



PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

• Formação Básica para Engenheiros •

Liedi Bariani Bernucci

Laura Maria Goretti da Motta

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Jorge Barbosa Soares

Currículo resumido dos professores do PROASFALTO:



Laura Maria Goretti da Motta

Engenheira Civil (1976), pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Mestre em Engenharia Civil (1979), pela Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Doutora pela COPPE/UFRJ, 1991. Professora Adjunta do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ desde 1984. Coordena desde 1994 o Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Possui diversos trabalhos publicados no Brasil e exterior. Já orientou mais de 50 mestres e doutores. Já atuou em mais de 40 projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação.



Liedi Bariani Bernucci

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), especialização no Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique na Suíça (1984 e 1985), Mestre em Engenharia de Solos pelo Departamento de Estruturas e Geotécnica da EPUSP (1987), estágio de Doutorado pelo Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique, na Suíça (1987 e 1988), Doutora em Engenharia de Transportes pelo Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP (1995), Livre-Docente em Engenharia de Transportes pela EPUSP (2001). Professora Titular no Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, Coordenadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP e Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, atua como docente em graduação e pós-graduação, como coordenadora de diversos projetos de pesquisa e extensão. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. É consultora em pavimentação, possui diversas publicações e já formou diversos mestres e doutores em Transportes.



Jorge Barbosa Soares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (1992). Mestre (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Coordenador da Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC. Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e da REDE ASFALTO N/NE. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, atua como docente em graduação e pós-graduação e na coordenação de projetos de pesquisa e capacitação junto a agências de fomento, empresas e órgãos do setor de pavimentação. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua também como consultor e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.



Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1976, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1979. Doutor em Engenharia Civil pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 1991. Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, onde atua como docente em graduação e pós-graduação, tendo formado, desde 1981, diversos mestres e doutores em Engenharia Civil. Coordenador do Laboratório de Pavimentação da UFRGS. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua como consultor em pavimentação, desenvolvendo projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação. Possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos, nacionais e internacionais, na área de pavimentação.

Pavimentação asfáltica

Formação básica para engenheiros

Liedi Bariani Bernucci

Laura Maria Goretti da Motta

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Jorge Barbosa Soares

Rio de Janeiro

2008



ASFALTOS



PATROCINADORES

Petrobras – Petróleo Brasileiro S. A.

Petrobras Distribuidora

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2007 Liedi Bariani Bernucci, Laura Maria Goretti da Motta,
Jorge Augusto Pereira Ceratti e Jorge Barbosa Soares

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Trama Criações de Arte

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Anita Slade

Sonia Goulart

DESENHOS

Rogério Corrêa Alves

REVISÃO DE TEXTO

Mariflor Rocha

CAPA

Clube de Idéias

IMPRESSÃO

Gráfica Imprinta

Ficha catalográfica elaborada pela Petrobras / Biblioteca dos Serviços Compartilhados

P338 Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006.
504 f. : il.

Inclui Bibliografias.
Patrocínio PETROBRAS

1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Revestimento asfáltico. 4. Mistura.
I. Bernucci, Liedi Bariani. II. Motta, Laura Maria Goretti da. III. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. IV. Soares, Jorge Barbosa.

CDD 625.85

APRESENTAÇÃO

Tendo em vista a necessidade premente de melhoria da qualidade das rodovias brasileiras e a importância da ampliação da infra-estrutura de transportes, a Petróleo Brasileiro S.A., a Petrobras Distribuidora S.A. e a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos – Abeda vêm investindo no desenvolvimento de novos produtos asfálticos e de modernas técnicas de pavimentação. Para efetivamente aplicar estes novos materiais e a recente tecnologia, é preciso promover a capacitação de recursos humanos.

Assim, essas empresas, unidas em um empreendimento inovador, conceberam uma ação para contribuir na formação de engenheiros civis na área de pavimentação: o Proasfalto – Programa Asfalto na Universidade. Este projeto arrojado foi criado para disponibilizar material didático para aulas de graduação de pavimentação visando oferecer sólidos conceitos teóricos e uma visão prática da tecnologia asfáltica.

Para a elaboração do projeto didático, foram convidados quatro professores de renomadas instituições de ensino superior do Brasil. Iniciou-se então o projeto que, após excelente trabalho dos professores Liedi Bariani Bernucci, da Universidade de São Paulo, Laura Maria Goretti da Motta, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jorge Augusto Pereira Ceratti, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Jorge Barbosa Soares, da Universidade Federal do Ceará, resultou no lançamento deste importante documento.

O livro *Pavimentação Asfáltica* descreve os materiais usados em pavimentação e suas propriedades, além de apresentar as técnicas de execução, de avaliação e de restauração de pavimentação. A forma clara e didática como o livro apresenta o tema o transforma em uma excelente referência sobre pavimentação e permite que ele atenda às necessidades tanto dos iniciantes no assunto quanto dos que já atuam na área.

A Universidade Petrobras, co-editora do livro *Pavimentação Asfáltica*, sente-se honrada em participar deste projeto e cumprimenta os autores pela importante iniciativa de estabelecer uma bibliografia de consulta permanente sobre o tema.

Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras

Petrobras Distribuidora S.A. – Asfaltos

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos



ASFALTOS



SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
1 Introdução	9
1.1 PAVIMENTO DO PONTO DE VISTA ESTRUTURAL E FUNCIONAL	9
1.2 UM BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	11
1.3 SITUAÇÃO ATUAL DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	20
1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	24
2 Ligantes asfálticos	25
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 ASFALTO	26
2.3 ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS	58
2.4 ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	59
2.5 EMULSÃO ASFÁLTICA	81
2.6 ASFALTO DILUÍDO	96
2.7 ASFALTO-ESPUMA	97
2.8 AGENTES REJUVENESCEDORES	99
2.9 O PROGRAMA SHRP	100
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	110
3 Agregados	115
3.1 INTRODUÇÃO	115
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	116
3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS	124
3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	129
3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP	150
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	154

4	Tipos de revestimentos asfálticos	157
4.1	INTRODUÇÃO	157
4.2	MISTURAS USINADAS	158
4.3	MISTURAS <i>IN SITU</i> EM USINAS MÓVEIS	185
4.4	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	188
4.5	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	191
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	200
5	Dosagem de diferentes tipos de revestimento	205
5.1	INTRODUÇÃO	205
5.2	DEFINIÇÕES DE MASSAS ESPECÍFICAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS	207
5.3	MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	217
5.4	DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO	253
5.5	MISTURAS RECICLADAS A QUENTE	256
5.6	TRATAMENTO SUPERFICIAL	263
5.7	MICRORREVESTIMENTO E LAMA ASFÁLTICA	269
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	281
6	Propriedades mecânicas das misturas asfálticas	287
6.1	INTRODUÇÃO	287
6.2	ENSAIOS CONVENCIONAIS	288
6.3	ENSAIOS DE MÓDULO	290
6.4	ENSAIOS DE RUPTURA	308
6.5	ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE	316
6.6	ENSAIOS COMPLEMENTARES	327
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	332
7	Materiais e estruturas de pavimentos asfálticos	337
7.1	INTRODUÇÃO	337
7.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	339
7.3	MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	352
7.4	ALGUMAS ESTRUTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	365
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	369
8	Técnicas executivas de revestimentos asfálticos	373
8.1	INTRODUÇÃO	373
8.2	USINAS ASFÁLTICAS	373

8.3	TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	384
8.4	COMPACTAÇÃO	389
8.5	EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO	393
8.6	EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	397
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	401
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	402
9	Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência	403
9.1	INTRODUÇÃO	403
9.2	SERVENTIA	405
9.3	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL	407
9.4	DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	413
9.5	AVALIAÇÃO OBJETIVA DE SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG	424
9.6	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PISTAS MOLHADAS	429
9.7	AVALIAÇÃO DE RUÍDO PROVOCADO PELO TRÁFEGO	435
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	438
10	Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos	441
10.1	INTRODUÇÃO	441
10.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	443
10.3	EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA	445
10.4	NOÇÕES DE RETROANÁLISE	453
10.5	SIMULADORES DE TRÁFEGO	457
10.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	460
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	461
11	Técnicas de restauração asfáltica	463
11.1	INTRODUÇÃO	463
11.2	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS FUNCIONAIS	466
11.3	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS ESTRUTURAIIS	468
11.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRINCAMENTO POR REFLEXÃO	469
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	475
	ÍNDICE DE FIGURAS	477
	ÍNDICE DE TABELAS	486
	ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS	490
	ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS	496

PREFÁCIO

Este livro tem por objetivo principal contribuir para a formação do aluno na área de pavimentação asfáltica, dos cursos de Engenharia Civil de universidades e faculdades do país. O projeto deste livro integra o Programa Asfalto na Universidade, concebido em conjunto com a Petrobras e a Abeda, nossos parceiros e patrocinadores, para apoiar o ensino de graduação, disponibilizando material bibliográfico adicional aos estudantes e aos docentes de disciplinas de infra-estrutura de transportes. Os autores acreditam que seu conteúdo possa ser também útil a engenheiros e a técnicos da área de pavimentação e, no aspecto de organização do conhecimento, a pós-graduandos.

A elaboração deste livro em muito assemelha-se à construção de uma estrada, e os autores o vêem como mais uma via na incessante busca de novos horizontes. Estradas preexistentes influenciam o traçado de novas rodovias, assim como a preexistência de diversos materiais bibliográficos contribuiu para o projeto deste livro. Os autores procuraram ao máximo trafegar por diversas referências, devidamente reconhecidas no texto, e estão cientes de que muitos outros caminhos precisam ser percorridos para uma viagem mais plena.

Como em qualquer projeto de engenharia, decisões foram tomadas com vistas à delimitação do trabalho. Foram enfocados tópicos julgados menos disponíveis na literatura técnica brasileira sobre materiais de pavimentação – principalmente no que se refere aos ligantes asfálticos e aos tipos e propriedades das misturas asfálticas –, técnicas executivas e de avaliação de desempenho, bem como as diretrizes para a restauração asfáltica de pavimentos. Esses assuntos foram considerados pelos autores de grande valia para a construção do conhecimento sobre pavimentação na academia. Os autores reconhecem a limitação do escopo deste livro e recomendam fortemente que os estudantes busquem bibliografia complementar que enriqueça seus conhecimentos, enveredando também pelos caminhos do projeto de dimensionamento das estruturas de pavimentos e de restaurações, da mecânica dos pavimentos, da geotecnia, do projeto de tráfego e de drenagem, das técnicas de controle tecnológico, da gerência de pavimentos etc. Todas essas áreas do saber afins à pavimentação dão embasamentos aos conceitos necessários para termos pavimentos rodoviários, aeroportuários e urbanos mais econômicos, com melhor desempenho e mais duráveis para cada situação.

Como toda obra de pavimentação, não faltou neste caso a consultoria e o controle de qualidade, exercidos com competência e elegância pelos colegas aqui reconhecidos por seus valiosos comentários e sugestões: Dra. Leni Figueiredo Mathias Leite

(Centro de Pesquisa da Petrobras), Eng. Ilonir Antonio Tonial (Petrobras Distribuidora), Eng. Armando Morilha Júnior (Abeda), Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides (Universidade Federal do Ceará) e Prof. Álvaro Vieira (Instituto Militar de Engenharia).

A experiência de escrever este livro a oito mãos foi deveras enriquecedora, construindo-o em camadas, com materiais convencionais e alternativos, cuidadosamente analisados, compatibilizando-se sempre as espessuras das camadas e a qualidade dos materiais. No livro, competências e disponibilidades de tempo foram devidamente dosadas entre os quatro autores. Um elemento presente foi o uso de textos anteriormente escritos pelos quatro autores em co-autoria com seus respectivos alunos e colegas de trabalho, sendo estes devidamente referenciados.

Por fim, tal qual uma estrada, por melhor que tenha sido o projeto e a execução, esta obra está sujeita a falhas, e o olhar atento dos pares ajudará a realizar a manutenção no momento apropriado. O avanço do conhecimento na fascinante área de pavimentação segue em alta velocidade e, portanto, alguns trechos da obra talvez mereçam restauração num futuro não distante. Novos trechos devem surgir. Aos autores e aos leitores cabe permanecer viajando nas mais diversas estradas, em busca de paisagens que ampliem o horizonte do conhecimento. Aqui, espera-se ter pavimentado mais uma via para servir de suporte a uma melhor compreensão da engenharia rodoviária. Que esta via estimule novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas.

Os autores

NOTA IMPORTANTE: Os quatro autores participaram na seleção do conteúdo, na organização e na redação de todos os onze capítulos, e consideram suas respectivas contribuições ao livro equilibradas. A ordem relativa à co-autoria levou em consideração tão somente a coordenação da produção do livro.

Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos

10.1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego. A parcela estrutural é associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento e é tratada neste capítulo, enquanto os aspectos funcionais são objeto do Capítulo 9.

