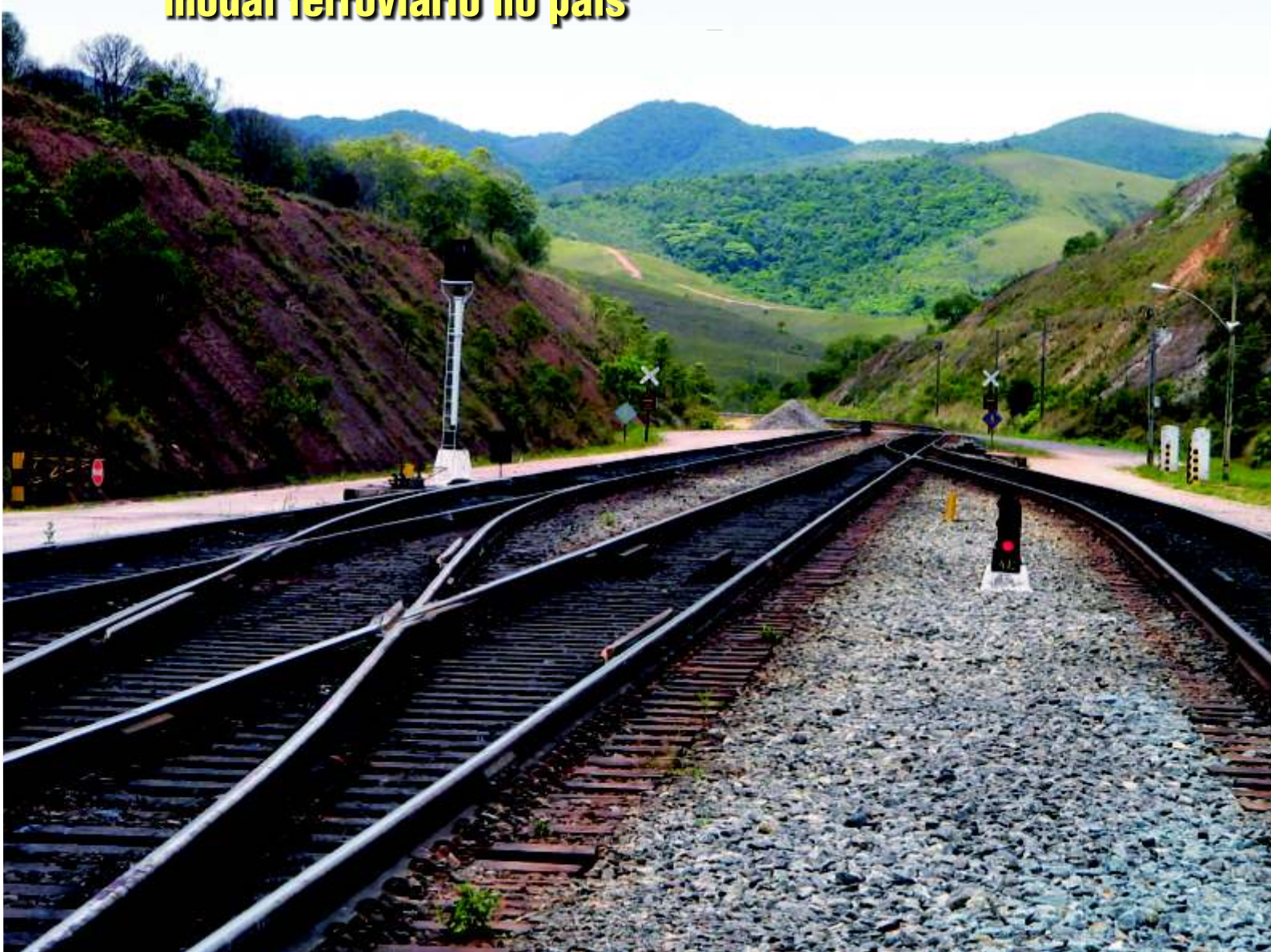




## Pavimentação ferroviária em destaque

- **Artigo técnico sobre o tema**
- **Matéria especial: a viabilidade de modal ferroviário no país**



# 39ª RAPV 13º ENACOR

## OS CAMINHOS DA INTEGRAÇÃO



REUNIÃO ANUAL  
DE PAVIMENTAÇÃO



ENCONTRO NACIONAL DE  
CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

### Temário:

#### 1. Pavimentação

- a. Materiais: asfálticos, concreto, solos, britas etc.
- b. Métodos de Dimensionamento:
  - pavimentos asfálticos
  - pavimento de concreto
  - pavimento ferroviário
  - pavimento aeroportuário
- c. Processos Construtivos
- d. Mecânica dos Pavimentos

#### 2. Manutenção

- a. Conservação
  - b. Reabilitação
  - c. Restauração
  - d. Melhoramento de Pavimentos
- #### 3. Planejamento, Gestão Rodoviária e Gerência de Pavimentos
- #### 4. Operação e Segurança Viária
- #### 5. Meio Ambiente
- #### 6. Drenagem



DE 16 A 19 DE SETEMBRO DE 2008  
CENTRO DE CONVENÇÕES DE PERNAMBUCO  
RECIFE / OLINDA



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

**CONSELHO EDITORIAL**  
Diretoria da ABPv

COORDENAÇÃO GERAL

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

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago  
MTb 27170-RJ

redacao@revistapavimentacao.org.br

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO**

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

**COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO**

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

Editoração Eletrônica: MURO Produções Gráficas

Revisão: Ellis Pinheiro

Impressão: GRAFITTO Gráfica e Editora Ltda

Tiragem: 5.000 exemplares – Periodicidade: Trimestral



**Nossa capa:**

A pavimentação ferroviária passa a ser um tema constante na revista.

Foto de Henrique Apolinario Rody

# Sumário

- 2 Editorial
- 3 Seção de notas
- 6 Reflexões de uma viagem
- 8 Salvador sedia em grande estilo a Reunião de Pavimentação Urbana

**ARTIGOS TÉCNICOS**

- 12 Medida de permeabilidade em mistura asfáltica drenante – Proposta de ensaio de laboratório  
*Sérvulo A. Souza e Laura M. G. Motta*
- 24 Metodologia para determinação do módulo de resiliência do lastro ferroviário por retroanálise de bacias de deflexão  
*Henrique Apolinario Rody*
- 33 Avaliação sonora de pavimentos  
*José Luiz Lopes*
- 42 Estudo das propriedades de solos estabilizados com resíduo oleoso e cal  
*José Frankneto da Silva Cordeiro, John Kennedy Guedes Rodrigues, Leda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena e Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena*
- 51 Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

- 54 Fatos Históricos  
Bases de macadame hidráulico

# Editorial

Um senso comum a uma parcela do meio profissional é de que a pavimentação se refere caracteristicamente aos modais rodoviário e aeroportuário, tendo somente uma relação tênue com o modal ferroviário. *Contrarium senso*, a superestrutura ferroviária, conhecida como via permanente, estruturalmente tem função idêntica a um pavimento.

No livro intitulado *Mecânica dos Pavimentos*, dos engenheiros Jacques de Medina e Laura Maria Goretti da Motta, aparece a expressão “pavimento ferroviário” e mencionam-se alguns aspectos das semelhanças do ponto de vista tradicional (“na parte da infra-estrutura, no dimensionamento de espessuras de lastro e sublastro, tem-se adotado o método CBR, de origem rodoviária e aeroportuária (...) sendo que algumas diferenças dizem respeito à última camada pavimentada ou de rolamento para rodovia ou ferrovia – a grade e os trilhos ...”) ou mesmo da aplicação das análises mais modernas de tensão – deformação, módulos de resiliência e deformação permanente etc.

No livro *A Memória da Pavimentação no Brasil*, de Atahualpa Schmitz da Silva Prego, editado pela ABPv em 2001, já se fazia menção à necessidade de introduzir os assuntos da pavimentação ferroviária nos eventos da ABPv e nas “preocupações” dos engenheiros dedicados aos pavimentos. No contexto atual de retomada dos investimentos em construções de novos trechos ferroviários, o momento torna-se propício a esta integração de modais na nossa revista.

A partir desta edição, a Revista PAVIMENTAÇÃO passa a tratar continuamente o tema da pavimentação ferroviária, seja através de artigos, seja através de reportagens especiais. Iniciamos com o colunista convidado, engenheiro civil Emerson Mello, especialista em transporte pela UFRJ e mestre em transportes pelo IME. Mello descreve suas impressões sobre o transporte ferroviário urbano nas cidades que visitou na Europa durante suas férias e discute a viabilidade deste modal no Brasil.

Quatro artigos técnicos são apresentados nesta edição. Os engenheiros Sérvulo A. Souza e Laura Maria Goretti da Motta descrevem um ensaio para medida de permeabilidade em mistura asfáltica drenante. O engenheiro Henrique Apolinário Rody aborda a metodologia para determinação do módulo de resiliência do lastro ferroviário por retroanálise de bacias de deflexão. O tema avaliação sonora de pavimentos é analisado pelo coordenador técnico de Higiene Ocupacional José Luiz Lopes. E, finalmente, o quarto artigo faz um estudo sobre as propriedades de solos estabilizados com resíduo oleoso e cal, de autoria de José Frankneto da Silva Cordeiro e colegas.

Entre os dias 28 e 30 de maio, aconteceu em Salvador a 15ª Reunião de Pavimentação Urbana (RPU), promovida pela ABPv. Este número da Revista traz a cobertura completa do evento, que foi marcado pelo sucesso de público e pelo conjunto de palestras e trabalhos técnicos apresentados, que mais uma vez teve como principal característica a alta qualidade dos assuntos abordados.

Na próxima edição traremos mais artigos técnicos interessantes e não percam a oportunidade de participar do maior evento de pavimentação do País, a 39ª Reunião de Pavimentação (RAPv) e o 13º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) – Os Caminhos da Integração. O evento este ano será no Recife, Pernambuco, entre os dias 16 a 19 de setembro.

# Seção de notas da Revista PAVIMENTAÇÃO

## Homenagem ao Eng<sup>o</sup> Ozéas Nunes Amorim

\*19/08/1924 †06/06/2007

A ABPv homenageia nesta edição o Eng<sup>o</sup> Ozéas Nunes Amorim, falecido no início de junho, da qual foi presidente nos anos de 1961 a 1964.



Profissional de renome, cursou a Escola Nacional de Engenharia. Sua contribuição para a engenharia de pavimentos foi primorosa, principalmente por estar sempre a frente da defesa no rigor do cumprimento das normas e técnicas que fundamentam a pavimentação.

Quando presidiu a ABPv, conduziu a Associação com segurança e firmeza, sempre enaltecendo o nome da entidade no sentido de fazer valer seus objetivos. Também foi sócio representativo da Sociedade Brasileira de Mecânica dos Solos, membro da American Society of Civil Engineers, dos Estados Unidos, e ainda membro da International Soil Mechanics Association, de Londres. Além de um grande engenheiro, Ozéas Nunes Amorim também mantinha laços estreitos com a poesia, num flerte que resultou em belos escritos (veja no box). Seus poemas são um orgulho para sua família e um soa como alento para os ouvidos dos admiradores do homem, do engenheiro e do poeta.

### Retalhos

<i>Minhas saudades, Retalhos da vida</i>	<i>Colorida por alegrias passadas, Por saudades.</i>
<i>Que corto e aparo, E, cada um, lado a lado,</i>	<i>E quando o tédio a mim chega, E o frio do isolamento me desperta,</i>
<i>Os ponho numa colcha. Fica ela, assim,</i>	<i>Com ela me cubro, durmo E volto a sonhar.</i>

ARQUIVO FAMILIAR

## Pesquisa de Rotas de Produtos Perigosos

Aconteceu na Associação Comercial do Rio de Janeiro (ACRJ), no dia 20/05/2008, o Seminário sobre Pesquisa de Rotas de Produtos Perigosos. O evento apresentou estudos e atualização do banco de dados na identificação de rotas de transporte de produtos perigosos na malha rodoviária federal, utilizando o programa TransCAD. O DNIT, através do IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias),



Da esquerda para a direita: Eng<sup>o</sup> José Antônio de Franco, Eng<sup>o</sup> Ricardo Lisboa da Cunha, Eng<sup>o</sup> Pedro César Adami, Eng<sup>o</sup> Regina Célia Suzano Avena, Geógrafo Luiz Felipe Daudt de Oliveira e Biólogo Camilo Pinto de Souza

continua na divulgação de mais informações e conhecimento, procurando orientar toda a cadeia logística de transporte. O software proporciona uma forma mais segura na escolha de rotas mais econômicas, auxiliando os usuários de todos os tipos de transporte nas suas atividades.

## Sucesso marca os seminários promovidos pela Fundação DER-RJ

No dia 29 de abril próximo passado, no auditório do Edifício Sede Fundação DER-RJ, foi realizado o Seminário sobre Asfalto Natural, que discutiu as vantagens na cons-

trução de rodovias, leitos de pontes, portos e aeroportos. Discorreram sobre os temas os engenheiros João Batista Gioia, Clauber Costa e Raymond Charles.

O segundo foi sobre Sinalização e Segurança Viária, realizado no dia 15 de maio com apresentação de novas tecnologias para os diversos tipos de pavimentos, contando com representantes de renome da ABCP, Hot Line, USP e 3M do Brasil. Presentes no evento a Dra. Aurea Rangel, Prof. Dr. Antonio Clovis Pinto Ferraz, Leonardo Tassinato e Dr. Ronaldo Vizzoni.

Com o tema Gerência de Pavimentos e Novas Tecnologias em Pavimentação, o terceiro seminário ocorreu no dia 4 de junho. Na ocasião foram abordados os sistemas de gerência de pavimentos, as novas tecnologias para controle tecnológico de Obras Rodoviárias e Processos para selagem de Trincas. Os palestrantes foram Dr. Ernesto Preussler e Dr. Amin Saflate.

## Meio ambiente, um parceiro no desenvolvimento nacional

No dia Internacional do Meio Ambiente 5/6, no auditório do Instituto Militar de Engenharia, o Centro de Excelência em Engenharia de Transportes (CENTRAN), com o apoio do DNIT e do EB, realizou um ciclo de palestras que teve como objetivo fazer intercâmbio de informações entre universidades, instituições e a sociedade.

## Odebrecht vai premiar estudantes

Até o dia 31 de julho, a Odebrecht receberá através de seu site inscrições para o Prêmio Odebrecht – Contribuições da Engenharia para o Desenvolvimento Sustentável. Estudantes do curso de graduação em engenharia de todo o Brasil poderão participar do concurso com dissertações, na linha do tema proposto. A intenção é promover projetos que mostrem a contribuição da engenharia para o desenvolvimento sustentável. Para tanto, três pilares precisam ser observados: viabilidade econômica, responsa-

bilidade ambiental e inclusão social. Os projetos enviados deverão ser inéditos e originais.

Serão premiadas as cinco melhores dissertações. Os autores, orientadores e as universidades responsáveis por esses projetos receberão R\$ 20 mil cada. Também serão concedidas menções honrosas para mais cinco dissertações. No total, 10 projetos serão publicados em livro comemorativo. O endereço do site é [www.odebrecht.com/premioodebrecht](http://www.odebrecht.com/premioodebrecht).

## Lançamentos Editoriais

Lançado na 15ª RPU, o *Manual de Pavimentação Urbana – Projetos de Drenagem, Vol. II*, da ABPv, de autoria dos Engenheiros Francisco José d’Almeida Diogo e José

Carlos Sciammarella. A perspectiva é de que a drenagem de vias urbanas, como apresentada no Manual, venha a se tornar instrumento de valor inestimável na execução de pavimentos urbanos.

A durabilidade dos revestimentos a partir das normas do Manual proporcionará a rodagem segura dos veículos automotores e o deslocamento com conforto e segurança dos pedestres.

A revisão dos manuais de pavimentação urbana foi idealizada pelo saudoso engenheiro químico Jorge Eduardo Salathé, sendo, portanto, esta a primeira revisão publicada.



No dia 17/6 foi lançado o *Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários*, de autoria do Prof. Doutor Wlastermiller de Senço. O evento de lançamento ocorreu no auditório da livraria Cultura em Campinas, interior de São Paulo.

## 100 anos da imigração japonesa Homenagem aos engenheiros descendentes

O Brasil comemora neste mês de junho um século da imigração japonesa nas terras tupiniquins. A Associação Brasileira de Pavimentação, no ensejo desta efeméride, presta suas honras, particularizando os engenheiros nisseis, sanseis e yonseis (filhos, netos e bisnetos de japoneses, respectivamente).



## Reinauguração do LTP da USP

No dia 12 de junho foi reinaugurado o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação "Prof. Dr. Job Shuji Nogami", na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

A cerimônia de reinauguração contou com palestras do Prof. Dr. Matthew Witzak – "O Novo Guia de



Dimensionamento de Pavimentos Mecânico-Empírico da AASHTO 2007", e do Eng. Yves Brosseaud – "As Características de Superfície de Revestimentos Asfálticos".

O encerramento houve com uma homenagem ao Prof. Dr. Nogami.

Na ocasião, o Eng. Douglas Fadull Villabor relembrou em eloqüente discurso que o ilustre engenheiro formou-se pela Escola Politécnica da USP, fez especialização na Purdue University, em 1958, e doutorado na USP, em 1967. Foi docente, por duas décadas, do Departamento de Engenharia de Transporte da EPUSP e responsável pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação. Na Pós-Graduação, ministrou várias disciplinas e orientou diversas dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Nogami dedicou-se, por mais de 30 anos, à USP e ao DER-SP, tendo sido por 20 anos responsável técnico e orientador do grupo de pesquisas "GT-40", no desenvolvimento dos estudos de solos tropicais e de pavimentação econômica, e chefe do laboratório central do DER-SP.

Entre as publicações do Eng. Nogami, Villabor destacou os mais de 140 trabalhos técnicos, a maioria deles apresentados nas Reuniões Anuais de Pavimentação

(RAPv), promovidas pela ABPv, dos quais 18 foram premiados e quatro receberam o prêmio Pontes Corrêa, cabe ressaltar que o prêmio Pontes Corrêa é destinado ao melhor trabalho técnico apresentado nas RAPvs, além de mais um estudo premiado como o melhor do Seminário Nacional de Rodovias Vicinais (ISENAVI), promovido pela Associação Rodoviária do Brasil (ARB) e DER-SP da Secretaria de Transportes – São Paulo.

No meio rodoviário nacional e internacional, o Eng<sup>o</sup> Nogami é reconhecido como um de seus maiores

especialistas; além de ter sido o mentor e responsável no desenvolvimento da Sistemática MCT para o estudo dos Solos Tropicais, hoje oficializada em órgãos nacionais.

# Reflexões de uma viagem

**Colunista convidado escreve sobre o transporte ferroviário na Europa e projeta a viabilidade deste modal no Brasil**

## Emerson Mello

Engenheiro Civil, especialista em transportes pela UFRJ e Mestre em transportes pelo IME  
ferme.engenharia@gmail.com

Acabo de chegar de uma viagem de turismo pela Europa. No entanto, as impressões desta viagem que hora compartilho com os leitores da Revista PAVIMENTAÇÃO são do olhar do Engenheiro, amante da profissão em todas as suas áreas, mas particularmente da Engenharia Ferroviária. Passo, então, a descrever algumas observações dessa minha forma muito particular de fazer turismo.

O roteiro teve extensão o suficiente para inundar os olhos do profissional de paisagens das mais diversas e fascinantes. Paris foi o ponto inicial, e de lá segui nesta ordem: Bruges, Amsterdã, Bremen, Hamburgo, Berlim, Dresden, Bamberg, Nuremberg, Ratisbona, Dachau, Munique, Fussen, Meersburg, Constanza, Donaueschingen, Schallsstadt, Estrasburgo e, finalmente, retornado à capital francesa.

Cansado? Sim, exausto. Mas valeu cada instante, pois emocionei-me diversas vezes. Numa delas estava indo para a Holanda onde fiquei fascinado com os meios de transporte. E no retorno a Paris, apesar das magníficas rodovias com o ônibus trafegando a 110km/hora, os trens davam um banho de velocidade, ali ao lado das rodovias. Todos



VLT Berlim

os brasileiros a bordo foram unânimes em concordar comigo: o Brasil “trem jeito”, basta o Estado prezar pela eficiência e investir pesadamente no transporte ferroviário.

Disto, que constatações tirei? Os executivos europeus viajam de trem pela Europa. Algumas empresas fazem inclusive seminários e eventos de pequeno porte em trens. O sistema Wireless (rede de comunicação sem fio) é uma realidade. Portanto, com essa tecnologia colocou-se termo na barreira para que o trem fosse uma opção para eventos corporativos, e também de outras naturezas diversas, claro.

Tive a oportunidade de conversar no hotel com alguns brasileiros que estavam participando de um seminário de TI. Um provinha de Brasília e outro de Curitiba. Ao saberem

que eu era um defensor ferrenho do sistema ferroviário, ficaram felizes e o papo tomou grande dimensão. Perguntei a eles se já tinham ouvido falar da reserva de mercado para a informática no Brasil, e eles, apesar de serem dessa área que sofreu enorme atraso tecnológico em nosso País, nada sabiam a respeito. Disse-lhes, então, que no segmento ferroviário o atraso tecnológico é a mesma coisa. Se nos detivermos em preservar “reserva de mercado” para as ferrovias, iremos cada vez mais nos defasar.

É preciso, peremptoriamente, que tenhamos a ousadia de abriremos esse mercado, tanto no transporte de bens

aérea em baixa voltagem, com altas taxas de aceleração e frenagem. Parece uma quimera para o Brasil. Mas não é, como já abordei.

No transporte de carga, a grande sacada são os trens e caminhões na carga containerizada e barcaças nos graneis, através de rede de canais com intermodalidade. Tudo é uma questão de logística.

Impressionou-me bastante a modularidade da via permanente nos VLTs com utilização de placas pré-moldadas, inclusive em curvas de pequenos raios e nas mudanças de via, tudo planejado sem agredir a mobilidade urbana.

Percebi de forma clara, principalmente na verdíssima Alemanha, que o trem não agride o meio ambiente. O espaço ocupado por sua faixa de domínio é mínima, convivendo harmonicamente com a imensidão verde do interior daquele país. Não seria essa a solução para a ligação Manaus-Porto Velho? Já existem idéias aqui no Brasil sobre a via permanente ferroviária ecologicamente correta, onde a floresta não sofreria agressões. Nos centros urbanos, os VLTs se dão ao luxo de serem gramados ao longo de sua faixa.

Diante dessas impressões, convido o leitor para um exercício de reflexão. No Brasil, País de contradições, temos o povo mais simpático e também o mais mal-educado do mundo. Simpatia é um dom divino e educação é um processo (grifo). Educação de qualidade não é apenas salutar, é fundamental para a construção de uma sociedade que produz e modifica seu espaço. Tudo só depende de nós sermos ao mesmo tempo simpáticos e educados. Não podemos ficar atrelados a decisões dos governos. Se acreditamos, podemos nos unir.

O mundo está cada vez menor graças à tecnologia. Temos uma pujante engenharia de projetos, uma indústria ferroviária que vem dando mostras de sua capacidade de recuperação e empresas de construção pesada de nível internacional. Se nos unirmos à inteligência ferroviária internacional poderemos dar um grande salto no médio prazo.

A infra-estrutura no Brasil não tem mais um minuto a perder, é agora ou nunca. Os setores ferroviário e portuário estão a clamar por investimentos de vulto e não migalhas, nos quais se constroem uma estação e 2km de linha de metrô a cada quatro anos, 20km de linha de carga por período de governo, e apenas remendos no setor portuário. A moda é o trem, mas não podemos perder o bonde da História.



quanto no de pessoas e que sejam bem-vindas as empresas que quiserem trazer novas idéias e novas tecnologias. Isso tudo, claro, dentro de uma política pública capaz de regulamentar o setor e fomentar a transferência de tecnologia.

Fico imaginando no Brasil a situação harmônica, dirigida e coordenada que vi lá fora. O VLT, o automóvel, a motocicleta, a bicicleta e o ônibus convivem harmonicamente em grandes e médios centros urbanos com extrema eficiência, segurança e conforto para os usuários. Acredito, ademais, que isso também é resultado da educação historicamente tida como de qualidade dos países europeus.

