MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE PAVIMENTO FLEXÍVEL REFORÇADO COM GEOGRELHA DE UMA RODOVIA FEDERAL NO ESTADO DE PERNAMBUCO

PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS OF FLEXIBLE PAVEMENT REINFORCED WITH GEOGRID OF A FEDERAL HIGHWAY IN THE STATE OF PERNAMBUCO

A. RAMOS
Graduando em Engenharia Civil
Centro Universitário Uninovafapi
Piauí; Brasil
afranioramosjr@hotmail.com

L. CARNEIRO
Professor D.Sc.
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
carneiro@ime.eb.br

C. SANTANA
Professora M.Sc.
Centro Universitário Uninovafapi
Piauí; Brasil
cl_deny@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta algumas das manisfestações patológicas encontradas em um trecho experimental de um pavimento flexível de uma rodovia federal localizada no Estado de Pernambuco. A estrutura do pavimento era composta por subbase brita graduada simples de 21 cm de espessura, base de brita graduada simples de 35 cm de espessura, concreto asfáltico de 4 cm de espessura, camada asfáltica intermediária de regularização de 4 cm de espessura, geogrelha, camada asfáltica intermediária de 6 cm de espessura e camada asfáltica de rolamento de 4 cm de espessura. As manifestações patológicas encontradas na camada asfáltica de rolamento, em algumas regiões da rodovia, foram trilha de roda, trincas por fadiga, concentração de agregados graúdos e ligante. Verificou-se que, por meio de ensaios de caráter estrutural, o pavimento ainda encontra-se em fase de consolidação e apresenta condições de conforto e trafegabilidade.
Palavras-chave: Pavimento asfáltico. Manifestações patológicas. Avaliação estrutural.

ABSTRACT

This work presents some of the pathological manifestations found in an experimental section of a federal highway flexible pavement located in the State of Pernambuco. The structure of the pavement was composed of a simple graded gravel subbase of 21 cm thickness, a single graded gravel base of 35 cm thickness, asphalt concrete of 4 cm thickness, regularization asphaltic intermediate layer 4 cm thickness, geogrid, asphaltic intermediate layer of 6 cm of thickness and bearing asphaltic layer of 4 cm thickness. The pathological manifestations found in the bearing asphalt layer, in some regions of the highway, were wheel tracks, fatigue cracks, concentration of coarse aggregates and binder. It was verified that, from structural tests, the pavement is still in a consolidation phase and presents conditions of comfort and trafficability.
Keywords: Asphalt pavement. Pathological manifestations. Structural evaluation.

1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumulada a partir de sua abertura ao tráfego (BERNUCCI, 2006).

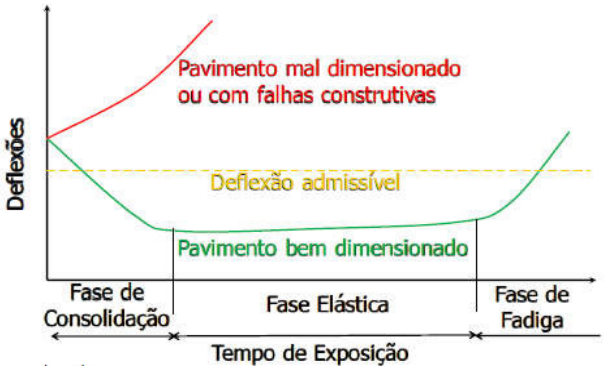
A avaliação estrutural está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento.

Os defeitos estruturais são causados especialmente pela 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, que monitoram os deslocamentos verticais (deflexão) do pavimento. Elas são responsáveis pelo surgimento da maioria dos trincamentos ao longo da vida do pavimento e 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 (BERNUCCI, 2006).

A Figura 1 apresenta as fases da vida estrutural de um pavimento, expressas pelos valores de deflexões em função do tempo. Nesta figura percebe-se que, quando o pavimento foi bem dimensionado e construído, na fase de consolidação, isto é, no início de vida em serviço do pavimento, as deflexões tendem a decrescer e estabilizam-se na fase elástica e aumentam a partir da fase de fadiga. Quando o pavimento foi mal dimensionado ou com falhas construtivas, as deflexões aumentam até que o pavimento tenha que ter seu serviço interrompido para intervenção estrutural.

