



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGreste
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS DA AVENIDA ADJAIR DA SILVA CASÉ NA CIDADE
DE CARUARU-PE**

WELINGTON DA SILVA MELO

CARUARU, 2018

WELINGTON DA SILVA MELO

**LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS DA AVENIDA ADJAIR DA SILVA CASÉ NA CIDADE
DE CARUARU-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Acadêmico do Agreste – CAA,
da Universidade Federal de Pernambuco
– UFPE, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil /
Estradas e Transportes.

Orientador: Prof. Dra. Jocilene O. Costa

Caruaru, 2018

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

M5281 Melo, Wellington da Silva.
Levantamento das patologias de pavimentos flexíveis da avenida Adjair da Silva Casé na Cidade de Caruaru - PE. / Wellington da Silva Melo. - 2018.
77f. ; il.: 30 cm.

Orientadora: Jocilene Otília da Costa.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Pavimentos flexíveis. 2. Patologia. 3. Pavimentação. I. Costa, Jocilene Otília (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-094)

WELINGTON DA SILVA MELO

**LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DA
AVENIDA ADJAIR DA SILVA CASÉ NA CIDADE DE CARUARU-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Acadêmico do Agreste – CAA,
da Universidade Federal de Pernambuco
– UFPE, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.
Área de concentração: Engenharia Civil /
Estradas e Transportes.

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera ao
candidato WELINGTON DA SILVA MELO aprovado.

Caruaru, 19 de julho de 2018.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Jocilene Otfilia da Costa _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof. Dr. José Moura Soares _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Examinador)

Prof. MSc. Larissa Virgínia da Silva Ribas _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Examinadora)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos _____
Universidade Federal de Pernambuco (Coordenador da Disciplina)

Dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pelo dom da vida, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e lutando comigo para que esta conquista se tornasse possível.

À minha namorada, que sempre esteve ao meu lado e que me ajudou nesta caminhada.

Aos meus amigos, especialmente aos que fiz ao longo do curso, por todos os momentos compartilhados, e por tudo que pude aprender com eles.

Aos professores que tive ao longo do curso, por todos os ensinamentos repassados, que irão me ajudar bastante na vida profissional.

À empresa PDCA Engenharia, que disponibilizou a treliça normatizada para a medição das flechas da trilha de roda.

À professora Jocilene Otília da Costa, orientadora e uma grande profissional, obrigado pela dedicação e paciência.

RESUMO

O transporte rodoviário é o principal meio de deslocamento de pessoas e cargas no ponto de vista nacional. Logo, deve-se ter um cuidado maior com a qualidade das vias em relação à sua conservação, para que consequentemente tenha uma melhor qualidade de trafegabilidade e uma maior segurança para quem depende dela, afetando diretamente na economia do país. No Brasil, a qualidade do pavimento (visual e estrutural) é comprometida em sua maioria das vezes pelo não atendimento às exigências técnicas de capacidade de suporte das camadas do pavimento e pela qualidade dos materiais empregados no revestimento da estrutura dos pavimentos flexíveis, tendo várias consequências e uma das principais é o processo de deformação do pavimento acelerado. Este trabalho propôs realizar um levantamento de patologias de pavimentos flexíveis na avenida Adjair da Silva Casé na cidade de Caruaru-PE. Em seguida, fazer uma avaliação objetiva dos defeitos catalogados segundo a norma do DNIT 006/2003-PRO, descobrindo assim o grau de degradação da avenida em questão. A escolha da avenida foi por sua grande importância para cidade de Caruaru-PE. Os resultados mostraram através da avaliação das duas vias da avenida estudada que o pavimento é considerado ruim, sendo que apenas um trecho dos 12 trechos (6 em cada via) apresentou classificação em regular.

Palavras-chave: Patologias; Pavimento Flexível e Levantamento.