Note-se que CBUQ como pavimento puro e simples não se usa mais. Somente com misturas, principalmente aparas de borracha e outros aglomerantes. Não se faz também mais “bacalhau” em pavimentos (Oh! meu Deus, a Av. das Américas no Rio de Janeiro!) e sim escarificação (fresagem) por trecho. VLT é fascinante com truques cada vez mais leves e chaves-mola nas vias. Tomada de corrente

# Salvador sedia em grande estilo a Reunião de Pavimentação Urbana



Riqueza histórica. Estas duas palavras qualificam sobremaneira a capital baiana. Não menos é também conhecida por seu empolgante carnaval, famoso no mundo inteiro.

Salvador foi fundada em 29 de março de 1549. Primeira capital do País, ostentou este posto até 1763. Também foi a primeira metrópole lusitana fora de Portugal, durante mais de 200 anos.

A cidade possui uma arquitetura que a torna muito semelhante a Lisboa e ao Porto, as duas grandes cidades portuguesas. Antigamente, Salvador era chamada de Bahia, inclusive por moradores do próprio Estado. Também já recebeu alguns nomes pitorescos como o de "Capital da Alegria", devido a seus enormes festejos populares, como o

seu carnaval, e "Roma Negra", por ser considerada a metrópole com o maior percentual de negros localizada fora da África.

Atualmente, Salvador possui 3.677.060 habitantes (dados IBGE/2007), o que a torna a segunda cidade mais populosa do Nordeste, a sexta do Brasil e a 111ª do mundo.

Foi nessa atmosfera soteropolitana que se realizou entre os dias 28 e 30 de maio o 15º Reunião da Pavimentação Urbana (RPU), promovida pela ABPv. No dia 27, porém, no ensejo do evento, ocorreu o Fórum de Prefeitos, Secretários de Obras e Fornecedores.

O primeiro dia do evento teve a abertura solene à noite com a presença das autoridades do Governo do Es-



FOTO | DIVULGAÇÃO



Da esquerda para direita: Jorge Halla, Mauro Del Gigante, Cláudio Romeo Schlosser, Francisco José Gomes Mesquita, Eduardo Alberto Ricci, Luis Edmundo de Passos Campos, Antonio Carlos Batista Neves, Paulo Sérgio Eirado Pithon Sarno, Eder Viana e João Coelho

FOTO | HIRANÉZ REIS

tado da Bahia, da ABPv, da Caixa Econômica Federal, da ABEDA e da Petrobras, que foi a patrocinadora oficial do evento. Estiveram presentes ainda representantes da Universidade Federal da Bahia.

O Secretário de Infra-Estrutura, Antônio Carlos Baptista Neves, representando o Governador Jacques Wagner, em seu discurso, afirmou que o evento dessa magnitude veio ao encontro do objetivo do Governo do Estado em reaparelhar o DERBA (Departamento de Estradas de Rodagem da Bahia). Na oportunidade, o secretário parabenizou a ABPv por sua contribuição relevante para a pavimentação no País.

O diretor da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Prof<sup>o</sup> Luis Edmundo de Passos Campos, em sua falação, agradeceu a todos os palestrantes que atenderam ao convite de expor suas idéias e seus trabalhos, a todo o público envolvido na administração do evento, ao apoio das instituições públicas e privadas

e a contribuição primorosa dos patrocinadores que acreditaram no evento.

O Eng. Eduardo Alberto Ricci, Diretor-Presidente da ABPv, em seu discurso agradeceu a recepção por parte dos baianos e falou dos objetivos que a Associação persegue para continuar sua caminhada na difusão e promoção da pavimentação. Lembrou ainda que, no próximo ano, a ABPv completará meio século de existência, com grandes contribuições ao País.

Ricci citou ainda uma grande conquista da ABPv, que foi a Revista PAVIMENTAÇÃO, lançada há dois anos e que se consolidou como uma publicação respeitada no meio acadêmico e profissional; também ressaltou a importância



Eng<sup>o</sup> Claudenor Santos, Petrobras, durante a palestra sobre Pavimentos Urbanos

FOTO | HIRANÉZ REIS



Eng. Douglas Villabor, LENC, durante a palestra sobre Pavimentos de Vias Urbanas com Solos Tropicais

FOTO | HIRANEZ FREITAS



Engenheiros Jorge Henrique Ribeiro, Francisco José d'Almeida Diogo e José Carlos Sciammarella

FOTO | GEORGINALIBRARIO AZEVEDO



Jantar de confraternização

FOTO | HIRANEZ FREITAS

do *Manual de Pavimentação Urbana – Projetos de Drenagem, Vol. II*, que foi lançado naquele evento.

Dada a importância do Manual para os profissionais, a ABPv homenageou os responsáveis pela elaboração do mesmo, os engenheiros Jorge Henrique Ribeiro, Francisco José d'Almeida Diogo e José Carlos Sciammarella, com o prêmio Mário Kabalem Restom. Este prêmio é concedido a profissionais que prestam relevantes contribuições para a área de pavimentação.

Representando a Caixa Econômica Federal, Paulo Sérgio Eirado Pithon Sarno mencionou sobre o volume de recursos do PAC para obras rodoviárias, enfatizando os financiamentos do FGTS e do FAT.

Em nome da Petrobras, Marco Claudio Romeu, coordenador do Centro de Estudo de Asfatos, falou do apoio da Estatal ao evento, tendo em vista os 15 anos de edição da Reunião, que sempre deixou um legado importante para a engenharia nacional. Em oito palestras de altíssimo nível, foram abordados diversos temas de extrema relevância, desde materiais para pavimentação, estudos e projetos a novas técnicas, manutenção, restauração e gerência de vias urbanas.

Mais uma vez, os trabalhos técnicos deram a tônica da produção científica do setor, com 34 trabalhos apresentados. Discussões calorosas em torno das técnicas e sua empregabilidade também abrilhantaram o evento, mostrando que a dialética é um instrumento fundamental no saber científico.

No dia 29 de maio, às 21h, os participantes da RPU se reuniram para um jantar de confraternização, realizado no Hotel Pestana. A noite foi marcada pela beleza e paladar da comida baiana e pela musicalidade do conjunto Canto de Rua, que embalou a interatividade cultural do evento.

E, finalmente, o evento teve seu encerramento no dia 30 de maio com uma solenidade marcada pelo discurso da Diretora Técnica da ABPv, Prof<sup>a</sup> Laura Maria Goretti da Motta, que ressaltou o sucesso do evento e convidou a todos para se reencontrarem na 39<sup>a</sup> RAPv/13<sup>o</sup> ENACOR, entre os dias 16 e 19 de setembro em Recife. E ainda destacou a agenda da próxima edição da RPU, que, em 2009, será realizada na capital de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

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

# Medida de permeabilidade em mistura asfáltica drenante

## Proposta de ensaio de laboratório

**Sérvulo A. Souza**

Mestre pela COPPE / UFRJ

[servuloandrade@ig.com.br](mailto:servuloandrade@ig.com.br)

**Laura M. G. Motta**

Professora Doutora COPPE / UFRJ

[laura@coc.ufrj.br](mailto:laura@coc.ufrj.br)

### RESUMO

Por meio de aparelho construído no Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ, executaram-se ensaios de permeabilidade em Mistura Asfáltica Drenante (MAD), em formato tradicional e segundo um método proposto, por chuva simulada. Avaliaram-se a base teórica e as características intrínsecas: Tamanho Máximo do Agregado (TMA) e Teor de Ligante (TL) na permeabilidade da MAD. Os corpos-de-prova foram confeccionados em Compactador Giratório SUPERPAVE (SGC). O ensaio tradicional foi o de carga constante, considerando o gradiente hidráulico da lei de Darcy. No ensaio por chuva simulada, busca-se avaliar a permeabilidade da mistura de forma mais realista. Na pesquisa, verificou-se experimentalmente que o escoamento da água em MAD ocorre em regime turbulento. O TMA e TL não se mostraram representativo na avaliação da permeabilidade na presente pesquisa. O ensaio por chuva simulada, ao avaliar a capacidade subsuperficial de escoamento, não necessita de interpretação pela lei de Darcy, mostrando-se assim uma avaliação simples e direta.

### ABSTRACT

Through a device built at the Laboratory of Paving of COPPE/UFRJ permeability tests in Asphalt Draining Mixture (ADM), in traditional formats and a proposed method for rain simulation were executed. The theoretical basis and the effects of the intrinsic characteristics: Maximum Aggregate Size (MAS) and Asphalt Content (AC) in permeability of the ADM were evaluated. The sample was molded in the SUPERPAVE Gyratory Compactor (SGC). The traditional test was constant head, considering the hydraulic gradient of Darcy's law. The test using rain simulation evaluates the permeability of the mixture in a more realistic way. It is verified experimentally that water drainage ADM in turbulent regime in research. The MAS and AC were not shown representative in the evaluation of the permeability in the present research. The test rain simulation measuring the capacity of subsurface drainage doesn't need interpretation for Darcy's law, showed simple and direct evaluation.

**PALAVRAS-CHAVE** – Ensaio de laboratório, chuva simulada e mistura asfáltica drenante.

## 1. INTRODUÇÃO

Para avaliar em laboratório a permeabilidade de uma Mistura Asfáltica Drenante (MAD), é tradicionalmente aplicada uma coluna d'água considerável sobre o corpo-de-prova (CP) da mistura. As bases teóricas usadas são a Equação da Continuidade e a lei de Darcy (PAIVA e SILVA, 2003; OLIVEIRA, 2003 e MUNIZ *et al*, 2004).

O procedimento tradicional, além de não modelar o fenômeno que busca representar, ou seja, a chuva, sugere que pouca atenção é dada em que regime ocorre o escoamento da água na mistura asfáltica drenante, o que pode provocar inconsistência teórica, quando o regime de escoamento não é laminar, pois, ao se aplicar à lei de Darcy em regime não-linear, se estará teoricamente superestimando a permeabilidade do material poroso (INNOCENTINI e PANDOLFELLI, 1999). Cabe ressaltar que para verificação do regime de escoamento usou-se o método experimental, diante da dificuldade de se avaliar o mesmo teoricamente (CARNEIRO, 1996).

Para a pesquisa construiu-se no Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ um aparelho denominado "gotejador" (SOUZA, 2008), que tornou possível a medida da permeabilidade em formatos tradicional e por chuva simulada, influenciada pelas características intrínsecas: Tamanho Máximo do Agregado (TMA) e Teor de Ligante (TL). As amostras foram confeccionadas no Compactador giratório SUPERPAVE (SGC). O ensaio por chuva simulada procura reproduzir um gotejamento sobre a superfície da MAD com características próximas da chuva natural; o ensaio comporta duas avaliações, uma que verifica a capacidade de escoamento subsuperficial, e outra, a permeabilidade, tão-somente para fins de comparações.

## 2. MISTURA ASFÁLTICA DRENANTE

### 2.1 Histórico

A necessidade de afastar da superfície do pavimento o excesso de chuva levou aos primeiros estudos sobre mistura asfáltica de granulometria aberta na década de 1930, no EUA. Na década de 1950, chegou-se ao revestimento chamado de Camada Asfáltica de Atrito de Graduação Aberta (*Open Graded Asphalt Friction Courses*), o OGFC, (CEDERGREEN, 1980, e MALLICK *et al*, 2000). Devido à sua notá-

vel capacidade de escoamento das chuvas, evitando o efeito danoso da hidroplanagem, a Federal Highway Administration (FHWA) e a Federal Aviation Administration (FAA) dos EUA criaram especificações para o OGFC no início da década de 1970 (KANDHAL e MALLICK, 1998, e PORTO, 1999).

No Brasil, estudos sobre mistura asfáltica drenante tiveram início na década de 1960 pela Diretoria de Engenharia da Aeronáutica, DIRENG, recebendo a denominação de Camada Porosa de Atrito, CPA, (BOTELHO *et al*, 2004). As primeiras aplicações de CPA no Brasil são datadas de 1983 na pista do Aeroporto de Confins, em Belo Horizonte, MG, em 1987, no recapeamento da pista do Aeroporto de Santos Dumont, no Rio de Janeiro, RJ, (FARAH, 1990 e BOTELHO *et al*, 2004). Em rodovia, a primeira aplicação da CPA foi em 1992 em trecho da Rodovia dos Bandeirantes, SP; e, posteriormente, em via marginal da Rodovia Presidente Dutra, em 1997 (NASCIMENTO *et al*, 1999).

Na França, a utilização de camada drenante evoluiu de tal maneira que se chegou ao que se chamou concreto asfáltico drenante, que propicia uma elevada drenagem superficial (PORTO, 1999). No Brasil, estudos têm sido feitos na Universidade Federal de Santa Catarina (MEURER FILHO, 2001, e DUMKE, 2005).

A MAD tem como principal função evitar a perda de contato entre o pneu e o pavimento, gerador do efeito nocivo da hidroplanagem (CAMPOS, 1998), devido à sua capacidade de escoar as chuvas subsuperficialmente, além de possuir elevada macrotextura.

### 2.2 Medida da permeabilidade e de chuva simulada em MAD

Na avaliação da permeabilidade, usam-se como bases teóricas a Equação da Continuidade e a lei de Darcy. A Equação da Continuidade para carga constante (escoamento permanente e vazão constante) é definida por:

$$Q = A v \quad (1)$$

sendo:

Q – vazão ( $L^3T^{-1}$ );

A – área do CP ( $L^2$ );

v – velocidade superficial de escoamento ( $LT^{-1}$ ).

A lei de Darcy tem como pressuposto que a velocidade de escoamento é proporcional ao gradiente hidráulico, e

que este é a razão entre a carga e a dimensão do material poroso no sentido do fluxo; sendo,  $k$  o coeficiente de proporcionalidade ou de permeabilidade, assim:

$$v = k i \quad (2)$$

$$i = \frac{h}{l} \quad (3)$$

sendo:

$k$  – coeficiente de proporcionalidade ou permeabilidade ( $LT^{-1}$ );

$i$  – gradiente hidráulico (Adim);

$h$  – carga hidráulica (L);

$l$  – dimensão do material poroso na direção do fluxo (L).

Desenvolvendo as equações (1), (2) e (3), chega-se à formulação (4), que representa a medida da permeabilidade em ensaio de carga constante:

$$k = \frac{QL}{Ah} \quad (4)$$

### 2.3 O Gotejador

Idéias para construção de aparelhos para simular a chuva natural não são novas. Desde década de 1930 pesquisadores, como LOWDERMILK (1930) e DULEY e HAYS (1932) *apud* MEYER e MCCUNE (1958), iniciaram estudos sobre o assunto. As dificuldades advinham das poucas informações sobre as características da chuva natural. Com os importantes trabalhos de LAWS (1941) e LAWS e PARSONS (1943) e a criação de bocais apropriados às pesquisas, tiveram avanços expressivos. Exemplos de simuladores de chuva são vários, entre eles o Gerador de Chuva Artificial (*Artificial Rain Generation*) desenvolvido por JAMES e LANGSDORFF (2003) *apud* MÜLLER (2005), o aparelho foi criado para realizar medidas de permeabilidade em pavimentos intertravados; também, o simulador de chuva desenvolvido por SOARES (2006) no Laboratório de Geotecnia da COPPE/UFRJ para verificação da estabilidade de talude artificial de solos coluvionares.

Na presente pesquisa para se avaliar a permeabilidade e verificar experimentalmente o regime de escoamento da água em mistura asfáltica drenante, foi construído no Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ, SOUZA (2008), um aparelho denominado “gotejador”. O apare-

lho possibilita a execução de duas configurações de ensaios, um tradicional e outro inovador, por chuva simulada. No ensaio tradicional, aplica-se uma coluna d’água sobre a amostra, já o ensaio por chuva simulada procura reproduzir um gotejamento sobre a superfície da MAD. O ensaio por chuva simulada comporta duas avaliações, uma que verifica a capacidade de escoamento subsuperficial, e outra, tão-somente para fins de comparação, a permeabilidade, quando intencionalmente se deixa formar uma pequena lâmina d’água sobre a amostra. A figura 1 ilustra as duas configurações possíveis do gotejador e suas partes principais: coluna de carga (nº 1), reservatório gotejador (nº 2) e tubo suporte do CP (nº 3). Em destaque na figura 2, encontra-se o reservatório gotejador, que torna possível variar a intensidade da chuva simulada e o diâmetro das gotas, através da variação da carga de água em seu interior (letra C) e do número de bicos gotejadores (letra D). O CP é fixado no tubo suporte, no qual também são feitas as verificações do escoamento subsuperficial e da lâmina d’água (ensaio de permeabilidade). O gotejamento apresenta, dentro do possível, as características da chuva de grande intensidade: diâmetro das gotas, velocidade de queda das gotas e intensidade. O aparelho gotejador tem aproximadamente como limites inferior e superior de intensidade de chuva simulada os valores de 41 mm/h e 609 mm/h, respectivamente. Na pesquisa, verificou-se tão-somente a capacidade do material drenante de absorver uma chuva simulada sem formar lâmina d’água definitiva, não se levou em conta o período de retorno da precipitação que se buscou simular.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na pesquisa, chamou-se de MAD dois tipos de revestimentos, a CPA e de ALDRE, o concreto asfáltico drenante, devido à sua Alta capacidade Drenante. Os agregados usados foram da região de Juiz de Fora, MG, caracterizado por MARQUES (2004). O ligante foi um RASF (modificado por 3% de polímero SBS), caracterizado por OLIVEIRA (1997); na tabela 1 e na figura 3, mostram-se, respectivamente, a composição ou projetos das misturas de CPA e ALDRE e suas curvas granulométricas. Nas escolhas de granulometrias e teores de ligante, buscou-se res-

paldo na norma DNER 386/99 e nos estudos da DIRENG para CPA, para ALDRE, os trabalhos de MEURER FILHO (2001) e DUMKE (2005). Na escolha das magnitudes de TMA e TL, buscaram-se valores que pudessem mostrar variação na medida de permeabilidade, além de possibilitar comparações. O TMA é definido como a abertura de peneira logo acima daquela que retém algum agregado (INSTITUTO DE ASFALTO, 1989).

A massa de material asfáltico para pesquisa teve como base a norma DNER ME 043/94; todavia, esta é baseada em amostras preparadas no compactador Marshall (diâmetro da base com 100cm e altura de 6,3cm) com massa de 1.200g. Na presente pesquisa, as amostras foram confeccionadas no Compactador Giratório SUPERPAVE (SGC) com diâmetro de 15cm; assim, aplicou-se a proporcionalidade para se obter amostra inicialmente com 50mm de altura, de massa equivalente a 2.145g.

O Compactador giratório SUPERPAVE (SGC) usa o princípio de compactação por amassamento. Tal princí-

pio representa melhor as condições de campo (NASCI-MENTO, 2006); além de possibilitar a obtenção de amostra com maior área superficial (diâmetro de 15cm). Foram confeccionados 36 CP, pois se usaram três TL: 4,2; 4,7 e 5,2%, quatro TMA: 9,5mm, 12,5mm (ALDRE), 12,5mm e 19,0mm (CPA); além de três amostras para cada composição ou projeto. Nas figuras 4 e 5, mostram-se o Compactador Giratório SUPERPAVE (SGC) do Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ e as amostras confeccionadas para a presente pesquisa, respectivamente.

### 3.1 Ensaio por chuva simulada

No ensaio de chuva simulada, primeiramente verifica-se o potencial do material drenante de escoar a chuva simulada sem formar na superfície do CP lâmina d'água definitiva (escoamento subsuperficial). Após a verificação mede-se a intensidade de chuva simulada usando o reservatório medidor (nº 4) da figura 6, aplicando a equação:

$$I = \frac{h'}{t} \quad (5)$$

sendo:

I – Intensidade da chuva simulada, (LT<sup>-1</sup>);

h' – altura de coluna d'água no reservatório gotejador, (L);

t – tempo, (T).

Na presente pesquisa, a "I" foi medida em mm/h (milímetro por hora). Cabe ressaltar que esta verificação é a proposta principal da presente pesquisa.

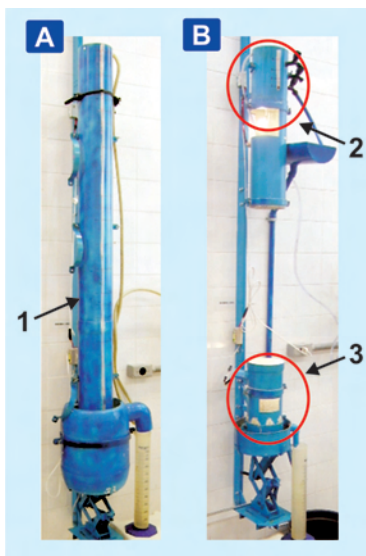


Figura 1 Configurações do gotejador: ensaio tradicional (coluna d'água) e ensaio por chuva simulada (SOUZA, 2008)



Figura 2 – Detalhe do reservatório gotejador, nº 2 da figura 1, (SOUZA, 2008)

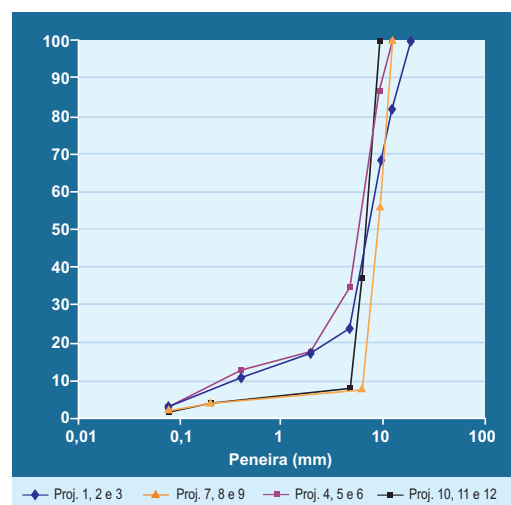


Figura 3 – Curvas granulométricas usadas na presente pesquisa

Tabela 1 – Composição dos materiais usados nas amostras submetidas aos ensaios tradicional e de chuva simulada

CPA <sup>(1)</sup>		ALDRE <sup>(2)</sup>		
		TMA (mm)		
19,0		12,5	12,5	9,5
		TEOR de ligante (%) <sup>(3)</sup>		
#	4,2		4,7	5,2
(mm)	% Passante (retirada)			
19,0	100			
12,5	82(18)	100	100	
9,5	69(13)	87(13)	65(35)	100
6,3			10(55)	44(56)
4,8	24(45)	35(52)		10(34)
2,0	17(7)	18(17)		
0,4	11(6)	13(5)		
0,2			4,6(5,4)	4,4(5,6)
0,075	3(8)	3(10)	2,6(2,0)	2,4(2,0)
FUNDO	2(1)	2(1)	1,5(1,1)	1,5(0,9)
CAL	2	2	1,5	1,5
	<b>1/2/3</b>	<b>4/5/6</b>	<b>7/8/9</b>	<b>10/11/12</b>
	<b>PROJETO</b>			

Obs:

- (1) Faixa granulométrica: faixa V do DNER para TMA 19,0mm e da DIRENG, para TMA 12,5mm (FARAH, 1990).
- (2) Granulometria desenvolvida por MEURER FILHO (2001) e utilizada por DUMKE (2005).
- (3) Porcentagens de ligante com polímero, dentro da faixa DNER 386/99 e RUIZ (1997) *apud* DUMKE (2005).



Figura 4 – Compactador Giratório SUPERPAVE do Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ



Figura 5 – Corpos-de-prova confeccionados no SGC e usados na presente pesquisa.

Após avaliar a capacidade de escoamento subsuperficial, mede-se a permeabilidade do material drenante, formando-se intencionalmente uma lâmina d'água constante para saturar o CP, o que é obtido após a constância da vazão e da lâmina d'água (entre 3 e 15mm). A equação (4) é aplicada para o cálculo do coeficiente de permeabilidade da mistura avaliada; ressalta-se que tal medida tem somente a finalidade de comparar a permeabilidade sob pequena lâmina d'água e os ensaios tradicionais, sob coluna d'água. Nas figuras 6 e 7, ilustram-se etapas do ensaio de chuva simulada e por coluna d'água, respectivamente.