Figura 1 – Fases da vida estrutural do pavimento

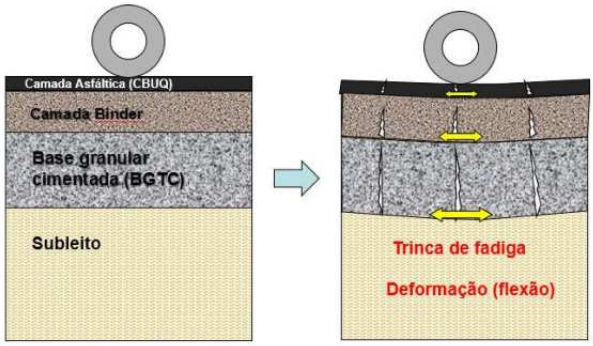


Fonte: BERNUCCI, 2006.

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser feita por métodos destrutivo, semidestrutivo ou não-destrutivo. O método destrutivo investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem. No método semidestrutivo, são executadas aberturas menores de janelas no pavimento que permitem utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento. O método não-destrutivo executa medidas de deflexão para acompanhar a variação da capacidade de carga, monitorando-se a deformação elástica que resulta na flexão alternada do revestimento e a deformação permanente resultante do afundamento de trilha de roda, também conhecido como critério de vida útil estrutural e funcional de um pavimento.

Na Figura 2 apresentam-se alguns efeitos da carga de tráfego sobre um pavimento formado por camada de concreto asfáltico usinado a quente CAUQ, camada binder, basegranular cimentada e subleito, que são trincas de fadiga e deformação por flexão do pavimento

Figura 2 – Efeitos da carga sobre o pavimento



Fonte: BERNUCCI, 2006.

Após o procedimento de avaliação estrutural do pavimento, pode ser necessária a restauração de pavimentos de concreto, que pode ser realizada mediante um reforço por pavimentação superposta flexível ou uma retirada toda a camada deteriorada e colocada uma nova em seu lugar. Esta solução foi uma das empregadas na obra de restauração de uma rodovia em Pernambuco/PE que, em alguns seguimentos, foi originalmente construída em pavimento de concreto de cimento Portland.

Essa obra é complementar à obra de duplicação já executada e o segmento em questão é foco do presente trabalho, que situa-se entre o entroncamento com a rodovia PE-035, município de Igarassú, e a divisa PB/PE, em um total de 41,4 km.

O trecho delimitado foi escolhido visando avaliar as condições das manifestações patológicas da rodovia, visto que há intensa presença de tráfego pesado, além de caracterizar a situação física e estrutural das camadas constituintes da mesma.

2. METODOLOGIA

2.1 Situação do pavimento existente

2.1.1 Situação do trecho de estudo

O trecho de 41,4 km, restaurado no lote 06 da rodovia BR-101, encontrava-se em linhas gerais com segmentos em pavimento de concreto de cimento Portland (PCC) e segmentos revestidos em concreto asfáltico.

A maior parte da extensão do lote encontrava-se com revestimento em concreto de cimento Portland (PCC) antigo, com condição de superfície variável ao longo da via. Porém, o trecho escolhido para compor o presente trabalho é um trecho que apresenta o segmento revestido em concreto asfáltico, estacas 340 a 355, totalizando 300 m de comprimento.

Em geral, esse revestimento encontrava-se irregular e com trincas refletindo na superfície, em alguns casos já seladas, além de apresentar pontos com remendos. Via de regra, apesar do desconforto ao rolamento, este trecho se mostrava “estável”, em que pese à ausência de atividades de maior vulto na camada de rolamento.

O trecho em questão foi totalmente restaurado, inclusive nas camadas inferiores adjacentes ao revestimento asfáltico, A seção transversal do pavimento e sua especificação técnica estão exemplificadas na Figura 3 e Tabela 1.