A avaliação de pavimentos tem como conceitos associados:

- **serventia:** qualidade do pavimento, num determinado instante, quanto aos aspectos para o qual foi construído em relação ao conforto ao rolamento e segurança;
- **desempenho:** variação da serventia ao longo do tempo (ou do tráfego) de uso do pavimento;
- **gerência:** administração, gestão e otimização dos recursos aplicada ao planejamento, projeto, construção, manutenção e avaliação dos pavimentos;
- **restauração:** conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento (intervenção); incluem as ações de manutenção denominadas preventivas e reforço;
- **manutenção preventiva:** operação de correções localizadas que não atingem a maioria da superfície do pavimento, repondo pequena parcela da condição de serventia;
- **reforço:** operação de restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura do pavimento e acrescenta-se nova camada de mistura asfáltica (também dito *recapeamento*). Atualmente, pode incluir a fresagem de parte do revestimento antigo além da colocação de nova camada estrutural de revestimento ou camadas de reposição de conforto ao rolamento;
- **reconstrução:** operação de refazer o pavimento, no todo desde o subleito, ou mais comumente atualmente a partir da sub-base por retirada total dos materiais de base e revestimentos antigos e substituição por novos materiais ou por reciclagem dos mesmos sem ou com adição de estabilizantes tais como asfalto-espuma, cimento Portland ou cal hidratada. Após a reciclagem constrói-se nova capa asfáltica como revestimento.

Uma forma de se representar uma curva de desempenho de um pavimento ao longo de vários ciclos de restauração pode ser a indicada na Figura 10.1. O critério de avaliação

pode ser funcional ou estrutural, e o nível mínimo aceitável para este parâmetro define o momento de fazer a intervenção corretiva de restauração ou reforço.

A avaliação funcional, incluindo a segurança, como visto no Capítulo 9, tem como palavras-chave: conforto ao rolamento, condição da superfície, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades.

A avaliação estrutural, por sua vez, está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por equipamentos próprios chamados genericamente de defletômetros por medirem os deslocamentos verticais nomeados como “deflexão” do pavimento. Elas são responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo da vida do pavimento, e que podem levar à fadiga do revestimento. As deformações plásticas são acumulativas durante os anos de vida de um pavimento e resultam em defeitos do tipo afundamento localizado ou nas trilhas de roda, medidos por meio de treliça normatizada, mostrada no Capítulo 9.

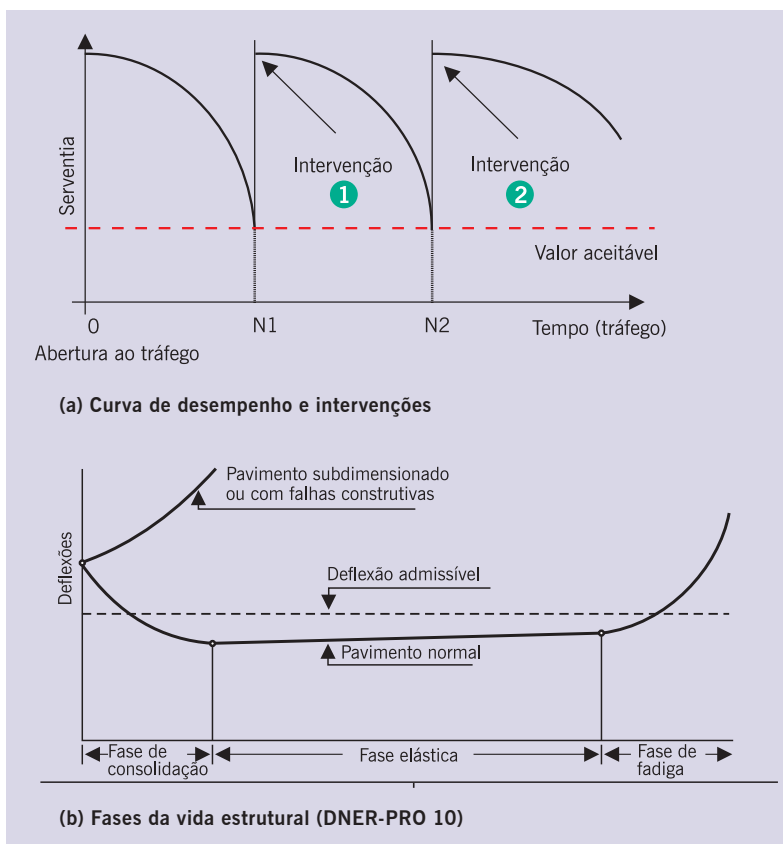


Figura 10.1 Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração

10.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser feita por métodos: destrutivo, semidestruutivo ou não-destrutivo.

Um método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga *in situ*. Pela sua própria natureza destrutiva só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado.

A Figura 10.2 mostra exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso para avaliação das camadas. Com a extração de amostras do pavimento é possível identificar os tipos de materiais das camadas e subleito, as espessuras de camadas e fazer coleta de amostras para ensaios de laboratório. É possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada para comparar com as condições de umidade ótima e massa específica máxima dos ensaios de compactação, e assim, avaliar eventuais excessos de umidade ou deficiência de grau de compactação. A retirada de corpos-de-prova do revestimento asfáltico, por sonda rotativa, permite avaliar o grau de envelhecimento do ligante, entre outras observações possíveis.

Um método semidestruutivo é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP (Trichês e Cardoso, 2001; Trichês *et al.*, 2004). A Figura 10.3 mostra um exemplo dessa técnica expedita de avaliação da capacidade de carga de subleitos e camadas de solo fino do pavimento. A aplicação deste ensaio só permite em geral correlação com o ISC dos materiais, com certa precisão. Atualmente também começam a ser usados, com mais propriedade, equipamentos portáteis para avaliação expedita do módulo de elasticidade do pavimento, através de pulsos, aplicados na superfície, e medições do retorno dos mesmos, como o exemplo mostrado na Figura 10.4 (www.dynatest.com).

A avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a que lança mão de medidas não-destrutivas, representadas por medidas de deflexão.

A cada passagem de roda o pavimento sofre um deslocamento total que tem duas componentes:

1. Deformação elástica que resulta na flexão alternada do revestimento, chamada por convenção de deflexão, cuja medida é a principal forma de avaliação estrutural de um pavimento em uso.
2. Deformação permanente que resulta no afundamento de trilha de roda cuja medida também é um critério de definição da vida útil estrutural e funcional de um pavimento visto que, a partir de certo valor, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego.

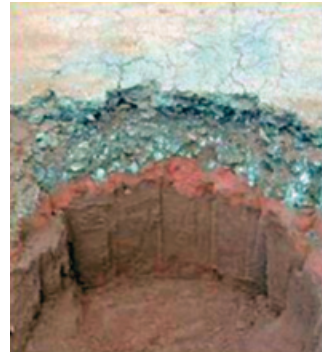


Foto: Dynatest, 2004



Figura 10.2 Exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso



(a) Equipamento em uso
(Foto Abdou, 2005)

(b) Equipamento desmontado para transporte



Figura 10.4 Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento
(Foto Abdou, 2005)

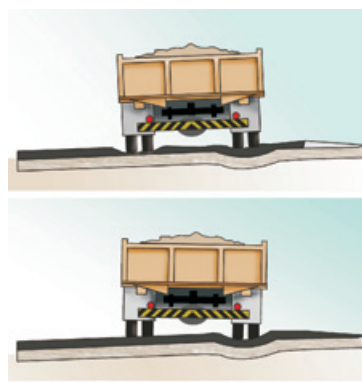
Figura 10.3 Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo

Quando se mede o deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga tem-se a denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento (DNER-ME 061/94).

A Figura 10.5(a) mostra o resultado da repetição das deformações elásticas num pavimento de revestimento de concreto asfáltico como trincamento generalizado e interligado, chamado de “couro de jacaré”. Já na Figura 10.5(b) observa-se o resultado do acúmulo das deformações permanentes, que podem ocorrer tanto no revestimento quanto no subleito ou como contribuição de todas as camadas do pavimento. As deformações permanentes são medidas por treliça padronizada com 120cm de base, conforme mostrado na Figura 9.21.



(a) Fadiga



(b) Deformação permanente

Figura 10.5 Defeitos estruturais de trincamento e afundamento por repetição de cargas

10.3 EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA

Os equipamentos utilizados em avaliações não-destrutivas (NDT – *nondestructive deflection testing*) podem ser divididos em:

1. Carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo.
2. Carregamento vibratório: dynaflect, por exemplo.
3. Carregamento por impacto: *falling weight deflectometer* (FWD).

Há bastante diferença entre os valores numéricos de avaliação estrutural realizados utilizando-se cada um desses tipos de equipamentos, que podem ser usados para levantamentos da condição de pavimentos para sistema de gerência em nível de rede, para análises de rotina ou para projeto de reabilitação. Todos os equipamentos devem ser constantemente calibrados por processos específicos e seguem rotinas de aplicação determinada pelo tipo de carregamento (ASTM D 4695).

Os equipamentos de medição de deflexão do pavimento – defletômetros – mais utilizados no país são de duas gerações bastante distintas:

- o primeiro a ser desenvolvido, na década de 1950, foi a viga Benkelman, sendo o engenheiro do Departamento de Transportes da Califórnia, A. C Benkelman, o seu criador. Foi introduzido no Brasil em 1962 (Carneiro, 1965);
- o segundo grupo é dos equipamentos de peso batente (*falling weight deflectometer*) – FWD – criados na década de 1980. Foi introduzido no Brasil em 1994 (DNER, 1998).

Os dois tipos de equipamentos são empregados no país para avaliação estrutural. Com esses equipamentos são medidos os seguintes parâmetros:

1. Deflexão máxima: deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga Benkelman), sendo a deflexão normalmente expressa em 10^{-2}mm (d_0).
2. Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25cm do centro da mesma (d_0 e d_{25}).
3. Deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento (d_0 , d_{25} , d_{50} etc.).

Como complemento à avaliação estrutural não-destrutiva de pavimentos podem ser usados equipamentos como o geo-radar, munido de radar para estimar as espessuras das camadas ao longo da via (Gonçalves e Ceratti, 1998; ASTM D 4748). A seguir são descritos os equipamentos mencionados.

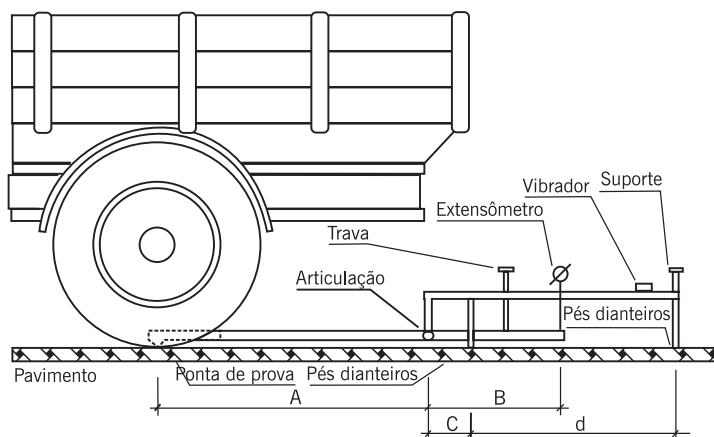
10.3.1 Viga Benkelman (VB)

A viga Benkelman consiste de um equipamento muito simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica. A Figura 10.6 mostra um esquema desse equipamento com o caminhão (DNER-ME 24/94) e um exemplo de medida em campo.

O ensaio completo consiste em: (i) colocar a ponta de prova da viga Benkelman entre os pneus da roda geminada traseira do caminhão, colocando-a exatamente sob o seu eixo; (ii) fazer uma leitura inicial do extensômetro que se situa a uma distância segura para o operador sobre o braço móvel da viga – leitura L_i ; (iii) fazer o caminhão se afastar lentamente até 10m de distância da ponta de prova ou até que o extensômetro não acuse mais variação da leitura; (iv) ler o extensômetro – leitura L_f . (Figura 10.7).

A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado é associado à deformação elástica do pavimento (deflexão). Calcula-se a deflexão d_0 pela expressão (10.1), sendo K a constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor, articulados:

$$d_0 = (L_i - L_f) \cdot K \quad (10.1)$$



(a) Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94)



(b) Medida com viga Benkelman em campo

Figura 10.6 Esquema da viga Benkelman (DNER-ME 24/94) e exemplo de medida em campo

A Figura 10.8 mostra o esquema de medidas quando se deseja obter a bacia de deflexão com a viga Benkelman. É um procedimento trabalhoso e de pouca precisão quando realizado com a viga convencional, mas hoje é possível encontrar no país vigas automatizadas, nas quais a leitura dos deslocamentos se faz com medidores elétricos tipo LVDT. Todas as leituras intermediárias devem ser referidas à leitura final, para o cálculo da deflexão no ponto considerado.