A seqüência abaixo mostra algumas etapas para avaliação da capacidade de escoamento por meio de chuva simulada (figura 6), proposto por SOUZA (2008).

Primeiramente, mede-se a capacidade de escoamento subsuperficial da chuva simulada (sem formar lâmina d'água):

- Envolve-se o CP selado com tira de borracha fixada por fita adesiva (E).
- Coloca-se o CP no tubo suporte, com a face superior em contato com a régua milimetrada (F).
- Colocar a abraçadeira superior (nivelando o CP), apertar os parafusos e vedar com silicone as ranhuras (G).
- Obter a configuração, por tentativa, com vazão no extravasor por cinco a 10 minutos, tendo como limite máximo a formação de lâmina d'água parcial (H).
- Após, faz-se a medida da chuva simulada com a configuração obtida acima, por meio do reservatório medidor (nº 4, I).
- O resultado corresponderá à intensidade média da chuva simulada, em mm/h.

Após avaliação da capacidade de escoamento subsuperficial, mede-se a permeabilidade:

- Deixa-se formar lâmina d'água (entre 3 e 15mm).
- Verifica-se a estabilização do escoamento (lâmina e vazão) por aproximadamente cinco minutos.
- Mede-se o volume x tempo, além do valor da lâmina d'água (cinco medidas).
- A permeabilidade do material corresponde à média das cinco medidas.

O ensaio de gotejamento é considerado terminado quando:

- Obtêm-se todas as informações para medir a capa-

cidade de escoamento subsuperficial de chuva simulada e a permeabilidade, ou somente a permeabilidade do material.

- Não houver ou se estabilizar escoamento, após lâmina d'água superior a 15mm por cinco minutos, com configuração mínima (carga 1 x 3 bicos). A mistura analisada é considerada com baixa permeabilidade (observação<sup>(1)</sup> da tabela 6).

Procedimento para a realização do ensaio de CC:

- Envolve-se o CP selado com tira de borracha fixada por fita adesiva (J).
- Coloca-se o CP na coluna de carga (L).
- Fixa-se a coluna de carga em seu suporte (M).
- Aplica-se a vazão necessária para estabilização da coluna d'água.
- Mede-se o volume x tempo com medidor (nº 5).



### 3.2 Ensaio tradicional

O ensaio tradicional, por coluna d'água, desenvolvido nesta pesquisa foi do tipo carga constante considerado o gradiente hidráulico da lei de Darcy, equação (4). A figura 7 mostra algumas etapas do ensaio de coluna d'água desenvolvido para pesquisa.



Figura 7 – Etapas dos ensaios tradicionais (por coluna d'água), SOUZA (2008)

### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para melhorar o entendimento, criou-se uma identificação para os 36 CP da pesquisa. Letras C e A, que representam as misturas de CPA e ALDRE, respectivamente. Os dois primeiros números: 9,5; 12,5 e 19,0mm, que representam os tamanhos máximos do agregado, 9,5; 12,5 e 19,0mm, respectivamente. Os dois números seguintes: 4,2; 4,7 e 5,2%, que representam os teores de ligante, 4,2; 4,7 e 5,2%, respectivamente. O último número: 1, 2 ou 3, que representam o número da amostra, a sua ausência significa a média da composição ou projeto.

Diante do grande número de figuras e tabelas geradas na pesquisa, optou-se por mostrar uma parte que fosse representativa dos resultados alcançados. Assim, escolheram-se duas composições que representasse bem uma mistura de menor permeabilidade, CPA, TMA de 12,5 e 19,0mm; e outro de maior permeabilidade, ALDRE, TMA 9,5 e 12,5mm.

O ensaio por chuva simulada em suas avaliações de escoamento subsuperficial e de permeabilidade sob

pequena lâmina d'água foram identificados pelas letras I e A, respectivamente. O ensaio de coluna de água de carga constante, aplicando o gradiente hidráulico da lei de Darcy, foi identificado pela letra B. Os ensaios A e B (em fundo cinza) são utilizados na pesquisa para traçar as curvas experimentais, figuras 8 a 12; e para comparações de suas magnitudes, tabelas 2 a 5. Para plotar as curvas experimentais, o ensaio B teve sua carga constante variando de 2 a 150cm. Para fins de comparações entre os ensaios A e B, o ensaio B foi dividido em quatro estágios de carga constante: 20, 60, 90 e 140cm. Os resultados das comparações – B/A – são mostrados em fundo cinza nas tabelas 2 a 5. A relação B/A está mostrada em quatro colunas (estágios) e três linhas (amostras), sendo que da esquerda para a direita há diminuição da coluna d'água constante (140, 90, 60 e 20cm). Os re-

sultados dos ensaios de escoamento subsuperficial de chuva simulada, principal objetivo da pesquisa, são mostrados na tabela 6. A observação<sup>(1)</sup> significa que não foi possível medir o escoamento subsuperficial da chuva simulada, pois se formou sobre a amostra lâmina d'água definitiva, impedindo assim a avaliação.

#### 4.1 Regime de escoamento

A figura 8 mostra dois gráficos de curvas experimentais dos projetos C1242 e C1942; a figura 9 mostra as curvas experimentais dos projetos A9547 e A1252. As figuras 10 e 11 mostram as curvas experimentais médias das misturas de CPA e ALDRE, respectivamente. Por fim, a figura 12, que reúne todas as curvas experimentais médias desenvolvidas ao longo da pesquisa e que tem como finalidade mostrar graficamente a capaci-

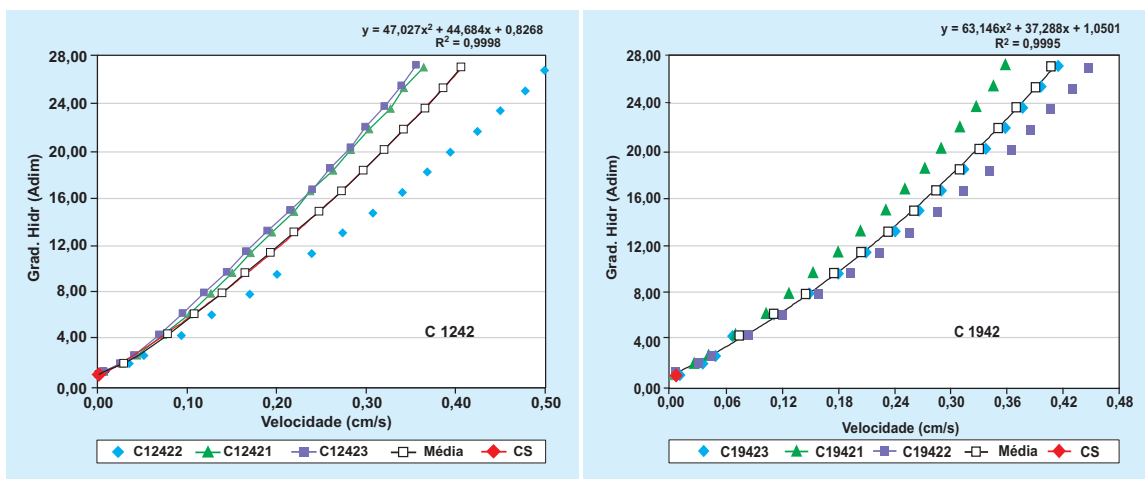


Figura 8 – Curvas experimentais dos projetos C1242 e C1942

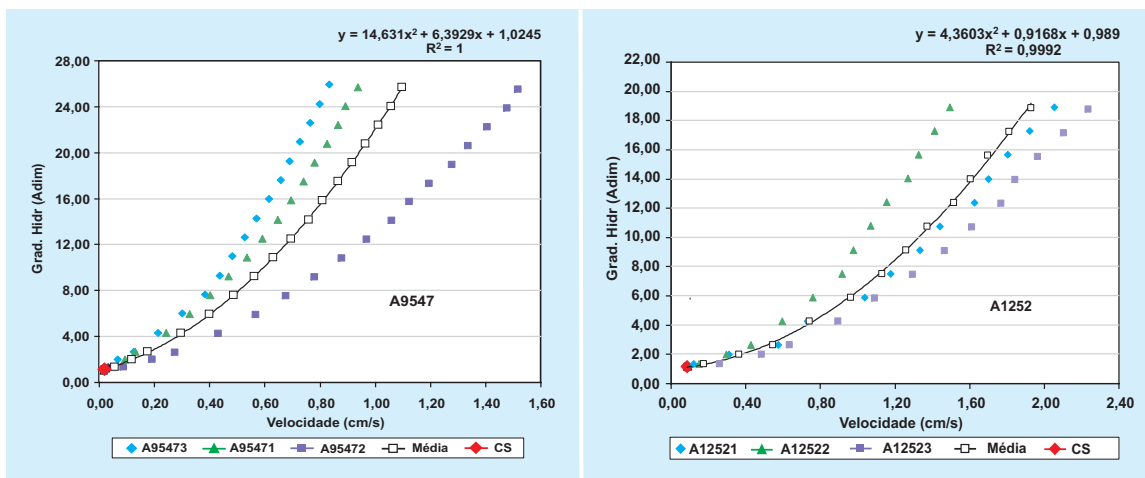


Figura 9 – Curvas experimentais dos projetos A9547 e A1252

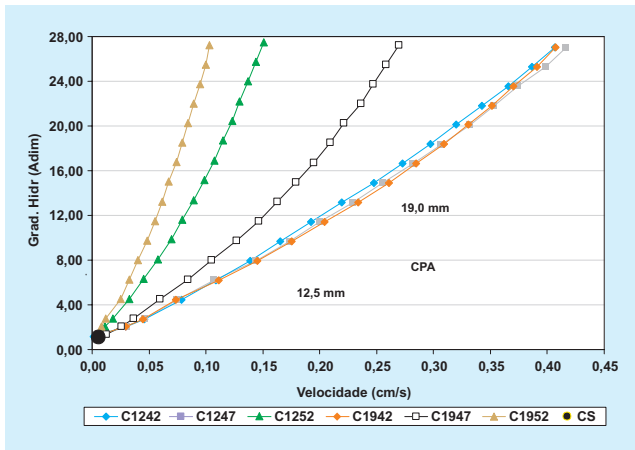


Figura 10 – Curvas experimentais médias das misturas de CPA

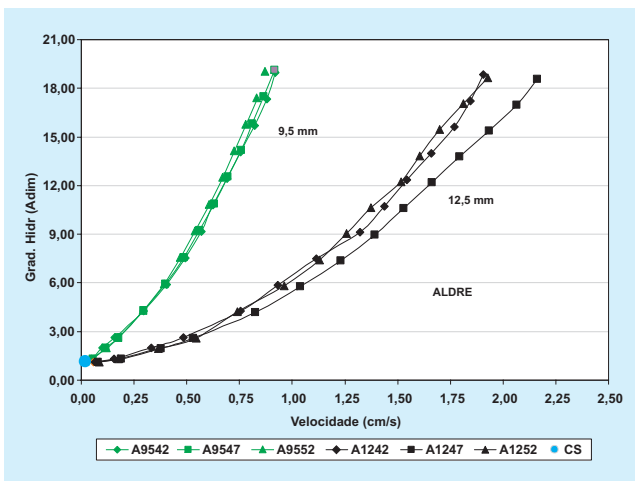


Figura 11 – Curvas experimentais médias das misturas de ALDRE

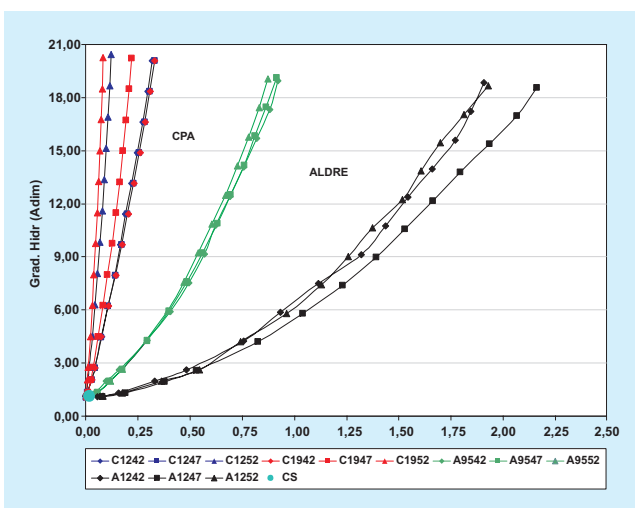


Figura 12 – Curvas experimentais médias das misturas de CPA e ALDRE reunidas

dade de escoamento dos dois tipos de misturas drenantes estudadas (CPA e ALDRE).

Dos resultados apresentados nas figuras 8 a 12, fazem-se as seguintes análises:

- Todas as MAD apresentaram-se nas médias não lineares quanto ao regime de escoamento, tornando a aplicação da lei de Darcy incoerente e a medida da permeabilidade teoricamente superestimada.
- O ensaio por chuva simulada sob pequena lâmina d'água minimiza a não linearidade pelo fato do seu ponto representativo ficar mais próximo à origem nos gráficos (CS). A não linearidade é acentuada quando mais permeável a mistura (ALDRE).
- Numa análise gráfica (figura 12), verifica-se que as misturas de ALDRE são muito mais permeáveis que as misturas de CPA, dado a maior velocidade de escoamento d'água para o mesmo gradiente hidráulico.
- Comparando os gráficos das curvas experimentais médias (figuras 10 e 11), com a literatura que diz: maior TMA leva a maior permeabilidade e maior TL leva a menor permeabilidade. Observa-se que as misturas de CPA não se apresentam coerentes com a literatura, pois misturas com TMA de 19mm foram as mais permeáveis e menos permeáveis; as misturas de ALDRE apresentaram comportamento coerente quanto ao TMA. Ambas as misturas foram incoerentes quanto ao TL.
- Verifica-se na presente pesquisa que os 10% de agregado passante ( $d_{10}$ ) de ALDRE e da CPA são aproximadamente as peneiras 4,8 e 0,4mm, respectivamente (tabela 1 e figura 3), e que a permeabilidade é bem maior nas misturas de ALDRE (tabela 12), por apresentar maior  $d_{10}$ . Tais medidas de peneiras mostram-se mais representativas da permeabilidade de misturas que têm diferenças consideráveis de permeabilidade, como é o caso da CPA e ALDRE.

#### Quadro 1 – Legenda das tabelas 2 a 5

CA	Coluna d'água (cm)	$\Phi$	Diâmetro (mm)
i	Gradiente Hidráulico (Adim)	L	Comprimento (cm)
k	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)	B/A	Razão ensaio B e A
v	Velocidade Superficial (cm/s)		

Tabela 2 – Dados de avaliação de permeabilidade das misturas: CPA, TMA 12,5mm e TL 4,2%

N <sub>CP</sub>	Legenda	Lei	B																	
			A	2	6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
CA	i	1ª	1,05	1,34	2,03	2,72	4,44	6,16	7,88	9,61	11,33	13,05	14,77	16,49	18,21	19,93	21,65	23,38	25,10	26,82
		2ª	1,23	2,04	2,74	4,47	6,21	7,94	9,68	11,42	13,15	14,89	16,63	18,36	20,10	21,83	23,57	25,31	27,04	28,77
		3ª	1,14	1,35	2,05	2,75	4,50	6,25	8,01	9,76	11,51	13,26	15,01	16,76	18,51	20,26	22,02	23,77	25,52	27,27
		Média	1,14	1,35	2,04	2,74	4,47	6,21	7,94	9,68	11,42	13,15	14,89	16,63	18,36	20,10	21,83	23,57	25,31	27,04
1º - C 12422	k	1ª	1,6E-03	7,0E-03	1,7E-02	1,9E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,1E-02	2,0E-02	2,0E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,9E-02
		2ª	8,4E-04	5,2E-03	1,3E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,7E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02
		3ª	1,2E-03	4,8E-03	1,2E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02	1,3E-02	1,3E-02
2º - C 12421	v	1ª	1,7E-03	9,4E-03	3,5E-02	5,2E-02	9,4E-02	1,3E-01	1,7E-01	2,0E-01	2,4E-01	2,7E-01	3,1E-01	3,4E-01	3,7E-01	3,9E-01	4,2E-01	4,5E-01	4,8E-01	5,0E-01
		2ª	1,0E-03	7,1E-03	2,7E-02	4,4E-02	7,3E-02	1,0E-01	1,3E-01	1,5E-01	1,7E-01	1,9E-01	2,2E-01	2,4E-01	2,6E-01	2,8E-01	3,0E-01	3,3E-01	3,4E-01	3,6E-01
		3ª	1,4E-03	6,4E-03	2,6E-02	4,1E-02	6,9E-02	9,6E-02	1,2E-01	1,4E-01	1,6E-01	1,9E-01	2,2E-01	2,4E-01	2,6E-01	2,8E-01	3,0E-01	3,2E-01	3,4E-01	3,6E-01
Φ	Φ	Média	1,4E-03	7,6E-03	2,9E-02	4,6E-02	7,9E-02	1,1E-01	1,4E-01	1,7E-01	1,9E-01	2,2E-01	2,5E-01	2,7E-01	3,0E-01	3,2E-01	3,4E-01	3,7E-01	3,9E-01	4,1E-01
		1ª	178		5,81											12	13	13	13	
		2ª	177	L	5,76											16	17	18	20	
		3ª	177		5,71									11	12	12	12	13		

Tabela 3 – Dados de avaliação de permeabilidade das misturas: CPA, TMA 19,0mm e TL 4,2%

N <sub>CP</sub>	Legenda	Lei	B																	
			A	2	6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
CA	i	1ª	1,13	1,35	2,04	2,74	4,48	6,22	7,96	9,70	11,43	13,17	14,91	16,65	18,39	20,13	21,87	23,61	25,35	27,09
		2ª	1,07	1,35	2,05	2,74	4,48	6,23	7,97	9,71	11,45	13,20	14,94	16,68	18,42	20,16	21,91	23,65	25,39	27,13
		3ª	1,05	1,35	2,04	2,73	4,45	6,18	7,91	9,64	11,36	13,09	14,82	16,54	18,27	20,00	21,73	23,45	25,18	26,91
		Média	1,08	1,35	2,04	2,74	4,47	6,21	7,94	9,68	11,42	13,15	14,89	16,63	18,36	20,10	21,83	23,57	25,31	27,04
1º - C 19423	k	1ª	1,0E-02	7,2E-03	1,7E-02	1,7E-02	1,5E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,5E-02
		2ª	2,7E-03	5,2E-03	1,2E-02	1,5E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,5E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,4E-02	1,3E-02
		3ª	4,6E-03	4,2E-03	1,4E-02	1,7E-02	1,9E-02	1,9E-02	2,0E-02	2,0E-02	2,0E-02	2,0E-02	2,0E-02	1,9E-02	1,9E-02	1,8E-02	1,8E-02	1,7E-02	1,7E-02	1,7E-02
2º - C 19421	v	1ª	1,1E-02	9,7E-03	3,5E-02	4,8E-02	6,7E-02	1,1E-01	1,5E-01	1,8E-01	2,1E-01	2,4E-01	2,7E-01	2,9E-01	3,1E-01	3,4E-01	3,6E-01	3,8E-01	4,0E-01	4,1E-01
		2ª	2,9E-03	7,1E-03	2,5E-02	4,0E-02	7,0E-02	1,0E-01	1,3E-01	1,5E-01	1,8E-01	2,0E-01	2,3E-01	2,5E-01	2,7E-01	2,9E-01	3,1E-01	3,3E-01	3,5E-01	3,6E-01
		3ª	4,8E-03	5,6E-03	2,9E-02	4,6E-02	8,4E-02	1,2E-01	1,6E-01	1,9E-01	2,2E-01	2,6E-01	2,9E-01	3,1E-01	3,4E-01	3,6E-01	3,9E-01	4,1E-01	4,3E-01	4,5E-01
3º - C 19422	Φ	Média	6,3E-03	7,5E-03	3,0E-02	4,5E-02	7,4E-02	1,1E-01	1,4E-01	1,8E-01	2,0E-01	2,3E-01	2,6E-01	2,8E-01	3,1E-01	3,3E-01	3,5E-01	3,7E-01	3,9E-01	4,1E-01
		1ª	177		5,75											2	2	2	2	
		2ª	177	L	5,74											5	5	6	6	
		3ª	177		5,79									4	4	4	4	4		

Tabela 4 - Dados de avaliação de permeabilidade das misturas: ALDRE, TMA 9,5mm e TL 4,7%

N <sub>CP</sub>	Legenda	B																	
		A	2	6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
CA	1 <sup>a</sup>	1,21	1,33	2,00	2,66	4,32	5,98	7,64	9,31	10,97	12,63	14,29	15,95	17,61	19,27	20,93	22,59	24,26	25,92
	2 <sup>a</sup>	1,05	1,33	1,99	2,65	4,29	5,94	7,59	9,24	10,88	12,53	14,18	15,83	17,47	19,12	20,77	22,42	24,06	25,71
	3 <sup>a</sup>	1,16	1,33	1,98	2,63	4,27	5,90	7,54	9,17	10,80	12,44	14,07	15,71	17,34	18,97	20,61	22,24	23,88	25,51
	Média	1,14	1,33	1,99	2,65	4,30	5,94	7,59	9,24	10,89	12,53	14,18	15,83	17,48	19,12	20,77	22,42	24,07	25,71
1° - A95473	1 <sup>a</sup>	1,2E-02	2,4E-02	3,4E-02	4,7E-02	4,9E-02	5,0E-02	5,0E-02	4,7E-02	4,4E-02	4,0E-02	3,8E-02	3,7E-02	3,6E-02	3,6E-02	3,5E-02	3,4E-02	3,3E-02	3,2E-02
2° - A95471	2 <sup>a</sup>	1,5E-02	3,7E-02	4,7E-02	4,9E-02	5,6E-02	5,5E-02	5,3E-02	5,1E-02	4,9E-02	4,7E-02	4,6E-02	4,4E-02	4,2E-02	4,1E-02	4,0E-02	3,9E-02	3,7E-02	3,6E-02
3° - A95472	3 <sup>a</sup>	2,3E-02	6,6E-02	9,6E-02	1,0E-01	1,0E-01	9,6E-02	9,0E-02	8,5E-02	8,1E-02	7,8E-02	7,5E-02	7,2E-02	6,9E-02	6,7E-02	6,5E-02	6,3E-02	6,2E-02	6,0E-02
v	1 <sup>a</sup>	1,9E-02	3,2E-02	6,7E-02	1,2E-01	2,1E-01	3,0E-01	3,8E-01	4,4E-01	4,8E-01	5,3E-01	5,7E-01	6,1E-01	6,6E-01	6,9E-01	7,3E-01	7,7E-01	8,0E-01	8,3E-01
	2 <sup>a</sup>	1,6E-02	4,9E-02	9,4E-02	1,3E-01	2,4E-01	3,3E-01	4,0E-01	4,7E-01	5,4E-01	5,9E-01	6,5E-01	6,9E-01	7,4E-01	7,8E-01	8,3E-01	8,6E-01	8,9E-01	9,4E-01
	3 <sup>a</sup>	2,7E-02	8,8E-02	1,9E-01	2,7E-01	4,3E-01	5,7E-01	6,8E-01	7,8E-01	8,8E-01	9,7E-01	1,1E+00	1,1E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,4E+00	1,5E+00	1,5E+00
	Média	1,9E-02	5,6E-02	1,2E-01	1,8E-01	3,0E-01	4,0E-01	4,9E-01	5,6E-01	6,3E-01	7,0E-01	7,6E-01	8,1E-01	8,6E-01	9,2E-01	9,8E-01	1,0E+00	1,1E+00	1,1E+00
φ	1 <sup>a</sup>	179		6,02											1 <sup>a</sup>	3	3	4	4
	2 <sup>a</sup>	178	L	6,07											2 <sup>a</sup>	2	3	3	4
	3 <sup>a</sup>	178		6,12											3 <sup>a</sup>	3	3	4	4

Tabela 5 - Dados de avaliação de permeabilidade das misturas: ALDRE, TMA 12,5mm e TL 5,2%