2.1.2 Metodologia

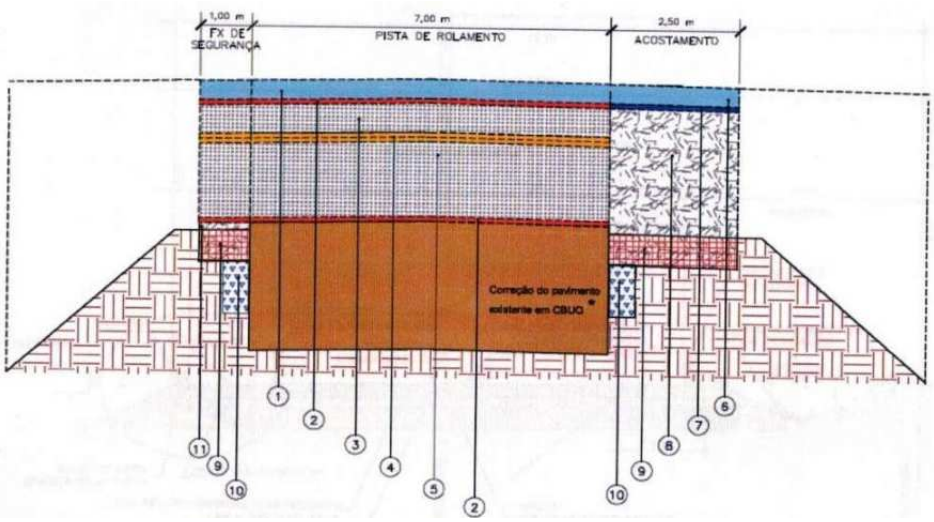
Após o reconhecimento da área de estudo, iniciou-se a investigação com análise visual da situação superficial do trecho a fim de se identificar a presença de manifestações patológicas visíveis na superfície do revestimento asfáltico.

Realizaram-se pelo método destrutivo, com abertura de trincheiras a cada 50 m, devido ao tráfego da região ser caracterizado como pesado, a verificação das espessuras das camadas de infraestrutura, a verificação da composição de cada camada e o ensaio de densidade *in situ* para obtenção do grau de compactação.

Determinaram-se, pelo método semidestrutivo e com o uso de sonda hidráulica extratora rotativa, as análises referentes sobre o teor de ligante, a granulometria da fração pétrea da camada de revestimento, a estabilidade Marshall, a resistência à tração e o módulo de resiliência em cinco corpos de prova, cuja denominação de cada corpo de prova pode ser vista na Tabela 2. O corpo de prova nº 3 foi mantido intacto

para compor mostruário do Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas do Instituto Militar de Engenharia e a designação “A” refere-se ao corte no meio da camada e “G”, à camada com geogrelha.

Figura 3 – Seção transversal da área em estudo (rodovia BR-101 Lote 06)



Fonte: Autores.

Tabela 1 – Camadas componentes do pavimento da BR-101 Lote 06

Legenda	Material	Espessura (cm)	Especificações
1	Camada asfáltica de rolamento	4	DNIT ES 031 (2006)
2	Pintura de ligação	-	DNER ES 307 (1997)
3	Camada asfáltica intermediária	6	DNIT ES 031 (2006)
4	Geogrelha	-	-
5	Camada asfáltica intermediária de regularização	Mínimo 4	DNIT ES 031 (2006)
6	Concreto asfáltico	4	DNIT ES 031 (2006)
7	Imprimação	-	DNER ES 306 (1997)
8	Brita Graduada Simples (2 cam.)	35	DNIT ES 031 (2006)
9	Remoção de material existente	Variável	DNIT ES 085 (2006)
10	Drenos sub-superficiais	-	DNIT ES 016 (2004)
11	Brita graduada simples	21	DNIT ES 031 (2006)

Fonte: Autores.

Tabela 2 – Denominação dos corpos de prova

Corpo de prova	Especificação do corpo de prova
P1	Completo
P1G	Cortado na camada de geogrelha
P2	Completo
P2G	Cortado na camada de geogrelha
P2A	Cortado na camada intermediária
P3	Completo
P4	Completo
P5	Completo
P5A	Cortado na camada de geogrelha

Fonte: Autores.

Os corpos de prova extraídos foram distribuídos para as investigações conforme necessidade dos resultados mais importantes e resposta mais eficaz quanto à situação da pista já em uso submetida a tráfego intenso. Buscou-se extrair toda a camada do revestimento asfáltico, a fim de se detectar todas as camadas previstas em projeto (v. Figura 4).