Na maioria das vezes medem-se somente a deflexão máxima d_0 e mais um ponto, em geral a 25cm do inicial (d_{25}), para cálculo do chamado raio de curvatura, que representa um arco de parábola que passa pelos dois pontos. A Figura 10.9 mostra o esquema deste cálculo (DNER-ME 24/94). A partir da expressão (10.2), indicada para cálculo do raio de curvatura R com as deflexões em centésimos de milímetro, obtém-se o raio em metros:

$$R = \frac{6250}{2(d_0 - d_{25})} \quad (10.2)$$



(a) Posicionamento do caminhão



(b) Colocação da viga Benkelman e leitura inicial



(c) Afastamento do caminhão e leitura final

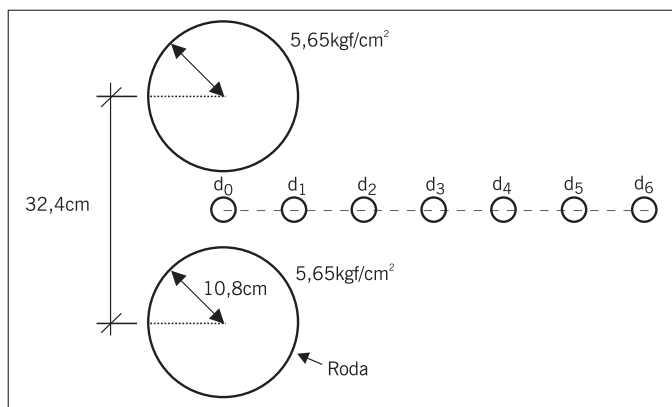
Figura 10.7 Passos do ensaio com a viga Benkelman

10.3.2 Equipamento por impacto *falling weight deflectometer (FWD)*

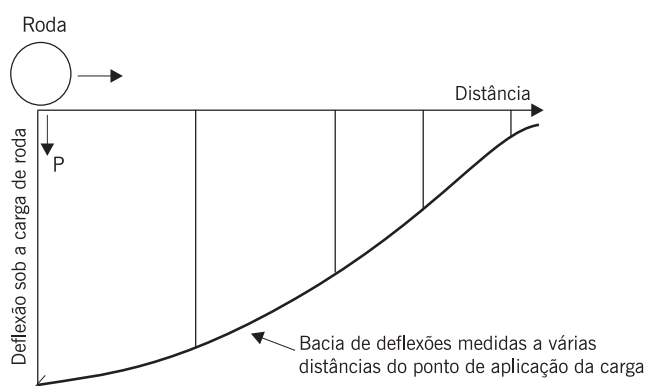
Os equipamentos mais atuais de medida dos deslocamentos elásticos de um pavimento são os de impacto por queda de um peso suspenso a certa altura, sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima – Figura 10.10.

As normas DNER-PRO 273 e ASTM D 4695 descrevem o uso desse tipo de equipamento. O equipamento é totalmente automatizado, sendo rebocado por um veículo utilitário leve que carrega parte do sistema de aquisição de dados feito por computador, conectado aos sensores instalados na parte rebocada, que é o defletômetro propriamente dito. O ensaio consiste em se aplicar a carga de impacto e ler os deslocamentos em vários sensores colocados ao longo de um suporte em posições convenientemente escolhidas para se obter a linha de deslocamentos. Note-se que essa é uma diferença importante entre o FWD e a viga Benkelman. Outra diferença marcante está na forma de aplicação da carga: dinâmica no FWD e quase estática na VB.

Embora ambos os tipos de defletômetros sejam preparados para medir os deslocamentos elásticos, pelas diferenças de concepção entre eles, as deflexões não são iguais,



(a) Em planta



(b) Resultado

Figura 10.8 Esquema de leituras com a viga Benkelman para obtenção da deformada
(Desenhos – Nóbrega, 2003)

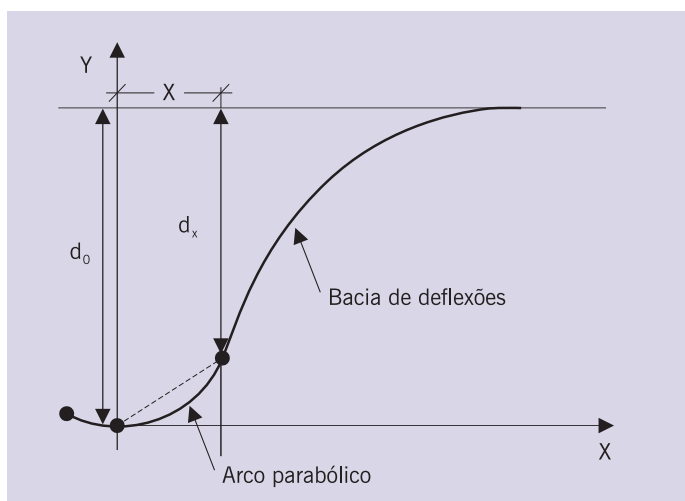


Figura 10.9 Esquema de medida e cálculo do raio de curvatura

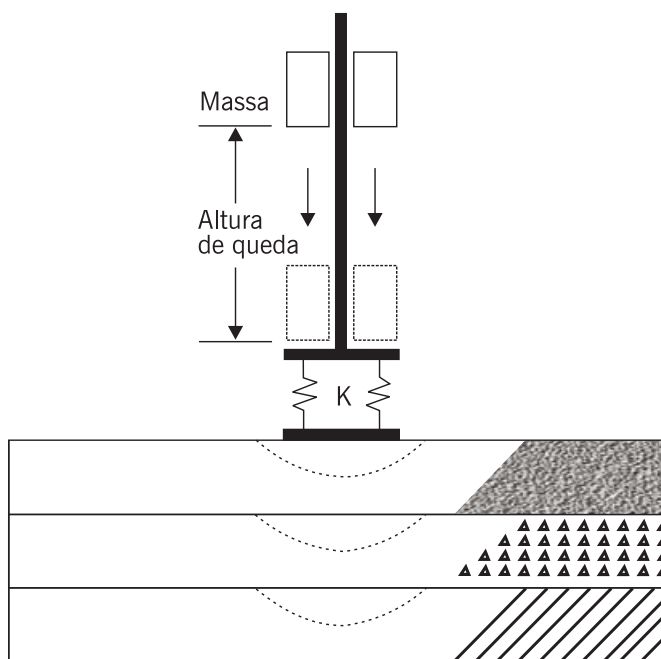


Figura 10.10 Esquema de um defletômetro de impacto

nem existe uma correlação simples e universal entre medidas realizadas com o FWD e a VB. Em cada tipo de pavimento pode-se obter certa correlação entre esses valores, porém não generalizável.

A Figura 10.11 mostra exemplos de FWD existentes no país, sendo de duas marcas, e tendo diferenças entre eles como: tipo de amortecedor, placas segmentadas ou não, tipo de sensor de medida de deslocamentos, forma do pulso de carga etc. (Macêdo, 1996). Por serem equipamentos mais sofisticados exigem, também, calibrações periódicas e especializadas. Lamentavelmente, embora já se tenha no país cerca de 10 equipamentos FWD, não existe nenhum centro de calibração como em outros países. Um exemplo de centro de calibração de FWD está na Figura 10.12 (Fonte: DOT Pensilvânia).

A Figura 10.13 mostra o esquema de medidas da deformada com o FWD e o esquema das leituras internas dos sensores.

As vantagens do FWD em relação à VB convencional são:

- acurácia nas medições;
- possibilidade de aplicação de vários níveis de carga;
- maior produtividade (mais pontos levantados por dia);
- ensaio não influenciado pelo operador;
- registro automático de temperatura e de distâncias dos pontos de ensaio.

Algumas desvantagens do FWD são: custo do equipamento, necessidade de calibrações mais sofisticadas, diferenças de resultados entre marcas.



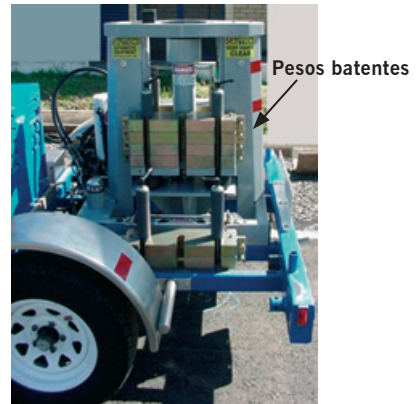
(a) Vista geral do FWD Dynatest



(b) Detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores



(c) FWD – KWAB



(d) Detalhe do sistema de carregamento

Figura 10.11 Exemplos de modelos de FWD



Figura 10.12 Exemplo de modelo de centro de calibração de FWD

(Fotos: Centro Regional de Calibração do Norte dos EUA)

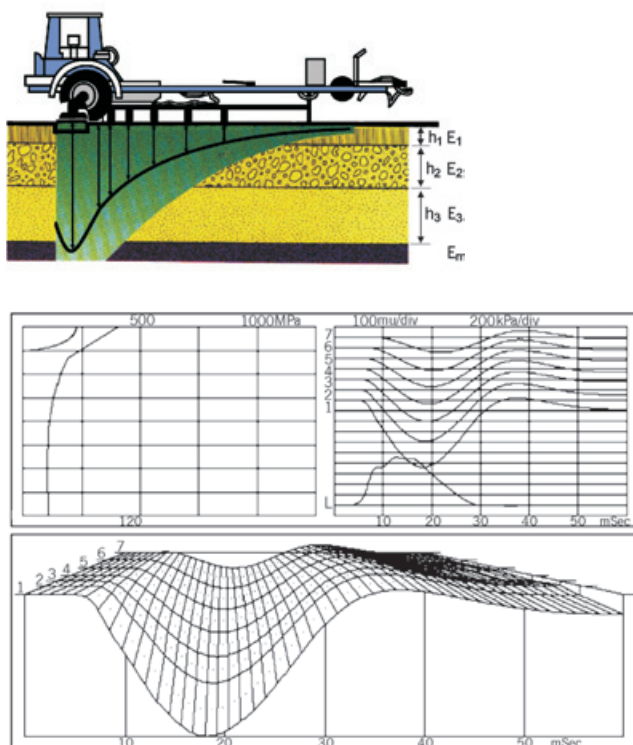


Figura 10.13 Esquema de medidas com o FWD

(www.dynatest.com)

Tanto o FWD quanto a VB podem ser usados no controle da capacidade de suporte das camadas do pavimento desde a sua construção, o que vem sendo cada vez mais usado no país com muitas vantagens (Soares *et al.*, 2000).

A ordem de grandeza das deflexões dos pavimentos asfálticos varia muito com as características da estrutura, o tipo de revestimento, o nível de trincamento, as condições climáticas etc. Mas como valor típico pode-se indicar de 30 a 50 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de concreto asfáltico e base granular em boa condição estrutural, e da ordem de 80 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de tratamento superficial.

A vantagem de se poder medir com acurácia a bacia deflectométrica do pavimento é utilizá-la para estimar os módulos de elasticidade das camadas, o que permite uma avaliação estrutural mais adequada de cada segmento e o cálculo do reforço estrutural, se necessário, pelos princípios da mecânica dos pavimentos. Isto é possível através da técnica chamada de retroanálise, que será discutida, sucintamente, a seguir.

10.4 NOÇÕES DE RETROANÁLISE

O entendimento do pavimento como uma estrutura que forma um sistema em camadas que trabalham solidariamente, permite compatibilizar os materiais em termos de rigidez. Aplicando-se os princípios da mecânica dos pavimentos (Medina e Motta, 2005) é possível fazer uma avaliação estrutural mais adequada de todas as camadas e do subleito.

Para se aplicar o cálculo de tensões e deformações para um dimensionamento apropriado do reforço do pavimento, é necessário se conhecer a rigidez de todas as camadas do pavimento e do subleito. Como a maioria dos pavimentos, em uso, foi dimensionada pelo método do CBR (ou ISC), não se conhece a princípio essa característica dos materiais em cada trecho. Mesmo se conhecendo os valores dos módulos de resiliência da época do projeto e construção, eles tendem a ser variáveis com o tempo e o uso e, em alguns casos, pelo clima. Uma forma de resolver esse problema seria por meio da avaliação destrutiva por abertura de poços, que permitam coletar amostras para determinação destes parâmetros em laboratório. Mas isto é um serviço lento e causa transtornos adicionais ao pavimento.

Surgiu então um método que permite inferir os módulos de elasticidade das camadas do pavimento e do subleito por interpretação das bacias de deformação – a retroanálise. Usa-se aqui o termo módulo de elasticidade por ser nesse caso um parâmetro retrocalculado e não determinado em laboratório por meio do ensaio de carga repetida, como é o caso do módulo de resiliência.

A Figura 10.14 indica os elementos necessários para entender o conceito do método de retroanálise de pavimentos. Tendo-se o conhecimento da carga externa aplicada para a qual foi obtida a bacia deflectométrica e, conhecendo-se as características básicas dos tipos de materiais presentes em cada camada e suas espessuras, é possível inferir os

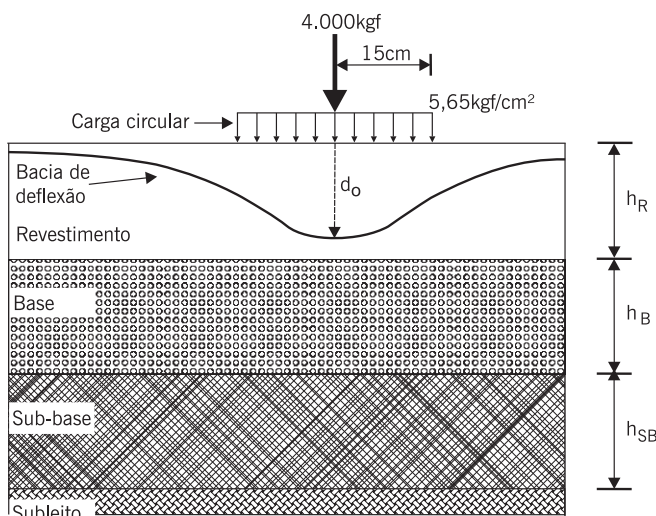


Figura 10.14 Esquema dos dados necessários para se fazer uma retroanálise de pavimento (Nóbrega, 2003)

módulos de elasticidade a partir das deflexões obtidas. Esta especificação é feita considerando-se uma determinada combinação de módulos das camadas de modo a fazer coincidirem a bacia teórica calculada e a bacia de campo determinada. Esta última pode ser obtida a partir de ensaios não-destrutivos, utilizando-se equipamentos como a viga Benkelman, universalmente usada, ou o FWD, instrumento capaz de obter determinações mais acuradas (Macedo, 1996; Albernaz, 1997; Villela e Marcon, 2001; Nóbrega, 2003).