N <sub>CP</sub>	Legenda	B																	
		A	2	6	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
CA	1 <sup>a</sup>	1,18	1,32	1,96	2,61	4,22	5,82	7,43	9,04	10,65	12,25	13,86	15,47	17,08	18,68	20,29	21,90	23,51	25,12
	2 <sup>a</sup>	1,16	1,32	1,97	2,61	4,22	5,83	7,44	9,05	10,66	12,27	13,88	15,49	17,10	18,71	20,32	21,93	23,54	25,15
	3 <sup>a</sup>	1,06	1,32	1,96	2,60	4,19	5,79	7,39	8,99	10,58	12,18	13,78	15,38	16,97	18,57	20,17	21,77	23,36	24,96
	Média	1,13	1,32	1,96	2,61	4,21	5,82	7,42	9,03	10,63	12,24	13,84	15,45	17,05	18,66	20,26	21,87	23,47	25,08
1° - A12521	1 <sup>a</sup>	6,2E-02	9,2E-02	1,6E-01	2,2E-01	1,7E-01	1,8E-01	1,6E-01	1,5E-01	1,4E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,2E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,0E-01	1,0E-01	9,9E-02	9,6E-02
2° - A12522	2 <sup>a</sup>	8,0E-02	1,1E-01	1,5E-01	1,6E-01	1,4E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,1E-01	1,0E-01	9,4E-02	9,1E-02	8,6E-02	8,2E-02	8,0E-02	*	*	*	*
3° - A12523	3 <sup>a</sup>	8,2E-02	2,0E-01	2,5E-01	2,4E-01	2,1E-01	1,9E-01	1,8E-01	1,6E-01	1,5E-01	1,5E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,2E-01	*	*	*	*
v	1 <sup>a</sup>	7,4E-02	1,2E-01	3,1E-01	5,7E-01	7,3E-01	1,0E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,4E+00	1,6E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,9E+00	2,1E+00	2,1E+00	2,2E+00	2,3E+00	2,4E+00
	2 <sup>a</sup>	9,3E-02	1,5E-01	3,0E-01	4,3E-01	6,0E-01	7,6E-01	9,2E-01	9,8E-01	1,1E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,4E+00	1,5E+00	*	*	*	*
	3 <sup>a</sup>	8,7E-02	2,6E-01	4,9E-01	6,3E-01	8,9E-01	1,1E+00	1,3E+00	1,5E+00	1,6E+00	1,8E+00	1,8E+00	2,0E+00	2,1E+00	2,2E+00	*	*	*	*
	Média	8,4E-02	1,9E-01	3,6E-01	5,4E-01	7,4E-01	9,6E-01	1,1E+00	1,3E+00	1,4E+00	1,5E+00	1,6E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,9E+00	*	*	*	*
φ	1 <sup>a</sup>	179		6,22											1 <sup>a</sup>	2	2	2	3
	2 <sup>a</sup>	180	L	6,21											2 <sup>a</sup>	*	1	1	2
	3 <sup>a</sup>	179		6,26											3 <sup>a</sup>	*	2	2	3

## 4.2 Comparação de ensaios

Dos resultados apresentados nas tabelas 2 a 6, fazem-se as seguintes análises:

- Nas comparações entre os ensaios B e A, nas tabelas 2 a 5, observam-se que quanto mais permeáveis as MAD, ou seja, da CPA para a ALDRE, menores a relações (fundo cinza).
- Ainda, nas comparações dos ensaios B e A, reforça-se a análise feita acima (regime de escoamento), ou seja, que o ensaio A apenas minimiza a não linearidade do regime de escoamento em MAD, pois, além de encontrar-se em trecho não linear, ocorre em velocidades elevadas, quanto mais permeável a mistura drenante.
- O ensaio por chuva simulada na avaliação da capacidade de escoamento subsuperficial (I), ou seja, sem formar lâmina d'água à superfície, mostra que as misturas de ALDRE possuem capacidade de escoar chuvas de grande intensidade, o mesmo não ocorre com as misturas de CPA.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da análise feita dos resultados da pesquisa fazem-se as seguintes conclusões:

- Os ensaios de permeabilidade que aplicam colunas d'água elevadas em MAD encontram-se em regime de fluxo não linear, tornando incoerente a aplicação da lei de Darcy.
- O ensaio por chuva simulada sob pequena lâmina d'água minimiza a não linearidade, quanto menos permeável a mistura.
- O diâmetro dos 10% passantes ( $d_{10}$ ) representa melhor a permeabilidade em comparação ao TMA,

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTELHO, F. V. C.; FILHO, F. P. S.; ALMEIDA M. G. G.; MÁRCIO MUNIZ DE FARIAS M. M. *Uso de agregado calcário em asfalto drenante*. In: 13ª Reunião de Pavimentação Urbana, Maceió, Al, 2004.
- CAMPOS, O. S. *Análise do comportamento de trecho piloto de revestimento poroso com asfalto modificado por polímero*. Tese de D. Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.
- CARNEIRO, F. L. *Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos*. 2ª Ed., Editora UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- CEDERGREEN, H. R. *Drenagem dos pavimentos de rodovias e aeródromos*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, RJ, 1980.

Tabela 6 – Valores de intensidades de chuvas simuladas em misturas de CPA e ALDRE

NCP	I (mm/h)	NCP	I (mm/h)
C12421	(1)	A95421	552
C12422	(1)	A95422	407
C12423	(1)	A95423	407
C12471	91	A95471	407
C12472	77	A95472	552
C12473	47	A95473	407
C12521	(1)	A95521	407
C12522	77	A95522	552
C12523	(1)	A95523	407
C19421	47	A12421	> 609
C19422	77	A12422	> 609
C19423	418	A12423	> 609
C19471	91	A12471	> 609
C19472	91	A12472	> 609
C19473	47	A12473	> 609
C19521	47	A12521	> 609
C19522	47	A12522	> 609
C19523	47	A12523	> 609

em misturas tão distintas como é o caso da CPA e ALDRE.

- O ensaio por chuva simulada ao avaliar a capacidade subsuperficial de escoamento de chuva simulada não necessita de interpretação pela lei de Darcy, mostrando-se assim uma avaliação realista, simples e direta.
- As misturas de Alta capacidade Drenante (ALDRE) apresentam comportamento ideal quanto ao escoamento subsuperficial da água em mistura asfáltica drenante, evitando o efeito danoso da hidroplanagem.

- DNIT 043/94. *Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte, 1994.
- 386/99. *Pavimentação – Pré-misturado a Quente com Asfalto Polímero – Camada Porosa de Atrito*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte, 1999.
- DUMKE, M. P. *Concreto Asfáltico Drenante com Fibras de Celulose, Ligante Modificado por Polímero e Asfalto-Borracha*. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.
- FARAH, H. *Camada Porosa de Atrito*. X Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, RJ, 1990.
- INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C. *Considerações sobre a estimativa da permeabilidade em concretos refratários através das equações de Darcy e de Forchheimer*. Universidade de São Carlos, São Carlos, SP, 1999.
- INSTITUTO DE ASFALTO. *Série do Manual nº 4 (MS-4): MANUAL DE ASFALTO*. Rio de Janeiro, RJ, 1989.
- KANDHAL, P. K. and MALLICK, R. B. *Open-Graded Asphalt Friction Course: state of the practice*. National Center for Asphalt Technology - NCAT, Auburn, AL, 1998.
- LAWS, J. O. *Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops*. Trans. Amer. Geophys. Union 22: 709-721, 1941.
- LAWS, J. O.; PARSONS, D. A. *The relation of raindrop size to intensity*. Trans. Amer. Geophys. Un. 24: 452-459, 1943.
- MALLICK, R. B., KANDHAL, P. S., COOLEY, L. A. J., WATSON, D. E. *Design, construction, and performance of new generation Open-Graded Friction Courses*. In: Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Reno, Nevada, 2000.
- MARQUES, G. L. O. *Utilização do Módulo de Resiliência como Critério de Dosagem de Mistura Asfáltica*. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- MEURER FILHO, E. *Estudos de Granulometrias para Concretos Asfálticos Drenantes*. Dissertação de M. Sc. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.
- MEYER, L. D.; MCCUNE, D. L., 1958. *Rainfall simulator for runoff plots*. Agricultural Engineering, St Joseph, v.39, n.1, p. 644-648.
- MÜLLER, R. M. *Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto*. Dissertação de MSc. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- MUNIZ, M. F.; ROSENO, J. L.; CARVALHO, J. C. *Anisotropia das propriedades hidráulicas de asfaltos drenantes com agregados calcários*. In: 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- NASCIMENTO, H. R. C.; REIS, R. M. M.; CAMPOS, O. S. *Camadas Porosas de Atrito com utilização de asfalto modificado com polímeros*. In: 10º Congreso Ibero-Americano del Asfalto, Sevilla, Espanha, 1999.
- NASCIMENTO, L., LEITE, L., CAMPOS, E., MARQUES, G., MOTTA, L. *Uso da Tomografia Computadorizada e de Imagens Digitais para o Estudo de Misturas Asfálticas*. In: 18º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- OLIVEIRA, P M F. *Caracterização Mecânica de Misturas Betuminosas Preparadas com Asfalto-Polímero*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- OLIVEIRA, C. G. M. *Estudos de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante*. Dissertação de M. Sc. Universidade de Brasília, Distrito Federal, DF, 2003.
- PAIVA, C. E. L.; SILVA, C. E. D. B. D. *Estudo da permeabilidade de misturas betuminosas*. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, SP, 2003.
- PORTO, H. G. *Pavimentos Drenantes*. 1ª ed, D&Z Computação Gráfica e Editora, São Paulo, 105p, 1999.
- SOARES, A. B. *Fluxo de Água em Talude Arenoso: Modelagem Física e Numérica*. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- SOUZA, S. A. *Avaliação da Capacidade de Escoamento da Água em Mistura Asfáltica Drenante: Proposta de Ensaio de Laboratório*. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

# Metodologia para determinação do módulo de resiliência do lastro ferroviário por retroanálise de bacias de deflexão

Henrique Apolinario Rody

UFRJ, Rio de Janeiro

henriqueapolinario@gmail.com

## RESUMO

A dificuldade de obtenção do módulo de resiliência ( $M_R$ ) do lastro ferroviário por ensaios laboratoriais frente às características físicas do lastro é grande, dado o elevado tamanho nominal máximo dos agregados e curva granulométrica uniforme. Como ferramenta para a avaliação estrutural do pavimento ferroviário, conta-se usualmente com determinações empíricas ou estimativas para os valores do  $M_R$  do lastro. Uma abordagem diferente para a obtenção desse módulo é o emprego da

retroanálise, utilizando a bacia de deformação medida em campo e comparando-a com bacias de deflexões teóricas obtidas por programas computacionais de análise de pavimentos ferroviários. Este artigo evidencia nos resultados que as deformações elásticas da grade comportam-se linearmente frente às cargas sob os pontos onde estas atuam e possuem uma grande dependência da qualidade do ensaio de deflectometria, dadas as baixas variações de deflexões que caracterizam a bacia de deformação da via permanente.

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário no Brasil nas últimas décadas sofreu grande degradação, não somente pelas flutuações das políticas de transporte, mas principalmente pela grande desvantagem do setor ferroviário frente ao rodoviário em se tratando de manutenção da via. O ônus da manutenção das ferrovias, a cargo do demandante de seus serviços, diferentemente do que ocorria nas rodovias, gerou um crescente desgaste do setor ferroviário brasileiro e, conseqüentemente, o abandono deste setor por parte do governo e de seus usuários frente ao seu elevado custo final. A realidade em que se encontra a Engenharia Ferroviária no Brasil indica uma grande necessidade de um

aprofundamento nos conceitos de Mecânica dos Pavimentos Ferroviários, de forma a tornar o projeto de novos trechos e a manutenção dos existentes mais eficientes e embasados em conceitos de tensão e deformação, otimizando, assim, os recursos orçamentários.

A Mecânica dos Pavimentos, atualmente em debate nos centros acadêmicos e nas empresas de projeto e consultoria, é a abordagem do pavimento como um sistema multicamadas com a interação via-veículo, sendo estimada pelo uso de programas computacionais e medidas de campo que permitem compatibilizar as deformações elásticas e plásticas dos materiais sob as cargas e efeitos do clima (MEDINA e MOTTA, 2005). Dentro desta realidade são necessários os módulos de deformabilidade dos ma-

teirais, que, via de regra, podem ser obtidos por ensaios triaxiais de carregamento repetido. Todavia o ensaio que permite a determinação do módulo de resiliência do lastro ferroviário e do subleito é, em virtude da grande dificuldade de moldagem dos corpos-de-prova, de difícil realização com os equipamentos existentes no país, em se tratando de material pouco contaminado com finos. Outrossim, uma abordagem diferente para a obtenção desse módulo é empregar a retroanálise, utilizando a bacia de deformação medida em campo e comparando-a com as bacias de deflexões teóricas obtidas por programas computacionais de análise de pavimentos ferroviários.

Desenhada esta proposição de trabalho, configurase como objetivo central deste artigo a criação de uma sistemática para a estimativa do módulo de resiliência do lastro ferroviário sem ensaios de laboratórios, por meio de retroanálise das bacias de deflexões do pavimento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dos vários tipos de pavimentos existentes, o mais distinto é o pavimento ferroviário, em virtude do tipo e da forma de carregamento. Isso se deve ao modo como é transmitido o carregamento de roda à estrutura de suporte pela grade, figura 1. Já as camadas granulares (lastro, sub-



Figura 1 – Distribuição estatística dos caminhos de rodas do pavimento ferroviário e rodoviário

blastro e o solo subjacente) apresentam as mesmas características dos materiais que compõem os outros pavimentos.

Sob este foco, cunhou MEDINA (1988) o termo “pavimento ferroviário” para nomear o conjunto de trilhos, dormentes e lastro, designado de via permanente no meio

ferroviário. O pavimento ferroviário compara-se ao pavimento tradicional rodoviário porque ambos são estruturas em camadas que se apóiam no solo de fundação e se destinam a distribuir a carga dos veículos.

O pavimento ferroviário é constituído por trilhos, dormentes, lastro, subleito e, ocasionalmente, o sublastro. Os trilhos sobre dormentes (grade) são adotados para guiar as rodas do *truck* na direção do eixo da via ao longo de uma superfície prescrita, portanto a grade fornece ao pavimento ferroviário uma peculiaridade: as trilhas de rodas predefinidas.

O lastro é adotado para conter a grade e fornecer um amortecimento ao sistema, possibilitando a manutenção da geometria e reduzindo as tensões sobre as camadas subjacentes, e o sublastro, quando utilizado, promove uma melhor separação entre a camada de lastro e o subleito, protegendo aquele da contaminação por finos e reduzindo as tensões sobre o subleito. Por fim, o subleito é o solo natural ou camada final de terraplenagem, que é a camada de fundação do sistema.

### 2.1. Mecânica dos pavimentos ferroviários

O projeto de via férrea foi marcado pelo empirismo até o início do século XX, tendo se envolvido largamente com o processo de tentativa e erro, observando-se, ao longo dos anos seguintes, uma gradual melhora nos parâmetros de projeto. Contudo, mesmo com uma qualidade de projeto e construção pouco recomendável, a questão pôde ser acomodada variando a freqüência de correção dos erros geométricos através de ajustamentos na camada de lastro. Portanto, a propriedade de um projeto de uma via férrea está mais ligada aos custos de manutenção do que a uma perda da qualidade de rolamento (SELIG & WATERS, 1994).

Decerto, um grande passo para a Engenharia Ferroviária foi a evolução desses conceitos que, durante as primeiras décadas do século XX, dominavam o projeto de pavimentos. A redução do marcante empirismo nos projetos e o crescente interesse dos pesquisadores em relevar a resposta dos materiais frente aos carregamentos impostos e às relações entre via-veículo deram origem à disciplina hoje nomeada “Mecânica dos Pavimentos”.

Assim, a mecânica dos pavimentos se define como a disciplina da engenharia civil que estuda os pavimentos

como sistemas em camadas e sujeitos às cargas dos veículos. Entre os veículos, estando incluídos os carros e caminhões nos pavimentos rodoviários, os aviões nas pistas de pouso/decolagem e manobras nos aeroportos, os guindastes móveis nos pavimentos dos portos e terminais de carga, bem como locomotivas e vagões nas ferrovias (MEDINA, 1988). Em todos os casos, o sistema “pavimento” consiste de uma ou mais camadas de material colocadas sobre subleito provido de um revestimento adequado ao rolamento de cada veículo particular.

## 2.2. Deflexões na via permanente

No universo da mecânica dos pavimentos aplicada ao pavimento rodoviário, a avaliação das deflexões frente aos carregamentos de um pavimento são de grande importância para o conhecimento do comportamento desse pavimento e para a avaliação das tensões atuantes nas diversas camadas que o constituem, fornecendo, assim, uma base teórica experimental para o dimensionamento desses pavimentos e das suas eventuais reabilitações. O mesmo ocorre para os pavimentos ferroviários, cujas peculiaridades dos carregamentos atuantes neste pavimento e as características das camadas desse pavimento – mais especificamente a do lastro – indicam que encaminhar as análises da mecânica da via apenas como um fenômeno

estático não condiz com o comportamento real da via permanente, uma vez que os materiais pétreos, granulares e terrosos componentes do pavimento ferroviário são mutáveis com o tempo, em períodos que podem ser bastante reduzidos (MUNIZ DA SILVA 2002). Assim, tratar o problema da deformabilidade da via permanente como um dado variável ao longo da vida útil dessa via é essencial para o acompanhamento do desempenho do mesmo e decisões de manutenção.

Sob este contexto, HAY (1982) desenvolveu, consolidando a sugestão da AREA (American Railway Engineering Association) e o manual de Lundgren (baseado nos estudos de Talbot), um critério de deflexão em fundação da durabilidade do lastro e grade, apresentado no quadro 1.

No quadro na página seguinte, os valores de deflexão são exclusivamente devido a uma compressão do lastro ou devido ao fechamento de algum espaço entre trilho e placa de apoio, ou entre a placa de apoio e o dormente, mas referem-se a deflexões sob carregamento.

Como ferramenta para a avaliação da via permanente, sob o panorama das deformações, conta-se com o ensaio de deflectometria da via permanente. MUNIZ DA SILVA (2002) propôs o uso de um equipamento usual no meio rodoviário – Viga Benkelman (figura 3) – para

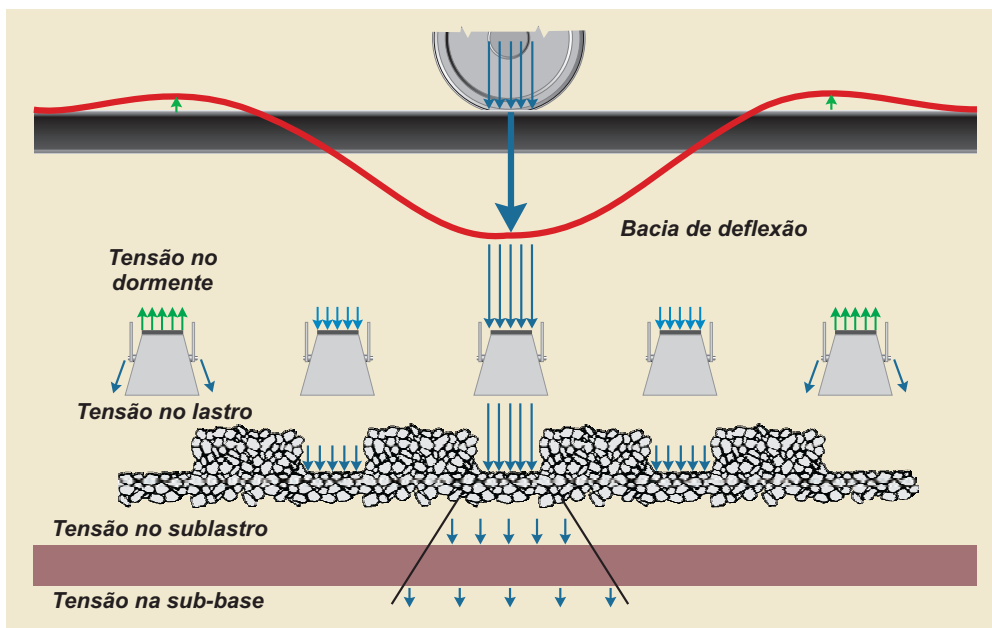


Figura 2 – Distribuição típica de tensão roda/trilho e bacia de deflexão no pavimento ferroviário (SELIG & WATERS, 1994)

Quadro 1 – Critério de deflexão da via permanente em termos da durabilidade (HAY, 1982 apud SPADA, 2003)

Deflexão (mm)	Comportamento da via
0 a 5,1	Intervalo de deflexão para via que irá durar indefinidamente
3,3 a 5,1	Deflexão desejável máxima normal, para uma via de carga pesada, capaz de oferecer uma combinação de flexibilidade e rigidez
9	Deflexão desejável limite para uma via de construção leve
Maior que 10	Via mantida pobremente ou fraca que irá deteriorar-se rapidamente

avaliar este parâmetro no meio ferroviário. Assim, com este equipamento pode ser realizado o ensaio que registra as deflexões causadas pela passagem do trem/vagão de teste, de carga por eixo conhecida. Neste ensaio, para a obtenção de uma bacia de deflexão, é necessário que desde o ponto inicial, no qual a *ponta de prova* se encontra alinhada com o eixo de referência



Figura 3 – Viga Benkelman.

para o ensaio, até o momento em que se cessem as deflexões. A leitura das deflexões é realizada em intervalos regulares de distância, durante a passagem do trem de teste. É obtida, dessa forma, a linha de influência de deformação da seção em apreço, comumente denominada *bacia de deflexão*.

Conhecida a bacia de deflexão, é possível avaliar o comportamento da via, identificando a origem dos problemas, sejam eles devido a defeitos estruturais gerados pelo tráfego ou pela socaria do lastro, ou de outras ações de manutenção sobre as demais camadas do pavimento ferroviário. A determinação de parâmetros de

tensão e deformação dos materiais que compõem pode ser realizada por cálculos de retroanálise destas medidas.

### 2.3. Módulo de resiliência do lastro ferroviário

Desde a década de 1980, tanto em laboratórios de pesquisa como em campo, muitos estudos têm sido realizados no Brasil para a determinação dos módulos de resiliência típicos de materiais de pavimentação. Todavia dada a peculiaridade da granulometria do lastro ferroviário e as dificuldades para a moldagem dos corpos-de-prova para ensaios triaxiais, os estudos sobre o  $M_R$  desse material ainda são muito escassos, destacando-se os realizados na COPPE em convênio com a antiga empresa Flumitrens (SPADA, 2003). Tendo em vista as peculiaridades do pavimento ferroviário, os programas computacionais que se aplicam são o Geotrack (RUST e SELIG, 1992) e Ferrovia (RODRIGUES, 1993), pois permitem a análise do pavimento em camadas, compreendendo a possibilidade de adoção do módulo de resiliência do lastro expresso pelo modelo granular em função de  $\theta$  (primeiro invariante de tensões). Nesses programas, para que as constantes  $K_1$  e  $K_2$  se tornem adimensionais, adota-se a seguinte expressão:

$$M_R = P_a \cdot K_1 \cdot \left( \frac{\theta}{P_a} \right)^{k_2} \quad (1)$$

onde  $P_a$  é a pressão atmosférica expressa na mesma unidade que  $M_R$ . As tabelas a seguir reúnem alguns valores de  $K_1$  e  $K_2$  da expressão 1, obtidos com ensaios triaxiais de materiais ferroviários por diversos autores.

Observa-se nos resultados dos quadros 2, 3 e 4 que o módulo de resiliência do lastro, dada a sua característica granular, não segue a lei de Hooke generalizada (módulo de elasticidade linear), assumindo então o modelo resiliente não-linear expresso por  $K_1$  e  $K_2$ . Por conseguinte, um modelo representativo da reação do lastro sobre os dormentes é o de líquido denso.