Figura 4 – Extração de corpos de prova do pavimento flexível por meio de sonda rotativa



Fonte: Autores.

A Figura 5 mostra o aspecto dos corpos de prova de especificação “A” e “G”, que foram debastados para conferência de espessura e diâmetro conforme a espessura total de cada camada do revestimento asfáltico. Na Tabela 3 aprensentam-se as normas utilizadas para a execução dos ensaios e seu objetivo.

Figura 5 – Corpos de prova extraídos da pista de rolamento



Fonte: Autores.

Tabela 3 – Ensaios e procedimentos realizados na pesquisa

Norma	Assunto
DNIT ME 053 (1994)	Percentagem de betume
DNIT ME 135 (2010)	Determinação do módulo de resiliência
DNIT ME 136 (2010)	Determinação da resistência à tração por compressão diametral
DNIT ME 083 (1998)	Agregados – Análise Granulométrica
DNIT ES 031 (2006)	Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico
DNIT ME 092 (1994)	Determinação da massa específica aparente “in-situ” com o emprego do frasco de areia
DNIT TER 005 (2003)	Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígido

Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Patologias

A trilha de roda (v. Figura 6) foi uma das manifestações patológicas encontradas no estudo, cuja existência no pavimento pode afetar o conforto dos usuários e segurança, visto que há perda de aderência e, em períodos chuvosos, pode ocorrer a aquaplanagem do veículo. As possíveis causas para esta manifestação patológica é a má compactação das camadas ou o excesso de ligante na mistura asfáltica, como o ocorrido no trecho relacionado a esta pesquisa.

Em outra região da rodovia, foi encontrada a segregação do pavimento (v. Figura 7). O material do revestimento deixa de apresentar características homogêneas e, por conta disto, nota-se uma deficiência de ligante em algumas áreas e excesso em outras, o que compromete a vida útil do pavimento.

Na Figura 8, observa-se um remendo mal executado, possivelmente um preenchimento com massa asfáltica de panela na rodovia. Caracteriza-se como um ponto de fragilidade, o que leva a danos de conforto à camada de rolamento.

Figura 6 – Trilha de roda no pavimento flexível



Fonte: Autores.

Figura 7 – Segregação em uma área e de mástique em outra



Fonte: Autores.

3.2 Ensaios de caracterização física e mecânica

Para a avaliação estrutural por meio do método destrutivo, estudou-se o grau de compactação das camadas de sub-base e base. Primeiramente, abriram-se trincheiras para ter acesso às camadas inferiores ao

revestimento asfáltico, cuja pista de rolamento foi interditada parcialmente. Foram realizadas aberturas de seis trincheiras ao longo da extensão do trecho monitorado a cada 50 m.

Figura 8 – Remendo mal executado



Fonte: Autores.

Com a utilização de uma máquina de corte de disco, foi feito a demarcação da região, após o que, com o uso de uma picareta, procedeu-se a retirada da camada de rolamento (v. Figura 9) manualmente e com o apoio de uma retroescavadeira (v. Figura 10).

Figura 9 – Demarcação e corte do revestimento asfáltico para abertura de trincheira



Fonte: Autores.

Todas as estacas, onde foi possível abrir as trincheiras, atenderam às especificações de projeto referentes às espessuras das camadas (v. Tabela 1), tendo sido também realizados os controles da umidade (ensaio por meio do método Speedy) e da densidade (ensaio de densidade *in situ*).

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados do ensaio de densidade *in situ*, realizado nas camadas de sub-base e de base, respectivamente. O grau de compactação obtido com a execução deste ensaio atendeu ao percentual exigido em projeto, que variou de 99% a 100%, para a camada de sub-base, e de 100% a 102%, para a camada de base. Ressalta-se que na camada de base da estaca 344, eixo esquerdo, o resultado do grau de compactação foi 103%, indicando superior rigidez, o que pode ocasionar o surgimento antecipado de uma manifestação patológica na estrada, como por exemplo, o afloramento de trincas ou afundamento da área.

Figura 10 – Utilização de retroescavadeira para investigação da camada, análise das espessuras e execução do ensaio para determinação do grau de compactação



Fonte: Autores.

