

DNIT

Publicação IPR - 749

GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa

2020

**MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

MINISTRO DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA
Tarcísio Gomes de Freitas

DIRETOR GERAL – DNIT
Antônio Leite dos Santos Filho

DIRETOR DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

COORDENADOR GERAL DO IPR
Rogério Calazans Verly

**GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS
EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**

EQUIPE TÉCNICA:

Engº Amaro Venâncio Júnior – (DNIT/DPP/IPR)

Engº Nelson Wargha Filho – (DNIT/DPP/IPR)

Prof. Engº Deividi da Silva Pereira – (GEPPASV/UFSM)

Engº Lucas Dotto Bueno – (GEPPASV/UFSM)

Prof. Engº Luciano Pivoto Specht – (GEPPASV/UFSM)

COMISSÃO DE SUPERVISÃO:

Engª Simoneli Fernandes Mendonça – (DNIT/DPP/IPR)

COLABORADOR TÉCNICO:

Engº Luis Alberto Hermann Nascimento – (CENPES/PETROBRÁS)

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

Guia para Execução de Segmentos Experimentais – PRO - MeDiNa. 1ª Edição – Brasília - DF. – 2020. 65. (IPR. Publicação – 749)

1. Pavimentação – Manuais. I. Série. II. Título.

**MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

Publicação IPR – 749

**GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS
EXPERIMENTAIS – PRO-MeDiNa**

1ª Edição

Brasília
2020

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT
DIRETORIA GERAL - DG
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DPP
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPR

Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes
CEP 70040-902 – Brasília – DF
Telefone: (61) 3315-4831
E-mail: ipr@dnit.gov.br

TÍTULO: GUIA PARA EXECUÇÃO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO-
MeDiNa

Elaboração: DNIT/IPR
Aprovado pela Diretoria Colegiada do DNIT em 03 /11/ 2020 (Relato 133/2020)
Processo nº 50600.000177/2020-77

APRESENTAÇÃO

O Guia para Execução de Segmentos Experimentais – PRO-MeDiNa tem como objetivo orientar o monitoramento dos segmentos experimentais visando avaliar o comportamento do pavimento e o aperfeiçoamento da calibração do software MeDiNa.

Buscando padronizar os segmentos experimentais a serem construídos, este Guia estabelece os passos a serem realizados, tanto nas etapas de planejamento e de execução, quanto na etapa de monitoramento do pavimento ao longo de sua vida útil.

O procedimento de segmentos experimentais do programa PRO-MeDiNa se divide em três fases: construção, monitoramento e tratamento dos dados.

A primeira se refere à construção do segmento propriamente dito e é dividida em duas etapas: estudos preliminares, com a coleta de dados relevantes; e execução, composta pela caracterização e avaliação dos materiais obtidos no momento de sua aplicação em campo e pelo controle de execução através de ensaios.

A segunda fase, de monitoramento, consiste na avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos e dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais da camada de revestimento.

Por fim, na terceira fase ocorre o tratamento dos dados coletados. A partir deles, são realizadas as análises dos resultados obtidos em campo juntamente com aqueles gerados pelo software MeDiNa, aperfeiçoando-se a função de transferência do método.

Eng.º Rogério Calazans Verly

Coordenador Geral do IPR

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AT(%)	Percentual de Área Trincada
ATR	Afundamento nas Trilhas de Roda
BBR	<i>Bending Beam Rheometer</i>
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CP	Corpo de Prova
CPs	Corpos de Prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DPP	Diretoria de Planejamento e Pesquisa
DSR	<i>Dynamic Shear Rheometer</i>
FN	<i>Flow Number</i>
FFL	Fator de Fadiga de Ligantes
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GEPPASV	Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária
HS	Hauter au Sable (altura média da mancha de areia)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	<i>International Roughness Index</i>
IST	Índice de Suscetibilidade Térmica
LAS	<i>Linear Amplitude Sweep</i>
LVE	Caracterização Linear Viscoelástica
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MeDiNa	Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos
MR, Mr	Módulo de Resiliência ou Módulo Resiliente
MSCR	<i>Multiple Stress Creep and Recovery</i>
NBR	Norma Brasileira
PAV	<i>Pressurized Aging Vessel</i>
PG	<i>Performance Grade</i>
PMF	Pré-Misturado a Frio
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
RT	Resistência à Tração
RTFOT	<i>Rolling Thin-film Oven Test</i>
SAMI	<i>Stress Absorber Membran Interlayer</i>
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (2000)
SSR	<i>Stress Sweep Ruting</i>
SUPERPAVE	<i>Superior Performance Pavement</i>
S-VECD	<i>Simplified Viscoelastic Continuum Damage</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Maria
VB	<i>Viga Benkelman</i>

VMD Volume Médio Diário
VRD Valor de Resistência à Derrapagem

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas do programa PRO-MeDiNa.....	14
Figura 2 – Armazenamento de misturas asfálticas usinadas	29
Figura 3 – Recipiente para armazenamento de ligantes asfálticos	31
Figura 4 – Execução do levantamento de área trincada (Fonte: Bueno, 2019).....	51
Figura 5 – Sistema de locação de defeitos no pavimento.....	52
Figura A1 – Modelo de ficha para o levantamento dos defeitos	63

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – TABELAS

Tabela 1 – Condições do pavimento pré-reabilitação (exemplo).....	19
Tabela 2 – Características geométricas e de georreferenciamento do trecho monitorado (exemplo).....	21
Tabela 3 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego (exemplo).....	22
Tabela 4 – Distribuição do tráfego adotada no decorrer das horas do dia (exemplo).....	23
Tabela 5 – Informações necessárias referentes aos solos empregados nos trechos monitorados (exemplo).....	34
Tabela 6 – Informações necessárias referentes aos materiais granulares empregados nos trechos monitorados (exemplo).....	36
Tabela 7 – Informações necessárias referentes aos materiais estabilizados quimicamente empregados nos trechos monitorados (exemplo).....	38
Tabela 8 – Resultados dos ensaios obrigatórios referentes aos concretos asfálticos (exemplo).....	39
Tabela 9 – Curvas mestras de módulo dinâmico $ E^* $ e ângulo de fase δ (exemplo).....	41
Tabela 10 – Curvas-Mestras e Coeficientes de translação do princípio de superposição tempo-temperatura; Parâmetros “ α ” de evolução do dano; coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do G^R (exemplo).....	42
Tabela 11 – <i>Shift Model</i> do ensaio SSR para avaliação de deformação permanente em misturas asfálticas (exemplo).....	42
Tabela 12 – Caracterização obrigatória de ligantes asfálticos (exemplo).....	43
Tabela 13 – Caracterização avançada de ligantes asfálticos (exemplo).....	46
Tabela 14 – Tabela resumo das condições estruturais do segmento experimental (exemplo).....	49
Tabela 15 – Tabela resumo das condições funcionais do segmento experimental (exemplo).....	50
Tabela 17 – Tabela resumo das condições de um segmento experimental em termos de AT% e ATR (exemplo).....	53

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES – FIGURAS	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES – TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. ESTUDOS PRELIMINARES	17
2.1. ESCOLHA DO SEGMENTO MONITORADO	18
2.2. CLIMA	20
2.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E GEORREFERENCIAMENTO	20
2.4. TRÁFEGO	21
2.4.1. LEVANTAMENTO DETALHADO DOS EIXOS	21
3. EXECUÇÃO DO SEGMENTO EXPERIMENTAL	25
3.1. COLETA DE AMOSTRAS	27
3.1.1. SOLOS.....	27
3.1.2. MATERIAIS GRANULARES.....	27
3.1.3. MATERIAIS ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE	28
3.1.4. CONCRETOS ASFÁLTICOS	29
3.1.5. LIGANTES ASFÁLTICOS	30
3.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS	31
3.3. ENSAIOS LABORATORIAIS	32
3.3.1. SOLOS.....	33
3.3.2. MATERIAIS GRANULARES.....	35
3.3.3. MATERIAIS ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE	36
3.3.4. CONCRETOS ASFÁLTICOS	38
3.3.4.1. ENSAIOS OBRIGATÓRIOS.....	38
3.3.4.2. ENSAIOS DESEJÁVEIS	40
3.3.5. LIGANTES ASFÁLTICOS	43
3.3.5.1. ENSAIOS OBRIGATÓRIOS.....	43
3.3.5.2. ENSAIOS DESEJÁVEIS	44
4. MONITORAMENTO (PÓS-EXECUÇÃO)	47
4.1. CONTAGEM DE TRÁFEGO E PESAGEM DE VEÍCULOS	48

4.2.	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	48
4.3.	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO	49
4.4.	LEVANTAMENTO DE DEFEITOS.....	51
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXO A	62

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

Com a implementação do novo Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos e a oficialização do software MeDiNa no âmbito do DNIT, a Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP) pretende instituir, junto às Superintendências Regionais do DNIT, segmentos experimentais para avaliar e aperfeiçoar a calibração desta nova ferramenta, no DNIT, e para auxiliar projetistas no dimensionamento de pavimentos flexíveis, no contexto de uma visão mecanística-empírica.

As diretrizes técnicas para a implantação e o monitoramento dos trechos experimentais foram baseadas no Manual de Trechos Monitorados da Rede de Tecnologia em Asfaltos, projeto fomentado pela PETROBRAS e que conta com a participação de diversas universidades brasileiras. O referido projeto vem realizando inúmeras avaliações em segmentos experimentais por todo o país, desde 2006, quando foi realizado o “Projeto Fundação”, localizado na Cidade Universitária da UFRJ.

O procedimento, denominado PRO-MeDiNa, busca promover a ampliação dos dados já existentes, o aperfeiçoamento da calibração e a validação do novo método de dimensionamento nacional de pavimentos, iniciado com os dados obtidos na Rede de Tecnologia em Asfaltos.

O DNIT, por meio do IPR, irá coletar os dados gerados nos segmentos experimentais, que incluem a caracterização e os ensaios previstos no MeDiNa. Esses dados também serão compartilhados com o banco de dados produzido pela Rede de Tecnologia em Asfaltos.

O procedimento de segmentos experimentais do programa PRO-MeDiNa se divide em três fases. A primeira fase refere-se à construção do segmento propriamente dito, a segunda envolve o monitoramento do segmento ao longo da sua vida útil e a terceira diz respeito ao tratamento dos dados coletados. Tais fases subdividem-se nas seguintes etapas, como mostra o fluxograma apresentado na Figura 1.