### 2.4. Análise da via permanente ferroviária

Uma primeira aproximação para a avaliação do funcionamento do pavimento ferroviário frente aos carregamentos impostos foi o modelo de viga sobre apoio elástico, fundamentado na hipótese de Winkler de 1867. Posteriormente,

Quadro 2 – Resultados de ensaios de carga repetida (CHANG et al., 1980)

Camada	$K_1$	$K_2$
Lastro de Granito de Wyoming	1948	0,518
sublastro	840	0,720

Quadro 3 – Resultados de ensaios de carga repetida (RUST e SELIG, 1992)

Camada	$K_1$	$K_2$
Lastro	1569	0,535
	1058	0,593
	2067	0,509
Sublastro	941	0,687

Quadro 4 – Resultados de ensaios de carga repetida (KOLISOJA e MÄKELÄ, 2001)

Camada	$K_1$	$K_2$
lastro peneirado	2000	0,50
lastro não-peneirado	1750	0,50
areia	1635	0,38
Pedregulho	2265	0,50

este modelo foi ampliado por Zimmermann, no início do século XX, inserindo o conceito de *módulo de via*.

Mais modernamente, o programa computacional FERROVIA, (RODRIGUES, 1993) adota o modelo de simu-

lação de trilhos, fixação e dormentes como uma viga interconectada com molas, interagindo com as camadas do pavimento (lastro, sublastro e subleito). Algumas telas de entrada deste programa são apresentadas na figura 4, e o fluxograma básico na figura 5.

As principais funcionalidades do Ferrovía são:

- Calcular as respostas da via ao carregamento aplicado pelos trens, incluindo-se as tensões e deformações atuantes nas camadas de lastro, sublastro e subleito;
- Levantar em conta a natureza tridimensional do pavimento ferroviário e, mesmo assim, tornar o esforço computacional em nível aceitável para utilização rotineira;
- Incorporar as vantagens dos principais modelos já existentes.

Foi utilizado o método dos elementos finitos para a elaboração do modelo computacional que reproduz a grade (trilhos e dormentes). Os trilhos e dormentes são representados por elementos de viga interconectados. A ligação entre trilhos e os dormentes se dá por meio de molas, que por sua vez representam o sistema de fixação. O grau de fixação é expresso por um valor de K, desde zero até a ligação perfeita.

A estrutura em camadas constituídas por lastro, sublastro e subleito é simulada pelo método das camadas finitas. Para tal fim, aplica-se o programa computacional

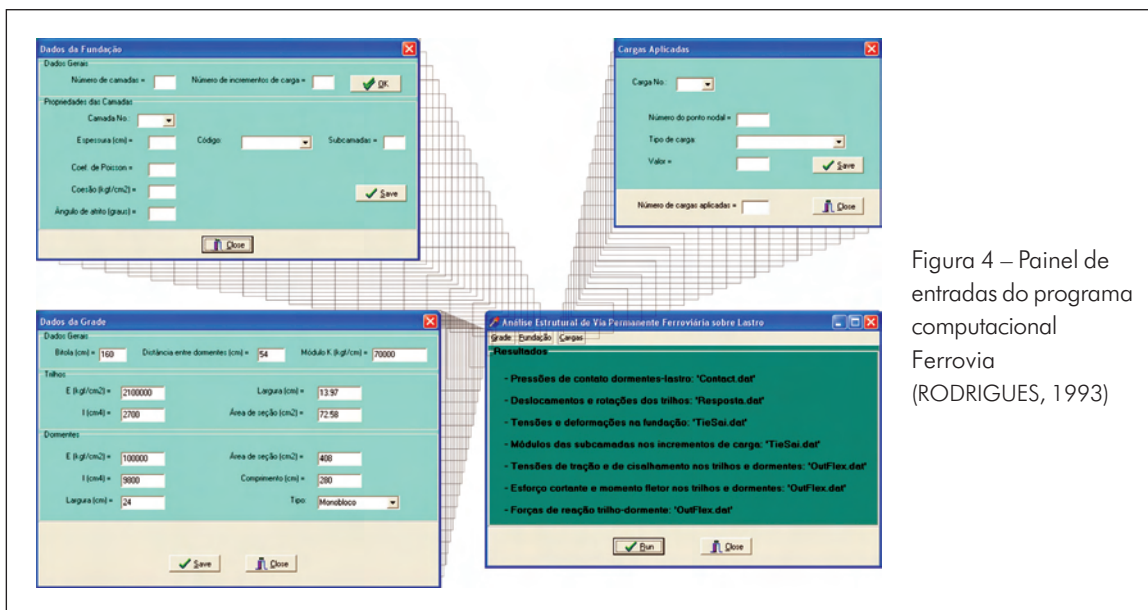


Figura 4 – Painel de entradas do programa computacional Ferrovía (RODRIGUES, 1993)

ELASTMCF (RODRIGUES, 1991) na determinação da matriz de flexibilidade –  $[F]$  – do conjunto de camadas. Invertendo-se  $[F]$ , determina-se a matriz de rigidez –  $[K_f]$  – da estrutura em camadas. Da mesma forma obtém-se a matriz de rigidez da grade –  $[K_s]$ . Os deslocamentos verticais e as rotações dos pontos nodais –  $\delta$  – são calculados resolvendo-se o sistema:

$$([K_s] + [K_f])\delta = P \quad (2)$$

Onde  $P$  é o vetor de cargas verticais e torques externos aplicados ao sistema.

O Ferrovía está estruturado a partir de uma superposição de programas computacionais. Este recurso é utilizado para poder lidar com o comportamento não linear dos solos e dos materiais granulares e permitir a execução do programa por partes, fazendo-se as interações necessárias de modo a compatibilizar os módulos resilientes das camadas com o carregamento. Como existe a possibilidade de ocorrência de ruptura localizada nessas camadas, em consequência das elevadas cargas dinâmicas aplicadas pelos trens-tipo, reforça-se a necessidade deste procedimento.

## 2.5. Retroanálise em pavimentos

A retroanálise, na terminologia específica da Mecânica dos Pavimentos, é a metodologia analítica para obtenção dos parâmetros *in situ* das camadas do pavimento (MUNIZ DA SILVA, 2002). Os métodos de retroanálise, para avaliação de pavimentos estruturais através de ensaios deflectométricos, baseiam-se na determinação do módulo elástico das camadas do pavimento a partir de ensaios não-destrutivos. Atualmente, os métodos de retroanálise podem ser classificados em dois grupos genéricos: métodos iterativos e métodos simplificados. Os métodos iterativos, por utilizarem processos iterativos de convergência, apresentam, em geral, boa acurácia, porém demandam muito tempo de processamento. Os métodos iterativos de retroanálise podem ser classificados em três grupos, conforme apresentado a seguir (MACEDO, 1996):

- Grupo 1: métodos que calculam, durante o processamento, os parâmetros elásticos de estruturas teóricas.

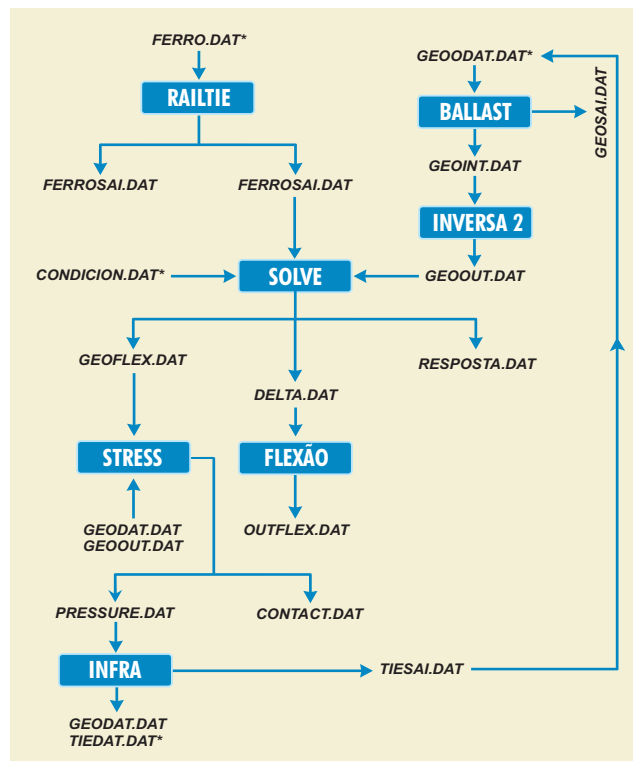


Figura 5 – Estrutura do programa computacional Ferrovía (RODRIGUES, 1993).

- Grupo 2: métodos que utilizam banco de dados e parâmetros elásticos de estruturas teóricas previamente calculados.
- Grupo 3: métodos que utilizam equações de regressões estatísticas.

Assim, uma sistemática de análise de desempenho utilizando bacia de deflexão obtida com viga Benkelman e retroanálise ensejam as seguintes expressivas vantagens: (i) a obtenção dos módulos nas reais condições de campo, extremamente difíceis de serem reproduzidas em laboratório; (ii) evita as inconvenientes e perigosas coletas de amostras na via; e (iii) agilidade na caracterização resiliente do pavimento (ALBERNAZ, 1997; FONSECA, 2002). A sistemática permite ainda identificar claramente quais camadas estão contribuindo de forma mais significativa para a “perda de geometria” (geometria sob carga ou, mais corretamente, deflexão).

## 3. ESTUDO PARAMÉTRICO

Objetivando gerar algumas bacias de deflexão teóricas que sirvam de comparação para as bacias medidas em trechos ferroviários para a determinação dos módulos

de resiliência, foi realizado um estudo paramétrico variando os valores dos módulos de resiliência do lastro e do subleito, empregando o programa Ferrovía, conforme mostrada na Figura 6 a estrutura de pavimento ferroviário típica.

A fim de delimitar os comportamentos esperados para a bacia de deflexão perante a estrutura do pavimento ferroviário e os carregamentos, adotou-se uma estrutura típica apresentada na figura 6, dentro da qual foram variados o  $K_1$  do módulo de resiliência do lastro de 1.400 kgf/cm<sup>2</sup> a 2.000 kgf/cm<sup>2</sup>, variando a cada 200 kgf/cm<sup>2</sup>. Fixou-se o  $K_2$  em 0,55 dada a baixa variação desse parâmetro conforme visto nos quadros 2, 3 e 4) e o módulo de resiliência do subleito igual a 600 kgf/cm<sup>2</sup>.

Diante da inexistência de uma padronização para a execução de bacias de deflexão em pavimentos ferroviários, foram estudadas bacias com diversos carregamentos. Os carregamentos empregados foram: um eixo de 30 toneladas, dois de 15 toneladas, dois de 30 toneladas e três

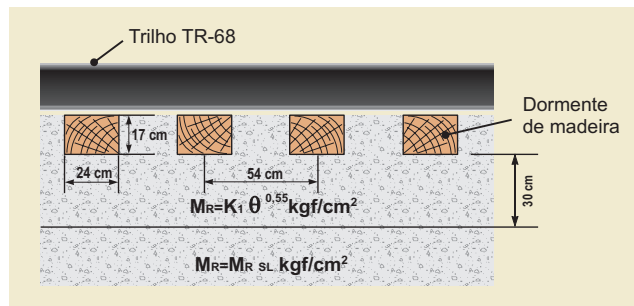


Figura 6 – Estrutura básica do pavimento teórico para estudo paramétrico.

de 30 toneladas, obtendo um conjunto de bacias em cada combinação de fatores que podem ser vistos detalhadamente em RODY (2006) e RODY et al (2008).

#### 4. RESULTADOS

Os resultados do programa Ferrovía expressos em forma de gráfico com as bacias teóricas são apresentados

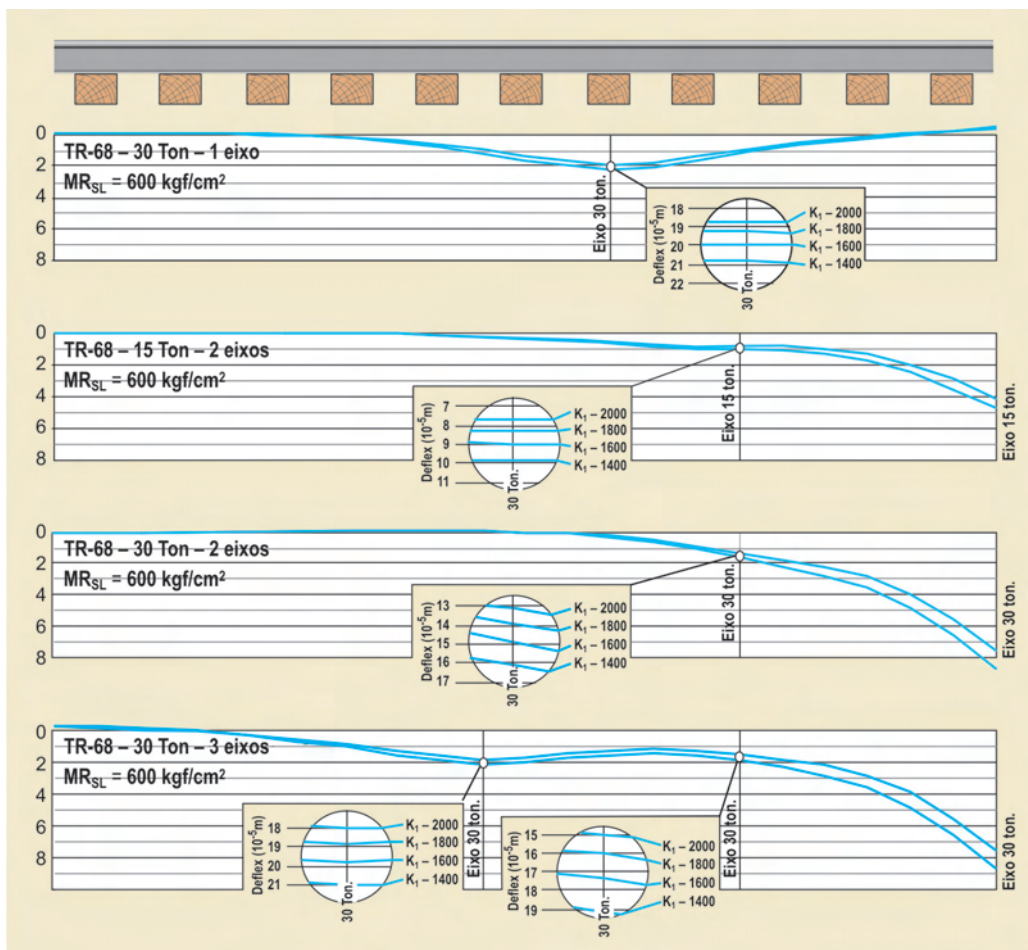


Figura 7 – Bacias de deflexões obtidas pelo programa Ferrovía.

Quadro 6 – Bacias de Deflexões Teóricas para a Estrutura do Pavimento da Figura 6

Distância (m)		0	0.54	1.08	1.62	2.16	2.7	3.24	3.78	4.32	4.86	5.4	5.94
Trilho	$K_2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Deflexões (m <sup>-4</sup> metros)											
TR-68 1 Eixo 15 ton.	1400	0.0	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	1.9	4.8	8.3	9.8	12.5	24.6	47.8
	2000	0.0	-0.1	-0.3	-0.3	0.2	1.5	4.0	7.0	7.7	9.2	19.6	40.8
TR-68 1 Eixo 30 ton.	1400	-0.6	-0.7	-0.6	0.6	4.3	11.0	18.8	18.9	11.3	4.3	-0.6	-4.5
	2000	-0.3	-0.6	-0.6	0.2	3.2	9.2	16.4	16.5	9.5	3.3	-0.6	-3.6
TR-68 2 Eixo 30 ton.	1400	0.3	0.1	-0.2	-0.5	-0.9	-0.6	1.3	6.6	16.1	27.3	47.8	87.5
	2000	0.2	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.6	0.9	5.3	13.1	21.9	39.3	75.5
TR-68 3 Eixo 30 ton.	1400	-3.4	-1.0	2.3	7.7	15.5	21.0	17.6	14.9	19.1	28.1	48.2	88.1
	2000	-2.5	-0.9	1.5	6.1	13.0	18.1	14.5	11.7	15.0	22.1	39.3	75.9

na figura 7 e na forma de tabela no quadro 6 que apresenta as deflexões dos dormentes.

Note-se no quadro 6 que as deflexões máximas calculadas nestes casos se comparam (em ordem de grandeza) com as previstas por HAY (1982) apresentadas no quadro 1, dado que a magnitude das cargas empregadas no estudo não são elevadas e, portanto, não apresentam um elevado desgaste à estrutura ferroviária.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adotando-se módulos de resiliência do lastro ferroviário e do subleito para uma estrutura predefinida com espessura da camada de lastro, grade e carregamento já definidos, mostra-se como é possível a criação de tabelas de bacias teóricas, dada as facilidades dos programas computacionais de análise da via permanente e a grande capacidade de processamento dos computadores atuais.

Os resultados dos cálculos teóricos das deflexões frente às cargas aplicadas indicaram que, nos pontos de aplicação da carga, a deflexão comporta-se linearmente frente à solicitação, todavia nos pontos afastados o mesmo não é verificado. Para a realização da reotranálise

de um pavimento existente, deve ser cuidadosamente medida em campo a bacia de deflexão, observando-se principalmente a possibilidade de ocorrência do Gap (presença de vazios abaixo de dormentes), que causa um grande desvio nos resultados. Observa-se, também, que os resultados aqui apresentados podem ser comparados com as bacias de deflexão obtidas com viga Benkelman, todavia nada impede que se utilize outro tipo de ensaio para a obtenção da bacia, desde que este ensaio não interfira no estado de tensões e deformações induzido pelo carregamento do trem tipo considerado, ao pavimento estudado.

Após a verificação das faixas de variações do Estudo Paramétrico, observou-se que, para módulos de resiliência no subleito igual ou superior a 200 kgf/cm<sup>2</sup>, a deflexão da via permanente é predominantemente ocasionada pelo lastro, obedecendo as condições da modelagem mostrada na figura 5.

Convém ressaltar que as limitações deste estudo não autoriza generalizações. Mas apresenta uma possibilidade de análise da condição de um pavimento ferroviário. O mérito deste estudo reside na tentativa de elaboração de um conhecimento coletivo em Engenharia Ferroviária sobre um debate que está em processo de construção.

## REFERÊNCIAS

- ALBERNAZ, C.A.V. *Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis a Partir da Bacia de Deflexão*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- CHANG, C. S., AGEDOKE, C.W., Selig, E.T. (1980). *Geotrack Model for Railroad Track Performance*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 106, No. GT11, 1201 - 1218.

- FONSECA, J.L.G. (2002). *Um Método de Retroanálise de Bacias de Deflexão de Pavimentos*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- HAY, W.W. (1982), "Railroad Engineering" Second, John Wiley and Sons, Inc., New York
- KOLISOJA e MÄKELÄ (2001). *Instrumentation and Mechanical Modeling of a Full-Scale Railway Embankment*. Proceedings of Fifteenth International Conference on Soils Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3, Istambul, Turquia.
- MACEDO, J. A. (1996). *Interpretação de Ensaios Defletométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- MEDINA, J. (1988). *Fundamentos de Mecânica dos Pavimentos*. Tese para Concurso de Professor Titular, Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- MEDINA, J. MOTTA, L.M.G. (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª edição, UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- MUNIZ DA SILVA, L.F. (2002). *Fundamentos para um Sistema de Gerência de Manutenção de Pavimentos Ferroviários Utilizando Critério de Deformação Resiliente*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.
- RODRIGUES, R.M. (1991). *Estudo do Trincamento dos Pavimentos* – Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- RODRIGUES, R.M., DYNATEST ENGENHARIA Ltda. (1993). *Análise Estrutural da Via Permanente Ferroviária* – São Paulo, Brasil.
- RODY, H.A. (2006). *Determinação Numérico-Computacional dos Módulos de Deformabilidade da Via Permanente Ferroviária por Retroanálise de Bacias de Deflexão* – Projeto Final de Graduação, UFF, Niterói-RJ, Brasil
- RODY, H.A., MUNIZ DA SILVA, L.F., SPADA, J.L.G. (2008). *Avaliação do Módulo de Resiliência do Lastro por Retroanálise de Bacias de Deflexão na Via Ferroviária*. Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, Coimbra, Portugal.
- RUST, J. e SELIG, E.T. (1992). *Geotrack for Windows* – Amherst, EUA.
- SELIG, E.T., WATERS, J.M. (1994). *Track Geotechnology and Substructure Management*. Thomas Telford – London, England.
- SPADA, J.L.G. (2003). *Uma Abordagem de Mecânica dos Pavimentos Aplicada ao Entendimento do Mecanismo de Comportamento Tensão-Deformação da Via Férrea*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, Brasil.

.....

## Cartas dos leitores

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

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



Os resíduos descartados pelas indústrias de fundição realmente são um problema que precisa de atenção e uma solução técnica. Foi, portanto, de grande valia o artigo da última edição da Revista que abordou a maneira alternativa do uso dos rejeitos, principalmente a areia, em misturas do tipo concreto asfáltico.

Carlos Eduardo Argos Severo – Concórdia, SC

Prevenção devia ser a palavra de ordem não só nas obras-de-arte, como abordado no artigo da ex-Ministra dos Transportes, Margarida Nascimento, mas também em todo o complexo das obras de pavimentação no País.

Alicéia Mercante Xavier – Vitória, ES

Parabéns ao colunista Atahualpa Schmitz. Fatos Históricos sempre nos brinda com uma viagem ao passado, mantendo acesa a chama de memória de tudo o que se fez pela pavimentação neste País.

Altineu Machado Neto – São Paulo, SP

# Avaliação sonora de pavimentos

## Uma comparação entre Revestimento Modificado com Borracha de Pneus com Asfalto Convencional – CBUQ

José Luiz Lopes

Coordenador Técnico – Higiene Ocupacional

### RESUMO

Este trabalho compara o nível de ruído do tráfego gerado em rodovia com Revestimento Modificado com Borracha de Pneus com o nível de ruído do tráfego em rodovia com Pavimento Convencional – CBUQ. Para tanto se avaliou o ruído do tráfego em trechos consecutivos da Rodovia Padre Manoel da Nóbrega, SP 055, Km 271 + 200 metros, na cidade Cubatão/SP, que apresentava os dois tipos de pavimento. Foram avaliadas situações de tráfego com veículos pesados, veículos leves e com os dois tipos de veículos. Os resultados da pesquisa mostraram que o Revestimento Modificado com Borracha de Pneus é mais silencioso que o CBUQ na maioria das frequências analisadas, tanto para veículos leves como para veículos pesados. Para veículos pesados trafegando sozinhos, a redução no nível de ruído máxima registrada foi de 27,59% na faixa de 1.250 a 10.000 Hz, e para veículos leves, 47,36% na mesma faixa de frequências.

### PALAVRAS-CHAVE

Ruído, Revestimento Modificado com Borracha de Pneus, Pavimento Convencional – CBUQ.

### ABSTRACT

This paper compares the level of traffic noise produced on Rubber Tires Modified with Rubber Coating of Tires with the level of traffic noise produced on Pavement Conventional – CBUQ. To accomplish it, the traffic noise was evaluated on consecutive stretches of Padre Manoel da Nobrega Road, SP 055, Km 271 + other 200 meters on the city of Cubatão / SP which has both types of pavement. The measurements were performed with a Svantek 948 analyzer, serial number 6961, 4 channels for capturing the noise events in Real Time, Real RMS detectors and samples of 100 milliseconds. The analyzer has been configured for one-third octave bands, scale A, speed reading (Fast), linear integration settings. The survey's results showed that the Asphalt Rubber attenuates the noise for Trucks in relation to CBUQ: 27.59% in 1250 to 10000 Hz frequency, 14.83% in 800 to 10000 Hz frequency, 10.34% in 500 to 10000 Hz frequency and 10.34% in all frequencies.

### KEY-WORDS

Noise, Modified with Rubber Coating of Tires, Pavement Conventional – CBUQ.

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade sonora de uma cidade tem a ver diretamente com a forma de urbanização, as características do uso do solo, o zoneamento, a densidade demográfica,

a morfologia das edificações, o desenho urbano, as características do sistema viário e os hábitos e educação da comunidade (TEIXEIRA, 2000).