A norma ASTM D 5858 apresenta uma diretriz de entendimento desta técnica e cuidados na sua interpretação. Não se tem ainda norma correspondente no país, mas o *Manual de reabilitação do DNER* (1998) comenta a retroanálise.

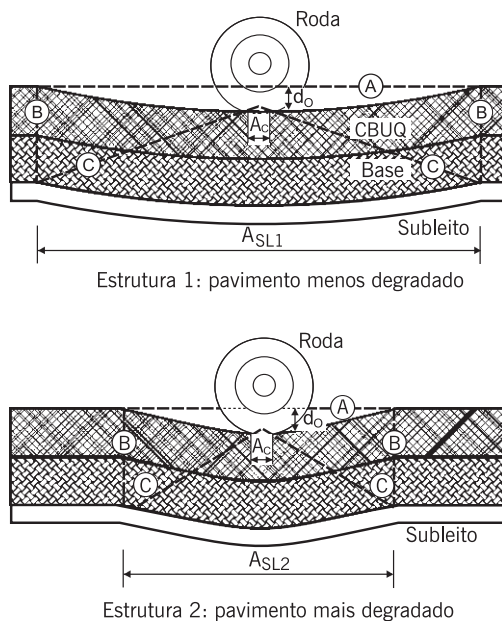
Os dados de entrada do processo de retroanálise são: a configuração do carregamento, a bacia defletoométrica, seção-tipo do pavimento, coeficientes de Poisson e faixas de valores modulares para cada camada da estrutura.

Em relação aos procedimentos de avaliação estrutural e projeto de reforço de pavimentos flexíveis adotados pelo DNER (PRO-10/79 – procedimento A, PRO-11/79 – procedimento B, PRO-159/85 e PRO-269/94), a retroanálise dos módulos de elasticidade de um pavimento apresenta as seguintes vantagens:

- possibilita a obtenção dos módulos nas condições de campo;
- minimiza o número de sondagens para determinação das espessuras e coletas de amostras para determinação dos parâmetros desejados, que são de difícil reprodução em laboratório, além de serem onerosas, perigosas e demoradas;
- os ensaios não-destrutivos são menos onerosos e menos demorados do que os ensaios destrutivos;
- possibilita o uso pleno da bacia defletoométrica, não só a deflexão máxima (d_0) como nas técnicas de avaliação estrutural preconizadas pelo DNER.

Os métodos tradicionais fazem a caracterização estrutural de um pavimento a partir dos valores individuais de deflexão máxima, considerando-os isoladamente. A deflexão máxima possibilita a determinação dos locais onde o pavimento apresenta variações nas deformações verticais reversíveis quando do carregamento imposto pelo tráfego. Entretanto, um mesmo valor de deflexão reversível máxima pode representar inúmeros níveis de qualidade estrutural, tanto mais crítica quanto mais concentrada a bacia, dependendo também do tipo da estrutura. Ou seja, pode-se obter uma mesma deflexão máxima para diversas combinações estruturais, conforme ilustra a Figura 10.15.

Nos procedimentos A e B do DNER é recomendado o levantamento da bacia defletoométrica, em poucos pontos (dois ou três pontos em 1km de extensão), mas não é feito o uso pleno desta determinação. O procedimento B incorpora esses dados no cálculo do raio de curvatura, o que subestima a potencialidade da bacia defletoométrica que, usada de forma adequada, fornece parâmetros bastante úteis para a avaliação estrutural completa, que engloba a estimativa dos módulos de elasticidade das camadas que compõem o pavimento.



Legenda

Linha A – superfície do pavimento antes do carregamento

Linha B – limite onde não há mais influência do carregamento

Linha C – limite de bulbo de tensões

A_C – área de contato

A_{SL} – superfície do subleito influenciada pelo carregamento

d_o – deflexão máxima

Observações

$A_{SL1} > A_{SL2}$ para um mesmo carregamento

O pavimento 1 distribui o carregamento em uma área maior

Figura 10.15 Diferentes formas de bacia deflectométrica indicam diferentes capacidades de carga para a mesma deflexão máxima (Nóbrega e Motta, 2003)

A sistemática de retroanálise se justifica por permitir:

- inferir os módulos de elasticidade “E” nas condições de campo;
- eliminar ou minimizar coleta de amostras;
- caracterizar com rapidez as camadas em termos de elasticidade;
- verificar a condição estrutural de cada camada e subleito.

As desvantagens de obtenção dos módulos de elasticidade por retroanálise são:

- a sensibilidade do cálculo dos valores dos módulos de elasticidade aos valores das bacias deflectométricas que possuem uma imprecisão inerente aos levantamentos de campo;
- a confiabilidade dos instrumentos e dos procedimentos operacionais de medição das deflexões deve ser continuamente verificada;
- os módulos de elasticidade retroanalizados não representam necessariamente os módulos reais dos materiais das camadas e sim “módulos equivalentes” (igualdade depende de diversos fatores, como por exemplo número de camadas, grau de trincamento, homogeneidade de material e regularidade de espessura);
- o conjunto de módulos retroanalizados não é único, depende do programa utilizado para obtê-los, das hipóteses simplificadoras, dos níveis de ajustes atingidos etc.

Esta idéia não é nova e já existem métodos de retroanálise desde a década de 1970. Porém, com o advento dos equipamentos automatizados tipo FWD e com o avanço da

computação houve um acelerado desenvolvimento dessa tecnologia, hoje fartamente disponível em várias versões de *softwares*.

Os programas se dividem em simplificados e iterativos. Entre os iterativos, todas as empresas e instituições que possuem FWD dispõem de um método de retroanálise associado, por exemplo, o ELMOD da empresa Dynatest do Brasil. É possível também se conseguir na internet muitos desses programas.

Entre os programas simplificados brasileiros tem sido utilizado o RETRAN2CL, desenvolvido por Albernaz (1997) que se baseia nas seguintes hipóteses e simplificações, entre outras:

- modelagem como um sistema ideal elástico de duas camadas: (i) pavimento, e (ii) subleito;
- materiais da estrutura de pavimento são considerados sem peso, homogêneos e isotrópicos;
- pavimento tem uma espessura uniforme e uma largura infinita; o subleito tem espessura infinita;
- coeficiente de Poisson é 0,5 para o pavimento e o subleito;
- aplicação em pavimento com espessura menor que o raio da placa de carga não é confiável.

A Figura 10.16 mostra uma das telas do programa RETRAN2CL onde é possível observar o ajuste entre a bacia medida e a calculada e os módulos retroanalizados do pavimento e do subleito. Com esses valores é possível avaliar a capacidade estrutural do pavimento e calcular a eventual espessura de reforço necessária para o trecho avaliado.

A retroanálise não serve somente para avaliação estrutural e projeto de reforço, já tendo sido usada para o desenvolvimento de método de dimensionamento de pavimentos novos de vias de baixo volume de tráfego (Alvarez Neto, 1997; Alvarez Neto *et al.*, 1998). Nos referidos trabalhos, a retroanálise foi usada na estimativa de módulos de trechos já implantados e serviu de calibração do método de dimensionamento proposto. Além disso, a retroanálise é recomendada como forma de estimar o módulo de trabalho do subleito (“para grandes extensões, o levantamento *in situ* torna-se mais econômico que a realização de uma campanha de ensaios para extração, coleta e ensaios de amostras de solos”, p. 152, Alvarez Neto, 1997).

Os dados da retroanálise podem contribuir para a elaboração de projetos mais confiáveis, para pavimentos mais duráveis, representando um ganho de tempo nos projetos e minimizando a coleta de amostras. A retroanálise é o procedimento de projeto de reforço que mais evolui no momento no mundo.

É fundamental que os procedimentos de retroanálise de bacias deflectométricas sejam claramente compreendidos para que o projetista e o contratante conheçam as vantagens e as limitações da modelagem utilizada. Há, ainda, a necessidade de balizar os programas e procedimentos de retroanálise pelos ensaios de laboratório ou faixas de valores de módulos consistentes.

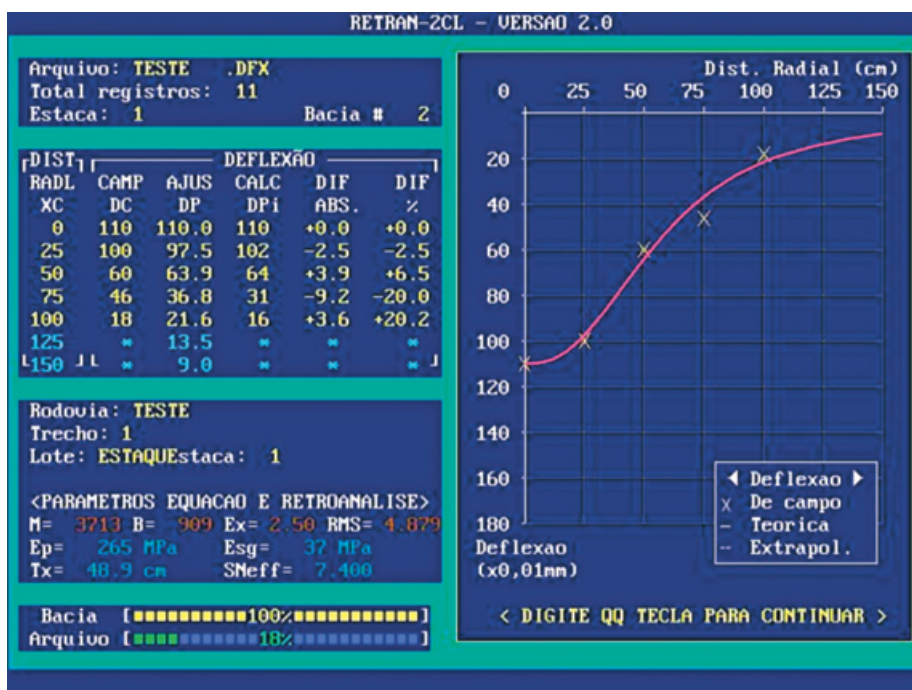


Figura 10.16 Tela do programa RETRAN2CL (Albernaz, 1997)

No caso de um trecho homogêneo de pavimentos, têm-se em geral medidas de bacias em várias seções ou estacas intermediárias. Uma questão que se coloca é: (i) deve-se fazer a retroanálise em todos os pontos levantados, para em seguida obter a média dos módulos retroanalizados, ou então (ii) deve-se obter uma bacia média e fazer somente uma retroanálise por trecho? A primeira hipótese sempre é a melhor, porém é muito trabalhosa e consome bastante tempo de análise. Mostra-se que é possível chegar a resultados adequados definindo duas curvas correspondentes à curva média mais ou menos um desvio padrão, e assim fazer a retroanálise obtendo-se valores próximos da análise ponto a ponto (Nóbrega *et al.*, 2003).

10.5 SIMULADORES DE TRÁFEGO

Os simuladores de tráfego são grandes equipamentos de campo que permitem fazer importante avaliação estrutural de seções de pavimento, para determinação de vida de fadiga em condições muito mais próximas da situação real de condições de tráfego e de materiais do que os ensaios de laboratório vistos no Capítulo 6, mas de forma acelerada em relação ao desempenho.

Existem vários tipos desses equipamentos que consistem de forma geral em fazer atuar uma ou duas rodas de caminhão sobre uma curta seção do pavimento a ser tes-

tado, por ciclos de carga contínuos durante várias horas por dia. Assim, reproduz-se em curto espaço de tempo o número de passagens de eixos previstos no projeto da estrutura ensaiada.

Assim é possível testar novos materiais e métodos de dimensionamento, entender o comportamento de distintos perfis de pavimentos e concluir sobre eficiências de técnicas de restauração, por exemplo.

No país há três tipos de simuladores de tráfego em atividade:

- o primeiro instalado foi o simulador circular do IPR/DNER em 1980 no Rio de Janeiro (Silva, 2001), mostrado na Figura 10.17(a). A concepção desse simulador é baseada no princípio do simulador francês de pista do LCPC instalado em Nantes, apresentado na Figura 10.17(b);
- o segundo instalado no país foi o simulador linear da UFRGS/DAER-RS em 1995 em Porto Alegre (Núñez, 1997), mostrado nas Figuras 10.17(c) e (d);
- o terceiro tipo é o simulador móvel tipo HVS (*heavy vehicle simulator*), de concepção brasileira, que permite testar trechos de estradas em uso (Fritzen, 2005), mostrado nas Figuras 10.17(e) e (f). Esse tipo de equipamento tem a grande vantagem de poder ser transportado para o local de teste. Existem dois desses equipamentos móveis disponíveis e atuantes no país desde 2003.

Existem no mundo simuladores HVS que podem ser deslocados de um ponto a outro por meio de carreta como o brasileiro ou através de sua própria potência – Figura 10.18(a). Torna-se possível a simulação acelerada do comportamento de um pavimento ao longo de sua vida de serviço com a construção de um pequeno trecho de pavimento numa faixa adicional colocada ao lado do pavimento existente – Figura 10.18(b) ou na própria pista. Além desses aspectos, o HVS pode simular os testes com controle de temperatura através de uma câmara *add-on*. Os efeitos da umidade também podem ser levados em consideração com o uso de sistemas de molhagem da superfície e técnicas simples de injeção de água nas camadas de base, sub-base e subleito.