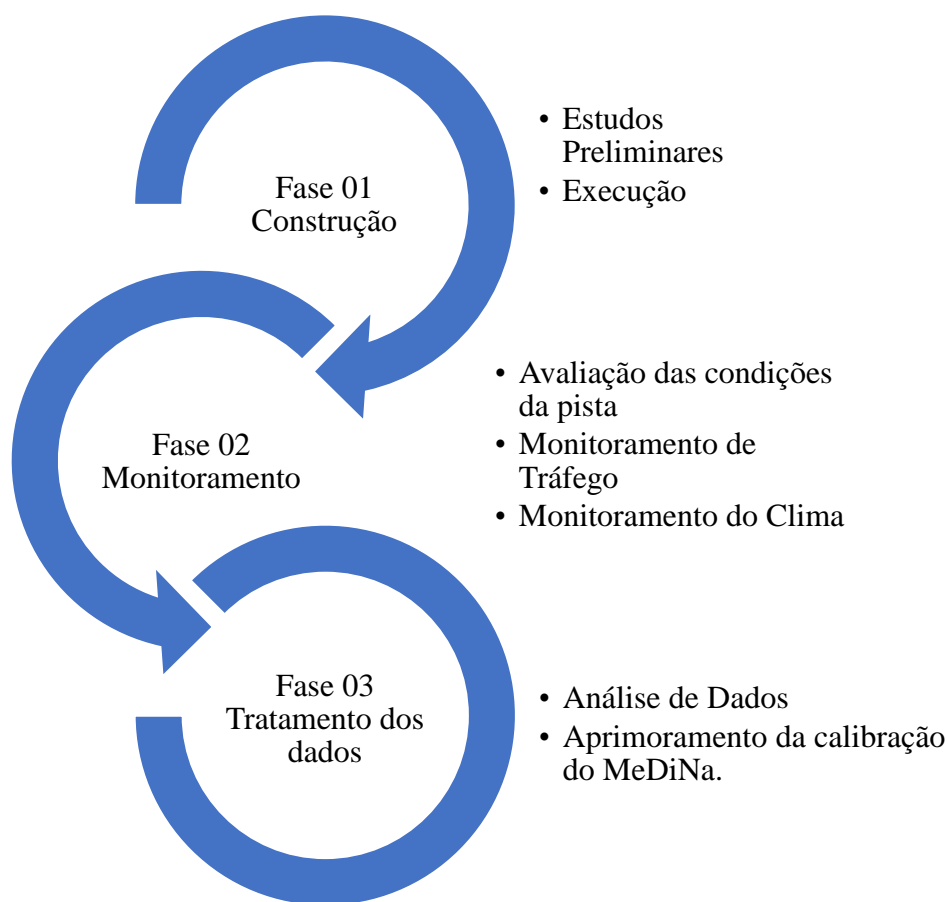


Figura 1 – Fluxograma das etapas do programa PRO-MeDiNa

A **FASE 1 - CONSTRUÇÃO** refere-se à construção do segmento propriamente dito e é dividida em duas etapas:

A primeira etapa, de **ESTUDOS PRELIMINARES**, trata da coleta dos seguintes dados:

- Definição do segmento;
- Dados sobre o clima da região;
- Dados sobre os materiais a serem utilizados no segmento experimental, incluindo informações sobre as jazidas, as pedreiras e as eventuais fontes de agregados alternativos (rejeitos, resíduos ou fresado);
- Características geométricas da seção monitorada, apresentadas por meio de um croqui georreferenciado;
- Dados de tráfego (VMD, Classificação e Taxa de Crescimento);
- Dados de Pesagem (se houver);
- Dados de Avaliação Funcional do Pavimento existente (nos casos de restauração).

A segunda etapa, de **EXECUÇÃO**, **subdivide-se em duas**: Caracterização dos Materiais e Controle de Execução.

- Na **Caracterização e Avaliação de Materiais** o processo deve ser realizado com os materiais obtidos no momento de sua aplicação em campo. As amostras de ligante e de agregados devem se referir aos mesmos materiais integrantes das camadas executadas nos segmentos experimentais. Além disso, todos os ensaios exigidos como “*input*” no software MeDiNa, devem ser realizados para que a avaliação das respostas de campo possa ser confrontada com o emprego do sistema computacional proposto.
- No **Controle de Execução** devem ser verificadas:
 - A densidade e a deflexão, para as camadas anteriores ao revestimento;
 - Ensaios de forma amostral, para as misturas asfálticas, do material coletado na usina, incluindo granulometria, teor de ligante, dano por umidade induzida e densidade máxima medida. A temperatura deve ser verificada na saída do caminhão da usina, bem como no momento do espalhamento e compactação, sendo que na avaliação desta última, recomenda-se o uso do densímetro não nuclear ou a extração de corpo de prova.

Após a etapa de execução do trecho, tem-se início a **FASE 2 – MONITORAMENTO**, que consiste na avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos e dos efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais da camada de revestimento. Dentre as principais atividades dessa fase, estão o monitoramento do tráfego, a determinação das deflexões, o levantamento das condições de macro e microtextura, o levantamento do IRI, bem como o levantamento de defeitos no pavimento.

Por fim, ocorre a **FASE 3 – TRATAMENTO DOS DADOS**. Os dados coletados em cada segmento experimental serão lançados em uma planilha elaborada por pesquisadores da Rede de Tecnologia em Asfaltos. Tanto os dados gerados nos segmentos PRO-MeDiNa como aqueles obtidos por universidades parceiras serão compartilhados. E, a partir desses, serão realizadas as análises dos resultados obtidos em campo juntamente com aqueles gerados pelo software MeDiNa, aperfeiçoando-se a função de transferência do método.

As normas e especificações técnicas do DNIT estão disponíveis no seguinte endereço eletrônico: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/normas>. Caso o DNIT não disponha de algum documento normativo citado nesse Guia, pode-se verificar a sua disponibilidade nas informações que constam nas referências bibliográficas.

Cabe lembrar aos participantes do programa PRO-MeDiNa estarem atentos às atualizações das normas, adotando sempre a versão mais atualizada no momento da obra a ser executada.

2. ESTUDOS PRELIMINARES

2. ESTUDOS PRELIMINARES

A etapa de estudos preliminares consiste na identificação e definição dos trechos experimentais, seja ele em caráter de implantação ou de reabilitação. Esta fase visa a obtenção das informações gerais referentes ao segmento, tais como características geométricas, coordenadas geográficas, condições climáticas da localidade e tráfego atuante na estrutura, nos casos de reabilitação do pavimento existente.

Constitui um Trecho Monitorado, no âmbito deste Guia, um segmento construído sob determinadas condições estipuladas, que será acompanhado sistematicamente de acordo com o previsto nestas instruções. Em um mesmo local, pode ser construído mais de um trecho monitorado de características similares (com pequenas mudanças de materiais ou de espessuras, por exemplo) ou significativamente distintas, em sequência, de forma que estes apresentem o mesmo tráfego e condições climáticas. Cada um deles será avaliado como um novo trecho. Em casos de rodovias com mais de uma faixa, devido à diferença no volume de tráfego, cada uma das pistas podem ser consideradas como segmentos distintos.

Ademais, os trechos monitorados podem ser estabelecidos em um segmento a ser implantado (pavimento novo) ou em uma reabilitação de estrutura existente.

2.1. Escolha do segmento monitorado

A localidade escolhida para monitoramento, seja ela uma estrutura de pavimento novo ou reabilitação, deve possibilitar o acompanhamento do pavimento com extensão mínima de 300 m e máxima de 1.000 m, com estaqueamento demarcado a cada 20 m ao longo do eixo longitudinal da pista. Preferencialmente, deve-se buscar estruturas com as seguintes características:

- Pavimentos construídos em aterro, com relevos planos e em tangente, ao longo da totalidade do trecho experimental;
- Sempre que possível, dever-se-á procurar por segmento viário sem a transposição de bueiros ou galerias ao longo da seção transversal ou longitudinal do trecho selecionado, com sistema de drenagem constante;

- Deve-se atentar também para que o segmento seja determinado em condição de homogeneidade, tanto em termos de materiais empregados na composição estrutural quanto em relação às espessuras das camadas adotadas na implantação ou reabilitação;
- Sugere-se também que a escolha do pavimento monitorado seja efetuada em locais sem ramificações de fluxo de veículos no decorrer do segmento, com ausências de paradas de ônibus.

No caso de implantação do trecho experimental em rodovias de pista simples, cada sentido do tráfego representa um segmento distinto; em rodovias com duas ou mais faixas de tráfego, cada pista localizada no mesmo sentido representa um segmento diferente.

Para os casos de monitoramento em pavimentos reabilitados, devem ser registradas as características do pavimento existente. Deve ser identificado o tipo de pavimento, inclusive os materiais empregados na composição das camadas, por meio do histórico da estrutura e sondagem, no intuito de determinar precisamente a espessura das camadas existentes. Recomenda-se também a identificação da data de construção do pavimento existente, assim como eventuais atividades de manutenção e reabilitação efetuadas na estrutura ao longo do tempo. Deve-se também, obrigatoriamente, realizar a quantificação da irregularidade longitudinal, em termos de IRI (m/km) e do percentual de área trincada (AT%) do pavimento a ser reabilitado, conforme procedimentos descritos posteriormente no item 4. A Tabela 1 exibe, de maneira exemplificativa, as informações relativas ao preparo do pavimento, necessárias para identificação das condições de pré-reabilitação.

Tabela 1 – Condições do pavimento pré-reabilitação (exemplo)

Estrutura Existente	
Material	Espessura (mm)
Concreto Asfáltico	60
Brita Graduada Simples	150
Macadame Seco	150
Subleito	--
Preparo do Pavimento	
IRI (m/km) Pré-Reabilitação	3,70
AT (%) Pré-Reabilitação	60,00
Fresagem (mm)	25
Intervenção na base:	Não
SAMI:	Não
Pintura de ligação:	Sim
Imprimação:	CM-30

2.2. Clima

Visando contextualizar os aspectos climáticos e pluviométricos que englobam a região onde fica localizada o trecho monitorado, deve-se coletar dados climáticos da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de estação mais próxima ao segmento experimental, referentes às precipitações acumuladas mensais médias, temperaturas máximas, mínimas e umidade relativa do ar na cidade, ao longo dos anos de acompanhamento do segmento experimental.

Deve-se organizar as informações em séries históricas mensais, partindo da data de liberação ao tráfego após a execução dos serviços de reabilitação ou implantação.

2.3. Características Geométricas e Georreferenciamento

Para completo entendimento das características geométricas do trecho monitorado, deve ser elaborado um croqui onde constem os seguintes itens:

- Tipo de seção: corte, aterro ou mista (recomenda-se a implantação de trechos monitorados em aterro);
- Extensão do segmento monitorado, com estaqueamento a cada 20 metros;
- Estacas: inicial e final;
- Número de faixas da seção, com identificação da(s) pista(s) a ser(em) acompanhada(s);
- Largura das faixas;
- Sentido do tráfego;
- Relatório fotográfico.