Os resultados obtidos indicaram que, apesar da área ter sido construída há cerca de 7 anos, as camadas de infraestrutura encontram-se em condições favoráveis de suporte, pois apresentaram bons resultados de densificação da camada, o que impõe à camada de revestimento asfáltica maior probabilidade de surgimento de manifestações patológicas, tais como trilha de rodas, fendas, desplacamento de agregado e surgimento de deformações longitudinais, transversais ou pontuais.

No caso de fenda, esta manifestação patológica requer cuidado e manutenção o mais rápido possível, pois além de ser abertura na camada de desgaste, classificada como fissura quando à abertura, é percetível a olho nu a uma distância inferior a 1,5 m, causa degradação do revestimento asfáltico, contribuindo para o enfraquecimento das camadas granulares e do solo de infraestrutura do pavimento com a possível penetração da água por essas aberturas (ANTUNES *et. al.*, 2005).

Em relação à extração dos corpos de prova da camada de revestimento asfáltico, a Tabela 6 apresenta as medidas do diâmetro, da altura e dos pesos seco, imerso e úmido dos corpos de prova extraídos.

A Figura 11 ilustra a disposição da execução do ensaio de módulo de resiliência, focando o posicionamento do LVDT para medição da deformação elástica.

Os ensaios de carga repetida, em que a força aplicada atua sempre no mesmo sentido de compressão, de zero a um mínimo e depois diminui até anular-se ou atingir um patamar inferior para atuar novamente após pequeno intervalo de repouso (fração de segundo), procuram reproduzir as condições de campo. A amplitude e o tempo de pulso dependem da velocidade do veículo e da profundidade em que se calculam as tensões e deformações produzidas (MEDINA, 2015).

Os resultados do ensaio de módulo de resiliência, realizados no Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas do Instituto Militar de Engenharia, estão reunidos na Tabela 7. Constatou-se que os valores do módulo de resiliência foram todos satisfatórios,variando entre 4267 MPa a 9879 MPa, que são resultados

expressivos quando referidos a um concreto asfáltico à quente. Os corpos de prova constituídos com geogrelha apresentaram valores de módulo de resiliência acima de 7500 MPa.

Tabela 4 – Controle do grau de compactação para camada de sub-base do trecho monitorado

CAMADA		CMD SUB BASE	CMD SUB BASE	CMD SUB BASE	CMD SUB BASE	CMD SUB BASE	CMD SUB BASE
PROCEDÊNCIA DO MATERIAL		MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE
HORA DO TESTE DE DENSIDADE "IN SITU"		15 54	16 20	16 50	17 17	17 43	18 10
DATA DO TESTE DE DENSIDADE "IN SITU"		17/01/12	17/01/12	17/01/12	18/01/12	18/01/12	19/01/12
FURO		01	02	03	04	05	06
PROFUNDIDADE (cm)	DE	0	0	0	0	0	0
	A	20	20	20	20	20	20
ESTACA		340	344	348	350	352	354
POSIÇÃO		D	E	D	E	D	E
PESO DO FRASCO C/ AREIA (g)	ANTES	7000	7000	7000	7000	7000	7000
	DEPOIS	3934	3934	3934	3934	3934	3934
	DIFERENÇA	3066	3066	3066	3066	3066	3066
NÚMERO DO FUNIL		10	10	10	10	10	10
PESO DA AREIA NO FUNIL (g)		567	567	567	567	567	567
PESO DA AREIA NO FURO (g)		2499	2499	2499	2499	2525	2529
DENSIDADE DA AREIA (g/dm^3)		1368	1368	1368	1368	1368	1368
VOLUME DO FURO (dm^3)		1827	1827	1827	1827	1846	1849
UMIDADE		8,8	8,8	8,6	8,8	8,8	8,8
PESO DO SOLO UMIDO (g)		3968	3948	4000	3948	4000	3948
PESO DO SOLO SECO (g)		3629	3629	3627	3629	3629	3629
DENSIDADE DO SOLO SECO (g/dm^3)		1987	1987	1985	1987	1966	1963
ENSÁIO DE LAB.	REGISTRO						
	DENSIDADE MÁXIMA	1987	1987	1987	1987	1987	1987
	UMIDADE ÓTIMA	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)		100	100	100	100	99	99
TRECHO LIBERADO: SUB BASE (EST 340 - 355)							
(X) APROVADO OBS: CMD SUB BASE PISTA							
( ) REPROVADO							
MOTIVO DA REPROVAÇÃO:							
RODOVIA: BR 101-PE	TRECHO: NATAL (RN) - PALMARES (PE)			SUB TRECHO: DIV.PB/PE - IGARASSU/PE			
FISCAL :	VISTO:	RESP. PELO TRECHO: SGT E JORGE					
CALCULISTA: SD AMAURI	VISTO:	OPERADOR: SD J JOSE					

Fonte: Autores.