(a) Simulador do IPR no Rio de Janeiro



(b) Simulador do LCPC de Nantes na França



(c) Simulador da UFRGS/DAER-RS em Porto Alegre



(d) Detalhe do simulador da UFRGS/DAER-RS



(e) Simulador brasileiro móvel tipo HVS



(f) Simulador brasileiro móvel tipo HVS em uso

Figura 10.17 Exemplos de simuladores de tráfego



(a) Detalhe da autolocomoção



(b) Teste em faixa adicional ao lado da pista existente

Figura 10.18 Exemplos de simuladores de tráfego tipo HVS – *heavy vehicle simulator* em outros países

10.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação estrutural é fundamental para se determinar a capacidade de carga de um pavimento desde a sua construção e ao longo da sua vida para definir a época mais adequada de fazer uma intervenção de restauração e qual deve ser a técnica a ser empregada.

Cada pavimento tem sua deflexão admissível, determinada a partir de um dimensionamento mecânico, que faz uso dos parâmetros de módulo de resiliência dos materiais de cada camada e do subleito e dos critérios de fadiga e de deformação permanente definidos ao longo deste livro. Da mesma forma, o projeto de um reforço estrutural também deverá ser feito levando em conta esses critérios.

Como já declarado no prefácio, foge do escopo deste livro o detalhamento desses métodos de dimensionamento, mas estimula-se o leitor a procurar outros livros sobre o assunto, como, por exemplo, Pinto e Preussler (2002); Huang (1993, 2003); Medina e Motta (2005), entre outros.

BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- ALBERNAZ, C.A.V. *Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão*. 1997. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- ALVAREZ NETO, L. *Proposta de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis com a utilização de solos tropicais em estruturas de baixo volume de tráfego*. 1997. 288 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- ALVAREZ NETO, L.; BERNUCCI, L.L.B.; NOGAMI, J.S. Proposta de um método de dimensionamento de pavimentos flexíveis para vias de baixo volume de tráfego com a utilização de solos lateríticos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABPv, 1998. p. 372-89.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D4695-96: *standard guide for general pavement deflection measurements*. USA, 2000.
- _____. ASTM D4748-98: *standard test method for determining the thickness of bound pavement layers using short-pulse radar*. USA, 2000.
- _____. ASTM D5858-96e1: *standard guide for calculating in situ equivalent elastic moduli of pavement materials using layered elastic theory*. USA, 2002.
- CARNEIRO, F.B.L. Viga Benkelman, instrumento auxiliar do engenheiro de conservação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA RODOVIÁRIA, 1965, Rio de Janeiro. Public. 85-GTPC-65-03. Rio de Janeiro: IPR, 1965.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Manual de reabilitação de pavimentos*. Rio de Janeiro: DNER, 1998.
- _____. ME 061/94: *delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. ME 24-94: *determinação das deflexões no pavimento pela viga Benkelman*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. PRO 10/79: *avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, procedimento A*. Rio de Janeiro, 1979.
- _____. PRO 11/79: *avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, procedimento B*. Rio de Janeiro, 1979.
- _____. PRO 159/85: *projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos*. Rio de Janeiro, 1985.
- _____. PRO 269/94: *projeto de restauração de pavimentos flexíveis: Tecnapav*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. PRO 273/96: *determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo falling weight deflectometer (FWD)*. Rio de Janeiro, 1996.
- FRITZEN, M.A. *Avaliação de soluções de reforço de pavimento asfáltico com simulador de tráfego na rodovia Rio-Teresópolis*. 2005. 250f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- GONÇALVES, F.P.; CERATTI, J.A.P. Utilização do *ground penetration radar* na avaliação de pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31., 1998, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABPv, 1998. v. 1, p. 390-404.
- HUANG, Y.H. *Pavement analysis and design*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993. 805p.
- _____. *Pavement analysis and design*. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2003. 900p.

- MACÊDO, J.A.G. *Interpretação de ensaios deflectométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis*. 1996. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.
- MEDINA, J. *Mecânica dos pavimentos*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.
- MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. *Mecânica dos pavimentos*. 2005.
- NÓBREGA, E.S. *Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos*. 2003. 365 f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- NÓBREGA, E.S.; MOTTA, L.M.G. Comparação de métodos de retroanálise e sua influência no dimensionamento de reforço. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34., 2003, Campinas. *Anais...* Campinas: ABPv, 2003.
- NÓBREGA, E.S.; MOTTA, L.M.G.; MACEDO, J.A.G. Retroanálise em pavimentos asfálticos: escolha de bacia representativa de segmentos homogêneos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ANPET, 2003. v. 1. p. 262-273.
- NÚÑEZ, W.P. Análise experimental de pavimentos rodoviários delgados com basaltos alterados. 1997. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. *Pavimentação rodoviária – conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002. 269p.
- SILVA, P.D.E.A. *Estudo do reforço de concreto de cimento Portland (whitetopping) na pista circular experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias*. 2001. 300 f. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- SOARES, J.B.; MOTTA, L.M.; SOARES, R.F. Análise de bacias deflectométricas para o controle de construção de pavimentos asfálticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 14., 2000, Gramado. *Anais...* Gramado: ANPET, 2000.
- TRICHÊS, G.; FONTES, L.P.T.L.; DAL PAI, C.M. Procedimentos técnicos para o emprego do cone de penetração e investigação de pavimentos urbanos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* v. 1. p. 1-13.
- TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. Avaliação da capacidade de aterros e subleito de rodovias e utilizando o penetrômetro dinâmico de cone e a viga Benkelman. In: *Transporte em transformação*. São Paulo: Makron Books, 2001. v. 1. p. 35-49.
- VILLELA, A.R.A.; MARCON, A.F. Avaliação estrutural de pavimentos utilizando um método simplificado de retroanálise – Retran-2CL. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. *Anais...* p. 622-33.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

10 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 10.1 Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração	442
Figura 10.2 Exemplos de extração corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso	444
Figura 10.3 Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo	444
Figura 10.4 Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento	444
Figura 10.5 Defeitos estruturais de trincamento e afundamento por repetição de cargas	445
Figura 10.6 Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94) e exemplo de medida em campo	447
Figura 10.7 Passos do ensaio com a viga Benkelman	448
Figura 10.8 Esquema de leituras com a viga Benkelman para obtenção da deformada	449
Figura 10.9 Esquema de medida e cálculo do raio de curvatura	449
Figura 10.10 Esquema de um defletômetro de impacto	450
Figura 10.11 Exemplos de modelos de FWD	451
Figura 10.12 Exemplo de modelo de centro de calibração de FWD	451
Figura 10.13 Esquema de medidas com o FWD	452
Figura 10.14 Esquema dos dados necessários para se fazer uma retroanálise de pavimento (Nóbrega, 2003)	453
Figura 10.15 Diferentes formas de bacia deflectométrica indicam diferentes capacidades de carga para a mesma deflexão máxima (Nóbrega e Motta, 2003)	455
Figura 10.16 Tela do programa RETRAN2CL (Albernaz, 1997)	457
Figura 10.17 Exemplos de simuladores de tráfego	459
Figura 10.18 Exemplos de simuladores de tráfego tipo HVS – <i>heavy vehicle simulator</i> em outros países	460

Sem tabelas

ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS

A

AASHTO, 287, 306, 346, 404, 406, 464
abrasão, 116, 124, 133, 153, 187, 269, 273, 395
abrasão Los Angeles, 134, 140, 261, 273, 327, 357
absorção, 142, 149, 167, 216, 271, 435
aderência, 165, 179, 403, 429, 430, 483
adesão, 116, 187, 264, 273, 275, 280
adesividade, 64, 118, 143, 328, 421
afundamento de trilha de roda, 322, 417, 443
afundamentos, 322, 414, 416, 417, 419, 424, 442, 443, 445
agentes rejuvenescedores, 41, 99, 188, 190, 256, 473
agregado, 115, 207
 artificial, 119
 britado, 124
 gráudo, 120, 132, 139, 142, 150, 152
 miúdo, 85, 120, 148, 150, 151
 natural, 99, 116
 propriedades (ver propriedades dos agregados)
 reciclado, 116, 119, 351, 352, 355, 362
alcatrão, 25, 26
amostragem, 73, 130, 142, 387
amostragem de agregados, 130
análise granulométrica, 122, 132
análise petrográfica, 117
análise por peneiramento, 119, 121, 122, 125, 139
angularidade de agregado, 150, 151, 152, 240, 261

ângulo de fase, 104, 260, 290, 303
areia, 116, 119, 120, 141, 151, 164, 174, 341, 354, 356, 363, 430
areia-asfalto, 174, 253, 328
areia-cal-cinza volante, 356
argila, 132, 143, 150, 153, 340, 341, 354, 358, 360, 363
argila calcinada, 119, 134
argila expandida, 119
aromáticos, 27, 30, 37, 51, 64
asfaltenos, 27, 30, 32, 68, 176
asfalto, 25, 27, 30, 34, 41, 58, 100
 asfalto-borracha, 75, 162, 165, 172, 302, 324, 377
 asfaltos diluídos, 81, 96
 asfalto-espuma, 38, 41, 97, 441
 asfalto modificado por polímeros, 59, 63, 67, 69, 92, 162, 174, 377, 472
 asfalto natural, 26
 composição química, 27
 especificação brasileira, 58, 61, 83, 94, 95, 96, 97, 99
 especificação europeia, 62
 especificação SHRP, 32, 100, 102, 103
 produção, 32, 33, 34, 39
 programa SHRP, 100
 propriedades físicas-ensaios, 41
 coesividade Vialit, 72
 densidade relativa, 53
 durabilidade, 49
 dutilidade, 49
 espuma, 53
 estabilidade à estocagem, 72
 fragilidade e tenacidade, 73
 massa específica, 53
 penetração, 42

 ponto de amolecimento, 48
 ponto de fulgor, 52
 ponto de ruptura Fraass, 54
 recuperação elástica, 70
 reômetro de cisalhamento dinâmico, 104
 reômetro de fluência em viga (BBR), 106
 retorno elástico, 70
 separação de fases, 72
 suscetibilidade térmica, 55
 solubilidade, 49
 tração direta (DTT), 108
 vaso de envelhecimento sob pressão (PAV), 108
 viscosidade, 43
avaliação, 403, 441
 de aderência em pistas molhadas, 429
 estrutural, 9, 441, 463
 funcional, 9, 403, 441, 463
 objetiva, 424
 subjativa, 404, 409

B

“bacia de deflexão, bacia de deformação”, 445, 452
basalto, 116, 118, 119, 142, 143
base (camada de pavimento), 176, 183, 194, 337, 339
base asfáltica, 176
BBM, BBME, BBTM, BBUM, 176, 177, 179, 180, 181, 182
betume (ver asfalto), 25, 26, 49
bica corrida, 353, 357
bombeamento de finos, 416, 423
borracha (ver asfalto-borracha), 59, 62, 63, 65, 75
brita graduada simples, 352, 353, 357

brita graduada tratada com cimento, 352, 356, 362
britador, 124, 127
britagem, 124
Brookfield, 47
buraco (panela), 415, 416, 422, 425

C

camada(s)
“de base; de sub-base”, 352
“de dissipação de trincas (de absorção de trincas; anti-reflexão de trincas)”, 468, 469
de módulo elevado, 162, 165, 176
de reforço do subleito, 337, 339
de rolamento (ver revestimento asfáltico), 9, 162, 176, 468, 473
de revestimento intermediárias, 9, 162, 179, 183, 187, 253, 472
intermediárias de alívio de tensões, 472
porosa de atrito (ver revestimento drenante), 159, 161, 165, 253, 328, 434, 468
superficiais de revestimentos delgados, 165, 179, 473
caminhão espargidor, 393, 396
Cannon-Fenske, 44, 45
Cannon-Manning, 44, 45
CAP (cimento asfáltico de petróleo) (ver asfalto)
capa selante, 183, 193, 395
cimento asfáltico de petróleo (ver asfalto)
classificação de agregados, 116, 119, 142
classificação de asfaltos, 41, 43, 60, 100
classificação de defeitos, 415
classificação de solos, 340, 341
classificação de textura, 430, 432
coesão (coesividade), 49, 72, 187, 194, 271, 338, 342, 352
coletores de pó (filtros de manga), 380
compactação, 389

compactador giratório (Superpave), 230, 232
compatibilidade, 66, 67, 72, 129, 271
compressão, 10, 127, 195, 289, 308, 311, 330, 338, 350, 352, 470
compressão uniaxial não-confinada (*creep*), 317
concreto asfáltico, 158, 159, 161, 162, 217, 302, 432, 468
concreto asfáltico de módulo elevado, 162, 165, 176, 302, 311, 352
concreto asfáltico delgado, 177, 178
concreto asfáltico denso, 161, 162
cone de penetração dinâmico (DCP), 345, 443, 444
contrafluxo, 379, 383, 384
corrugação, 415, 416, 420, 425, 427
creep, 106, 317, 318, 319, 320, 321
cura, 96, 254, 351, 363, 364, 397, 399
curva de Fuller, 229
curvas granulométricas (ver granulometria), 123, 261