As coordenadas geográficas do trecho a ser executado devem ser determinadas através do sistema SIRGAS2000. Devem ser registradas as coordenadas em latitude e longitude das estacas inicial e final do trecho monitorado, com resultados compilados em graus (°), minutos (') e segundos (").

A Tabela 2 exhibe, de maneira exemplificativa, as informações compiladas referentes às características geométricas e ao georreferenciamento de um trecho monitorado.

Tabela 2 – Características geométricas e de georreferenciamento do trecho monitorado (exemplo)

Local	Av. Hélivio Basso		
Município/Estado	Santa Maria/RS		
Extensão (m)	300		
Velocidade Diretriz da Via (km/h)	60		
Início	Estaca	0	Latitude 29°42'46,77" Sul
	Metros	10	Longitude 53°48'39,59" Oeste
Fim	Estaca	0	Latitude 29°42'37,96" Sul
	Metros	40	Longitude 53°48'43,59" Oeste
Altitude Média (m)	85		
Número de Faixas	2 (E/D)		
Faixa Monitorada	D (Direita)		
Largura da Faixa (m)	3,60		

2.4. Tráfego

Deve ser utilizado o tráfego definido na fase de projeto. Caso estas informações não estejam disponíveis, como no monitoramento, por exemplo, pode-se obter os dados obtidos no PNCT (Plano Nacional de Contagem de Tráfego), onde couber. Caso contrário, deve-se seguir o protocolo descrito no item 2.4.1 com periodicidade detalhada no item 4, que trata do monitoramento na fase de pós-execução.

2.4.1. Levantamento detalhado dos eixos

O levantamento detalhado das classes de veículos que circulam pelo segmento monitorado deve ser realizado a partir da coleta de dados do tráfego (contagem classificatória por tipo de veículo e número de eixos). A contabilização dos veículos deve ser efetuada em cada uma das faixas que constituem o trecho monitorado. Caso o segmento contenha fluxo de veículos em sentidos distintos, deve ser adotado o modelo de contagem bidirecional, com identificação do fator de sentido da rodovia.

Sempre que possível, recomenda-se a utilização de procedimentos de contagem automática, tais como vídeo registro simples, identificação automática dos veículos, ou qualquer outro processo automatizado para obtenção do volume médio diário (VMD) do tráfego e dos tipos de eixos

que circulam pelo trecho, capazes de gerar informações volumétricas e classificatórias do tráfego. A Tabela 3 apresenta a ficha empregada na contagem horária de tráfego. A mesma deve ser replicada para todas as 24 horas do dia, no intuito de gerar um espectro completo do fluxo de veículos na localidade.

Tabela 3 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego (exemplo)

TIPO DE VEÍCULO	ID	(17 às 18 horas)
Moto	--	749
Carro de Passeio	--	3022
Utilitário, pick-up, furgão	--	592
Ônibus (2 eixos)	--	180
Ônibus (3 eixos)	--	12
Caminhão Médio	2C	199
	3C	56
	4C	1
Caminhão Semi-reboque	2S1	0
	2S2	9
	2S3	4
	2S3 Comb.	2
	3S3	12
Duplo Semi-reboque	3S2S2	1
Caminhão + Semi-reboque	2C2	0
	2C3	0
	3C2	0
	3C3	0
Treminhão	3C2C2	0
Rodotrem	3S2C4	0
Outros		0

Fonte: Adaptado de Rede de Tecnologia em Asfaltos (2011)

O Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006) recomenda que o período de contagem seja de 7 dias consecutivos, 24 horas por dia, em uma semana típica (não influenciada por feriado). Todavia, relatos de Bueno (2019), baseados em estudos efetuados nas pistas experimentais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), afirmam que o seguinte modelo de contagem semanal permite satisfatoriamente contemplar a matriz veicular da localidade:

- Domingo: Contagem das 06 às 22 horas;
- Segunda-feira: Dia sem contagem;
- Terça-feira: Contagem das 06 às 22 horas;

- Quarta-feira: Contagem 24 horas (das 06 da manhã de quarta-feira até às 06 da manhã de quinta-feira);
- Quinta-feira: Contagem das 06 às 22 horas;
- Sexta-feira: Dia sem contagem;
- Sábado: Contagem das 06 às 22 horas.

Para rodovias com fluxo de veículos afetado em virtude de sazonalidades, é recomendação que este procedimento possa ser realizado mais de uma vez por ano.

A partir deste protocolo de contabilização, a madrugada típica (contabilizada entre às 22 horas de quarta-feira e as 06 horas de quinta-feira) pode ser aplicada para todos os dias da semana. Os resultados referentes a segunda-feira e sexta-feira são obtidos a partir da média simples dos veículos contabilizados na terça, quarta e quinta-feira. Além da verificação do VMD, deve ser determinada a distribuição horária do tráfego no trecho experimental, mediante análise do volume médio diário determinado em pista. Os resultados devem ser dispostos conforme Tabela 4, preenchida com valores exemplificativos.

Tabela 4 – Distribuição do tráfego adotada no decorrer das horas do dia (exemplo)

Hora	% de Distribuição	Hora	% de Distribuição
0	0,5	12	6,1
1	0,4	13	8,0
2	0,3	14	7,0
3	0,1	15	7,0
4	0,2	16	6,2
5	0,3	17	6,6
6	2,1	18	7,6
7	6,8	19	5,3
8	7,0	20	3,9
9	6,3	21	2,4
10	6,4	22	2,3
11	6,4	23	0,9

A pesagem dos veículos comerciais deve ser realizada sempre que possível, com o objetivo de determinar o espectro de carga por eixo solicitante na estrutura. Recomenda-se que a pesagem seja realizada através de posto móvel pelo menos uma vez na etapa de estudos preliminares e uma vez em cada etapa de pós-execução (monitoramento), atendendo o Item 6.6 do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006).

Após a implantação do trecho monitorado, nos casos em que seja necessária contagem presencial dos veículos, os dados de tráfego devem ser atualizados com periodicidade mínima anual. Sugere-se, todavia, espaçamento semestral para atualização dos dados referentes ao tráfego.

3. EXECUÇÃO DO SEGMENTO EXPERIMENTAL

3. EXECUÇÃO DO SEGMENTO EXPERIMENTAL

Na etapa de execução do segmento experimental, tanto nos casos de pavimentos novos como nos de reabilitações, cabe aos responsáveis pela implantação dos trechos experimentais coletar, caracterizar e avaliar os materiais empregados na composição estrutural do pavimento por meio de ensaios de laboratório e de campo. Não faz parte do escopo desse Guia propor protocolos de investigações da fase de projeto, tanto no âmbito de seleção de materiais e dosagem, ou de dimensionamento de pavimentos, mas sim garantir que os materiais empregados especificamente no local onde será implantado o trecho monitorado sejam coletados e avaliados laboratorialmente, fornecendo a representação “*as built*” do segmento experimental.

Quanto à coleta de insumos, recomenda-se que ocorra em usina no dia exato e ao longo do turno de execução em que os materiais forem empregados em pista, na localidade do trecho monitorado. Ou seja, os materiais coletados para investigação laboratorial devem ser adquiridos na fase de execução do pavimento, garantindo assim o cenário mais próximo daquele que ocorre em pista. Para a coleta de misturas, seja ela de materiais granulares ou de concretos asfálticos, deve-se efetuar a aquisição dos materiais diretamente na frente de serviço, exatamente na localidade onde será implantado o trecho experimental, com amostragem suficientemente representativa para a devida caracterização do segmento.

Destaca-se que as atividades propostas nesta etapa não englobam os quantitativos de coleta e protocolos de avaliação em termos da caracterização básica dos materiais, mas tão somente as necessidades de controle vinculadas à versão atual do Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos (MeDiNa), com adição de algumas atividades avançadas de avaliação de misturas asfálticas e ligantes asfálticos.

Ainda, o correto planejamento das atividades de execução deve garantir a uniformidade de materiais e processos aplicados no trecho. É extremamente desejável que todos os agregados utilizados na composição do pavimento, por exemplo, sejam oriundos da mesma face da pedreira, e que o ligante betuminoso das camadas asfálticas seja proveniente da mesma carga e fornecedor, bem como que sejam empregados os mesmos equipamentos do início ao final das atividades, sendo ainda desejável a continuidade da execução ao longo do segmento monitorado.

3.1. Coleta de Amostras

Na fase de execução, uma das principais atividades para o sucesso do segmento experimental é a coleta dos materiais, que deve buscar a melhor representação possível dos elementos constituintes a serem aplicados nas camadas do pavimento.

Os materiais empregados no trecho monitorado, sejam eles em caráter de implantação ou reabilitação, devem ser coletados para avaliação laboratorial conforme diretrizes desse Guia, durante a execução do segmento em campo. Todos os materiais coletados devem ser identificados e armazenados em locais cobertos, evitando a alteração de suas propriedades devido às intempéries.

Os recipientes das amostras com a identificação do material devem conter, no mínimo, as seguintes informações: tipo de material, procedência, quantidade e finalidade de uso. A identificação deverá estar protegida com material impermeável para evitar que seja danificada.

Os quantitativos dos materiais a serem coletados, assim como o recipiente de armazenamento, devem respeitar as diretrizes dos itens que se seguem.

3.1.1. Solos

Os solos presentes no subleito do pavimento ou empregados em camadas estruturais devem ser coletados durante a construção da respectiva camada, com amostragem retirada em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 60 kg de solo, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios de classificação MCT;
- 600 kg de solo, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios triaxiais de módulo de resiliência e de deformação permanente.

3.1.2. Materiais Granulares

Os materiais granulares empregados nas camadas de reforço, sub-base ou base do pavimento devem ser coletados durante a construção da respectiva camada, com amostragem retirada em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 60 kg de material, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios de granulometria;
- 600 kg de material, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios triaxiais de módulo de resiliência e de deformação permanente.

3.1.3. Materiais Estabilizados Quimicamente

Os insumos das camadas estabilizadas quimicamente utilizadas nos trechos monitorados devem ser coletados em usina, no dia exato de sua aplicação em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 120 kg de Brita 2; 120 kg de Brita 1; 120 kg de pedrisco; 300 kg de pó de pedra; 200 kg de areia (caso sejam empregados na mistura), ou quantidades equivalentes de outros materiais, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados a ensaios de resistência à compressão simples e resistência à tração na flexão. Além disso, quando necessário, deve ser coletado fíler em uma quantidade de pelo menos 100 kg;
- 120 kg de Brita 2; 120 kg de Brita 1; 120 kg de pedrisco; 300 kg de pó de pedra; 200 kg de areia (caso sejam empregados na mistura), ou quantidades equivalentes de outros materiais, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados a ensaios de resistência à tração, módulo de resiliência e fadiga à compressão diametral. Além disso, quando necessário, deve ser coletado fíler em uma quantidade de pelo menos 100 kg;
- O material estabilizante deve ser adquirido conforme a escolha efetuada em projeto. Sugere-se o armazenamento adequado de 5 sacos de 50 kg em recipiente impermeável, alocados em local sem presença de umidade.