Com referência à caracterização do concreto asfáltico, foram realizados os ensaios de extração de ligante, com vista a avaliar o teor de ligante real utilizado no trecho, e de granulometria dos agregados, para que também fosse possível verificar se o traço da matriz asfálticas enquadrava-se na especificação do projeto, faixa C do DNIT.

A Figura 12 apresenta os resultados da curva granulométrica e do teor de ligante dos corpos de prova P1 e P4.

Tabela 5 – Controle do grau de compactação para camada de base do trecho monitorado

CAMADA		CMD BASE	CMD BASE	CMD BASE	CMD BASE	CMD BASE	CMD BASE
PROCEDÊNCIA DO MATERIAL		MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE	MAT EXISTENTE
HORA DO TESTE DE DENSIDADE "IN SITU"		10 20	10 50	11 30	15 33	16 40	17 05
DATA DO TESTE DE DENSIDADE "IN SITU"		17/01/12	17/01/12	17/01/12	18/01/12	18/01/12	19/01/12
FURO		01	02	03	04	05	06
PROFUNDIDADE (cm)	DE	0	0	0	0	0	0
	A	25	25	25	25	25	25
ESTACA		344	346	348	350	352	354
POSIÇÃO		E	D	E	D	E	D
PESO DO FRASCO C/ AREIA (g)	ANTES	7000	7000	7000	7000	7000	7000
	DEPOIS	3800	3800	3800	3800	3800	3800
	DIFERENÇA	3200	3200	3200	3200	3200	3200
NÚMERO DO FUNIL		10	10	10	10	10	10
PESO DA AREIA NO FUNIL (g)		567	567	567	567	567	567
PESO DA AREIA NO FURO (g)		2633	2633	2633	2633	2633	2633
DENSIDADE DA AREIA (g/dm^3)		1368	1368	1368	1368	1368	1368
VOLUME DO FURO (dm^3)		1925	1925	1925	1925	1925	1925
UMIDADE		14,0	14,0	14,3	14,1	14,0	14,9
PESO DO SOLO UMIDO (g)		3968	3948	4000	3948	4050	3950
PESO DO SOLO SECO (g)		3650	3629	3590	3550	3629	3629
DENSIDADE DO SOLO SECO (g/dm^3)		1896	1885	1865	1844	1885	1885
ENSÁIO DE LAB.	REGISTRO						
	DENSIDADE MÁXIMA	1840	1840	1840	1840	1840	1840
	UMIDADE ÓTIMA	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)		103	102	101	100	102	102
TRECHO LIBERADO: SUB BASE (EST 340 - 355)							
(X) APROVADO OBS: CMD SUB BASE PISTA							
( ) REPROVADO							
MOTIVO DA REPROVAÇÃO:							
RODOVIA: BR 101-PE	TRECHO: NATAL (RN) - PALMARES (PE)			SUB TRECHO: DIV.PB/PE - IGARASSU/PE			
FISCAL :	VISTO:	RESP. PELO TRECHO: SGT E JORGE					
CALCULISTA: SD AMAURI	VISTO:	OPERADOR: SD J JOSE					

Fonte: Autores.

Tabela 6 – Dados dos corpos de prova extraídos

Corpos de prova	ø (cm)	h (cm)	Peso Seco	Peso Imerso	Peso Úmido
P1	9,4	3,8	706,6	412,2	707,6
P1G	9,7	3,5	678,2	395,9	680,0
P2	9,6	4,3	851,8	500,7	852,6
P2G	9,6	4,5	833,4	487,2	834,1
P2A	9,8	6,3	1137,2	670,4	1138,9
P3	-	-	-	-	-
P4	9,6	6,7	1163,2	682,1	1164,1
P5	9,8	6,3	1087,5	637,2	1088,3
P5A	9,5	4,7	908,9	531,3	910,3

Fonte: Autores.