Do ponto de vista de contaminação ambiental, o ruído é um fator relevante por ser onipresente e por ser

facilmente detectado pelo ouvido humano. Nos grandes centros urbanos, a maior parte do ruído aos quais os seus habitantes ficam submetidos provém do tráfego, sendo uma das principais causas de incômodo social e de queixas realizadas.

Os esforços típicos de mitigação do ruído em outros países empregados pelos departamentos de estradas envolvem a construção de barreiras que reduzem o nível de ruído que é propagado em determinadas áreas (CARLSON; ZHU; XIAO, 2003).

Nos Estados Unidos, diversas ações têm sido realizadas neste âmbito, envolvendo também a construção de barreiras acústicas para reduzir os níveis de ruídos propagados em determinados pontos. Porém, estas barreiras não reduzem totalmente o ruído gerado, servindo apenas para proteger alguns locais específicos da propagação, além do que tem um alto custo de implantação. (SOUND LEVEL SURVEY, 1990; ASPHALT RUBBER CONFERENCE, 2000).

Além das barreiras acústicas, é possível reduzir os níveis de ruído de outras maneiras, como a produção de veículos com menor emissão de ruídos a partir do sistema de exaustão, das operações mecânicas e da aerodinâmica, pelo desenvolvimento de pneus otimizados para gerar menos ruído durante o rolamento e por alteração das propriedades do pavimento.

Este estudo faz o comparativo do nível do ruído gerado pelo tráfego rodoviário em pavimento com Revestimento Modificado com Borracha de Pneus com o gerado em Pavimento Convencional – CBUQ, tendo por base dados de ensaio e informações obtidas em condições reais de uma rodovia paulista.

São apresentados no trabalho os dados técnicos relativos às medições de ruído e os detalhes dos equipamentos utilizados.

## 2. REVESTIMENTO MODIFICADO COM BORRACHA DE PNEUS

É a mistura a quente executada em usina apropriada, com características específicas composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (*filer*) e cimento asfáltico de petróleo modificado com adição de borracha de pneumáticos, usinada, espalhada e compri-

mida a quente. O revestimento modificado com borracha de pneus pode ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

### 2.1 Materiais

Os materiais constituintes do revestimento modificado com adição de borracha são agregados graúdos, agregado miúdo, material de enchimento (*filer*) e ligante betuminoso modificado com adição de borracha de pneumáticos, os quais devem satisfazer aos requisitos apresentados na especificação.

O Revestimento Modificado com Adição de Borracha de Pneus possui as seguintes características:

- O teor mínimo de borracha é de 20% em peso;
- A granulometria da borracha deve atender às faixas granulométricas (ver tabela 1);
- A mistura Revestimento Modificado com Borracha de Pneus deve atender às exigências (ver tabela 2).

Tabela 1 – Faixas Granulométricas de Borracha

Peneiras de Malha Quadrada		% Passando, em peso	
Tipo	mm	Tipo A	Tipo B
Nº 8	2,4	100	–
Nº 10	2,0	95 – 100	100
Nº 16	1,2	0 – 10	65 – 100
Nº 30	0,60	–	20 – 100
Nº 50	0,30	–	0 – 45
Nº 200	0,074	–	– – 5

Fonte: Concessionária Ecovias dos Imigrantes

O tempo máximo de estocagem do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus é definido pelo fabricante.

De qualquer modo, o Revestimento Modificado com Borracha de Pneus estocado na usina é mantido constantemente aquecido, a 160°C, e mantido sob agitação ininterrupta.

Para a utilização do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus estocado, deve-se verificar previamente se o mesmo mantém as características encontradas nos ensaios de recepção, que devem cumprir com os limites indicados no quadro apresentado anteriormente.

Tabela 2 – Exigências para mistura do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus

Características	Exigência	
	Mínima	Máxima
Penetração – 100g / 5s / 25°C / 0,1 mm	40	60
Ponto de Fulgor – °C	235	–
Densidade Relativa, 25°C	1,00	1,05
Ponto de amolecimento, °C 50 65	50	65
Recuperação Elástica, %	30	–
Estabilidade ao armazenamento – 500ml em estufa a 163°C, 5 dias		
• diferença de ponto de amolecimento, °C	–	5
• diferença de recuperação elástica, 20cm, 25°C,%	–	4
Efeito do calor e do ar:		
• variação de massa, %		1,0
• percentagem da penetração original	50	–
• variação do ponto de amolecimento, °C	–	4
• recuperação elástica, %	25	–
Viscosidade Brookfield a 175 °C, cP	1.500	4.000

Fonte: Concessionária Ecovias dos Imigrantes

### 3. ASFALTO CONVENCIONAL – CBUQ

Asfalto Convencional (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente) – mistura a quente executada em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (*filer*) e ligante betuminoso, usinada, espalhada e comprimida a quente.

- Camada de Rolamento (ou capa) – camada superior ou superficial de revestimento, que receberá as cargas do tráfego.
- Camada de Ligação (*Binder*) ou camada intermediária – camada executada abaixo da camada de rolamento, de forma a ligá-la à camada subjacente.
- Camada de Vedação (ou selagem, ou camada de reperfilamento, ou massa fina) – executada em restauração de pavimento, sobre o pavimento antigo degradado, com o objetivo de impermeabilizar a superfície, vedar as aberturas existentes, selar as trincas existentes, evitando sua reflexão nas camadas superiores de reforço, e, às vezes, regularizar ou reperfilar a superfície deformada. Geralmente, é executada com CBUQ tipo “massa fina” (de graduação fechada, diâ-

metro máximo igual a 1/2”, com baixo índice de vazios e elevado teor de ligante).

O Asfalto Convencional pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento. O Asfalto Convencional pode ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

#### 3.1 Materiais

Os materiais componentes do Asfalto Convencional, como agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (*filer*) e ligante betuminoso, devem satisfazer as seguintes especificações.

##### 3.1.1 Ligante Betuminoso

Todo carregamento de ligante betuminoso que chegar à obra deverá apresentar certificado de análise, além de trazer indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de serviço. Podem ser empregados os seguintes ligantes betuminosos:

- Cimento asfáltico de petróleo – CAP-30/45, CAP-50/70.
- Podem ser usados, também, ligantes betuminosos modificados quando indicados no projeto.

### 3.2 Dosagem da Mistura

A composição granulométrica dos agregados do Asfalto Convencional deve satisfazer aos requisitos do quadro seguinte com as respectivas tolerâncias, no que diz respeito à granulometria e aos percentuais do ligante betuminoso.

- Para camada de rolamento, recomenda-se a faixa granulométrica IVb do Instituto do Asfalto;
- Para camada de ligação ou *Binder*, a faixa granulométrica IVc do Instituto do Asfalto;
- Para a camada de vedação, a faixa D do DER-SP.

Tabela 3 – Composição Granulométrica dos Agregados

Peneiras de Malha Quadrada		% Passando – em Peso		
Tipo	Mm	IV b – (IA)	IV c – (IA)	D (DER-SP)
1"	25,4	100	100	–
¾"	19,1	100	80 – 100	–
½"	12,7	80 – 100	–	100
3/8"	9,5	70 – 90	60 – 80	90 – 100
Nº 4	4,8	50 – 70	48 – 65	50 – 80
Nº 8	2,4	35 – 50	35 – 50	30 – 60
Nº 10	2,0	–	–	30 – 60
Nº 30	0,60	18 – 29	19 – 30	–
Nº 40	0,42	–	–	15 – 35
Nº 50	0,30	13 – 23	13 – 23	–
Nº 80	0,18	–	–	10 – 25
Nº 100	0,149	8 – 16	7 – 15	–
Nº 200	0,074	4 – 10	1 – 8	6 – 10
Betume Solúvel no CS <sub>2</sub> (+) %		4,5 – 7,0	4,5 – 6,5	4,5 – 7,5
Emprego		Rolamento	<i>Binder</i>	Vedação

Fonte: Concessionária Ecovias dos Imigrantes

Uma vez estabelecida a curva granulométrica e fixado o teor de asfalto, de acordo com o método indicado, não sendo admitidas na produção do concreto asfáltico variações superiores às seguintes especificações:

- A faixa usada deve ser aquela, cujo diâmetro máximo seja igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada de revestimento.
- Na escolha da curva granulométrica, para camada de rolamento, deve ser considerada a segurança do usuário, dosando-se misturas asfálticas para a

camada de rolamento com adequada resistência à derrapagem.

- As porcentagens de betume se referem à mistura de agregados, considerada como 100%. Para todos os tipos, a fração retida entre duas peneiras consecutivas não deverá ser inferior a 4% do total.

Tabela 4 – Composição Granulométrica dos Agregados

Peneiras de Malhas Quadradas (NBR 5734/80)	% Passando – em Peso
19 mm (3/4") e 12,5 mm (1/2")	± 7%
9,52 mm (3/8") e 4,8 mm (nº 4)	± 5%
2,4 mm (nº 8) a 0,30 mm (nº 50)	± 4%
0,175 mm (nº 80) e 0,149 mm (nº 100)	± 3%
0,075 mm (nº 200)	± 2%
Teor de Asfalto	± 0,3%

Fonte: Concessionária Ecovias dos Imigrantes

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo Geral

- Comparar o nível de ruído gerado pelo tráfego em rodovia com pavimento à base de Revestimento Modificado com Borracha de Pneus com o nível de ruído gerado pelo tráfego em rodovia com pavimento à base de Pavimento Convencional – CBUQ, tendo por base dados de ensaio e informações obtidas em condições reais da rodovia.

### 4.2 Objetivo Específico

- Medir os níveis de ruído produzido pelo tráfego no Revestimento Modificado com Borracha de Pneus e no Pavimento Convencional – CBUQ, analisando o filtro de bandas e terças de oitavas – espectro de frequências.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Método de amostragem

Para a medição do ruído advindo do fluxo de veículos no pavimento – ruído de passagem, foi utilizado os pa-

râmetros com base na metodologia da ISO 11819:1997, Parte 1 – Medição do ruído com influência do tráfego de veículos.

## 5.2 Critérios de medição

As medições de nível de ruído foram realizadas durante o dia com céu encoberto de nuvens e pista seca.

Foi utilizado um analisador marca Svantek 948, número de série 6961 de quatro canais para coleta dos eventos de ruído em Tempo Real, com detetores RMS Real e amostragem de 100 milissegundo. O analisador foi configurado com função em terças de oitava, escala A, leitura rápida (*Fast*), integração Leq linear.

Foi colocado sobre a mesa metálica a 10 metros de distância na direção da emenda entre os dois tipos de asfalto na faixa de rolamento 2 da direita, sentido oeste. O analisador foi calibrado antes e depois de concluído as medições.

## 5.3 Posicionamento dos equipamentos

Em seguida, foi definido o posicionamento dos quatro tripés, medindo 7,5 metros de distância no sentido transversal com a trena manual, partindo da faixa central de rodagem até o acostamento, ou seja, entre a faixa pintada 1 e 2 (figuras 1, 2 e 3).

Em seguida, foram medidas as distâncias para o posicionamento dos microfones no sentido longitudinal partindo da emenda dos dois tipos de asfalto.

- Microfone 1 – 76 metros de distância da emenda
  - Latitude – 0353563 / Longitude – 7356909
- Microfone 2 – 43 metros de distância da emenda
  - Latitude – 0353596 / Longitude – 7356904
- Microfone 3 – 17 metros de distância da emenda
  - Latitude – 0353651 / Longitude – 7356888
- Microfone 4 – 75,2 metros de distância da emenda
  - Latitude – 0353707 / Longitude – 7356875

Todos os microfones foram posicionados a 1,20 metro de altura do piso no sentido horizontal direcionados para a faixa de rolamento e foi colocada a espuma na extremidade de cada microfone para proteger contra os efeitos do vento e poeiras. Depois de verificado todas as



Figura 1 – Distância da faixa central para o microfone



Figura 2 – Microfone 4, revestimento modificado com borracha de pneus



Figura 3 – Altura do microfone 2

FOTOS: DO AUTOR

posições dos tripés com os respectivos microfones, foi colocado um calço na base dos mesmos para evitar eventuais queda pelo vento. Os quatro cabos coaxiais blindados foram conectados nas quatro saídas do aparelho analisador e esticados até os microfones.

Foram checados cada canal de medição e as configurações. Desta forma, foi dado apenas um comando de medição diante da aproximação de um veículo, foi possível o monitoramento na fração de pista anterior, central

e posterior com os devidos atrasos relativos à velocidade de deslocamento.

A cada 100 milissegundo (ms) foi coletado o respectivo espectro de terças de oitavas do evento gerador.

#### 5.4 Coleta de Dados

Com isso, pode se obter a partir dos dados a variação do Nível Global em função do tempo, que apenas mostra se os distintos pavimentos geram o maior ou menor ruído. Além de ter também a variação temporal do evento de ruído em frequência, ou seja, pode-se obter em banda por banda de terças de oitavas a sua variação no tempo.

Para cada memória foi dado um nome, e todas as gravações referentes a ela foram guardadas no instrumento.

Cada medição ocorreu aproximadamente em 15 segundos, que é o tempo necessário para o veículo se deslocar aproximadamente 150 metros, com uma velocidade de média 70 Km/h.

Durante a medição tentou-se escolher eventos em que o veículo estivesse sozinho e obter dados para ônibus, caminhões (leves e pesados), veículos utilitários e de passeio. Outro fator relevante considerado foi saber qual é a velocidade em que os caminhões, veículos e utilitários passaram pelos microfones.

Como não foi possível medir as velocidades com radar devido à não colaboração da Polícia Rodoviária em fornecer o equipamento, foi necessário utilizar os dados fornecidos pelo analisador. Portanto, se utilizou as distâncias mencionadas anteriormente e foi realizado o cálculo da velocidade dos caminhões, veículos e utilitários como segue:

1. Distâncias entre os microfones, Mic 1 – Mic 2 = 33,0 metros.
2. Distâncias entre os microfones, Mic 2 – Mic 3 = 60,0 metros.
3. Distâncias entre os microfones, Mic 3 – Mic 4 = 58,2 metros.

Utilizando o primeiro gráfico de cada registro analisado, foi colocado o cursor no Lmax do *Buffer 1* (MIC1) e anotado o horário, colocado o cursor no Lmax do *Buffer 2* (MIC 2), foi anotado o horário, colocado o cursor no Lmax do *Buffer 3* (MIC 3), também foi anotado o horário,

e, finalmente, foi colocado o cursor no Lmax do *Buffer 4*, (MIC 4) e anotado o horário.

A velocidade é a distância entre os respectivos microfones, dividido pelo delta tempo entre os microfones.

O delta tempo entre os microfones 1 e 2 foi de aproximadamente dois segundos na maioria da passagem dos caminhões, veículos e utilitários com a velocidade de 59,2 Km/h.

Entre os microfones 2 e 3, o delta tempo variou de dois a três segundos aproximadamente em todas as passagens. Quando a passagem é de três segundos entre os microfones, a velocidade é de 72,0 km/h; no caso da passagem ser de dois segundos, a velocidade foi de 108,0 km/h.

Já para os microfones 3 e 4, o delta tempo também variou entre três a quatro segundos nas passagens. Na passagem com três segundos entre os microfones, a velocidade foi de 69,8 km/h, enquanto que na passagem com quatro segundos a velocidade foi de 69,8 km/h, poucos foram com passagem com dois segundos, atingindo a velocidade de 107,76 km/h.

Apenas no registro ECO 116 – Ônibus se observou uma passagem de um segundo entre o microfone 1 e 2, atingindo uma alta velocidade de 118,8 km/h, infringindo o limite máximo da rodovia que é de 90,0 km/h para caminhões, ônibus, utilitários e 110,0 km/h para veículos leves.

Observa-se que quanto menor o tempo de passagem entre os microfones, maior será a velocidade de passagem pelos caminhões, utilitários e veículos leves.

## 6. RESULTADOS

Durante o período de coleta de dados, foram realizadas 140 medições com todos os tipos de veículos, utilitários, motos e caminhões pesados que trafegaram na Rodovia Padre Manoel de Nóbrega, Km 71 + 200 metros no dia 01/09/2007, sendo:

- 84 medições – Veículos com dois ou multieixos (Caminhões)
- 50 medições – Veículos Leves e Utilitários
- 2 medições – Motos
- 4 medições – Canceladas

Desse total, 44,3% das medições foram descartadas por apresentar muitas oscilações nos níveis de ruído

encontrados, o que corresponde a 62 medições e 4,3% das medições foram canceladas decorrentes de erros de leitura pelo analisador.

Os outros 51,4% das medições, correspondendo a 72 medições foram coletadas e são apresentadas na conclusão desse estudo.

Para identificação das medições foi dado o nome do registro de ECO, que é a memória global com número seqüencial. Assim os arquivos foram salvos no analisador como ECO1 até ECO140.

O software do analisador salva o arquivo aleatoriamente e o armazena em *buffer* (conjunto de dados) com determinado número.

Para analisar os dados, abre-se o arquivo ECO desejado e seleciona-se qual é o *buffer* relacionado e/ou associado ao mesmo.

O primeiro e o segundo *buffers* são referentes aos microfones nº 1 e nº 2 utilizados para amostrar o ruído proveniente do tráfego em pavimento de Pavimento Convencional – CBUQ.

O terceiro e o quarto *buffer* são referentes aos microfones nº 3 e nº 4 utilizados para amostrar o ruído proveniente do tráfego em Pavimento Convencional – CBUQ com Revestimento Modificado com Borracha de Pneus.

Para fins comparativos e análise da eficiência da atenuação entre os tipos de asfaltos, levou-se em consideração o *Buffer 2* (Pavimento Convencional – CBUQ) comparado com o *Buffer 3* (Revestimento Modificado com Borracha de Pneus). Como o tráfego é dinâmico nessa rodovia, as medições foram sendo realizadas na medida em que os veículos iam passando.

Não houve uma seqüência lógica por registro. Caminhão trafegando sozinho – foi considerado como referência, assim como veículo leve sozinho – também foi considerado como referência.

Foram analisados também vários veículos e caminhões passando simultaneamente.

## 7. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo, verificou-se que a redução de ruído em dB-Linear nas altas frequências comprova que o Revestimento Modificado com

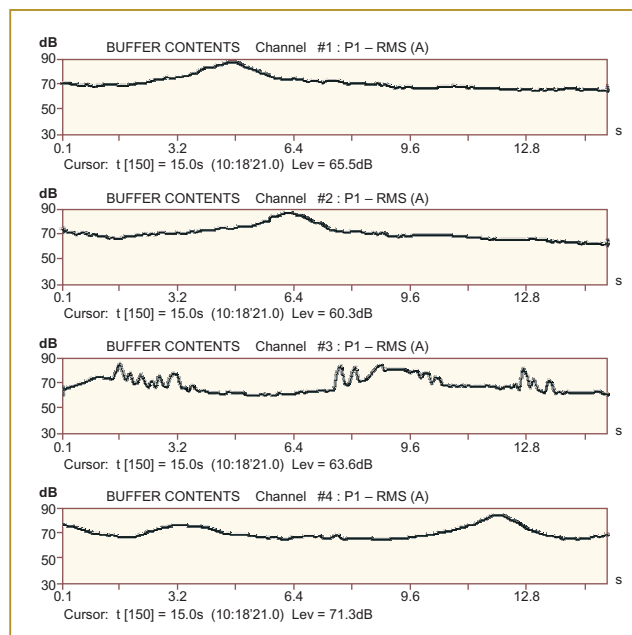
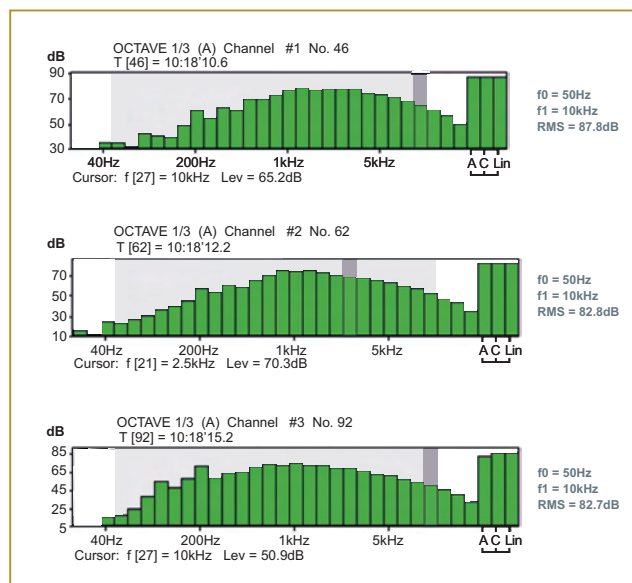


Figura 4 – Espectro de nível máximo (Lmáx) Microfones 1/2/3 – Fonte: Autor



NÃO APARECE NO SOFTWARE  
Figura 5 – Espectro de nível máximo (Lmáx) Microfones 1/2/3 – Fonte: Autor

Borracha de Pneus é mais silencioso que o Asfalto Convencional – CBUQ, conforme medido na Rodovia Padre Manoel da Nóbrega, SP 055, Km 71 + 200 metros. Em todos os registros (ECO), na frequência de 2.000 Hz, houve redução significativa no ruído.

A adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação resulta em maiores vazios em relação ao Pavimento Convencional – CBUQ,

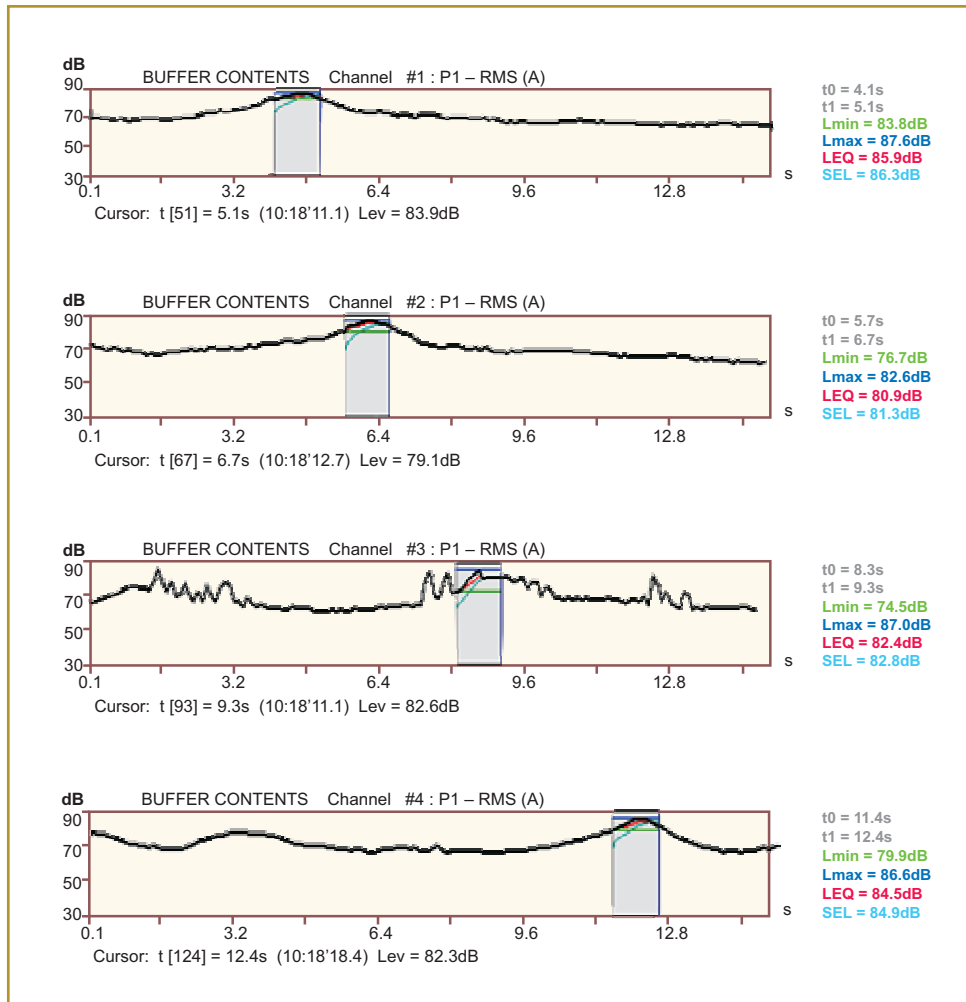


Figura 6 – Espectro de nível máximo (L<sub>máx</sub>), selecionado em uma faixa de 10 ms – Microfones 1/2/3/4 – Fonte: Autor

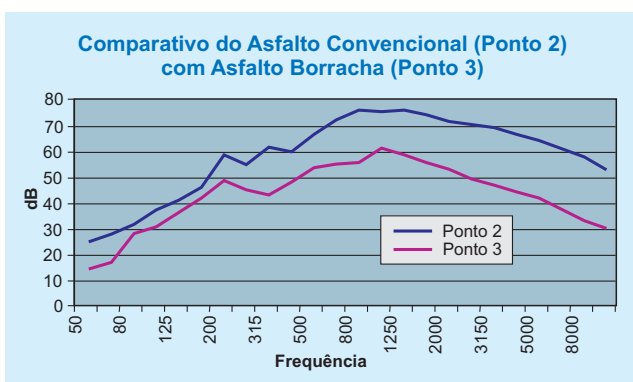


Figura 7 – Comparativo entre os espectros dos microfones 2 e 3 – Fonte: Autor

fazendo com que as ondas sonoras se alojem entre os espaços criados, absorvendo e atenuando o ruído.