D

DCP (*dynamic cone penetrometer cone* de penetração dinâmico), 345, 444
defeitos de superfície, 413, 414, 415, 416
deflexão, 346, 443, 445, 446, 448, 454, 463, 464
deformação, 43, 49, 104, 105, 304, 313, 315, 443
deformação permanente (ver afundamento em trilha de roda), 316, 317, 320, 321, 322, 443
degradação, 133, 134, 137, 139
densidade (ver massa específica) específica, 144 específica Rice, 210 máxima medida, 209 máxima teórica, 209 relativa, 53, 145, 147

densímetro com fonte radioativa, 390
densímetro eletromagnético, 390
desagregação (ver desgaste, descolamento, *stripping*), 415, 416, 421, 422
descolamento, 129, 419, 421
desempenho, 101, 373, 401, 403, 441, 442, 457
desgaste, 134, 135, 327, 415, 416, 421, 423
deslocamento, 289, 291, 297, 298, 299, 300, 301, 318, 321, 346, 348, 421, 443, 445, 446
diorito, 118, 119
distribuidor de agregados, 197, 393
dosagem, 157, 205, 217, 227, 229, 253, 256, 258, 259, 266, 269, 274, 277
dosagem ASTM, 217, 235
dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente, 256
dosagem Marshall, 206, 217, 224, 227
dosagem Superpave, 229, 233, 259
drenagem superficial, 264, 407
DSC, 33, 58
DSR, 104, 105
DTT, 108, 109
durabilidade, 49
dureza, 124, 134, 178
dureza dos agregados, 134

E

elastômeros, 62, 63
EME, 162, 165, 176, 178, 179, 180, 181, 182
emulsão aniônica, 81, 84, 85
emulsão asfáltica, 81, 82, 83, 84, 92, 93
emulsão catiônica, 81, 82, 84
endurecimento, 34, 49, 52, 108
endurecimento do ligante asfáltico, 34, 51, 52
ensaio
azul-de-metileno, 187, 275, 279
bandeja, 266, 267
Cântabro, 167, 253, 328

carga de partícula, 86
desemulsibilidade, 89
determinação do pH, 92
10% de finos, 134, 139, 140
efeito do calor e do ar, 49
equivalente de areia, 132, 133, 153
espuma, 53
estabilidade à estocagem, 67, 72
flexão, 291, 303
mancha de areia, 430, 431, 432
pêndulo britânico, 430, 431
peneiração, 88
penetração, 42
placa, 266
ponto de amolecimento, 48
ponto de fulgor, 52, 53
ponto de ruptura Fraass, 54, 55
recuperação elástica por torção, 78, 79
resíduo por destilação, 90, 91
resíduo por evaporação, 90
sanidade, 143, 144
Schulze-Breuer and Ruck, 188, 271, 272, 273
sedimentação, 87
separação de fases, 72, 73
solubilidade, 49, 50
tenacidade, 73, 74, 75
tração direta, 108, 109
tração indireta, 308
Tretón, 137, 138
viscosidade, 43, 45, 46, 91
envelhecimento, 49, 50, 51, 52, 108
escória de aciaria, 119, 355
escória de alto-forno, 119
escorregamento, 419, 420
especificação brasileira de asfalto diluído, 96, 97
especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas, 84
especificação brasileira de emulsões asfálticas modificadas por polímero, 94, 95
especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica, 85
especificações para cimento asfáltico de petróleo, 60

espuma de asfalto, 53, 192, 474
estabilidade, 67, 72, 92, 121, 132, 222, 223, 288
estocagem, 33, 36, 37, 38, 67, 72, 376, 384
estufa de filme fino rotativo, 50, 51
estufa de película fina plana, 50, 51
EVA, 66, 67, 68
expressão de Duriez, 255
exsudação, 415, 416, 420

F

fadiga, 288, 311, 312, 313, 315, 316, 445
feldspato, 117, 119
fendas, 117, 119
fibras, 172, 252
fíler, 120, 160
filtro de mangas, 380
fluência, 106, 222, 318
fluxo paralelo, 379, 383
forma dos agregados, 141, 142, 172
fórmula de Vogt, 254
fragilidade, 73
fresadoras, 189, 192
fresagem, 188, 190, 191, 468
fundação, 337
FWD, 445, 448, 450, 451, 452

G

gabro, 118, 119
GB, 176, 179, 180
gel, 28, 30, 31
geogrelhas, 471
geossintéticos, 469
geotêxteis, 469, 470
gerência, 403, 413, 441
gnaisse, 117, 118, 362
graduação, 122, 123, 131, 159, 161, 169, 172, 183, 229, 264, 323
graduação aberta, 122, 159
graduação com intervalo, 172
graduação densa, 122, 159
graduação descontínua, 159
graduação do agregado, 159
graduação uniforme, 123

gráfico de Heukelom, 56, 57
granito, 117, 118, 119
grau de compactação, 389
grau de desempenho, 101, 259
grumos, 88, 89, 132, 213, 216

H

hidrocarbonetos, 25, 27, 30, 33, 37
hidroplanagem, 429, 433
histórico, 11, 16
Hveem, 50, 291, 346

I

IBP, 70, 80, 99, 291
IFI, 434
IGG, 415, 424, 427, 428, 429
IGI, 427, 428
impacto, 72, 127, 128, 205, 206, 448
imprimação, 97, 414
índice de atrito internacional, 434
índice de degradação após compactação Marshall, 139, 140
índice de degradação após compactação Proctor, 137
índice de degradação Washington, 136
índice de forma, 141, 264
índice de gravidade global, 415, 424, 428
índice de gravidade individual, 427, 428
índice de irregularidade internacional, 407
índice de penetração, 55, 56
índice de suporte Califórnia, 342
índice de susceptibilidade térmica, 41
IRI, 407, 408, 413
irregularidade, 404, 405, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413
irregularidade longitudinal, 407, 410

J

juntas, 76, 469, 472

L

lama asfáltica, 85, 185, 186, 187, 269, 277, 397
laterita, 119, 355, 362
ligantes asfálticos modificados com polímeros, 59, 63, 69, 473
limpeza, 132, 167, 386
Lottman, 143
LWT, 185, 187, 197, 198, 269, 270, 271, 275

M

macadame betuminoso, 194, 195, 352
macadame hidráulico, 352, 353, 357
macadame seco, 353, 357, 358
macromoléculas, 59
macrotextura, 430, 432, 433
maltenos, 27, 30, 68
manutenção, 406, 407, 413, 441
manutenção preventiva, 406, 407, 441
massa específica, 53, 54, 144, 145, 148, 149, 237, 389, 390, 443
massa específica aparente, 146, 207, 208, 209
massa específica efetiva, 146, 211
massa específica máxima medida, 209, 211, 214
massa específica máxima teórica, 209
massa específica real, 145
materiais asfálticos, 10, 352
materiais estabilizados granulometricamente, 358
material de enchimento, 120, 185, 358
matriz pétreo asfáltica, 159, 168
Mecânica dos Pavimentos, 10, 339, 453
megatextura, 430
método Marshall, 205, 217, 227, 228
metodologia MCT, 359, 360, 361
microrrevestimento, 186, 269, 274, 397
microtextura, 430, 431

mistura asfáltica, 26, 157, 205, 373
misturas asfálticas drenantes, 179
módulo complexo, 104, 303, 305, 306
módulo de resiliência, 291, 294, 296, 297, 300, 301, 345, 346, 348, 349
módulo de rigidez, 106
módulo dinâmico, 304, 306
multidistribuidor, 395

O

ondulações transversais, 415
osmometria por pressão de vapor, 28
oxidação, 34, 50

P

panela, 415, 416, 422, 427
parafinas, 33, 58
partículas alongadas e achatadas, 150, 152, 153
PAV, 108
pavimentação, 10, 20, 25, 373, 403
pavimentos asfálticos, 9, 10, 337, 338, 365, 366, 367, 368, 441
pavimentos de concreto de cimento Portland, 9, 338
pavimentos flexíveis, 337, 415
pavimentos rígidos, 337
pedregulhos, 115, 116
pedreira, 124, 126
peneiramento, 88, 121, 122, 125
peneiras, dimensões, 122
penetração, 10, 42, 43, 55, 56, 58, 194, 343, 393, 443
penetrômetro de cone dinâmico, 345
percolação, 159, 165
perda ao choque, 137, 138
perda por umidade induzida, 328
perfilômetro, 408, 409
permeabilidade, 165, 166, 183
petróleo, 25, 33, 96
PG, 101, 102, 103, 259, 260
pH, 86, 92
pintura de ligação, 414, 420, 422

plastômeros, 65, 68
PMF, 183, 184, 253, 255
pó, 65, 76, 120, 132, 195, 198, 380
pó de pedra, 120, 184, 274
polimento, 117, 421, 433
ponto de amolecimento, 33, 48, 55, 100
ponto de amolecimento anel e bola, 48
pré-misturado, 10, 385, 468, 472
processo estocável, 76
processo seco, 76, 78, 80
processo úmido, 76
produção de asfalto, 27, 35, 36, 37, 38
propriedades físicas, 41, 126, 129

Q

QI, 412, 413
quarteamento, 131, 132
quartzito, 118, 119
quartzito, 117, 118, 119
quociente de irregularidade, 412, 413

R

raio de curvatura, 446, 447, 449, 454
RASF, 37, 178
recapeamento, 441, 468, 469, 470, 471, 472
reciclado, 116, 119, 261, 352, 355
reciclagem, 53, 99, 119, 188, 190, 191, 352, 441, 473, 474
reciclagem em usina, 191
reciclagem *in situ*, 191, 192, 474
reconstrução, 22, 406, 441
recuperação elástica, 69, 70, 71, 78, 79, 80, 300, 472
refino do petróleo, 33, 35, 36, 37, 38, 39
reforço, 9, 337, 339, 342, 352, 365, 424, 441, 453, 468
rejeitos, 352
remendo, 416, 422
reologia, 30, 259
reômetro de cisalhamento dinâmico, 103, 104

reômetro de fluência em viga, 103, 106
reperfilagem, 467, 468
resíduo, 34, 75, 87, 89, 90, 91, 120, 178, 355
resíduo de vácuo, 34, 36
resinas, 28, 30
resistência, 67, 133, 143, 150, 165, 176, 251, 302, 308, 327, 342, 351, 431
resistência à abrasão, 133, 134, 153, 264, 269
resistência à deformação permanente, 67, 150, 165, 179
resistência à fadiga, 67, 179
resistência à tração estática, 249, 288, 308
resistência à tração retida, 251
resistência ao atrito, 119, 140
resistência ao trincamento por fadiga, 178, 315
ressonância nuclear magnética, 28, 72
restauração, 176, 185, 188, 406, 407, 413, 441, 442, 463, 466, 467, 468
retorno elástico, 68, 70, 79
retroanálise, 452, 453, 454, 455, 456, 457
revestimento asfáltico drenante, 165
revestimentos asfálticos, 10, 157, 164, 205, 373, 473
revestimentos delgados, 165, 179, 473
RNM, 28, 72
rochas ígneas, 116, 117, 118
rochas metamórficas, 116
rochas sedimentares, 116
rolagem, 206, 390, 391, 392, 393
rolo compactador, 390, 391, 392, 393
rolos compactadores estáticos, 390
rolos compactadores vibratórios, 391
rolos de pneus, 390
RTFOT, 50, 51, 103, 108
ruído, 165, 172, 179, 435, 436, 437
ruptura da emulsão, 87, 92
RV, 36, 103

S

SAMI, 472
SARA, 27, 28, 29
saturados, 27, 28, 30, 32
Saybolt-Furool, 46, 91, 219
SBR, 66, 92, 94
SBS, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 95
Schellenberg, 252
secador, 377, 378, 379, 380, 383
secador de contrafluxo, 379
secador de fluxo paralelo, 379, 383
segmentos homogêneos, 463, 464, 465, 466
segregação, 120, 123, 130, 172, 386, 393, 423
segurança, 52, 97, 100, 403, 429
selagem de trincas, 466, 467
serventia, 404, 405, 406, 407, 409, 441
SHRP, 32, 100, 102, 120, 123, 150, 229, 230
silos frios, 377, 378
silos quentes, 381, 382
simuladores de laboratório, 317
simuladores de tráfego, 321, 457, 458, 459
sintético, 62, 134
SMA, 161, 168, 169, 170, 171, 172, 249, 250, 251, 252
sol, 30, 31
solo arenoso fino laterítico, 354, 360
solo-agregado, 358, 359
solo-areia, 354, 359
solo-brita descontínuo, 354, 359
solo-cal, 352, 356, 364
solo-cimento, 351, 352, 356, 363, 364
sub-base, 9, 337, 339, 342, 352
Superpave, 100, 103, 229, 232, 233, 236, 259
susceptibilidade térmica, 41, 55, 56

T

tamanho máximo, 120, 131, 230
tamanho nominal máximo, 120, 164

teor de argila, 153
teor de asfalto, 162, 221, 224, 226, 234
teor de parafinas, 33, 58
teor de sílica, 119
termoplásticos, 62, 63, 64
textura superficial, 140, 166, 435
TFOT, 49, 50, 51
tipos de ligantes asfálticos, 40, 41
tipos de modificadores, 65
tipos de rochas, 118
transporte, 11, 12, 14, 18, 20, 384
tratamento superficial duplo, 192, 263, 395
tratamento superficial primário, 193, 195
tratamento superficial simples, 192, 194, 196, 263, 400
tratamento superficial triplo, 192, 263, 395
tratamentos superficiais, 180, 191, 193, 194, 393
triaxial com carregamento repetido, 317, 347, 348
trincamento, 9, 230, 350, 361, 406, 445, 469
trincamento por fadiga, 9, 150, 230, 315
trincas, 311, 354, 356, 415, 417, 418, 425, 467, 469, 472, 473