Figura 11 – Execução do ensaio de módulo de resiliência e detalhe do posicionamento do LVDT



Fonte: Autores.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de módulo de resiliência

Amostra	Módulo de resiliência (MPa)
P1	7090
P1G	7537
P5	4267
P5A	9879
P2	7114
P2G	7717
P2A	4861
P4	5392

Fonte: Autores.

A Figura 13 ilustra o ensaio de extração de ligante com o uso do equipamento Rotarex, a fim de se determinar o teor de ligante e compará-lo com o teor especificado em projeto, seguido das pesagens para a composição da curva granulométrica da fração pétrea constituinte da massa asfáltica.

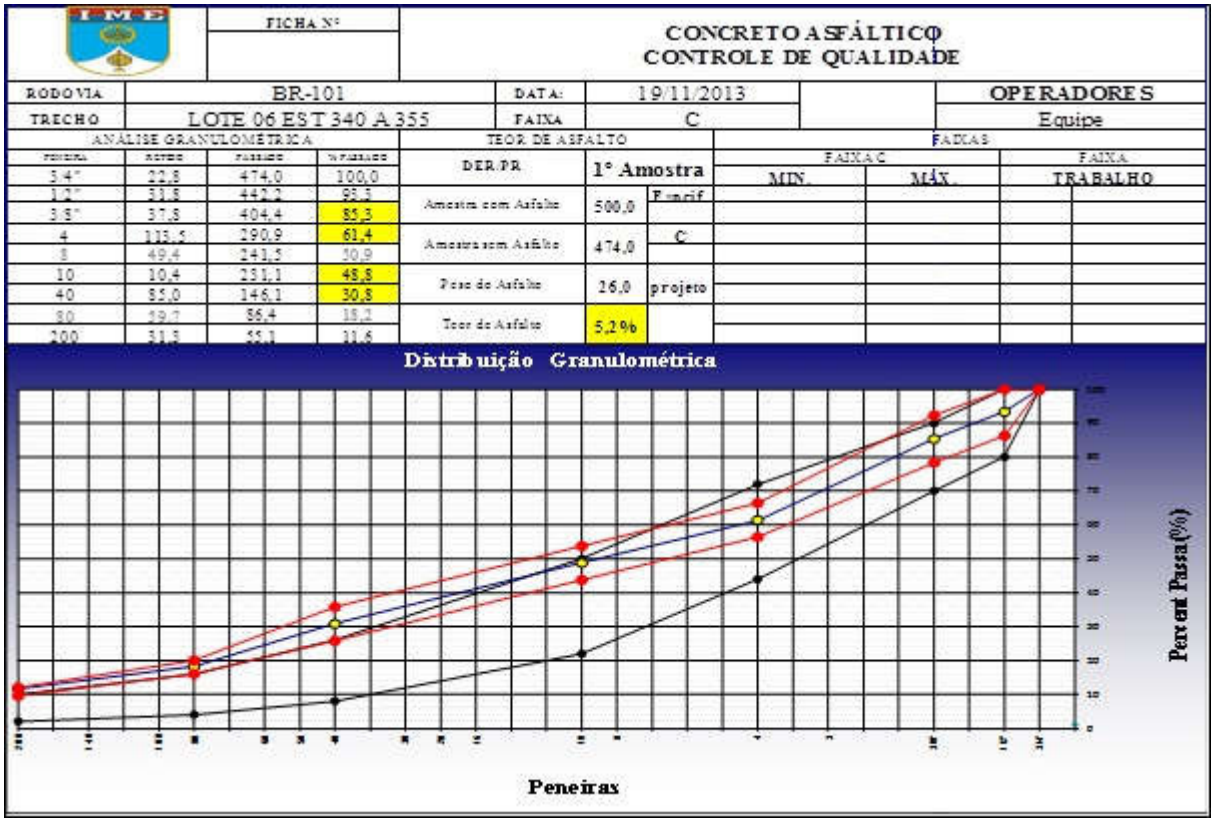
O ensaio resultou em um teor de asfalto de 5,2%, valor menor que o teor de projeto de 5,7%. Esta diminuição do teor de CAP pode ser explicado devido à calibração da usina e ao desgaste referente ao tempo de existência da rodovia.