No Revestimento Modificado com Borracha de Pneus, foi adotado parâmetros e o Ensaio Marshall (DNER-ME

043/94) para verificação das condições de vazios, estabilidade e fluência da mistura betuminosa, enquanto que no Pavimento Convencional – CBUQ geralmente é executada com tipo “massa fina” (de graduação fechada, diâmetro máximo igual a 1/2”, com baixo índice de vazios e elevado teor de ligante). Além disso, a mistura Revestimento Modificado com Borracha de Pneus é benéfica aos pavimentos, tendo em vista o ligante com borracha, torná-los mais elásticos, com maior flexibilidade, capazes de suportar amplas variações de temperatura e tráfego pesado. Também são inegáveis o benefício ecológico que embute, ao consumir milhões de pneus inservíveis, o seu benefício social, ao propiciar uma nova linha de oportunidades de emprego, e o seu benefício à saúde pública, eliminando um resíduo que é caracterizado por ser abrigo de vetores de múltiplas doenças. Considerando os be-

nefícios gerados pelo uso do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus, sugere-se às empresas concessionárias das rodovias no Brasil adotarem a adição de borracha de pneus aos ligantes asfálticos.

Além de mais econômica e ambientalmente correta, a medida evita a construção de barreiras acústicas ao longo das rodovias para atenuar o nível de ruído que se propaga próximo às áreas urbanas.

Do ponto de vista ocupacional, o uso do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus é uma solu-

ção que não traz embutido nenhum risco adicional à saúde dos trabalhadores que processam e aplicam o material. Os aspectos toxicológicos envolvidos na produção do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus não diferem daqueles do Pavimento Convencional – CBUQ, nem a sua aplicação da aplicação comum. Não se identifica perigos físicos, químicos ou ergonômicos diferenciados quando se analisa a produção e aplicação do Revestimento Modificado com Borracha de Pneus frente à produção e aplicação do Pavimento Convencional – CBUQ.

## 8. REFERÊNCIAS

ASPHALT-RUBBER CONFERENCE. University Of Texas At Austin, 2000.

CARLSON, Douglas D.; ZHU, Han; XIAO, Can. *Analysis of Traffic Noise Before and After Paving With Asphalt-Rubber*. Arizona/USA, 2003.

CONCESSIONÁRIA ECOVIAS DOS IMIGRANTES S/A. [www.terra.com.br](http://www.terra.com.br) – Acesso: 18/10/2006.

REVESTIMENTO MODIFICADO COM BORRACHA DE PNEUS. Concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A, 2007.

ASFALTO CONVENCIONAL (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente). Concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A, 2007.

INTERNATIONAL STANDARD – ISO 11819-1. *Acoustics – Measurement of the influence of Road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method*, First edition, 1997.

SOUND LEVEL SURVEY. Tucson, Arizona. WT Job No. 7130K022. By *Western Technologies INC*. April 6, 1990.

TEIXEIRA, S.C. *Impactos Ambientais Sonoros: Um Modelo de Gestão Sustentável*, Tese de MSc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.

# Estudo das propriedades de solos estabilizados com resíduo oleoso e cal

**José Frankneto da Silva Cordeiro**

jnetosc@yahoo.com.br

**John Kennedy Guedes Rodrigues**

jkennedy@dec.ufcg.edu.br

**Leda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena**

ledach@uol.com.br

**Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena**

lucenafb@uol.com.br

## RESUMO

Neste estudo é avaliada a incorporação do resíduo oleoso com solo e cal como agente cimentante através do uso da técnica de estabilização/solidificação. Os experimentos foram divididos em três etapas: caracterização físicas dos materiais, e caracterização mecânica e química das misturas resíduo-solo-cal. Os valores de CBRs e de Resistência a Compressão Simples (RCS) da mistura apresentaram incrementos significativos de resistência quando comparados com aqueles obtidos para o solo em seu estado natural e com a mistura solo-resíduo. A maioria dos constituintes com concentração acima do recomendado pela NBR- 10004/2004 apresentou decréscimo após o processo de estabilização.

**PALAVRAS-CHAVE** – Resíduo Oleoso, Estabilização Química, Constituintes Químicos.

## ABSTRACT

In this study is evaluate the incorporation of oily residue with soil and lime as the cementant agent, using the chemical stabilization/solidification thecnique. The experimentals were performed in three phases: physical characterization of the materials, and mechanical and chemical characterization of the soil-residue-lime mixtures. The values of CBRs and simple compression strength (SCR) of soil-residue-lime mixtures had presented significant increments of resistance compared to pure soil or to the soil-residue mixture. In general, most of the constituents with concentrations higher than the recommended by the NBR- 10004/2004 guidelines decreased their concentration values after the stabilization process.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e a industrialização são os principais responsáveis pelo crescimento exponencial dos resíduos lançados ao meio ambiente. Diante da iminente escassez de matéria-prima e necessidade de

preservação ambiental, está ocorrendo um maior interesse, por parte de organizações não-governamentais, no estudo de formas de minimizar os danos que os resíduos podem vir a causar ao meio.

O resíduo oleoso gerado durante as atividades de exploração e produção de petróleo apresenta em sua

composição uma quantidade significativa de óleo, metais, sais, fenóis, entre outros, e a sua disposição, sem cuidados específicos, pode ser extremamente maléfica ao ambiente.

O nome petróleo significa óleo de rocha, sendo este fonte de energia de origem fóssil não renovável. Ele é matéria-prima principal para a obtenção de combustíveis e fonte de uma imensa gama de produtos químicos, plásticos, óleos lubrificantes, betume, asfaltos etc., sendo encontrado na natureza nos poros das chamadas rochas reservatórios, cuja permeabilidade irá permitir a sua produção.

Muitos dos compostos que constituem o petróleo são gerados e descartados no ambiente (ar, água e solo) durante as etapas de exploração e produção. O descarte de tais volumes de resíduos no ambiente vem causando preocupações sobre a poluição não controlada e irreversível em agências governamentais e organizações não governamentais (ONGs) (LIMA, 2006).

Em relação ao tratamento e destinação dos resíduos, Fonseca (2003) destaca que é imprescindível o reuso de resíduo e não simplesmente estocá-lo de forma temporária por razões econômicas, ambientais e disponibilidade de área. As tecnologias mais aceitáveis são as que proporcionam a reincorporação dos resíduos na natureza, com propriedades não danosas à flora e fauna locais. Logo, a disposição do resíduo deve ser realizada de forma adequada para não ocasionar a contaminação do ambiente e do homem.

A indústria petrolífera, apesar de ter atentado para as questões ambientais e procurado adotar diretrizes que melhorem o desempenho de engenharia, por meio de técnicas economicamente viáveis e limpas, ainda não implantou soluções viáveis referentes à deposição dos resíduos.

Segundo Braile & Cavalcanti (1993), a salmoura proveniente da produção de petróleo representa um problema no que se refere a sua destinação final. A quantidade de salmoura em certos campos petrolíferos é aproximadamente 3,3 vezes a quantidade de petróleo bombeado, e, em sua composição, existem 32,5 % de sólidos totais e 20% de cloretos. A menos que exista nas redondezas um curso d'água de grande porte, para que a salmoura seja eliminada após a remoção do óleo, ela poderá causar

problemas sérios de poluição. Com o objetivo de eliminar essa salmoura de forma que não comprometa o meio ambiente, faz-se necessário a adoção de práticas limpas. Uma prática limpa pode ser a introdução de um novo processo menos poluidor, ou a recuperação de matéria prima-perdida e recirculada na fabricação, ou ainda a valorização de um resíduo que poderá dar origem a um subproduto.

A indústria petrolífera, apesar de ter atentado para as questões ambientais e procurado adotar diretrizes que melhorem o desempenho da engenharia, por meio de técnicas economicamente viáveis e limpas, ainda não implantou soluções viáveis referentes à disposição dos resíduos oleosos. Uma das alternativas de incorporação do resíduo oleoso é a sua mistura com material argiloso, para estabilização em estradas. Contudo, esta técnica deverá ser utilizada após estudo detalhado do resíduo, bem como da mistura final, levando em conta sua viabilidade técnica e, claro, os aspectos ambientais e econômicos.

Rizzo e Santos (2002), em trabalho de biorremediação do solo contaminado com óleo cru, relatam a pequena aplicabilidade da técnica de biorremediação *in situ* do óleo cru e da "argila mineral". Isto devido à recalcitrância dos hidrocarbonetos de petróleo, atribuída à forte interação entre a argila mineral e o resíduo de óleo cru e a baixa oxigenação e disponibilidade de nutrientes.

Rizzo e Santos (2002) realizaram ensaios de lixiviação e solubilização com o material contaminado com petróleo, analisando os níveis dos metais bário, vanádio, cromo, selênio, cádmio, chumbo, prata, zinco, níquel, mercúrio e arsênio. Os resultados apresentados pelos autores indicaram que as concentrações detectadas dos metais encontravam-se de acordo com os limites preestabelecidos pela norma NBR 10004/87. Estas concentrações, para os materiais estudados, permitiram adoção da biorremediação do solo contaminado.

Tristão (2001) caracterizou os resíduos da caixa de separação água e óleo, com o objetivo de utilização destes na indústria de fabricação do cimento. Para tal, foram estimados os teores de cinzas e de enxofre, realizadas análises do tipo elementar orgânica, e ensaios de metais na massa bruta. Os resultados obtidos por Tristão

(2001) indicam que, para os parâmetros analisados, apenas a quantidade de cromo ultrapassou o limite máximo permitido constado na listagem de Número 9 da NBR 10004/87.

Bleckmann (1997), ao analisar resultados dos ensaios de caracterização de resíduos da indústria de petróleo, a partir da composição de água, sólidos e óleos detectados durante o processo de disposição dos resíduos no solo utilizados para o tratamento, concluiu que foi pequena a concentração de componentes voláteis em resíduo dessa natureza.

Nos estudos realizados por Neder (1998), a autora utilizou a tecnologia de solidificação/estabilização em resíduos oleosos provenientes das atividades de Exploração e Produção de Petróleo, utilizando argilas modificadas. A autora trabalhou com resíduos classificados como de fundo de tanque, resíduos provenientes de estocagem de petróleo antes do processo de refinamento e também lamas de perfuração, com teores de óleo variando de 5% a 30%.

A pavimentação por sua vez, pela sua extensão e grandes volumes de solo mobilizado, constitui-se uma alternativa ao reuso de resíduos, principalmente aqueles com certo potencial de estabilização. Os resíduos industriais ou subprodutos, quando disponíveis próximos às áreas em que são produzidos, resultam, geralmente, em soluções de baixo custo. A estabilização de solos em conjunto com o reuso de resíduos industriais tem permitido aplicações proveitosas na execução de bases e sub-bases de estradas.

A avaliação do grau de estabilização de misturas de solo e de solos adicionados de aditivos é feita por meio de ensaios físico-mecânicos, tais como, compactação, CBR, compressão simples, tração na compressão diametral, e outros. Misturas de solos com resíduo necessitam ainda de ensaios ambientais, como análises dos extratos lixiviados e solubilizados, que permitam classificá-las e principalmente determinar o comportamento de suas propriedades ao longo do tempo (ROLIM, 1999).

A proposta deste trabalho é utilizar a estabilização química e solidificação, com o uso do resíduo oleoso gerado nas atividades de exploração e produção de petróleo, em solo para o uso em camadas de bases e/ou

sub-bases de pavimentos rodoviários. O uso, em conjunto, das técnicas de estabilização química e solidificação visa permitir um melhor encapsulamento dos resíduos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo, bem como um aproveitamento mais eficiente das misturas de resíduos não segregados.

Com isso, procurou-se:

- realizar uma caracterização física do resíduo oleoso;
- estudar as propriedades mecânicas da mistura contendo resíduo, solo e cal em laboratório;
- realizar a análise dos contaminantes para os materiais antes e após o processo de estabilização, levando em consideração a classificação dos mesmos segundo diretrizes da NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos.

## 2. METODOLOGIA

O fluxograma 1 apresenta a seqüência de atividades e dos ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.

### 2.1 Materiais

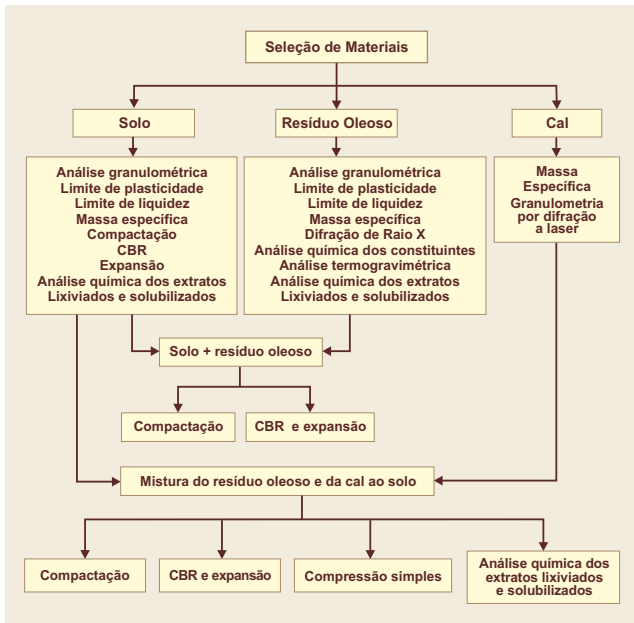
Os materiais utilizados na pesquisa foram: solo argiloso, resíduo oleoso de petróleo e a cal.

O solo utilizado foi do tipo argiloso proveniente do Município de Massaranduba, Estado da Paraíba (NE/Brasil), que dista 102,5 km da capital João Pessoa. As amostras de solo foram coletadas à profundidade de 1,0m, como forma de evitar a camada superficial, geralmente com presença de matéria orgânica e alteração da quantidade de partículas finas por lixiviação.

O resíduo oleoso utilizado foi fornecido pela Petrobras S/A, oriundo das atividades de Exploração & Produção de Petróleo na Refinaria do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Trata-se de um material não segregado, proveniente de vários setores da cadeia produtiva da respectiva indústria, tais como: perfuração de poços, produção, manutenção, derrames e limpezas em geral.

### 2.2 Métodos

As atividades experimentais foram divididas em três etapas: caracterização das propriedades físicas dos materiais; estudo das propriedades mecânicas das misturas



Fluxograma 1 – Atividades realizadas durante a fase experimental da pesquisa

dos materiais; e estudo das propriedades químicas da mistura solo-resíduo-cal.

### 2.2.1 Etapa 1 – Caracterização das propriedades físicas dos materiais

- Determinação da distribuição dos tamanhos das partículas;
- Determinação do limite de plasticidade;
- Determinação do limite de liquidez.

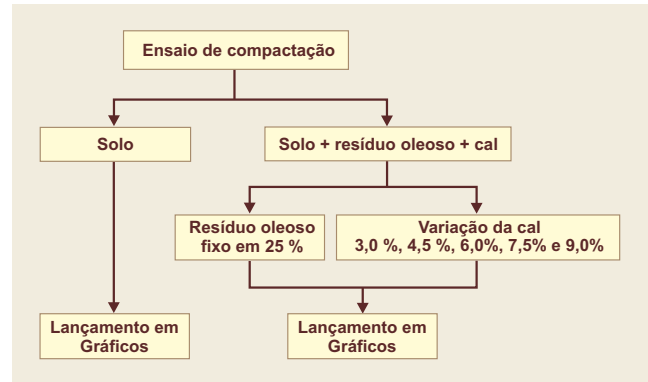
A distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso e da cal foi obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser. Para uma completa caracterização do resíduo, foram realizados os ensaios de Termogravimetria e Difração de Raios X.

### 2.2.2 Etapa 2 – Estudo das propriedades mecânicas das misturas dos materiais

Com a adoção do percentual de 25% para a incorporação do resíduo oleoso na mistura, optou-se em adicionar a cal à mistura, nos teores de 3%, 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0%.

#### 2.2.2.1 Ensaios de compactação

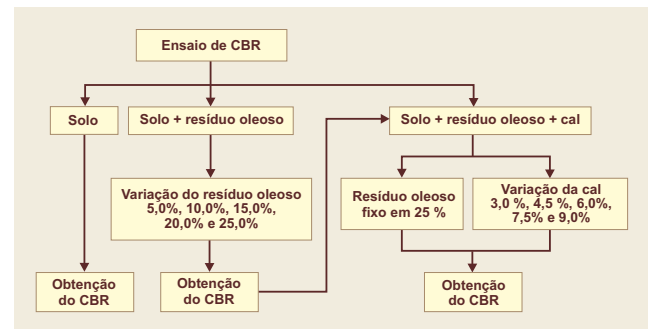
Os ensaios de compactação foram realizados segundo seqüência ilustrada no fluxograma 2.



Fluxograma 2 – Atividades adotadas para realização dos ensaios de compactação

#### 2.2.2.2 Ensaios de CBR

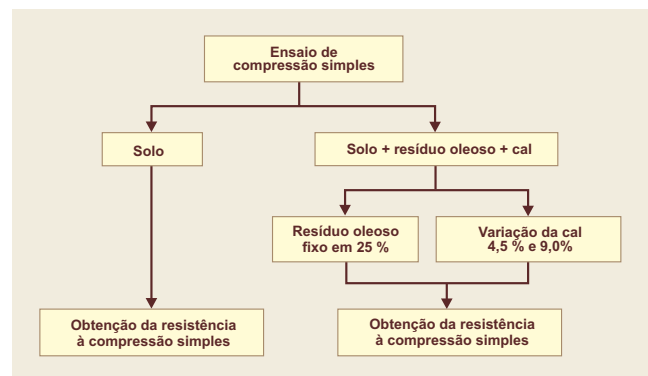
Os ensaios de CBRs foram realizados segundo seqüência ilustrada no fluxograma 3.



Fluxograma 3 – Atividades adotadas para a realização dos ensaios de CBR

#### 2.2.2.3 Ensaios de resistência à compressão simples

Os ensaios de Resistência à Compressão Simples foram realizados segundo seqüência ilustrada no fluxograma 4.



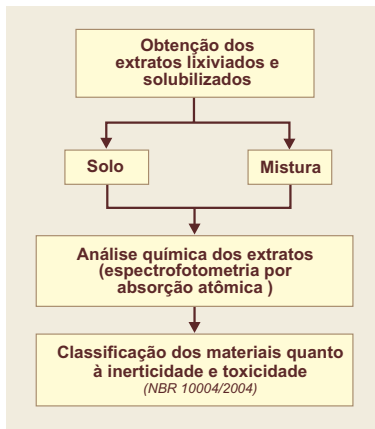
Fluxograma 3 – Atividades adotadas para a realização dos ensaios de RCP

### 2.2.3 Etapa 3 – Estudo das propriedades químicas da mistura solo-resíduo-cal

Os ensaios para caracterização quanto ao risco ambiental, caracterização química, para a mistura solo-resíduo-cal, foram realizados segundo ilustração do fluxograma 4.

As atividades relacionadas à fase experimental foram os ensaios de Análise Química Elementar, para uma completa caracterização do resíduo oleoso de petróleo no seu estado natural. Espectrofotometria por Absorção Atômica realizados com as amostras dos extratos solubilizados e lixiviados do resíduo oleoso. Os experimentos realizados para obtenção dos constituintes químicos dos materiais utilizados na pesquisa foram conduzidos de acordo com as orientações das normas da ABNT.

A composição química do resíduo oleoso também foi analisada em seu estado natural, com amostra previamente seca ao ar e que passou na peneira nº 200 (0,075mm).



Fluxograma 4 – Atividades adotadas para a realização dos ensaios de caracterização química

## 3. RESULTADOS OBTIDOS

Destacam-se, na análise dos resultados, os ensaios de caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, que objetivaram a sua utilização como materiais de camadas de sub-base e de base para pavimentos flexíveis.

### 3.1 Caracterização das propriedades físicas dos materiais

#### 3.1.1 Cal

Os dados obtidos indicam que mais de 100% do material têm diâmetro inferior a 100mm (figura 1).

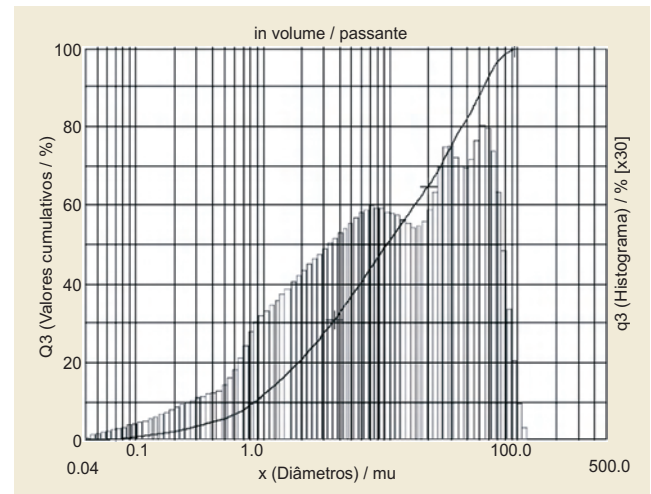


Figura 1 – Distribuição dos tamanhos das partículas de cal obtida por difração a laser

#### 3.1.2 Solo

O solo foi classificado como  $A_g$  (solo argiloso), de acordo com o sistema da AASHTO e como CL (argila inorgânica) pelo SUCS com um Índice de Plasticidade (IP = 12,39%).

#### 3.1.3 Resíduo oleoso

Os valores dos índices de consistência e a distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso obtida por difração a laser estão inseridos no quadro 1 e na figura 2, respectivamente.

Quadro 1 – Índices de consistência do resíduo oleoso

Resíduo Oleoso	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
	24,58	14,75	9,83

A partir dos resultados da distribuição dos tamanhos das partículas e dos índices de consistência, o resíduo oleoso foi classificado como  $A_4$  (solo siltoso), de acordo com o sistema da AASHTO e como ML (siltes inorgânicos) pelo SUCS.

A difração de Raios X, do resíduo oleoso indicou as presenças de montemorilonita ( $SiO_2$ , CaO, MgO), mica ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) e quartzo, caracterizados pelas distâncias interplanares de 14,70 Å, 3,35Å e 10,0Å, respectivamente (figura 3).