Para os casos de execução de camadas estruturais de solos estabilizados quimicamente com cimento, cal, cinza, entre outros, deve-se seguir as seguintes diretrizes:

- 60 kg de solo, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios de classificação MCT (sem a utilização do agente estabilizante);
- 600 kg de solo, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados aos ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração na flexão, resistência à tração por compressão diametral e de módulo de resiliência e fadiga (com adição do material estabilizante);

- O material estabilizante deve ser adquirido conforme a escolha efetuada em projeto. Sugere-se o armazenamento adequado de 5 sacos de 50 kg em recipiente impermeável, alocados em local sem presença de umidade.

3.1.4. Concretos Asfálticos

Para avaliação laboratorial dos concretos asfálticos, deve-se coletar a mistura asfáltica usinada, empregada no trecho acompanhado, e os agregados pétreos referentes às pilhas utilizadas na composição granulométrica. Os materiais devem ser coletados conforme as seguintes diretrizes:

- Ensaaios necessários para o MeDiNa:
 - 100 kg de mistura asfáltica usinada, armazenada em assadeiras ovais (“*marmitex*”, em alumínio - Figura 2), ou baldes metálicos (com dimensões adequadas para serem colocados em estufa), destinados aos ensaios de determinação de teor de ligante e granulometria da mistura executada em campo;



Figura 2 – Armazenamento de misturas asfálticas usinadas

- 120 kg de Brita 2; 120 kg de Brita 1; 120 kg de pedrisco; 300 kg de pó de pedra; 200 kg de areia (caso sejam empregados na mistura), ou quantidades equivalentes de outros materiais, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados a ensaios de dano por umidade induzida, módulo de resiliência, resistência à tração, fadiga à compressão diametral e *Flow Number* (FN). Além disso, quando necessário, deve ser coletado fíler em uma quantidade de pelo menos 100 kg;
- Outros Ensaios: Para aproveitar a execução do segmento serão também realizados, durante a obra ou em época a ser definida, outros ensaios não incluídos nos dados de

entrada para o software MeDiNa, relevantes para a avaliação detalhada do concreto asfáltico. Esses materiais deverão ser coletados durante a construção da respectiva camada. Na sequência, deverão ser devidamente identificados e armazenados ou encaminhados para a instituição indicada pelo DNIT:

- 120 kg de Brita 2; 120 kg de Brita 1; 120 kg de pedrisco; 300 kg de pó de pedra; 200 kg de areia (caso sejam empregados na mistura), ou quantidades equivalentes de outros materiais, armazenados em sacos de no máximo 30 kg, destinados a ensaios de módulo complexo, fadiga à tração direta e SSR (*Stress Sweep Rutting*). Além disso, quando necessário, deve ser coletado fíler em uma quantidade de pelo menos 100 kg;

Importante observar que os quantitativos referentes aos ligantes asfálticos estão especificados no item 3.1.5, devido às suas particularidades de trabalho.

3.1.5. Ligantes Asfálticos

Os ligantes asfálticos utilizados nas misturas asfálticas empregadas nos trechos experimentais devem ser coletados no tanque da usina, no dia exato de execução do segmento em pista, conforme as seguintes diretrizes:

- 36 litros de ligante asfáltico, armazenados em latas de 18 litros com tampa, conforme Figura 3, para os ensaios de penetração, ponto de amolecimento, viscosidade, recuperação elástica e estabilidade à estocagem (para os casos de ligantes modificados por polímeros);
- 36 litros de ligante asfáltico, armazenados em latas de 18 litros com tampa, conforme Figura 3, para os ensaios DSR (*Dinamic Shear Rheometer*), MSCR (*Multiple Stress Creep and Recovery*), LAS (*Linear Amplitude Sweep*) e BBR (*Bending Beam Rheometer*). Para esses ensaios, o ligante deverá ser devidamente identificado e armazenado ou encaminhado para a instituição indicada pelo DNIT.



Figura 3 – Recipiente para armazenamento de ligantes asfálticos

Especificamente para os ligantes asfálticos, devem ser obtidas informações comerciais referentes ao material no momento de sua coleta, as quais incluem a refinaria, a empresa distribuidora, a data do carregamento, o número e a data da nota fiscal, o número e a data do certificado (obter cópia do certificado de controle de qualidade entregue pela distribuidora, bem como as recomendações da distribuidora acerca da utilização do ligante, quando for o caso).

3.2. Aspectos Construtivos

A execução das camadas do pavimento deve atender às especificações de serviço do órgão responsável pela obra. Entende-se por bom controle tecnológico de execução a realização de verificações próprias para garantir a qualidade da camada construída, em espaçamentos adequados que representem uma boa amostragem do serviço, controle de deformabilidade, acabamento, geometria, espessuras, entre outros aspectos relevantes.

O controle de execução consiste na identificação das condições do pavimento construído, apresentando um cenário real da estrutura. Na totalidade do trecho monitorado, deve-se verificar se as espessuras das camadas são condizentes com aquelas delimitadas em projeto. Deve-se anotar também quaisquer atividades não condizentes com o procedimento construtivo padrão, baseado nas especificações de serviço das respectivas camadas, tais como: temperatura de compactação inadequada, acabamento incorreto na superfície, juntas construtivas com baixa temperatura, segregação de material, entre outros aspectos referentes à fase executiva.

No caso do subleito e demais camadas estruturais do pavimento, faz-se necessário verificar massa específica e umidade ótima “*in situ*” dos materiais, com posterior determinação do grau de compactação de cada uma das camadas, que deve atender às especificações de projeto. As determinações devem ser realizadas em todas as estacas do segmento experimental, espaçadas de 20 em 20 m.

Para o controle expedito de compactação e integridade das camadas, recomenda-se realizar o ensaio defletoométrico com a viga Benkelman, em conformidade a norma DNIT 133/2010 – ME, a fim de se obter as deflexões máximas e o raio de curvatura no subleito e em cada uma das demais camadas estruturais do pavimento, após o término do processo de compactação. As medidas de deflexão também devem ser efetuadas em todas as estacas do segmento monitorado, espaçadas de 20 em 20 m. Esta etapa não deve ser confundida com as avaliações defletoométricas periódicas na fase de pós-execução, exclusivamente efetuadas com o equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer*).

No caso dos concretos asfálticos, deve-se anotar também as temperaturas de mistura da massa asfáltica em usina e as temperaturas de compactação empregadas em pista. Sugere-se a identificação “carga por carga” de material asfáltico empregado no trecho experimental, permitindo a rastreabilidade do material aplicado, facilitando a correlação de defeitos no pavimento atrelados ao processo construtivo. Deve-se descrever quaisquer ocorrências que possam gerar alguma anomalia futura, tais como: (i) temperatura de compactação abaixo do previsto; (ii) precipitação pluviométrica repentina ou defeitos momentâneos em equipamentos, tanto durante o espalhamento quanto na compactação, que possam ter prejudicado a execução ou que gerem a formação de juntas; ou (iii) outras ocorrências não previstas. Em caso de dúvidas, pesquisar em Pavi (2019) para a realização de anotações referentes ao processo construtivo de concretos asfálticos.

3.3. Ensaio Laboratoriais

A realização dos ensaios laboratoriais dos materiais coletados e empregados na composição estrutural do trecho experimental são parte essencial do processo de acompanhamento dos segmentos PRO-MeDiNa.

Os itens que se seguem descrevem os ensaios obrigatórios para a correta caracterização dos materiais empregados nos trechos. No entanto, o presente Guia não abrange as avaliações

laboratoriais da fase de seleção dos materiais, dosagem e dimensionamento dos componentes do pavimento.

Para a correta determinação da condição “*as built*” do pavimento, todas as amostras de solos, materiais granulares, misturas estabilizadas quimicamente e concretos asfálticos devem ser realizadas conforme as condições do pavimento construído, e de acordo com o acompanhamento executivo efetuado no decorrer da elaboração das camadas do pavimento.

Nos itens 3.3.4.2 e 3.3.5.2, estão mencionados também ensaios desejáveis, referentes às misturas asfálticas e ligantes asfálticos, no que tange a caracterização avançada dos materiais, os quais estão computados na amostragem coletada, descrita no item 3.1. Cabe aos responsáveis pelo trecho experimental identificar a possibilidade de realização destes testes, cuja relevância é notável para futuras atualizações do método brasileiro MeDiNa.

3.3.1. Solos

No que se refere a avaliação laboratorial atinente aos solos, deve-se atentar para os parâmetros oriundos da classificação MCT e dos ensaios triaxiais de rigidez e deformação permanente.

Para efetuar a classificação dos solos conforme metodologia MCT, proposta por Nogami e Villibor (1981), deve-se proceder aos ensaios atendendo as normativas rodoviárias DNER-ME 256/94 e DNER-ME 258/94.

Para fins de caracterização dos solos em termos de rigidez, recomenda-se o ensaio de módulo de resiliência pelo equipamento triaxial de cargas repetidas, preconizado por DNIT 134/2018 – ME. Após a realização dos ensaios e obtenção dos módulos de resiliência em função dos pares de tensões descritos em norma, pode-se abordar os resultados finais por meio de modelos comumente utilizados na literatura, os quais determinam o módulo resiliente em função da tensão confinante, tensão desvio e invariante de tensões, relacionando os valores de rigidez com as tensões impostas durante o ensaio. O comportamento do material pode ser exposto pelo modelo constitutivo que melhor representar o comportamento do elemento analisado, conforme exposto na Equação 1.

$$MR = k_1 * \sigma_3^{k_2} * \sigma_d^{k_3} * \theta^{k_4} \quad (1)$$

Em que:

MR – módulo de resiliência;

σ_3 – tensão confinante;

σ_d – tensão de desvio;

θ – primeiro invariante de tensões (somatório das tensões principais);

k_1, k_2, k_3 e k_4 – parâmetros dos modelos, determinados no ensaio.

Para avaliação dos parâmetros de danificação dos solos, em termos de deformação permanente, deve-se efetuar o ensaio triaxial de cargas repetidas, preconizado na norma DNIT 179/2018 – IE.