O volume de vazios e a relação betume vazios, encontrados de acordo com a extração de ligante feita foi de 3,54% e 77,65% respectivamente, o que evidencia que a massa asfáltica se encontra dentro dos parâmetros exigidos segundo norma DNIT 031 (2006). No ensaio de composição granulométrica de acordo com a faixa “C” do DNIT, houve uma fuga da curva média nas peneiras 40, 80 e 200. Verificou-se que, neste caso, no momento da confecção da massa de concreto asfáltico, deveria ter sido feita uma correção quanto ao traço.

Porém mesmo com essa constatação, devido aos resultados de módulo de resiliência já expostos, a massa

asfáltica tende a continuar com o desempenho adequado para o trafégo de projeto.

Figura 12 – Extração de ligante e curva granulométrica dos corpos de prova 1 e 4



Fonte: Autores.

Figura 13 – Ensaio de extração de ligante com uso do aparelho Rotarex e realização da granulometria com o agregado constituinte da extração



Fonte: Autores.

O valor médio de resistência à tração por compressão diametral, em dois corpos de prova (P5 = 0,96 MPa e P2 = 0,92 MPa), foi 0,94 MPa, que é um resultado que, mesmo após sete anos da execução do serviço, evidencia que o pavimento se encontra em boas condições.

No ensaio para determinação da estabilidade segundo a Metodologia Marshall, após imersão em banho maria a 60 ºC por 20 minutos, o valor médio foi 724 kgf (P4 = 700 kgf e P5 = 748 kgf), que é cerca de 45% acima do mínimo especificado em projeto, que é de 500 kgf (DNIT ES 031, 2006).

4. CONCLUSÕES

O pavimento em estudo apresentou características bastante favoráveis quanto a sua avaliação estrutural e à garantia de segurança ao usuário.

Os valores de densidade *in situ* apresentaram variação entre 99% e 103% nas camadas de sub-base e base, comprovando que as camadas estão com valores de densificação ideais aos valores encontrados em laboratório.

O ensaio de módulo de resiliência comprovou o bom desempenho do revestimento asfáltico, com resultados satisfatórios para alto volume de tráfego. Os valores de resistência à tração e de estabilidade também foram acima do mínimo exigido por projeto.

Apenas o teor de ligante e a granulometria apresentaram uma resposta abaixo do padrão, mas que em consonância com os ensaios mecânicos realizados, não apresentaram ter influência sobre os resultados já citados.

Com os dados obtidos, foi possível confirmar que o trecho monitorado encontra-se em estado estrutural adequado ao projeto executivo, atendendo à finalidade para a que foi destinado, no caso, um tráfego pesado e de volume bastante denso.

O surgimento de manifestações patológicas foi pouco evidenciado, mesmo passados sete anos após a execução da estrada, tendo sido observado o maior surgimento de trilhas de roda, segregação e remendo. Mesmo com tais manifestações patológicas, encontradas em pontos isolados do trecho, foram atestados bons resultados, adquiridos nos ensaios investigativos realizados de caracterização física e estrutural.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Militar de Engenharia - RJ, ao Exército Brasileiro e ao Centro Universitário Uninovafapi – PI.

6. REFERÊNCIAS

ANTUNES, M., BATISTA, F. e FONTUL, S. D. P. **Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviário**. LNEC, 2005.

BERNUCCI, L. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ES 306/97:** Pavimentação – imprimação, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ES 307/97:** Pavimentação – pintura de ligação, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ES 016/2004:** Drenagem – Drenos superficiais – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ES 031/2006:** Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 053/94:**

Percentagem de betume. Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 083/98:** Agregados – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ES 085/2006:** Demolição e remoção de pavimentos: asfáltico ou concreto – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 092/94:** Determinação da massa específica aparente “in-situ” com o emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 135/2010:** Determinação do módulo de resiliência.. Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 136/2010:** Determinação da resistência à tração por compressão diametral.: Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT TER 005/2003:** Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígido. Rio de Janeiro, 1995.

MEDINA, J., MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 3ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 2015.