Com o auxílio dos resultados obtidos por análise termogravimétrica (TG), foi observado perda de massa entre 30°C e 125°C correspondente à perda de água livre. Entre 180° e 200°C, atribui-se a perda de massa à decom-

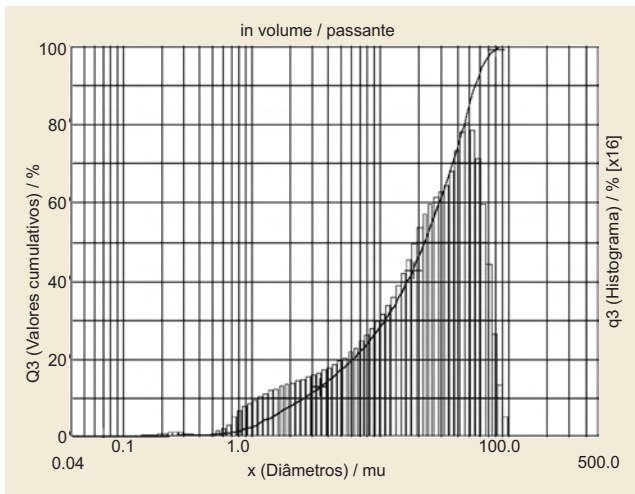


Figura 2 – Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso por difração a laser

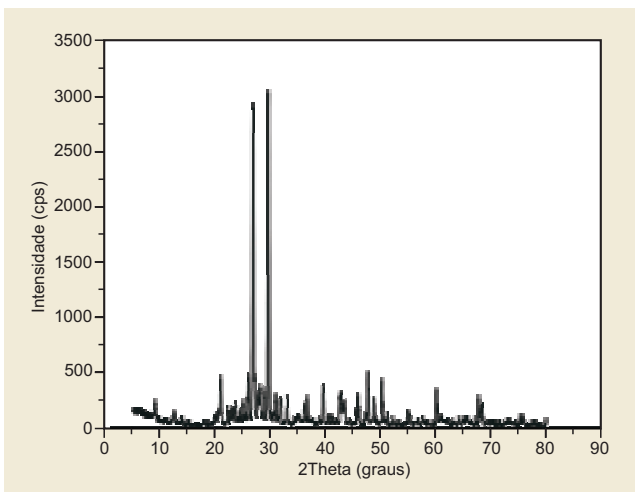


Figura 3 – Difração de Raios X do resíduo oleoso

posição de hidrocarbonetos, entre 300°C e 500°C, a perda de hidroxilas da mica ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), como também a decomposição de alguns óleos, e, entre 500°C e 800°C, atribui-se a perda de massa à decomposição do óxido de alumínio e do óxido de magnésio. Para o trabalho realizado a amostra do resíduo oleoso apresentou perda de massa total de aproximadamente 14% (figura 4).

### 3.2 Estudo das propriedades mecânicas das misturas dos materiais

#### 3.2.1 Resultados dos ensaios de compactação

Os resultados obtidos com os ensaios de CBR, para o solo puro (testemunha) e para o solo com adições de resí-

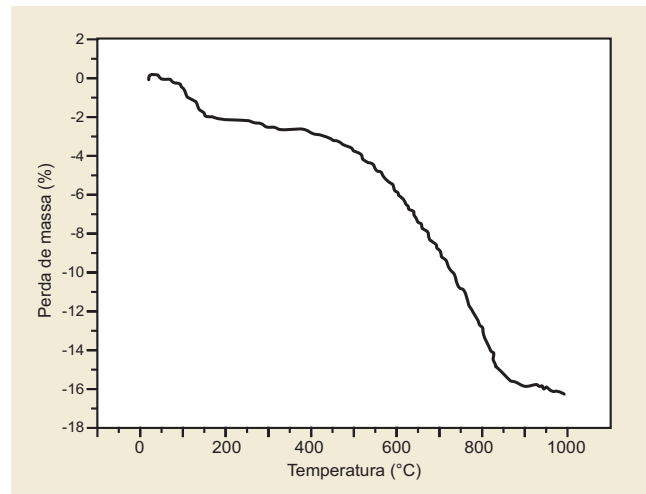


Figura 4 – Termogravimetria (TG) do resíduo oleoso

duo oleoso nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20%, e 25% em massa, em relação à massa total da amostra (6.000g) estão lançados em gráfico e apresentados na figura 5.

Observa-se na figura 5 que não houve incrementos ou diminuições significativos nos valores obtidos para o CBR, quando foram adicionados vários percentuais de resíduo oleoso em relação ao peso da amostra de solo. Devido à incorporação do resíduo oleoso não alterar, significativamente, os valores de CBR, optou-se por fixar a quantidade de resíduo oleoso na mistura em 25% em relação à massa de solo seco e assim reincorporar a maior quantidade possível para os teores estudados.

Na Figura 6, são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as diferentes misturas de solo-

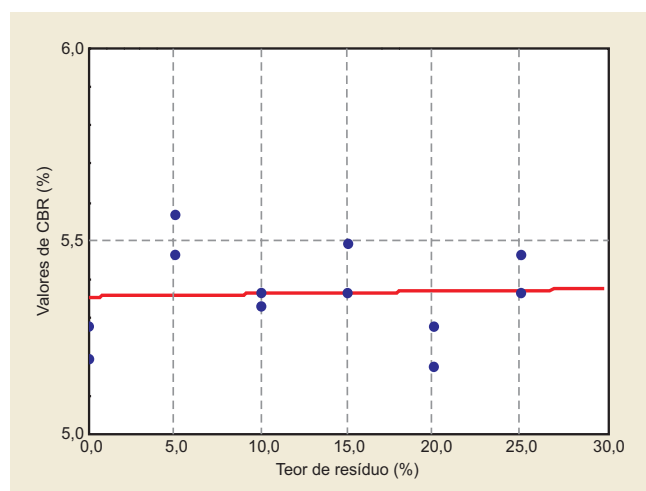


Figura 5 – Efeito da adição do resíduo oleoso nos valores de CBR para o solo

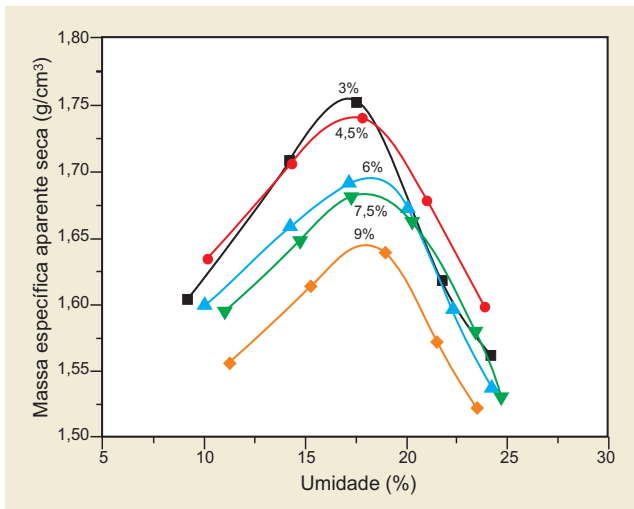


Figura 6 – Curvas de compactação para as misturas solo-resíduo-cal

resíduo-cal, com o resíduo fixado em 25% e a cal variando de 3%, 4,5%, 6%, 7,5% e 9% da mistura total.

Observou-se que os resultados obtidos para massa específica aparente seca máxima, com as amostras com adição de cal, foram inferiores às obtidas quando da utilização do solo puro. Portanto, quanto maior o teor de cal adicionado à mistura, menor o valor da massa específica aparente seca máxima. Atribui-se esse comportamento ao maior teor de umidade e ao efeito das partículas de cal substituindo uma parcela dos grãos do solo de massa específica superior.

A figura 7 apresenta os resultados obtidos para o CBR em relação aos diferentes teores de cal adicionados à mistura. Analisando os resultados da figura 6, per-

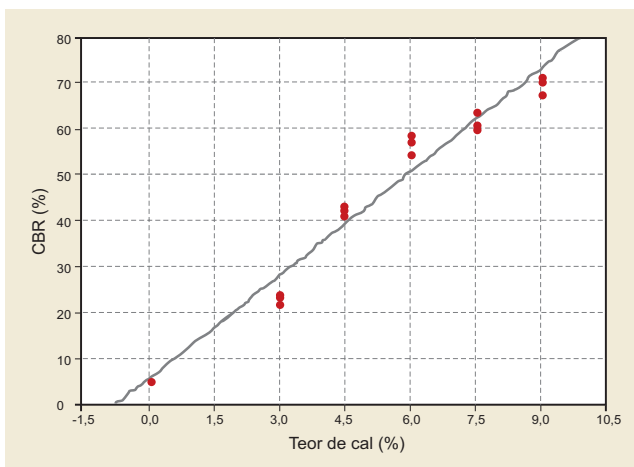


Figura 7 – Efeito do incremento do teor de cal na mistura nos valores de CBR

cebeu-se que o aumento do teor de cal implicou um aumento significativo de CBR. Acredita-se que a proximidade dos grãos, devido ao aumento da compactação, facilite as reações químicas no interior da amostra.

Os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas, contendo 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0% de cal, são superiores aos recomendados para uso em sub-bases (20%). Para a mistura com teor de cal igual a 9,0%, os valores de CBR obtidos estão bem próximos do recomendado para utilização em bases melhoradas com cimento (80%).

### 3.2.2 Resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS)

Os ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS) foram realizados com o intuito de verificar a influência dos teores de cal (4,5% e 9,0%) neste parâmetro para as misturas, tendo como testemunha o mesmo ensaio realizado para amostras do solo puro. Todos os corpos-de-prova foram rompidos aos sete dias de cura. Na figura 8, estão lançados em gráfico os resultados de RCS obtidos para os teores de 0%, 4,5% e 9,0% de cal adicionada à mistura.

De acordo com a figura 7, ao se comparar a Resistência à Compressão Simples das misturas com e sem adição de cal, observou-se uma variação (aumento) de mais de 100% nos seus valores.

### 3.2.3 Índices de consistência da mistura

No quadro 2, estão inseridos os resultados dos índices de consistência obtidos com a realização dos ensaios

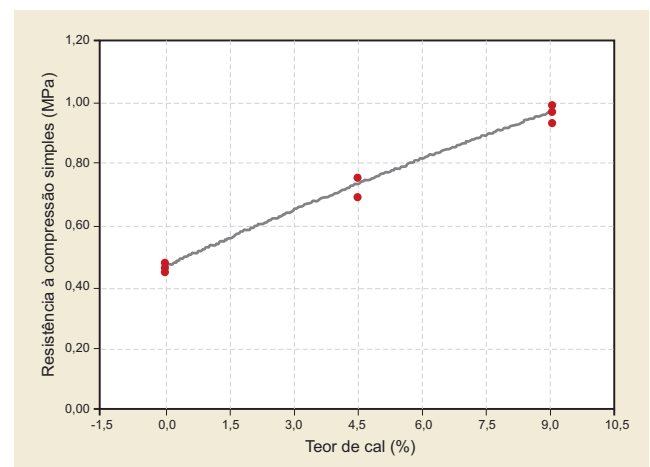


Figura 8 – Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples

de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) para a mistura solo-resíduo-cal.

Os resultados apresentados no quadro 2 indicam que a incorporação da cal na mistura implicou uma redução pequena da plasticidade.

**Quadro 2 – Limites de consistência da mistura**

Misturas	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
solo-resíduo-cal (4,5%)	31,40	22,15	9,25
solo-resíduo-cal (9,0%)	31,10	21,90	9,20

### 3.3 Classificação da mistura solo-resíduo-cal quanto à inerticidade e toxicidade

Nos quadros 3 e 4, estão inseridas as concentrações dos constituintes químicos da mistura solo-resíduo-cal (9,0% de cal), obtidas a partir dos extratos solubilizado e lixiviado, respectivamente, com o ensaio de Espectros-

**Quadro 3 – Resultados do teste com o extrato solubilizado para a mistura**

Parâmetros	LMP (mg/l) Anexo G NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	Caracterização
Cádmio	0,005	0,001	I
Chumbo	0,01	0,00	I
Cloreto	250,00	140,00	I
Cobre	2,00	0,00	I
Cromo	0,05	0,00	I
Fero	0,30	0,039	I
Manganês	0,10	0,162	NI
Sódio	200,00	9,28	I
Sulfato	250,00	11,68	I
Zinco	5,00	0,019	I

LMP – Limite Máximo Permitido; NI – Não Inerte e I – Inerte

**Quadro 4 – Resultados do teste com o extrato lixiviado para a mistura**

Parâmetros	LMP (mg/l) Anexo F NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	Caracterização
Cádmio	0,50	0,206	NT
Chumbo	1,00	0,00	NT
Cromo	5,00	0,00	NT

LMP – Limite Máximo Permitido; NT – Não Tóxico

copia por Absorção Atômica. Os resultados obtidos dos constituintes químicos para a mistura solo-resíduo-cal foram inferiores aos obtidos para o solo puro e para o resíduo oleoso. Esta redução deve-se ao processo de estabilização química/solidificação que resultou em um melhor encapsulamento dos referidos constituintes.

De uma forma geral, todos os constituintes que apresentaram concentrações superiores aos recomendados pela NBR 10004/2004 tiveram seus valores reduzidos após o processo de estabilização química/solidificação, com exceção do manganês, o qual, não estando inferior ao limite máximo permitido (antes da mistura), teve seu valor reduzido consideravelmente, o que corrobora mais uma vez para a vantagem do processo de estabilização química/solidificação utilizado.

## 4. CONCLUSÕES

Observou-se que não houve incrementos ou diminuições significativas nos valores obtidos para o CBR quando foram adicionados vários percentuais de resíduo oleoso (5%, 10%, 15%, 20% e 25%) em relação ao peso da amostra de solo, bem como nos valores de umidade ótima (%) e massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ). Em relação à expansão (%), observou-se pequenas variações.

Após a incorporação da cal ao processo, foram observados aumentos significativos nos valores de CBR (%), no teor da umidade ótima (%) e uma diminuição dos valores de massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ) e expansão (%). O ganho de resistência, também, foi observado com os resultados obtidos com ensaios de compressão simples realizados para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal.

Os valores de CBR exigidos, pelas especificações de serviço DNIT – ES 302/97 e DNIT – ES 304/97 são de  $\geq 30\%$  (sub-base) e  $\geq 80\%$  (base), respectivamente. As misturas com adições de 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0% de cal superaram os valores recomendados para utilização desses materiais em sub-bases de pavimentos flexíveis. Ao considerarmos os materiais estudados em camadas de bases, observamos que a mistura contendo 9,0% de cal encontra-se muito próxima do sugerido pela norma. Em relação à expansão, todas as misturas apresentaram resultados

dentro dos limites preestabelecidos pelas referidas normas, que especificam um valor máximo para expansão de 1,0% para materiais utilizados em camadas de sub-base e 0,5% para materiais utilizados em camadas de base.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal foram acima dos recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas (DOT-Texas, EUA), que recomenda uma resistência à compressão simples de no mínimo 0,7 MPa para materiais utilizados em camadas de base e de 0,35 MPa para materiais utilizados em camadas de sub-base, segundo BATISTA (1976).

Em relação à classificação dos materiais quanto à toxicidade e inerticidade segundo a ABNT NBR-10004, o solo, o resíduo oleoso e a mistura classificam-se como "Resíduo Classe II A". Os resultados obtidos para os constituintes químicos da mistura solo-resíduo-cal (Resíduo oleoso = 25%; teor de cal = 9,0%) foram inferiores aos obtidos individualmente para o solo e para o resíduo oleoso. Esta

redução deve-se ao processo de estabilização química e solidificação que resultou em um melhor encapsulamento dos referidos constituintes.

Os dados indicam que a utilização de resíduos oleosos misturados aos solos argilosos com um aditivo químico, especificamente a cal, pode ser uma alternativa viável para disposição final de resíduos sólidos considerados não inertes. Porém, necessário se faz uma completa caracterização ambiental do resíduo utilizado antes e depois da mistura.

## 5. AGRADECIMENTOS

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

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

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

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E. W. A. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. CETESB. São Paulo, 1993.
- BLECKMANN, C.A. et al. *Land treatment of produced oily sand: field results*. Waste Management & Research. Vol. 15, pp. 223-237, 1997.
- FONSECA, M.H.G.P. *Estudo do Resíduo Oleoso das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Manutenção de Estradas de Terra – Enfoque ambiental*. Dissertação de Mestrado, UFES, Vitória, 2003.
- LIMA, R.M.G. *Remoção da Amônia em Águas Produzidas na Exploração do Petróleo em Áreas Offshore*. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- NEDER, Lúcia de T. C. *Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos – Tecnologia do encapsulamento por complexos argilominerais*. Tese de Doutorado, Departamento de saúde ambiental da Faculdade de Saúde Pública, USP, São Paulo, 1998.
- RIZZO, A. C. L. & SANTOS, R. et al. *Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil*, In: *Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics*, Rio de Janeiro, 2002.
- ROLIM, Mario Monteiro. *Caracterização Físico-Mecânica de Misturas de Solo, Cal e Resíduo "Água de Cola"*. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, São Paulo, 1999.
- TRISTÃO, M. L. B. *Caracterização química de resíduos de E & P para destinação em cimenteiras*. 1º Seminário sobre proteção ambiental na exploração e produção de petróleo, Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), Rio de Janeiro, 2001.

## Normas Básicas para submissão de artigos e contribuições técnicas

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

## Basic Guidelines for submitting articles and technical contributions

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

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

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

## Fatos Históricos

# Bases de macadame hidráulico



FOTO: GERSONALBERTO AZEVEDO

Atahualpa Schmitz da Silva Prego

Na construção da Rodovia Rio-São Paulo, a maior parte das camadas de sub-base e base foi construída em macadame hidráulico. Nos anos de 1949 e 1951, houve maior incremento da pavimentação em base estabilizada granulometricamente.

De uma maneira geral, as duas camadas somadas chegavam ao máximo de 30cm e a uma espessura mínima de 24cm compactados, assentes sobre um subleito sílico-argiloso compactado com pé-de-carneiro até “fechar” a camada, deixando-a bem nivelada, por motoniveladora, para facilitar o trabalho dos rolos metálicos de três rodas, tipo macadame.

Os laboratório controlavam a umidade de compactação (uso do *speedy mix* ou da “frigideira” sobre

areia quente), e esta tinha sua densidade máxima aparente seca obtida com a energia do *Proctor Normal*. Noventa e cinco por cento dessa energia era exigida para a densidade de campo. Em geral, a prática da execução concluía sobre a validade ou eficácia da compactação quando a superfície do subleito espelhava, isto é, apresentava-se brilhante e lustrosa.

O abaulamento da seção transversal era cuidado e geralmente os acostamentos estavam providos de drenos: valetas abertas na profundidade do subleito, mais uma folga de 5 a 8cm, para baixo do mesmo. Esses drenos cheios de brita miúda serviam também à camada de macadame hidráulico, no caso de ser esta a base adotada. Sapê seco cobria a brita, e sobre ele o saibro terminava de preencher as valetas perpendiculares à linha de borda do subleito, valetas distribuídas de 10 em 10m ou 20 em 20m, de-



sencontradas nos dois acostamentos. A camada de macadame hidráulico tinha os vazios da brita que eram cheios de pó-de-pedra e saibro. O enchimento penetrava após a primeira rolagem de “arrumação” (na gíria de execução, significa a passagem de rolo metálico de uma borda a outra faixa, sem repetir a passada) – a brita, com a compressão única, fica desempenada, aparente arrumação e nivelamento. Quando parecia ter os vazios cheios pelas rolagens que acompanhavam o lançamento normal do enchimento, os operários com vassourões tipo gari varriam para todos os lados o pó ou o saibro, fazendo-os penetrar mais ainda na camada.

Não sendo mais possível o preenchimento à vassoura, utilizava-se o carro pipa d’água com forte jato na barra de distribuição. À medida que era introduzido o enchimento, mais material era lançado

sobre a camada, após o que se repetia a passagem do carro-pipa.

Após a rolagem final com rolo macadame, o subtrecho era liberado ao tráfego controlado por um ou, no máximo, dois dias. O carro-pipa estava sempre nas imediações para prevenir poeira e, também, a desagregação da superfície por falta de irrigação.

Costumavam colocar pedras nº 3 na linha de deslocamento do rolo macadame que, esmagando a pedra, mostrava estar a base compactada. Se a brita enterrasse um pouco na base, esta merecia mais água e rolagem até o teste seguinte se confirmar positivo. No caso de persistir a falha, o local era escavado até abaixo do subleito no sentido de verificar e retirar excessos de umidade e presença de matéria orgânica.

O espalhamento da brita para a camada era procedida por motoniveladora, com operador habi-



litado “quebrando” a brita empilhada por descargas de basculantes, ou por basculantes descarregando de ré sobre a caçamba da espalhadeira de agregado, de esteiras e autopropulsora. A espalhadeira deixava uma camada arrumada e na espessura desejada, sem segregação por tamanho de brita.

A espessura da camada era determinada pela experiência da equipe e levava em conta o tráfego e o equipamento de compactação disponível. A camada espalhada nunca excedia a 17cm, após compactada pelo rolo macadame de 18 toneladas.

O subleito era tanto mais garantido quanto mais se utilizavam no traçado leitos existentes bem “encascalhados” e sob tráfego. Eles, além do controle rotineiro de densidade pelo frasco de areia, eram também fiscalizados pelo cilindro cravador (*core cutter*). Um dos lados dos bordos de contato com

o solo era biselado para facilitar sua penetração, mediante forte percussão de marreta de 4 a 5kg sobre um espesso anteparo de pedaço de madeira, apoiado no bordo superior circular e não biselado do cilindro.

O cilindro tinha 10cm de altura, peso e volume conhecidos. Seu volume era idêntico ao de um cilindro *Proctor Normal*. A diferença de peso fornecia o peso do solo preso no cilindro após a cravação e raspagem dos seus excessos. Tinha-se em mão a densidade de campo bem aproximada, confirmava-se mais tarde a umidade de campo com a cápsula de estufa. O teste não era muito preciso, mas, estabelecendo-se por diversas verificações comparativas com os dados obtidos no frasco de areia e mantendo-se sempre os mesmos operadores, a precisão aumentava pelo uso de um fator de correção provindo do cotejo dos ensaios.

# 16<sup>a</sup> RPU

## Belo Horizonte - MG

## 16<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação Urbana

De 6 a 8 de abril de 2009

Local:

Centro de Convenções Minascentro

Prazo para envio de resumos de artigos técnicos:

7 de novembro de 2008

### Temário:

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

# ABPv

Há 48 anos promovendo a técnica da pavimentação

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

Fortaleza, CE  
23 a 26 de setembro de 2009  
[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br)

#### TEMÁRIO:

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

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

### 4th International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Design

Fortaleza, CE – Brazil  
September 23 – 26, 2009  
[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br)

#### THEMES

- Pavements Evaluation
- Equipments and Methods
- Methods on Pavement Evaluation and Overlay Design
- Retro-analysis of Pavement Deflection Basin
- Pavement Management
- Pavement Recycling Technologies
- Techniques of Reinforcement of Pavements
- Used Geosynthetic Pavement Reinforcement
- Techniques of Anti-crack Reflection
- Used Construction Equipments
- New methodologies

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

### IV Simposio Internacional de Evaluación de Pavimentación y Proyectos de Refuerzos

Fortaleza, Ceara — Brasil  
23 a 26 de Septiembre de 2009  
[www.abpv.org.br](http://www.abpv.org.br)

#### TEMAS

- Evaluación de Pavimentos
- Equipamientos y Metodos
- Metodologías de Refuerzo de Pavimentos
- Retroanálise de Deformadas
- Gerenciamiento de Pavimentos
- Reciclaje de Pavimentos
- Técnicas para el refuerzo de pavimentos
- Uso de Geossintéticos en Pavimentos
- Soluciones Tecnicas para Trincas de Reflexión
- Equipo de construcción y su uso
- Nuevas metodologias

Envío de resúmenes:  
16 de Marzo de 2009  
Resultado de la evaluación de los resúmenes:  
06 de Abril de 2009  
Envío del artículo completo en formato DOC:  
30 de Abril de 2009  
Resultado final:  
15 de Maio de 2009

FORTALEZA  
2009

*Em meados de 1954, os primeiros 22km da Rodovia RJ-5  
de Tratamento Superficial Duplo (TSD).*

*Em primeiro plano, o Eng<sup>o</sup> Atahualpa Schmitz da Silva Prego  
e o encarregado de obras Ataliba Nogueira.*