ABSTRACT

Road transport is the main means of displacement of people and cargoes from the national point of view. Therefore, to take greater care with the quality of the roads in relation to their conservation, so that consequently it has a better quality of trafficability and a greater security for those who depend on it, thus affecting, directly in the economy of the country. In Brazil, the quality of the pavement (visual and structural) is often compromised by non-compliance with technical requirements of bearing capacity of the layers of the pavement and the quality of the materials used to coat the structure of the flexible pavements, having several consequences one of the main is the deformation process of accelerated pavement. This work proposed to perform a survey of the pathologies of flexible pavements in the avenue Adjair da Silva Casé in the city of Caruaru-PE, Then, make an objective evaluation of the defects cataloged according to the norm of DNIT 006/2003-PRO discovering it like this the degree of degradation in the avenue in question. The choice of avenue was for its great importance to the city of Caruaru-PE. The results showed that the pavement is considered poor, and only one section of the 12 stretches (6 in each road) presented a regular classification.

Keywords: Pathologies; Flexible Pavements and Survey.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Bairros de Caruaru-PE	16
Figura 2 Vista aérea da avenida Adjair da Silva Casé em Caruaru-PE.....	18
Figura 3 Planta da cidade de Caruaru com delimitação da área em estudo.....	20
Figura 4 Bairro Indianópolis com a delimitação da área de estudo.....	20
Figura 5 Via Ápia	22
Figura 6 Execução de um pavimento rígido	26
Figura 7 Seção típica de um pavimento rígido	26
Figura 8 Comparação da distribuição de tensões de um pavimento rígido e um pavimento flexível	27
Figura 9 Seção típica de um pavimento flexível	27
Figura 10 Seção típica de um pavimento semirrígido.	28
Figura 11 Camadas típicas do pavimento.....	29
Figura 12 Preparação do subleito.	30
Figura 13 Utilização de geogrelhas para reforço do subleito reduzindo a espessura do pavimento.	31
Figura 14 Preparação da sub-base da BR-116/RS (2013).	32
Figura 15 Preparação da base de uma rodovia	34
Figura 16 Preparação da base de uma rodovia no interior de São Miguel do Oeste SMO-290 (2016).....	34
Figura 17 Revestimento com asfalto quente está sendo aplicado no sentido Cruz Alta - Ibirubá.....	37
Figura 18 Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via.....	39
Figura 19 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	40
Figura 20 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	41
Figura 21 Ilustração do perfilômetro CHLOE.....	42
Figura 22 Fendas	45
Figura 23 Afundamentos	47
Figura 24 Corrugação (O).....	48
Figura 25 Exsudação	49
Figura 26 Desgaste	50

Figura 27 Panela	50
Figura 28 Remendo	51
Figura 29 Escorregamento.....	52
Figura 30 Superfície de avaliação na pista simples.....	53
Figura 31 Superfície de avaliação na pista dupla.	53
Figura 32 Treliça de Alumínio.	54
Figura 33 Representação das estações analisadas para o cálculo do IGG.....	59
Figura 34 Patologias encontradas na avenida Adjair da Silva Casé.....	59
Figura 35 Representação do cálculo do IGG para a Via 1	64
Figura 36 Representação do cálculo do IGG para a Via 2	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Frota veicular e variação percentual em Caruaru de 2006 a 2017.....	17
Tabela 2	Níveis de serventia.....	38
Tabela 3	Valor do Fator de Ponderação	57
Tabela 4	Conceitos do índice de gravidade global IGG por faixa de valores	58
Tabela 5	Cálculo do IGG do TRECHO 1 (1-6) da Via 1	62
Tabela 6	Cálculo do IGG do TRECHO 2 (7-12) da Via 1	63
Tabela 7	Cálculo do IGG do TRECHO 3 (13-18) da Via 1	63
Tabela 8	Cálculo do IGG do TRECHO 4 (19-24) da Via 1	63
Tabela 9	Cálculo do IGG do TRECHO 5 (25-30) da Via 1	64
Tabela 10	Cálculo do IGG do TRECHO 6 (30-36) da Via 1	64
Tabela 11	Cálculo do IGG do TRECHO 1 (1-6) da Via 2	65
Tabela 12	Cálculo do IGG do TRECHO 2 (7-12) da Via 2	65
Tabela 13	Cálculo do IGG do TRECHO 3 (13-18) da Via 2	65
Tabela 14	Cálculo do IGG do TRECHO 4 (19-24) da Via 2	65
Tabela 15	Cálculo do IGG do TRECHO 5 (25-30) da Via 2	66
Tabela 16	Cálculo do IGG do TRECHO 6 (30-36) da Via 2	66