O processamento dos resultados obtidos no ensaio deve ser efetuado pelo modelo elaborado por Guimarães (2009), utilizado para a previsão da deformação permanente em solos tropicais e outros materiais que compõem as camadas de pavimentos, conforme Equação 2:

$$\varepsilon_p(\%) = \psi_1 \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0} \right)^{\psi_2} \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0} \right)^{\psi_3} N^{\psi_4} \quad (2)$$

Em que:

$\varepsilon_p(\%)$ – deformação específica permanente;

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ – parâmetros de regressão;

σ_3 – tensão confinante;

σ_d – tensão de desvio;

ρ_0 – tensão de referência (pressão atmosférica, considerada igual a 1 kgf/cm²);

N – número de ciclos de aplicação de carga.

A Tabela 5 exhibe, de maneira exemplificativa, as necessidades básicas de caracterização dos solos para atendimento do programa PRO-MeDiNa.

Tabela 5 – Informações necessárias referentes aos solos empregados nos trechos monitorados (exemplo)

Grupo MCT	LG'
MCT - Coeficiente c'	1,77
MCT - Índice e'	0,9
Massa Específica (g/cm³)	1,647
Umidade Ótima (%)	19,9
Energia de Compactação	Normal

Módulo de Resiliência (MPa)	
Coeficiente de Regressão (k_1)	484,390
Coeficiente de Regressão (k_2)	0,488
Coeficiente de Regressão (k_3)	0,065
Coeficiente de Regressão (k_4)	0,000
Deformação Permanente	
Coeficiente de Regressão (k_1 ou Ψ_1)	0,869
Coeficiente de Regressão (k_2 ou Ψ_2)	0,006
Coeficiente de Regressão (k_3 ou Ψ_3)	1,212
Coeficiente de Regressão (k_4 ou Ψ_4)	0,042

3.3.2. Materiais Granulares

No que tange a avaliação laboratorial referente aos materiais granulares empregados em reforços, sub-bases ou bases de pavimento, deve-se atentar para os parâmetros oriundos dos ensaios triaxiais de rigidez e deformação permanente.

Para fins de caracterização dos materiais granulares em termos de rigidez, deve-se efetuar o ensaio de módulo de resiliência pelo equipamento triaxial de cargas repetidas, preconizado por DNIT 134/2018 – ME. Após a realização dos ensaios e obtenção dos módulos de resiliência em função dos pares de tensões descritos em norma, pode-se abordar os resultados finais por meio de modelos comumente utilizados na literatura, os quais determinam o módulo resiliente em função da tensão confinante, tensão desvio e invariante de tensões, relacionando os módulos de resiliência com as tensões impostas durante o ensaio. O comportamento do material pode ser exposto pelo modelo constitutivo que melhor representar o comportamento do elemento analisado, conforme exposto na Equação 1, descrito previamente no item 3.3.1.

Para avaliação do desempenho dos materiais granulares frente à deformação permanente, deve-se efetuar o ensaio triaxial de cargas repetidas, preconizado pela norma DNIT 179/2018 – IE.

O processamento dos resultados obtidos do ensaio deve ser efetuado pelo modelo elaborado por Guimarães (2009), utilizado para a previsão da deformação permanente conforme Equação 2, exposta anteriormente no item 3.3.1.

A Tabela 6 exhibe, de maneira exemplificativa, as necessidades básicas de caracterização dos materiais granulares para atendimento do programa PRO-MeDiNa.

Tabela 6 – Informações necessárias referentes aos materiais granulares empregados nos trechos monitorados (exemplo)

Brita Graduada Simples	
Massa Específica (g/cm ³)	2,202
Umidade Ótima (%)	7,7
Energia de Compactação	Modificada
Faixa Granulométrica	Faixa A DNIT
Módulo de Resiliência (MPa)	
Coefficiente de Regressão (k ₁)	1621,000
Coefficiente de Regressão (k ₂)	0,535
Coefficiente de Regressão (k ₃)	0,166
Coefficiente de Regressão (k ₄)	0,000
Deformação Permanente	
Coefficiente de Regressão (k ₁ ou Ψ_1)	0,040
Coefficiente de Regressão (k ₂ ou Ψ_2)	-0,892
Coefficiente de Regressão (k ₃ ou Ψ_3)	1,311
Coefficiente de Regressão (k ₄ ou Ψ_4)	0,169

3.3.3. Materiais Estabilizados Quimicamente

Os materiais estabilizados quimicamente empregados em camadas estruturais do pavimento devem ser caracterizados conforme necessidades do PRO-MeDiNa, em termos de seus parâmetros de resistência, rigidez e danificação. No âmbito desse Guia, entende-se como camadas estabilizadas quimicamente os materiais que, a partir da inserção de um agente aglutinador, incorporem ligação cristalina entre as partículas da mistura (ex: brita graduada tratada com cimento, concreto compactado por rolo, solo cimento, solo cal, etc.).

A caracterização do material em termos de resistência é baseada nos resultados do ensaio de compressão simples, preconizado por ABNT NBR 5739/2018, e nos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, normatizado por ABNT NBR 12142/2010.

Para obtenção dos parâmetros de resistência e rigidez do material, deve-se efetuar os ensaios de resistência à tração por compressão diametral do material, preconizado por DNIT 136/2018 – ME, elevando, porém, os níveis de tensão aplicados, ou o ensaio por flexão em vigota e módulo de resiliência, conforme orientações da norma DNIT 181/2018 – ME.

Em relação à avaliação do comportamento dos materiais estabilizados quimicamente frente ao trincamento por fadiga, deve-se avaliar o material por meio de uma equação de fadiga (ou

“curva de fadiga”), obtida pelo ensaio de compressão diametral à tensão controlada do corpo de prova submetido a carregamentos repetidos. Sua execução pode ser adaptada da normativa DNIT 183/2018 – ME, com algumas alterações nos carregamentos aplicados no intuito de mitigar o tempo de ensaio. Os procedimentos de ensaio desenvolvidos por Midgley & Yeo (2008) sugerem a utilização de níveis de tensão na ordem de 80% da RT do material cimentado (insumo adotado na estabilização realizada no trabalho dos autores) e de critério de parada a ocorrência da ruptura da amostra ou redução de 50% do módulo inicial.

Os resultados devem ser processados conforme modelagem matemática exposta na Equação 3, que combina os parâmetros de ensaio para obtenção da curva de fadiga:

$$N = 10^{(k_1 - k_2 * \%RF)} \quad (3)$$

Em que:

N – número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova (vida de fadiga);

$\%RF$ – relação entre a tensão de tração na fibra inferior da camada e a resistência à tração na flexão do material aos 28 dias;

k_1 e k_2 – parâmetros experimentais.

Sempre que possível, devem-se manter os sensores de medição de deslocamentos no decorrer do ensaio de fadiga, a fim de verificar a redução de módulo durante as aplicações do carregamento para obtenção das constantes A e B da função sigmoidal exposta na Equação 4, apresentada por Franco e Motta (2018).

$$MR = MR_{mín} + \frac{MR_{máx} - MR_{mín}}{1 + e^{A+B*D_i}} \quad (4)$$

Em que:

$MR_{máx}$ – módulo de resiliência do material estabilizado (MPa);

$MR_{mín}$ – módulo de resiliência do material equivalente, sem estabilização (MPa);

D_i – dano de fadiga, limitado entre 0 e 1;

A e B – parâmetros experimentais.

Caso a manutenção dos sensores coloque em risco a integridade do sistema de medição, pode-se manter as constantes A e B em seus valores de referência: -4 e 14, respectivamente. A Tabela 7 exibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização das camadas estabilizadas quimicamente.

Tabela 7 – Informações necessárias referentes aos materiais estabilizados quimicamente empregados nos trechos monitorados (exemplo)

Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	
Tipo de Cimento	CP IV 32 RS
Teor de Cimento (%)	3,5
Resistência à Tração por compressão diametral, 28 dias (MPa)	0,578
Resistência à Tração na Flexão, 28 dias (MPa)	1,02
Resistência à Compressão Simples, 28 dias (MPa)	3,45
Faixa Granulométrica	NBR 11803/2013 - Faixa B
Massa Específica (g/cm ³)	2,545
Umidade Ótima (%)	6,9
Energia de Compactação	Modificada
Módulo de Resiliência, 28 dias (MPa)	
Módulo Inicial (E _i , MPa)	14000
Módulo Final (E _f , MPa)	400
Constante A	-4,00
Constante B	14,00
Fadiga do Material, 28 dias	
Coefficiente de Regressão (k ₁ ou Ψ_1)	17,14
Coefficiente de Regressão (k ₂ ou Ψ_2)	-19,61

3.3.4. Concretos Asfálticos

A avaliação dos concretos asfálticos empregados nas pistas experimentais deve abranger os parâmetros de rigidez e danificação da mistura. Para fins desse Guia, optou-se por dividir as necessidades laboratoriais em “Ensaio Obrigatórios” e “Ensaio Desejáveis”. Neste item, serão descritas as necessidades exclusivas para as misturas asfálticas. Os ligantes asfálticos serão abordados em tópico especial (item 3.3.5).

3.3.4.1. Ensaio Obrigatórios

A caracterização dos concretos asfálticos deve conter a determinação do teor de ligante da mistura, conforme preconizado pela normativa DNER-ME 010/94, seguida pela determinação da granulometria dos materiais pétreos, utilizando as peneiras que constam na faixa de projeto.

Após a moldagem dos corpos de prova em laboratório, com o uso de materiais componentes coletados em usina, na condição “*as built*” do pavimento construído, devem ser realizados os ensaios de determinação do dano por umidade induzida (DNIT 180/2018 – ME), resistência à

tração por compressão diametral do material (DNIT 136/2018 – ME) e módulo de resiliência da mistura asfáltica (DNIT 135/2018 – ME).

Em relação à avaliação do comportamento das misturas asfálticas frente ao trincamento por fadiga, a avaliação do material por meio de uma equação de fadiga (ou “curva de fadiga”), obtida pelo ensaio de compressão diametral à tensão controlada do corpo de prova submetido a carregamentos repetidos se faz necessária, de acordo com a norma DNIT 183/2018 – ME.

Os resultados devem ser processados conforme modelagem matemática exposta na Equação 5, que combina os parâmetros de ensaio para obtenção da curva de fadiga:

$$N = k_1 * \left(\frac{1}{\varepsilon_i}\right)^{k_2} \quad (5)$$

Em que:

N – número de repetições de carga necessárias à ruptura do corpo de prova (vida de fadiga);

ε_i – deformação de tração inicial;

k_1 e k_2 – parâmetros experimentais.

Tratando-se da avaliação dos concretos asfálticos frente ao afundamento em trilha de rodas, deve-se efetuar o ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente para obtenção do parâmetro de *Flow Number* (FN), definido pela normativa DNIT 184/2018 – ME.