U

usina asfáltica por batelada, 374, 381, 382
usina contínua, 383
usina de asfalto, 374
usina de produção, 374, 381, 382
usina gravimétrica, 374, 381
usinas asfálticas, 373, 379, 384

V

valor de resistência à derrapagem, 172, 429, 430, 431
valor de serventia atual, 404, 406
vaso de envelhecimento sob pressão, 108
vibroacabadora de esteiras, 388
vibroacabadora de pneus, 387

vibroacabadoras, 387
viga Benkelman, 346, 445, 446,
447, 448, 449
viscosidade absoluta, 44, 45
viscosidade cinemática, 44, 45
viscosidade rotacional, 47
viscosímetro capilar, 44
VPO, 28
VRD, 430, 431

W

WST, 270
WTAT, 187, 197, 199, 269, 270

Z

zona de restrição, 164, 230, 231

ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS

A

- AASHTO (1986), 369
AASHTO (1989) AASHTO T 283/89, 154
AASHTO (1991) AASHTO T85, 154
AASHTO (1993), 438
AASHTO (1997) AASHTO T305, 281
AASHTO (1999) AASHTO T104, 200
AASHTO (1999) AASHTO T209, 281
AASHTO (2000) AASHTO T166, 281
AASHTO (2001) AASHTO D5821, 200
AASHTO (2003) AASHTO T312, 281
AASHTO (2003) AASHTO T319, 281
AASHTO (2005) AASHTO MP8-01, 332
AASHTO PP35, 281
ABEDA (2001), 110
ABINT (2004), 475
ABNT (1989) NBR 6954, 154
ABNT (1991) NBR 12261, 369
ABNT (1991) NBR 12262, 369
ABNT (1991) NBR 12265, 369
ABNT (1992) NBR 12053, 369
ABNT (1993) NBR 12891, 281
ABNT (1994) NBR 13121, 110
ABNT (1998) NBR 6576, 110
ABNT (1998) NBR 9619, 110
ABNT (1999) NBR 14249, 110
ABNT (1999) NBR 14393, 110
ABNT (1999) NBR 6299, 110
ABNT (2000) NBR 14491, 110
ABNT (2000) NBR 14594, 110
ABNT (2000) NBR 6302, 110
ABNT (2000) NBR 6560, 110
ABNT (2000) NBR 6567, 110
ABNT (2000) NBR 6569, 110
ABNT (2000) NBR 6570, 110
ABNT (2001) NBR 14736, 111
ABNT (2001) NBR 14746, 200
ABNT (2001) NBR 5847, 110
ABNT (2001) NBR 6293, 110
ABNT (2001) NBR 6300, 110
ABNT (2003) NBR 6297, 111
ABNT (2003) NBR NM 52, 154
ABNT (2003) NBR NM 53, 154
ABNT (2004) NBR 14896, 111
ABNT (2004) NBR 15087, 281
ABNT (2004) NBR 15115, 369
ABNT (2004) NBR 15140, 281
ABNT (2004) NBR 15166, 111
ABNT (2004) NBR 15184, 111
ABNT (2004) NBR 5765, 111
ABNT (2005) NBR 9935, 154
ABNT (2005) NBR 15235, 111
ABNT (2005) NBR 6568, 111
ABNT NBR 11341, 111
ABNT NBR 11805, 369
ABNT NBR 11806, 369
ABNT NBR 14376, 110
ABNT NBR 14756, 111
ABNT NBR 14757, 200
ABNT NBR 14758, 200
ABNT NBR 14798, 200
ABNT NBR 14841, 200
ABNT NBR 14855, 111
ABNT NBR 14948, 200
ABNT NBR 14949, 200
ABNT NBR 14950, 111
ABNT NBR 6296, 111
ABNT P-MB 326, 110
ABNT P-MB 425/1970, 110
ABNT P-MB 43/1965, 110
ABNT P-MB 581/1971, 110
ABNT P-MB 586/1971, 110
ABNT P-MB 590/1971, 110
ABNT P-MB 609/1971, 110
ABNT P-MB 826/1973, 110
ABNT (2002) NBR 14856, 111
ABPv (1999), 438
Adam, J-P. (1994), 24
AFNOR (1991) AFNOR-NF-P-98-253-1, 332
AFNOR (1991a), 332
AFNOR (1993) AFNOR-NF-P-98-260-1, 332
AIPCR (1999), 200
Albernaz, C.A.V. (1997), 461
Aldigueri, D.R., Silveira, M.A. e Soares, J.B. (2001), 281
Allen, D. H. e Haisler, W. E. (1985), 332
Alvarenga, J.C.A. (2001), 369
Alvarez Neto, L. (1997), 461
Alvarez Neto, L., Bernucci, L.L.B., Nogami, J.S. (1998), 461
Amaral, S.C. (2004), 369
ANP (1993), 281
Antoszczem Jr, J.A. e Massaranduba, J.C.M. (2004), 402
APRG (1997), 281
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F.; Moura, E. (2004a), 438
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F. (2004b), 438
Aps, M.; Rodrigues Filho, O.S.; Bernucci, L.L.B.; Quintanilha, J.A. (2003), 438
Asphalt Institute (1989), 154
Asphalt Institute (1995), 154
Asphalt Institute (1998), 402
ASTM (2003b) ASTM E-1960, 438
ASTM (1982) ASTM D4123, 332

- ASTM (1986) ASTM C496, 332
 ASTM (1993) ASTM C 1252, 282
 ASTM (1994) ASTM D5002, 282
 ASTM (1995) ASTM D1856, 282
 ASTM (1997) ASTM D5, 111
 ASTM (1998) ASTM C702, 154
 ASTM (1999) ASTM D4791, 154
 ASTM (2000) ASTM D2041, 282
 ASTM (2000) ASTM D2726, 282
 ASTM (2000) ASTM D 1075-96, 154
 ASTM (2000) ASTM D 4791-99, 282
 ASTM (2000) ASTM D244, 111
 ASTM (2000) ASTM D5840, 111
 ASTM (2000) ASTM D5976, 111
 ASTM (2000) ASTM D6521, 111
 ASTM (2001) ASTM D2042, 111
 ASTM (2001) ASTM D2170, 112
 ASTM (2001) ASTM D2171, 112
 ASTM (2001) ASTM D2172, 282
 ASTM (2001) ASTM D4124, 112
 ASTM (2001) ASTM D5581, 282
 ASTM (2001) ASTM D5801, 112
 ASTM (2001) ASTM D5841, 111
 ASTM (2001) ASTM D6648, 112
 ASTM (2001) ASTM E 965-96, 438
 ASTM (2002) ASTM D 1754/97, 112
 ASTM (2002) ASTM D1188, 282
 ASTM (2002) ASTM D4402, 112
 ASTM (2002) ASTM D6723, 112
 ASTM (2002) ASTM D6816, 112
 ASTM (2003) ASTM D3497-79, 332
 ASTM (2003a) ASTM E 303-93 S, 438
 ASTM (2004) ASTM D2872, 111
 ASTM (2004) ASTM D6084, 112
 ASTM (2004) ASTM D7175, 112
 ASTM (2005) ASTM C 125, 154
 ASTM C127, 154
 ASTM C128, 282
 ASTM D 113, 111
 ASTM D 2007, 111
 ASTM D 270, 111
 ASTM D 36, 111
 ASTM D 5329, 112
 ASTM D 5858, 461
 ASTM D 88, 111
- ASTM D 92, 112
 ASTM D 95, 111
 ASTM D4748-98, 461
 ASTM E102, 112
 ASTM(2002) ASTM D402, 112
- B**
- Balbo, J.T. (1993), 369
 Balbo, J.T. (2000), 332
 Barksdale (1971), 332
 Beligni, M., Villibor, D.F. e Cincere, J.R. (2000), 200
 Bely, L. (2001), 24
 Benevides, S.A.S. (2000), 332
 Benkelman, A.C.; Kingham, R.I. e Fang, H.Y. (1962), 369
 Bernucci, L.L.B. (1995), 369
 Bernucci, L.B.; Leite, L.M. e Moura, E. (2002), 332
 Bertollo, S.A.M. (2003), 112
 Bertollo, S.A.M., Bernucci, L.B., Fernandes, J.L. e Leite, L.M. (2003), 112
 Bittencourt, E.R. (1958), 24
 Bohong, J. (1989), 24
 Bonfim, V. (2000), 200
 Bonnaure, F., Gest, G., Gravois, A. e Uge, P. (1977), 332
 Boscov, M.E.G. (1987), 369
 Bottin Filho, I.A. (1997), 332
 Bottura, E.J. (1998), 438
 Brito, L.A.T (2006), 333
 Brosseau, Y. (2002), 438
 Brosseau, Y. (2002a), 200
 Brosseau, Y. (2002b), 201
 Brosseau, Y., Bogdanski, B., Carre, D., (2003), 201
 Brosseau, Y., Delorme, J-L., Hiernaux, R.(1993), 201
 Buchanan, M.S.; Brown, E.R. (2001), 282
 Bukowski, J.R. (1997), 282
- C**
- Cabral, G.L.L. (2005), 154
 Camacho, J. (2002), 369
 Carey Jr., W.N. e Irick, P.E. (1960), 438
 Carey Jr., W.N.; Huckins, H.C. e Leathers, R.C. (1962), 438
 Carneiro, F.L. (1943), 333
 Carneiro, F.B.L.(1965), 461
 Carpenter, S.H.; K.A. Ghuzlan, e S. Shen (2003) , 333
 Castelo Branco, V.T.F., Aragão, F.T.S. e Soares, J.B. (2004), 282
 Castro Neto, A.M. (1996), 282
 Castro Neto, A.M. (2000), 282
 Castro, C.A.A. (2003), 112
 Centro de Estudios de Carreteras (1986), 333
 Ceratti, J.A.P. (1991), 369
 Chevallier, R. (1976), 24
 Christensen, R.M. (1982), 333
 CNT (2004), 333
 Coelho, W. e Sória, M.H.A. (1992), 282
 COMITEE ON TROPICAL SOILS OF ISSMFE (1985), 369
 Concer (1997), 24
 Cordeiro, W.R. (2006), 201
 Corté, J.-F. (2001), 201
 Costa, C.A. (1986), 201
 Croney, D. (1977), 438
 Cundill, M.A. (1991), 438
- D**
- DAER/RS-EL 108/01, 282
 Dama, M.A. (2003), 112
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim (2002), 333
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim e Lee, H.J. (1998), 333
 DERBA (1985), 201
 DER-BA ES P 23/00, 201
 DER-PR (1991), 402
 DER-SP (1991), 369
 Dijk, W.V. (1975), 333
 DNC (1993), 112
 DNC 733/1997 (1997), 112
 DNER (1979) DNER PRO-10/79, 461
 DNER (1979) DNER PRO-11/79, 461
 DNER (1985) DNER PRO-159/85, 461

DNER (1994), 112	DNER (1996), 113	DNER (1998), 113, 283
DNER (1994) DNER-ME 138/94, 333	DNER (1996) DNER-ME 193/96, 283	DNER (1998) DNER-ME 035/98, 155
DNER (1994) DNER-IE 006/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 199/96, 155	DNER (1998) DNER-ME 081/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 053/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 273/96, 461	DNER (1998) DNER-ME 083/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 061/94, 461	DNER (1997), 283, 402	DNER (1998) DNER-ME 096/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 063/94, 112	DNER (1997) DNER ME 367/97, 155	DNER (1999) DNER-ES 386/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 078/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 308/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 387/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 086/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 309/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 388/99, 475
DNER (1994) DNER-ME 089/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 310/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 389/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 093/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 311/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 390/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 107/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 312/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 382/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 117/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 313/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 383/99, 333
DNER (1994) DNER-ME 133/94, 333,	DNER (1997) DNER-ES 314/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 397/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 222/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 317/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 398/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 24/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 318/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 399/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 08/94, 438	DNER (1997) DNER-ES 319/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 400/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 269/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 320/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 401/99, 155
DNER (1994a) DNER-PRO 164/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 054/97, 155	DNIT (2003) DNIT 005-TER, 439
DNER (1994b) DNER ME 228/94, 370	DNER (1997) DNER-ME 153/97, 283	DNIT (2003) DNIT 006-PRO, 439
DNER (1994b) DNER-PRO 182/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 197/97, 155	DNIT (2003c) DNIT 009-PRO, 439
DNER (1994c) DNER ME 256/94, 370	DNER (1997) DNER-PRO 120/97, 155	DNIT (2004) DNIT 031/04-ES, 155
DNER (1994c) DNER-PRO 229/94, 438	DNER (1997c) DNER ES 301/97, 370	DNIT (2005), 155
DNER (1994d) DNER ME 258/94, 370	DNER (1997d) DNER ES 303/97, 370	DNIT (2005) DNIT 034/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-EM 035/95, 154	DNER (1997e) DNER ES 304/97, 370	DNIT (2005) DNIT 035/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-ME 043/95, 282	DNER (1997f) DNER ES 305/97, 370	DNIT (2006), 370
DNER (1995) DNER-ME 084/95, 155	DNER (1997g) DNER ME 254/97, 370	DNIT(2005) DNIT 032/05-ES, 202