LISTA DE SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO Officials	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CBR	Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio)
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IGG	Índice de gravidade global.
IGI	Índice de gravidade individual.
IRI	International Roughness Index
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UPE	Universidade de Pernambuco
VSA	Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Motivação	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	ÁREA DE ESTUDO.....	20
4	REFERENCIAL TEÓRICO	21
4.1	Pavimentação	21
4.1.2	Contexto histórico da pavimentação.....	21
4.1.2	Pavimento Rodoviário	25
4.1.2.1	<i>Rígido</i>	25
4.1.2.2	<i>Flexível</i>	26
4.1.2.3	<i>Semirrígido</i>	28
4.2	Camadas do pavimento	28
4.2.1	Leito.....	29
4.2.2	Subleito.....	29
4.2.3	Regularização	30
4.2.4	Reforço do Subleito	30
4.2.5	Sub-base.....	31
4.2.6	Base	32
4.2.7	Revestimento	34
4.3	Defeitos de pavimentação.....	38
4.3.1	Serventia	38
4.3.2	Irregularidade Longitudinal	41
4.3.3	Defeitos de Superfície	42
4.3.3.1	<i>Terminologias e tipos de defeitos</i>	45
5	METODOLOGIA.....	53
5.1	Índice de Gravidade Global (IGG)	53
5.1.1	Execução.....	54
5.2	Cálculos	55
5.2.1	Frequências absolutas e relativas.....	55
5.2.3	Índice de gravidade individual (IGI)	57

5.2.4	Cálculo do índice de gravidade Global (IGG)	58
5.3	Estudo de Caso: Avenida Adjair da Silva Casé.....	58
5.3.1	Patologias encontradas na avenida Adjair da Silva Casé	59
6	RESULTADOS	61
6.1	Via 1 (sentido Viaduto – Caruaru Shopping)	61
6.1	Via 2 (sentido Caruaru Shopping - Viaduto)	64
7	CONCLUSÕES.....	68
8	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS.....	72
	Anexo A Inventário de Superfície	72
	Anexo B Planilha de Cálculo do IGG	76
	Anexo C Resumo dos defeitos: Codificação e Classificação	77

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras estão cada vez mais populosas, enfrentamos atualmente um convívio maior com vias urbanas, tendo um médio e alto volume de tráfego comercial (ônibus e caminhões). Para proporcionar um tráfego com uma condição permanente de segurança, economia e conforto em qualquer época do ano, constroem-se no leito da estrada (plataforma de terraplenagem) uma estrutura que recebe a denominação de Pavimento.

A Terminologia Brasileira da Associação Brasileira de Normas e Técnicas, NBR 7027/ABNT, define pavimento como sendo a *“estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto”*:

- a) *Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;*
- b) *Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e à segurança;*
- c) *E resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento”.*

Um dos problemas encontrado no Brasil é a questão do não atendimento às exigências técnicas de capacidade de suporte das camadas do pavimento e de qualidade dos materiais empregados no revestimento da estrutura dos pavimentos flexíveis, como consequência disso, a estrutura irá ter um processo de deformação mais acelerado tendo assim um maior custo na manutenção. A falta da manutenção pode gerar defeitos e irregularidades na superfície da rodovia, tendo um impacto direto nos custos operacionais, relacionados a maiores gastos com peças de manutenção dos veículos, com consumo de combustível e pneus, elevação dos tempos de viagem, entre outros.