A Tabela 8 exhibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes aos ensaios obrigatórios relativos aos concretos asfálticos.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios obrigatórios referentes aos concretos asfálticos (exemplo)

Tipo de CAP	50/70
Massa Específica (g/cm ³)	2,210
Resistência à Tração (MPa)	1,81
Teor de Asfalto (%)	5,9
Volume de Vazios (%)	4,00
Faixa Granulométrica	Faixa C DNIT
Tamanho Máximo Nominal (TMN, mm)	12,5
Razão da Resistência à Tração Retida (RRT, %)	82

<i>Flow Number (FN)</i>	158
Módulo de Resiliência 25°C (MPa)	4901
Curva de Fadiga (Compressão Diametral)	
Nº de Amostras (CPs) Consideradas	18
Coefficiente de Regressão (k_1)	4,00E-05
Coefficiente de Regressão (k_2)	-1,999
Coef. de Determinação do Ajuste (R^2)	0,849

3.3.4.2. Ensaios Desejáveis

A fim de avançar tecnicamente no cenário de avaliação de misturas asfálticas, sugere-se a realização da caracterização linear viscoelástica (LVE) das misturas asfálticas, seguida da aplicação do protocolo de análise S-VECD (*Simplified Viscoelastic Continuum Damage*) para determinar o comportamento à fadiga do material. Adicionalmente, sugere-se realizar o teste SSR (*Stress Sweep Rutting*), o qual simula o comportamento mecânico de uma mistura específica, cujo tratamento de dados resulta na previsão da evolução do afundamento em trilha de rodas ao longo do pavimento em serviço.

Para o entendimento viscoelástico do material em termos de rigidez, deve-se efetuar o ensaio uniaxial de módulo complexo. Neste teste, as amostras são submetidas a carregamento senoidal, a um nível de carga e frequência fixo para um determinado número de ciclos a uma temperatura constante. Deve-se conduzir o teste com base na normativa AASHTO T 342/2011.

Na sequência, realiza-se o ensaio uniaxial cíclico de fadiga à tração direta, seguindo o procedimento proposto por AASHTO TP 107/2014, que consiste em aplicar no corpo de prova uma deformação cíclica senoidal, de amplitude constante, até que ocorra a ruptura ou a defasagem do ângulo de fase. Após as etapas de ensaio e de tratamento dos dados, aplica-se o modelo S-VECD para determinação do comportamento à fadiga do material.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os parâmetros necessários à caracterização avançada de misturas asfálticas, por meio dos resultados de testes de módulo complexo e fadiga à tração direta. Para maiores informações relativas ao tema, consultar Nascimento (2015), Boeira (2018) e Schuster (2018).

Tabela 9 – Curvas mestras de módulo dinâmico $|E^*|$ e ângulo de fase δ (exemplo)

Frequência Reduzida (Hz)	E^* (MPa)	δ (°)
1,00E-20	3,00E+01	1,35E-14
1,00E-19	3,00E+01	1,35E-13
1,00E-18	3,00E+01	1,35E-12
1,00E-17	3,00E+01	1,35E-11
1,00E-16	3,00E+01	1,35E-10
1,00E-15	3,00E+01	1,35E-09
1,00E-14	3,00E+01	1,35E-08
1,00E-13	3,00E+01	1,35E-07
1,00E-12	3,00E+01	1,35E-06
1,00E-11	3,00E+01	1,35E-05
1,00E-10	3,00E+01	1,35E-04
1,00E-09	3,00E+01	1,35E-03
1,00E-08	3,00E+01	1,35E-02
1,00E-07	3,00E+01	1,35E-01
1,00E-06	3,00E+01	1,34E+00
1,00E-05	3,24E+01	1,11E+01
1,00E-04	5,29E+01	2,57E+01
1,00E-03	1,23E+02	3,77E+01
1,00E-02	3,58E+02	4,18E+01
1,00E-01	1,04E+03	3,85E+01
1,00E+00	2,56E+03	3,11E+01
1,00E+01	5,09E+03	2,31E+01
1,00E+02	8,37E+03	1,66E+01
1,00E+03	1,19E+04	1,18E+01
1,00E+04	1,53E+04	8,24E+00
1,00E+05	1,82E+04	5,56E+00
1,00E+06	2,04E+04	3,59E+00
1,00E+07	2,19E+04	2,50E+00
1,00E+08	2,29E+04	2,26E+00
1,00E+09	2,35E+04	9,48E-01
1,00E+10	2,39E+04	5,21E-01
1,00E+11	2,41E+04	3,07E-01
1,00E+12	2,43E+04	1,90E-01
1,00E+13	2,44E+04	1,69E-01
1,00E+14	2,45E+04	7,12E-02
1,00E+15	2,45E+04	7,60E-03
1,00E+16	2,45E+04	7,60E-04
1,00E+17	2,45E+04	7,60E-05
1,00E+18	2,45E+04	7,60E-06
1,00E+19	2,45E+04	7,60E-07
1,00E+20	2,45E+04	7,60E-08

Tabela 10 – Curvas-Mestras e Coeficientes de translação do princípio de superposição tempo-temperatura; Parâmetros “ α ” de evolução do dano; coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do G^R (exemplo)

Coeficientes da Função Sigmoidal, $ E^* $ MPa				Coeficientes Shift Factor da Função Polinomial		
A	b	d	g	a ₁	a ₂	a ₃
0,947	3,396	1,263	0,602	0,0006	-0,1620	3,0000
Parâmetro “ α ” de evolução do dano			3,01			
Coeficientes de regressão das curvas características de dano pelo critério do G^R						
Nº de Amostras (CPs) Consideradas						5
C vs. S					G^R	
Potência			Exponencial			
C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	a	B	Y	Δ
1,0	1,41E-03	0,543106815	3,28E-04	0,71	1,52E+07	-1,41
	Soma do Erro Quadrático do Ajuste	6,01E-06	Soma do Erro Quadrático do Ajuste	7,11E-03	Coef. de Determinação do Ajuste (R^2)	0,981

Para a correta avaliação do comportamento de misturas asfálticas com relação à deformação permanente, sugere-se realizar o ensaio SSR, proposto por Kim (2015) e Kim et al. (2017), no intuito de simplificar as necessidades do teste TSS (*Triaxial Stress Sweep*).

Para o tratamento dos dados, Choi e Kim (2013) propuseram o “*shift model*” também utilizado por Kim (2015) e Kim et al. (2017), que consiste em um modelo viscoplástico empregado para analisar deformações permanentes, utilizando a superposição dos efeitos tempo-temperatura e tempo-deformação como princípios. A Tabela 11 exhibe, em caráter exemplificativo, os parâmetros necessários para avaliação de misturas asfálticas em termos de deformação permanente, mediante realização do teste SSR.

Tabela 11 – *Shift Model* do ensaio SSR para avaliação de deformação permanente em misturas asfálticas (exemplo)

Curva de Referência			<i>Shift factor</i> de tempo de carregamento reduzido		<i>Shift factor</i> de tensão vertical	
ϵ_0	N ₁	β	p ₁	p ₂	d ₁	d ₂
0,003	3,853	0,765	0,747	0,173	0,020	1,810

3.3.5. Ligantes Asfálticos

Da mesma forma que os concretos asfálticos empregados nas pistas experimentais, a avaliação dos ligantes asfálticos utilizados na mistura deve abranger tanto as características básicas do material como alguns parâmetros avançados de caracterização. Para fins desse Guia, optou-se por dividir as necessidades laboratoriais em “Ensaio Obrigatórios” e “Ensaio Desejáveis”.

3.3.5.1. Ensaio Obrigatórios

Os ensaios obrigatórios de caracterização dos ligantes asfálticos empregados em misturas asfálticas utilizadas nos segmentos monitorados envolvem a determinação da penetração (DNIT 155/2010 – ME), ponto de amolecimento (DNIT 131/2010 – ME), viscosidade pelo viscosímetro rotacional “*Brookfield*” (ABNT NBR 15184/2004) e recuperação elástica (DNIT 130/2010 – ME). Quando empregado na mistura asfáltica modificado por polímeros, deve-se verificar também a estabilidade e a estocagem do material, conforme diretrizes da especificação de material DNIT 129/2011 – EM.

A Tabela 12 exibe, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização obrigatória dos ligantes asfálticos.

Tabela 12 – Caracterização obrigatória de ligantes asfálticos (exemplo)

Referência Comercial		
Refinaria		
Empresa Distribuidora		
Data do Carregamento		
Número da Nota Fiscal		
Data da Nota Fiscal		
Número do Certificado		
Data do Certificado		
Ligante Original		
Teste	Temperatura do Teste (°C)	Medida
Tipo de CAP	--	50/70
Penetração (mm)	25	55
Ponto de amolecimento (°C)	--	51
Viscosidade Brookfield (cP)	135 (SP21, 20rpm)	372
	150 (SP21, 50rpm)	152
	177 (SP21, 100rpm)	77
Recuperação elástica (%)	25	9,5%

3.3.5.2. Ensaios Desejáveis

As especificações de ligantes asfálticos são tema constante de discussão referente à possibilidade de inclusão de requisitos relacionados ao desempenho em pavimentos.

Martins (2014) relata que as especificações SUPERPAVE, contempladas nas normativas ASTM D6373/2013 e AASHTO M 320/2017, são baseadas em propriedades reológicas, que classificam os ligantes de acordo com o tráfego e o clima, através de critérios relacionados ao desempenho do material em serviço. Estas especificações foram desenvolvidas durante o programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*), para se avaliar as propriedades fundamentais dos ligantes, evitando problemas de deformação permanente em pavimentos, trincas a baixas temperaturas, envelhecimento, fadiga e desagregação por suscetibilidade à umidade.

Incorporado a metodologia, tem-se o sistema de classificação de ligantes denominado *Performance Grade* (PG), que avalia o material por meio de ensaios que medem suas propriedades reológicas reais. Busca-se definir dois valores de temperaturas críticas, uma máxima, *High Performance Grade* (PGH), relacionada aos sete dias consecutivos mais quentes da série histórica do local do projeto do pavimento, ligada à deformação permanente, e outra mínima, *Low Performance Grade* (PGL), relacionada à mínima temperatura da série histórica do local do projeto do pavimento, ligada ao trincamento térmico (AASHTO M 320/2017). Posteriormente, a norma AASHTO M 332/2019 adicionou uma letra aos dois números anteriores, que indica a qual nível de tráfego o material poderá estar sujeito, seja ele padrão (S), alto (H), muito alto (VH) ou extremamente alto (EH).