Duque Neto, F.S. (2004), 202
Duque Neto, F.S., Motta, L.M.G. e
Leite, L.F.M. (2004), 202

E

EN 12591 (2000), 113
EN 12593 (2000), 113
EN 12697-5 (2002), 283
Epps, J^a., Sebaaly, P.E., Penaranda, J., Maher, M.R. Mccann, M.B. e Hand, A.J. (2000), 333
Epps, J.A. e C.L. Monismith (1969), 333
Espírito Santo, N.R. e Reis, R.M. (1994), 283

F

Falcão, M.F.B. e Soares, J.B. (2002), 333
Fernandes Jr., J.L. e Barbosa, R.E. (2000), 439
Fernandes, C.G. (2004), 155
Ferry, J.D. (1980), 333
FHWA (1994), 283
FHWA (1995), 283
Finn, F.N., Monismith, C.L. e Makevich, N.J. (1983), 334
Fonseca, O.A. (1995), 334
Fortes, R.M. e Nogami, J.S. (1991), 370
Francken, L.; Eustacchio, E.; Isacsson, U e Partl, M.N. (1997), 283
Francken, L. e Partl, M.N. (1996), 334
Fritzen, M.A (2005), 202

G

GEIPOT (1981), 24, 439
Ghuzlan, K.A. e Carpenter, S.H. (2000), 334
Gillespie, T.D.; Sayers, M.W. e Segel, L. (1980), 439
Girdler, R.B. (1965), 113
Godoy, H. (1997), 370
Godoy, H. ; e Bernucci, L.L.B. (2002), 370

Gonçalves, F.P., Ceratti, J.A.P. (1998), 461
Gontijo, P.R.A. (1984), 402
Goodrich, J.L. (1991), 334
Gouveia, L.T. (2002), 155
Guimarães, A.C.R. e Motta, L.M.G. (2000), 155

H

Haas, R. Hudson, W.R e Zaniewski, J. (1994), 439
Hafez, I.H. e Witczak, M.W. (1995), 283
Hagen, V.W. (1955), 24
Harman, T.; Bukowski, J.R.; Moutier, F.; Huber, G.; McGennis, R. (2002), 283
Hawkes, I. e Mellor, M. (1970), 334
Heide J.P.J. e J.C. Nicholls (2003), 283
Henry, J. (2000), 439
Heukelom, W. (1969), 113
Hill, J.F. (1973), 334
Hinrichsen, J. (2001), 283
História das Rodovias (2004), 24
Hondros, G. (1959), 334
Huang, Y.H. (1993), 334
Huang, Y.H. (2003), 461
Hunter, R.N. (2000), 113
Hveem, F. N (1955), 334
Hveem, F. N.; Zube, E.; Bridges, R.; Forsyth, R. (1963), 113

I

IA (Instituto do Asfalto, versão em português) (2001), 113
IBP (1999), 113
Instituto do Asfalto (1989), 283
IPR (1998), 155
ISSA (2001), 202
ISSA (2005), 202
ISSA (2005a), 202
ISSA TB-100 (1990), 284
ISSA TB-109 (1990), 284
ISSA TB-114 (1990), 284
ISSA TB-145 (1989), 283

J

Jackson, N.M. e Czor, L.J. (2003), 284
Jooste, F.J.; A. Taute; B.M.J.A. Verhaeeghe; A.T. Visser e O.A. Myburgh (2000), 284

K

Kandhal, P.S. e Koehler, W.S. (1985), 284
Kandhal, P.S. e Brown, E.R. (1990), 284
Khandal, P. e Foo, K.Y. (1997), 284
Kim, Y.R. e Y.C. Lee (1995), 334
Kim, Y.R., H.J. Lee e D.N. Little (1997), 334
Kim, Y.R.; D.N. Little e F.C. Benson (1990)", 334
Kleyn, E. G. (1975), 370
Klumb, R.H. (1872), 24

L

Lama, R.D. e Vutukuri, V.S. (1978), 334
Láo, V.L.E.S.T. (2004), 439
Láo, V.L.E.S.T. e Motta, L.M.G. (2004), 439
Larsen, J. (1985), 202
LCPC (1976), 113
LCPC (1989), 402
Lee, H.J. e Kim, Y.R. (1998), 334
Leite, L.F.M (1999), 113
Leite, L.F.M (2003), 113
Leite, L.F.M. & Tonial, I.A. (1994), 113
Leite, L.F.M., Silva, P., Edel, G., Motta, L.M. e Nascimento L. (2003), 113
Lentz, R.W. and Baladi, G.Y. (1980), 370
Liberatori, L.A. (2000), 113
Little, D.N.; R.L. Lytton; D. Williams e R.Y. Kim (1999)", 334
Livneh, M (1989), 371
Loureiro, T.G. (2003), 334
Lovato, R.S. (2004), 371
Love, A.E.H. (1944), 334
Luong, M.P. (1990), 334

M

Macêdo, J.A.G. (1996), 462
Magalhães, S.T. (2004), 202
Magalhães, S.T.; Motta, L.M.G e Leite, L.F.M. (2004), 202
Malliagos, T.G. e Ferreira, C.P. (2006), 24
Mamlouk, S.M. e Sarofim, R.T. (1988), 334
Mano (1991), 113
Mano, E.B. (1985), 113
Margary, I. (1973), 24
Marques, G.Lº. e Motta, L.M.G. (2006), 334
Marques, G.L.O. (2001), 155
Marques, G.L.O. (2004), 284
Mascarenhas Neto, J.D. (1970), 24
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2000), 284
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2001), 284
McGennis, R.B.; Anderson, R.M.; Perdomo, D.; Turner, P. (1996), 284
Medina, J e Motta, L.M.G. (2005), 371
Medina, J. (1997), 24
Medina, J., Motta, L.M., Pinto, S. e Leite, L.M. (1992), 335
Metso Minerals (2005), 156
Meurer Filho, E. (2001), 335
Monismith, C.L.; Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Chan, C.K. (1967), 371
Moreira, H.S. e Soares, J.B. (2002), 284
Morilha Junior, A. & Trichês, G. (2003), 113
Morilha Júnior, A.(2004), 113
Motta, L.M.G. (1991), 335
Motta, L.M.G. e Leite, L.F.M. (2000), 156
Motta, L.M.G., Tonial, I., Leite, L. F. et al. (1996), 202
Motta, L.M.G.; Medina, J.; Matos, M.V.M.; Vianna, A.A.D. (1990), 371
Motta, L.M.G. (1998), 284
Motta, R.S. (2005), 371
Moura, E. (2001), 335

Mourão, F.A.L. (2003), 202
Mouthrop, J.S. e Ballou, W.R. (1997), 285

N

NAPA (1982), 285
NAPA (1998), 402
NAPA (1999), 203
Nardi, J.V. (1988), 371
Nascimento, L., Leite, L., Campos, E.F., Marques, G. e Motta, L. (2006), 335
Nascimento, L., Leite, L., Láo, V.L.E.S.T e Jesus, G.F. (2005), 439
NCHRP 9-12 (2000), 285
NCHRP-285 (2204), 335
Nóbrega, E.S. (2003), 462
Nóbrega, E.S. e Motta, L.M.G. (2003), 462
Nóbrega, E.S., Motta, L.M.G., Macedo, J.A.G. (2003), 462
Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1981), 371
Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1995), 156
Núñez, W.P. (1997), 371

O

Oda, S. (2000), 113
Oliveira, C.G.M. (2003), 335

P

Papazian, H.S. (1962), 335
Park, S.W. e Kim, Y.R. (1998), 335
Park, S.W., Kim, Y.R. e Schapery, R.A. (1996), 335
Patriota, M.B (2004), 113
Peralta, X., González, J.M., Torres, J. (2000), 203
Phandnavis, D.G. e C.G. Swaminathan (1997), 335
Pinheiro, J.H.M. (2004), 114
Pinheiro, J.H.M. e Soares, J.B. (2004), 114
Pinto, C.S. (2000), 156
Pinto, I.E. (2002), 114

Pinto, S. (1991), 114
Pinto, S. (1996), 285
Pinto, S. (1998), 114
Pinto, S. (2004), 285
Pinto, S. e Preussler, E. (2002), 462
Pinto, S., Guarçoni, D. e Chequer, C.J. (1998), 114
Pinto, S., Preussler, E, e Farah, H. (1983), 114
Porter, O.J. (1950), 371
Prego, A.S.S. (1999), 114
Prego, A.S.S. (2001), 24
Preussler, E.S. (1983), 371
Pronk, A.C. e Hopman, P.C. (1990), 335

Q

Queiroz, C.A.V. (1984), 439

R

Ramos, C.R., Salathé, J.E. e Martinho, F.G. (1993), 114
Ramos, C.R et al (1995). Curso de ligantes asfálticos. IBP, 114
Ribas, M.C. (2003), 24
Ricci, E.; Vasconcelos, J. F.; Kraemer, J.L. (1983), 371
Roberts, A. (1977), 335
Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D-Y. e Kennedy, T.W. (1996), 156
Roberts, F.L.; Mohammad, L.N.; Wang, L.B. (2002), 285
Robinson, R. (1986), 439
Rodrigues, R.M. (1991), 335
Röhm, S.A. (1984), 371
Rowe, G.M. (1993), 335
Ruwer, P., Marcon, G., Morilha J.R.A. e Ceratti, J.A. (2001), 114

S

Santana, H. (1978), 203
Santana, H. (1992), 203
Santana, H. (1993), 335
Santos, C. (2003), 203
Santos, J.D.G. (1998), 371

- Saunier, B.; Dolfus, C. e Geffroy, G. (1936), 24
- Sayers, M.W. e S.M. Karamihas (1998), 439
- Schapery, R.A. (1969), 336
- Schapery, R.A. (1974), 336
- Seed, H.B. and Chan, C.K. (1958), 372
- Seed, H.B.; Chan, C.K.; Lee, C. E. (1962), 372
- Seed, H.B.; Chan, C. K.; Monismith, C.L. (1955), 372
- Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Monismith, C.L.; Chan, C.K. (1967), 372
- Serfass, J.P., Bauduin, A., Garnier J.F. (1992), 203
- SETRA e LCPC (1994), 203
- SETRA e LCPC (1998), 203
- SETRA (1997), 203
- Shell (2003), 114
- SHRP (1991), 114
- SHRP (1994a), 285
- SHRP (1994b), 285
- SILVA, P.D.E.A. (2001), 462
- Silva, P.B. (2005), 114
- Silveira, M.A. (1999), 285
- Soares, J.B. (2003) Notas de Aula UFC. Fortaleza – CE, 114
- Soares, J.B., Leite, L.M. Motta, L.M. e Branco, J.V.C. (1999), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M. e Soares, R.F. (2000), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M., Nóbrega, L.M., Leite, L.M., Paiva, J^{aa}. e Nobre Jr, E.F. (1998), 285
- Solamianian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M. e Tandon, V. (2004), 336
- Souza, F.V. (2005), 336
- Souza, F.V. e J. B. Soares (2003a), 336
- Souza, M.L. (1966), 372
- Souza, M.L. (1979), 372
- Souza, M.L. (1980), 372
- Souza, M.L.; Magalhães, J.P.; Silva, R.B.; Schlosser, R. (1977), 372
- Souza, R.O. (2002), 439
- Specht, L.P. (2004), 114
- Suzuki, C.Y. (1992), 372
- T**
- Taira, C. e Fabbri, G.T.P. (2001), 336
- Tayebali, A.A.; J.A. Deacon; J.S. Coplantz e C.L. Monismith (1993), 336
- Thuler, R.B. (2005), 203
- Timoshenko, S.P. e Goodier, J.N. (1951), 336
- Tonial, I.A. (2001), 114
- Tonial, I.A. e Bastos, A.C.R. (1995), 114
- Trichês, G. e Cardoso, A.B. (1999), 372
- Trichês, G.; Cardoso, A. B. (2001), 462
- Trichês, G.; Fontes, L.P.T.L.; Dal Pai, C.M. (2004), 462
- Tuchumantel Jr., O. (1990), 285
- V**
- Valkering, C.P., Lancon, D.J.L., Hilster, E.D. e Stoker, D.A. (1990), 336
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978a), 285
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978b), 285
- Vasconcelos, K.L. (2004), 285
- Vasconcelos, K.L., Soares, J.B. e Leite, L.M. (2003), 286
- Vertamatti, E. (1988), 372
- Viana, A.D. (2004), 336
- Villela e Marcon, (2001), 462
- Villibor, D.F. (1981), 372
- Von Quintus, H.L., J.A. Scherocman, C.S. Hughes e T.W. Kennedy (1991), 336
- W**
- Wang, J.N.; Kennedy, T.W. e McGennis, R.B. (2000), 286
- WAPA (2004), 156
- White, T.D. (1985), 286
- Whiteoak (1980), 286
- Whiteoak, D. (1990), 114
- Wild, O. (1992), 24
- Witczak, M.W. e Root, R.E. (1974), 336
- Woods, K.B. (1960), 156
- World Bank (1985), 439
- World Bank (2000), 439
- Y**
- Yen T. F (1991), 114
- Yildirim, Y.; Solaimanian, M.; McGennis, R.B. e Kennedy, T.W. (2000), 286
- Yoder, E. J. e Witczak, M.W. (1975), 336
- Zhang, W.; A. Drescher e D.E. Newcomb (1997), 336
- ZTV Asphalt (2001), 203

realização



PETROBRAS

ASFALTOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