Há dois tipos gerais de patologia no pavimento: as patologias estruturais (que afetam a capacidade do pavimento em suportar as cargas do tráfego) e as patologias funcionais (que afetam a segurança e as condições de dirigibilidade do pavimento).

Portanto, o trabalho fundamenta-se em um levantamento de dados patológicos em campo para o caso do bairro Indianópolis, na cidade de Caruaru-PE.

1.2 Justificativa

Os erros de projeto decorrem de diferentes fatores, muitos relacionados à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto ou problemas no dimensionamento estrutural, tais como: a incompatibilidade estrutural entre as camadas (subleito, reforço do subleito – leito, sub-base, base revestimento), gerando fadiga

precoce dos revestimentos, especificação em projeto de material de difícil disponibilidade “*in loco*”, falhas no sistema de drenagem ou um subdimensionamento estrutural do projeto em relação à capacidade de suporte dos materiais.

Segundo Bernucci *et al.* (2008) os defeitos de superfície podem aparecer precocemente (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries). Para os autores entre os erros ou inadequações que levam à redução da vida de projeto, destacam-se os seguintes fatores, agindo separada ou conjuntamente: i) erros de projeto; ii) erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais; iii) erros ou inadequações construtivas; e iv) erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção.

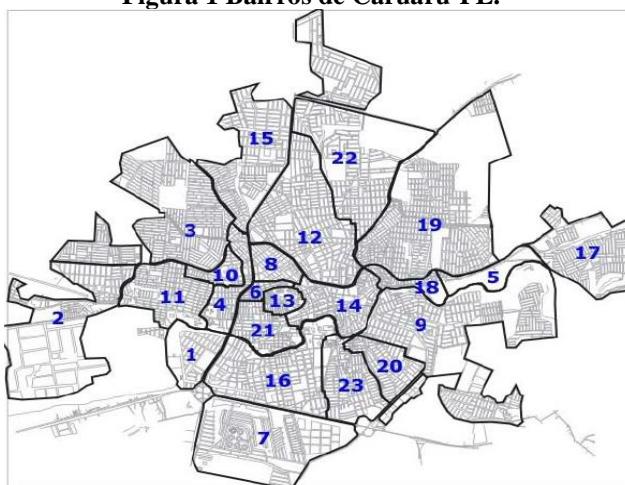
Com o crescimento urbano desordenado que ocorre nas cidades brasileiras, a maioria delas sofre com uma falta de um sistema eficaz de dimensionamento e drenagem dos pavimentos. O fluxo de veículos é maior nas vias principais, onde se concentra a maior parte do comércio varejista. O uso indiscriminado de veículos particulares e de grande porte acarreta em danos aos pavimentos, causando desconforto e acidentes.

A cidade de Caruaru representa um dos mais importantes municípios da região Nordeste e o maior do Agreste Pernambucano, polo de desenvolvimento de um novo modelo de crescimento, possui uma população de aproximadamente 314.912 habitantes (CENSO, 2010). A área de ocupação municipal desta cidade é de 932,8 km² (Sec. de Des. Econômico – PMC). Possui cerca de 60 municípios circunvizinhos, dentre os quais exerce influência em 50. Considerado o polo de desenvolvimento do Agreste Pernambucano é o motor da economia, junto com os demais municípios, produzem 800 milhões de peças anualmente. Possui mais de 16 mil empregos formais (Sindloja 2011) e 1.215 indústrias e serviços (Ministério do Trabalho 2011). É em Caruaru que está localizado o “Parque 18 de maio”, uma área de 40.000 m² que abriga a tradicional Feira de Artesanato e a Feira de Confecções, esta que atrai gente de todo o Nordeste. Em média passam cerca de 300 mil pessoas durante toda a semana, e esse valor é mais elevado quando é chegada a época de final de ano, alcançando cerca de 600 mil pessoas. Além das feiras, Caruaru em sua infraestrutura conta com 03 Shoppings Centers: Caruaru Shopping, Shopping Difusora e Polo Caruaru, além de 01 Centro de Compras: Fábrica da Moda; 01 Autódromo; 02 Estádios de Futebol. Esses atrativos partilham de um potencial mercado consumidor de 1,5 milhão de pessoas que residem na região Agreste. Na educação dispõe de 09 instituições de ensino superior: 04 Faculdades (Fafica, Favip, Esuda, Asces, Uninassau) e 02 Universidades (UFPE e UPE) e 1 Instituto Federal (IFPE).