Para simulação do processo de envelhecimento no curto prazo, deve-se proceder à avaliação no *Rolling Thin-film Oven Test* (RTFOT), seguindo as diretrizes da normativa ASTM D2872/2019. Para o processo de envelhecimento de longo prazo, a metodologia SUPERPAVE recomenda o uso do *Pressurized Aging Vessel* (PAV), descrito na norma ASTM D6521/2019.

No caso de avaliação reológica dos ligantes, deve-se proceder ensaio no equipamento DSR (*Dinamic Shear Rheometer*), em diferentes temperaturas e frequências, abrangendo todo o domínio viscoelástico, conforme preconizado por AASHTO T 315/2019.

A temperatura de PGL deve ser avaliada por meio dos resultados do equipamento BBR (*Bending Beam Rheometer*), conforme diretrizes encontradas em AASHTO T 313/2019, onde são determinados os parâmetros de rigidez de fluência (S) e capacidade de relaxação (m-value), de amostras envelhecidas no PAV.

A determinação da letra do tráfego é realizada aplicando o ensaio de *Multiple Stress Creep and Recovery* (MSCR), normatizado pela AASHTO M 332/2019 e realizado com o uso do equipamento de DSR com placas paralelas.

Por fim, deve-se efetuar o ensaio de *Linear Amplitude Sweep* (LAS), conduzido no DSR de placas paralelas, conforme preconizado por AASHTO TP 101/2012, seguido pela aplicação das equações oriundas da teoria S-VECD para cálculo do comportamento à fadiga do material nas três amplitudes de deformação, para obtenção do Fator de Fadiga de Ligantes (FFL). Maiores detalhes referentes aos testes de caracterização avançada de ligantes asfálticos podem ser encontrados em Anderson et al (2001), Hintz e Bahia (2013), Nascimento (2015), Behnood (2016), Kataware e Singh (2017), Cao e Wang (2018).

A Tabela 13 apresenta, de maneira exemplificativa, o preenchimento dos resultados referentes à caracterização avançada dos ligantes asfálticos.

Tabela 13 – Caracterização avançada de ligantes asfálticos (exemplo)

Ligante Original		
Teste	Temperatura do Teste (°C)	Medida
Tipo de CAP	--	60/85
Performance Grade (PG)	--	76 H -22
DSR G* /sen (δ)	58	10,21 kPa
	64	6,06 kPa
	70	3,60 kPa
	76	2,15 kPa
	82	1,29 kPa
	88	0,77 kPa
Ligante Envelhecido no RTFOT (75 min, 163°C)		
Teste	Temperatura do Teste	Medida
DSR G* /sen (δ)	58	11,60 kPa
	64	6,88 kPa
	70	4,13 kPa
	76	2,50 kPa
	82	1,53 kPa
	88	--
MSCR Jnr 3,2 (1/kPa)	64	1,11
MSCR Jnr diff (%)	64	65,00%
LAS	19	Critério de Ruptura da/dN (mm/cycle)
		Strain 1,25 % = Nf ³ 34.569.341
		Strain 2,5 % = Nf ³ 2.2012.526
		Strain 5 % = Nf ³ 117.163
		af = 1,160 mm ¹
		FFL ² =2,08
		D ^R =0,30
Ligante Envelhecido no RTFOT (75 min, 163°C) + PAV (20 horas, 100°C)		
Teste	Temperatura do Teste	Medida
BBR Módulo de rigidez - S	-6	--
	-12	40,65 MPa
	-18	64,65 MPa
BBR Coefficiente angular - m	-6	--
	-12	0,322 MPa
	-18	0,282 MPa

Observações: ¹af: comprimento na trinca - critério de falha proposto por Hintz e Bahia (2013); ²FFL: Fator de fadiga de ligante - critério proposto por Nascimento (2015); ³Nf: ESALs (indicador de volume de tráfego)

4. MONITORAMENTO (PÓS-EXECUÇÃO)

4. MONITORAMENTO (PÓS-EXECUÇÃO)

A etapa de pós-execução consiste no monitoramento dos trechos executados, avaliando-se as condições dos pavimentos, por meio do acompanhamento de indicadores de tráfego, estruturais, funcionais e de defeitos presentes na superfície. Com relação às atividades descritas nos itens que se seguem, são atualizações periódicas das informações relativas ao trecho monitorado.

No ano inicial de operação do segmento acompanhado, deve-se realizar a rotina completa de monitoramento já no primeiro mês após a liberação da estrutura para passagem do tráfego, cujos dados obtidos balizarão a condição inicial de execução das pistas. Estas atividades devem ser repetidas em sua totalidade no sexto (6º) mês e no décimo segundo (12º) mês após a abertura do trecho para o tráfego de veículos. A partir do 12º mês, as informações necessárias ao monitoramento dos trechos devem ser atualizadas no mínimo a cada doze (12) meses. Sugere-se que, dentro das possibilidades, os dados sejam atualizados semestralmente (a cada seis meses).

Os itens a seguir descrevem as atividades necessárias ao cumprimento da rotina de monitoramento em fase de pós-execução nos trechos experimentais.

4.1. Contagem de Tráfego e Pesagem de Veículos

Sempre que for realizado o levantamento das condições dos trechos monitorados deve ser feita a contagem classificatória e, se possível, a pesagem dos veículos, de forma a verificar todos os elementos necessários para a determinação do fluxo de veículos existente na localidade, conforme apresentado no item 2.4.1.

4.2. Avaliação da condição estrutural do pavimento

Para avaliar a condição estrutural do pavimento dos trechos monitorados, deve ser realizado o levantamento defletoométrico com o Falling Weight Deflectometer (FWD), conforme diretrizes da normativa DNER PRO 273/1996. O ensaio deve ser efetuado na trilha de roda externa de todas as estacas da pista monitorada, empregando-se no mínimo sete (7) sensores para quantificar as deflexões espaçadas em relação ao prato de aplicação de carga.

Em cada uma das estacas, deve-se verificar a carga específica aplicada no pavimento (em torno de 40 kN), a temperatura da superfície do pavimento e a temperatura do ar no momento do

ensaio. Não é recomendável a realização do levantamento deflectométrico durante ou após a ocorrência de precipitações, devendo-se efetuá-lo após um mínimo de 48 horas de tempo seco.

A tabela 14 exhibe, a título de exemplo, o resumo das informações referentes a condição estrutural dos segmentos experimentais, oriundos de uma campanha de levantamentos. Em cada campanha, devem ser registradas as bacias de campo coletadas em todas as estacas do segmento experimental.

Tabela 14 – Tabela resumo das condições estruturais do segmento experimental (exemplo)

Distâncias de Leitura (cm)	Carga (kN)	Deflexões (0,01mm)							Tar (°C)	TPav (°C)
		0	20	30	45	60	90	120		
Tempo (meses)										
0	40,01	42,5	28,0	19,1	11,3	7,5	4,5	2,4	30	41
1	40,09	41,3	27,2	18,4	10,9	7,3	4,5	2,4	30	41
2	39,97	39,1	27,3	19,4	12,2	8,0	4,7	2,7	31	42
3	39,95	38,4	26,9	19,2	12,1	7,9	4,7	2,6	31	42
4	39,69	46,2	30,7	21,5	13,4	8,9	5,6	3,1	31	42
5	39,80	45,2	30,1	21,1	13,1	8,8	5,6	3,1	31	42
6	39,49	44,2	28,8	19,0	11,8	8,1	5,0	2,9	30	42
7	39,64	43,2	28,1	18,5	11,5	8,0	5,0	2,9	30	42
8	39,70	45,8	31,0	21,2	12,6	8,3	4,5	2,3	31	38
9	39,84	44,5	30,1	20,6	12,4	8,2	4,5	2,2	31	38
10	39,82	47,7	32,0	22,2	14,7	9,8	5,5	2,8	31	42
11	39,75	46,0	30,8	21,3	14,2	9,6	5,4	2,9	31	42
12	39,60	51,5	35,2	24,7	16,2	11,0	6,6	3,6	31	42
13	39,61	50,5	34,5	24,1	15,8	10,9	6,6	3,7	31	42
14	39,44	48,4	31,3	20,5	11,9	7,4	4,2	2,3	31	38
15	39,52	47,1	30,4	19,8	11,4	7,1	4,0	2,3	31	38

4.3. Avaliação da condição funcional do pavimento

A avaliação da condição funcional do pavimento dos trechos monitorados compreende a medida de irregularidade longitudinal e a determinação das condições de macro e microtextura do revestimento.

Para se determinar a irregularidade longitudinal, sugere-se o emprego do perfilômetro inercial a laser, em conformidade à normativa ASTM E950/2009. Os resultados devem ser compilados em termos de IRI (m/km), com valores médios obtidos dentro do segmento experimental,

oriundos dos resultados dos sensores posicionados nas trilhas de roda interna e externa da pista avaliada.

Para a quantificação da macrotextura, sugere-se realizar ensaio de mancha de areia, normatizado por ASTM E965/2015 em todas as estacas do trecho monitorado, na trilha de roda externa da faixa acompanhada. Os resultados devem ser compilados na altura média de mancha de areia (HS), considerando os valores obtidos em todas as estacas englobadas pelo segmento.

Já para a determinação da microtextura, o emprego do ensaio de Pêndulo Britânico, normatizado por ASTM E303/1993, é recomendado em todas as estacas do trecho monitorado, na trilha de roda externa da faixa avaliada. Este teste deve ser realizado imediatamente após o ensaio de mancha de areia, nas mesmas localidades nas quais avaliou-se a macrotextura. Medidas da temperatura da superfície do pavimento devem ser feitas em todas as estacas onde for realizada a avaliação de microtextura. Os resultados relativos ao trecho devem ser compilados pela média dos valores de resistência à derrapagem (VRD), obtidos em todas as estacas englobadas pelo segmento.

A Tabela 15 mostra o resumo das informações sobre a condição funcional dos segmentos experimentais. O desvio padrão (DP) da amostra e o coeficiente de variação (CV,%) também devem ser registrados.

Tabela 15 – Tabela resumo das condições funcionais do segmento experimental (exemplo)

Parâmetro	Irregularidade Longitudinal			Macrotextura			Microtextura		
	Tempo (meses)	IRI (m/km)	DP (m/km)	CV (%)	Hs (mm)	DP (mm)	CV (%)	VRD	DP (VRD)
1	1,90	0,54	28	0,57	0,05	9	84	13	15
6	2,08	0,79	38	0,40	0,02	5	61	4	6
12	2,25	0,65	29	0,44	0,04	9	30	3	10
18	2,31	0,82	36	0,42	0,06	14	32	5	15
24	2,41	0,99	41	0,47	0,04	9	38	5	13

4.4. Levantamento de defeitos

O levantamento de defeitos do pavimento, com foco na determinação do percentual de área trincada (AT%) e nos afundamentos em trilha de roda (ATR, mm), deve ser realizado através do caminhar em toda a extensão do trecho monitorado, considerando os tipos de defeitos conforme a classificação adotada na norma DNIT 005/2003 – TER. Visando padronizar o trabalho em campo é apresentado no Anexo A um modelo de ficha para o levantamento dos defeitos.

Aspecto fundamental dos levantamentos desse Guia refere-se à locação e à abrangência dos defeitos, explicadas a seguir.

O trecho monitorado deverá estar demarcado fisicamente por estacas a cada 20 metros. Os defeitos deverão ser levantados por faixa de rolamento. A locação longitudinal dos defeitos utilizará como referência este estaqueamento físico, porém com resolução longitudinal de 2 metros. Transversalmente, os defeitos serão locados por faixa de rolamento, sendo que cada faixa terá 3 subdivisões transversais nomeadas: trilha interna, centro e trilha externa, considerando como referência o sentido do tráfego de veículos. Em síntese, a locação dos defeitos em cada faixa do trecho experimental, consistirá na divisão da respectiva faixa em células de 2 metros de comprimento por 1/3 da largura da faixa de rolamento. A execução do levantamento está exposta na Figura 4.



Figura 4 – Execução do levantamento dos defeitos (Fonte: Bueno, 2019)

de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda. As flechas devem ser medidas em milímetros, espaçadas a cada 10 m na extensão do trecho avaliado, utilizando-se a treliça referida previamente. Estas medidas devem ser executadas nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE) da pista acompanhada. Os resultados finais de cada pista serão determinados pela média simples das medidas obtidas em cada uma das trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), sendo os valores finais registrados separadamente para as distintas trilhas.

Caso haja disponibilidade, pode-se utilizar o perfilômetro inercial laser para quantificação dos afundamentos em trilha de roda, em paralelo com a determinação da irregularidade longitudinal, mencionada no item 4.3.

Para o monitoramento dos defeitos ao longo do tempo, a Tabela 16 exibe, a título exemplificativo, um resumo de condição de superfície do segmento experimental, em termos de área trincada (AT%) e afundamentos em trilha de roda (ATR, mm).

Tabela 16 – Tabela resumo das condições de um segmento experimental em termos de AT% e ATR (exemplo)

Tempo (meses)	Área Trincada (%)	ATR Trilha Interna (mm)	ATR Trilha Externa (mm)
1	0,0	0,00	0,00
6	13,6	0,00	0,00
12	24,2	0,00	0,00
18	25,9	0,67	0,78
24	40,2	0,73	1,29

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se o protocolo de orientações apresentadas nesse Guia, os responsáveis pela implantação e monitoramento dos trechos experimentais PRO-MeDiNa devem manter os resultados atualizados e organizados conforme as necessidades expostas.

A manutenção das equipes de monitoramento, dos equipamentos utilizados e dos protocolos de teste empregados, tanto em campo quanto em laboratório, para que a integridade dos dados gerados nos trechos seja mantida em sua totalidade, é considerada fundamental.

Os dados coletados nas pistas devem ser continuamente lançados em planilha encaminhada pelo IPR, a qual foi elaborada pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em parceria com o CENPES/PETROBRAS. Esta planilha é empregada também no monitoramento de trechos experimentais da Rede de Tecnologia em Asfaltos.

A referida planilha deverá ser encaminhada ao IPR que tomará as ações necessárias para que os dados possam ser utilizados no aperfeiçoamento da calibração do novo método de dimensionamento nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 342/2011. **Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures.** Washington (EUA), 2011.
- b) _____. AASHTO TP 101/2012. **Standard Method of Test for Estimating Fatigue Resistance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep.** Washington (EUA), 2012.
- c) _____. AASHTO TP 107/2014. **Standard Method of Test for Determining the Damage Characteristic Curve of Asphalt Mixtures from Direct Tension Cyclic Fatigue Tests.** Washington (EUA), 2014.
- d) _____. AASHTO M 320/2017. **Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder.** Washington (EUA), 2017.
- e) _____. AASHTO T 313/2019. **Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).** Washington (EUA), 2019.
- f) _____. AASHTO T 315/2019. **Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR).** Washington (EUA), 2019.
- g) _____. AASHTO M 332/2019. **Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test.** Washington (EUA), 2019.
- h) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E303/1993. **Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.** West Conshohocken, PA, 1993.
- i) _____. ASTM E950/2009. **Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference.** West Conshohocken (EUA), 2009.
- j) _____. ASTM D6373/2013. **Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder.** West Conshohocken (EUA), 2013.
- k) _____. ASTM E965/2015. **Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.** West Conshohocken (EUA), 2015.
- l) _____. ASTM D2872/2019. **Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a**

- Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test).** West Conshohocken (EUA), 2019.
- m) _____. **ASTM D6521/2019. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)**, West Conshohocken (EUA), 2019.
- n) ANDERSON, D. A. et al. **Evaluation of fatigue criteria for asphalt binders.** Transportation Research Record, v. 1766, p. 48-56, 2001.
- o) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15184:2004. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional.** Rio de Janeiro/RJ, 2004.
- p) _____. **ABNT NBR 11803:2013. Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento — Requisitos.** Rio de Janeiro/RJ, 2013.
- q) _____. **ABNT NBR 5739:2018. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- r) _____. **ABNT NBR 12142:2010. Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- s) BEHNOOD, A. **Rheological properties of asphalt binders: An analysis of the Multiple Stress Creep Recovery test.** Doctoral dissertation, Purdue University (EUA), 2016.
- t) BOEIRA, F. D. **Estudo da rigidez, da deformação permanente e da fadiga de misturas asfálticas com ligantes convencionais e modificados.** 286 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2018.
- u) BUENO, L. D. **Contribuição para a previsão empírico-mecanicista da irregularidade longitudinal e seus desdobramentos econômicos em pavimentos asfálticos.** 370 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2019.
- v) CAO, W.; WANG, C. **A new comprehensive analysis framework for fatigue characterization of asphalt binder using the Linear Amplitude Sweep test.** Construction and Building Materials, v. 171, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.125>.
- w) CHOI, Y. T.; KIM, Y. R. **Development of a calibration testing protocol for the permanent deformation model of asphalt concrete.** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2373, p. 34–43., 2013.
- x) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME**

- 010/1994. **Cimentos asfálticos de petróleo – determinação do teor de betume.** Rio de Janeiro/RJ, 1994.
- y) _____. DNER-ME 256/1994. **Solos compactados com equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 1994.
- z) _____. DNER-ME 258/1994. **Solos compactados no equipamento miniatura – Mini MCV – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 1994.
- aa) _____. DNER-PRO 273/96. **Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer”.** Rio de Janeiro/RJ, 1996.
- bb) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT 005/03 – TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.** Rio de Janeiro/RJ, 2003.
- cc) _____. DNIT 006/03 – PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.** Rio de Janeiro/RJ, 2003.
- dd) _____. DNIT **Manual de Estudos de Tráfego.** Publicação IPR 723. Rio de Janeiro/RJ, 2006.
- ee) _____. DNIT 130/2010 – ME. **Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos pelo ductilômetro – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2010.
- ff) _____. DNIT 131/2010 – ME. **Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2010.
- gg) _____. DNIT 133/2010 – ME. **Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2010.
- hh) _____. DNIT 155/2010 – ME. **Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2010.
- ii) _____. DNIT 129/2011 – EM. **Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico – Especificação de material.** Rio de Janeiro/RJ, 2011.
- jj) _____. DNIT 134/2018 – ME. **Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- kk) _____. DNIT 135/2018 – ME. **Pavimentação asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação do Módulo de Resiliência.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- ll) _____. DNIT 136/2018 – ME. **Pavimentação asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral.** Rio de Janeiro/RJ,

- 2018.
- mm) _____. DNIT 179/2018 – IE. **Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- nn) _____. DNIT 180/2018 – ME. **Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- oo) _____. DNIT 181/2018 – ME. **Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- pp) _____. DNIT 183/2018 – ME. **Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- qq) _____. DNIT 184/2018 – ME. **Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio.** Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- rr) FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G. **Execução de Estudos e Pesquisa para Elaboração de Método Mecânico – Empírico de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos.** Relatório Parcial IV (A). Projeto DNIT TED nº 682/2014. Processo nº 50607.002043/2013-00. Convênio UFRJ-DNIT, Rio de Janeiro/RJ, 2018.
- ss) GUIMARÃES, A. C. R. **Um método mecânico-empírico para previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos.** 367 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2009.
- tt) HINTZ, C.; BAHIA, H. **Simplification of linear amplitude sweep test and specification parameter.** Transportation Research Record, v. 2370, p. 10-16, 2013. DOI: 10.3141/2370-02.
- uu) INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET. **Rede de dados.** <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>.
- vv) KATAWARE, A. V.; SINGH, D. **A study on rutting susceptibility of asphalt binders at high stresses using MSCR test.** Innovative Infrastructure Solutions, v. 2, p. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-017-0051-1>.
- ww) KIM, D. **Modulus and Permanent Deformation Characterization of Asphalt Mixtures and Pavements.** (PhD dissertation). North Carolina State University. Raleigh, North Carolina, 2015.
- xx) KIM, D.; KIM, Y. R. **Development of Stress Sweep Rutting (SSR) test for permanent deformation characterization of asphalt mixture.** Construction and

- Building Materials 154, p. 373–383, 2017.
- yy) MARTINS, A. T. **Contribuição para a validação do ensaio de resistência ao dano por fadiga para ligantes asfálticos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ, 2014.
- zz) MIDGLEY, L.; R. YEO. **The Development and Evaluation of Protocols for the Laboratory Characterisation of Cemented Materials.** Austroads Technical Report. Published by Austroads Incorporated. Austroads Publication No. AP–T101/08, 2008.
- aaa) NASCIMENTO, L. A. H. **Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil.** 335 p. Tese de Doutorado. North Carolina State University. North Carolina (EUA), 2015.
- bbb) NOGAMI, J.S. e VILLIBOR D.F. **Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. In Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia.** Anais. COPPE/UFRJ-CNPQ. Rio de Janeiro/RJ, 1981.
- ccc) PAVI, D.R. **Identificação De Fatores Construtivos Que Contribuem Para O Aumento Da Irregularidade Longitudinal A Partir Do Monitoramento De Implantação E Restauração De Trechos Rodoviários.** 2019. 333p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2019.
- ddd) PETROBRAS. REDE DE TECNOLOGIA EM ASFALTOS (Rede Temática de Asfalto). **Manual de Execução de Trechos Monitorados.** Rio de Janeiro/RJ, 2011.
- eee) SCHUSTER, S. L. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas asfálticas aplicadas em campo por meio da teoria viscoelástica do dano contínuo.** 270 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2018.

ANEXO A