Na área de serviços atua o “Sistema S” (Sesc, Senac, Senai, Sesi, Sest/Senat e Sebrae), que oferece diversos cursos voltados para os segmentos empresariais e industriais e para a população em geral. Em relação ao turismo a cidade realiza anualmente o “São João de Caruaru”, festa popular que acontece durante os 30 dias do mês de junho. Evento de repercussão nacional recebe em torno de 1,5 milhão de turistas durante toda a festividade. Possui também “O Maior Centro de Artes Figurativas das Américas”, o Alto do Moura, vila onde estão situados a Casa-Museu de Mestre Vitalino e o Memorial do Mestre Galdino, museus estes que expõe as obras dos artistas plásticos que são conhecidos nacionalmente por retratarem no barro a cultura e o folclore do povo nordestino.

Para nosso caso em estudo, a Avenida Adjair da Silva Casé, no bairro Indianópolis, situa-se em uma área da cidade que está com um grande crescimento populacional pelo motivo de ter principalmente o Caruaru Shopping e a Favip Devry, que por sua vez são polos geradores de viagens. Construtoras em Caruaru estão investindo muito no bairro em questão pois além de ter esses dois grandes polos geradores de viagens existe o fato de que Caruaru é uma cidade universitária e muitos estudantes migram de outras cidades e até de outro Estado para a cidade de Caruaru. Logo, vemos o quanto a avenida em estudo é solicitada pela sua grande importância no fluxo de veículos para esses polos geradores de viagens tanto para ter acesso a BR-232. Abaixo na figura 1, mostra os bairros da cidade de Caruaru.

Figura 1 Bairros de Caruaru-PE.



1 – Agamenon Magalhães	9 – Indianópolis	17 – Rendeiras
2 – Alto do Moura	10 – João Mota	18 – Riachão
3 – Boa Vista	11 – Kennedy	19 – Salgado
4 – Caiuca	12 – Maurício de Nassau	20 – Santa Rosa
5 – Cedro	13 – Morro do Bom Jesus	21 – São Francisco
6 – Centenário	14 – Nª Sª das Dores / Centro	22 – Universitário
7 – Cidade Alta	15 – Nova Caruaru	23 – Vassoural
8 – Divinópolis	16 – Petrópolis	

Fonte: Autor Desconhecido.

1.3 Motivação

A economia de todo país está ligada à eficiência da sua matriz de transporte, da qual, no Brasil, 59% é composta pelo sistema rodoviário, evidenciando a importância deste para o país. Para a execução das rodovias, o emprego do cimento asfáltico é uma opção bastante eficiente, já que proporciona segurança e conforto de rolamento, além de ser economicamente viável e relativamente durável (aproximadamente 10 anos) para grande parte das situações. Contudo, o mau planejamento e a má execução de pavimentos asfálticos podem provocar sérios problemas à via e aos seus usuários.

Já no que diz respeito à frota veicular tem que ser levada em consideração, pois o aumento da frota leva a maiores esforços no pavimento e por consequência o aparecimento de patologias ou o agravamento das existentes. Em dezembro de 2017, Caruaru contava com uma frota de 160.201 veículos (DENATRAN, 2018). Contudo, um motivo de preocupação é que Caruaru segue uma tendência nacional, com taxa de crescimento da frota veicular superior a 100% nos últimos 7 anos (vide Tabela 1). Como ressalva, coloca-se que os dados mostrados na Tabela 1 são sempre referentes ao mês de dezembro do respectivo ano.

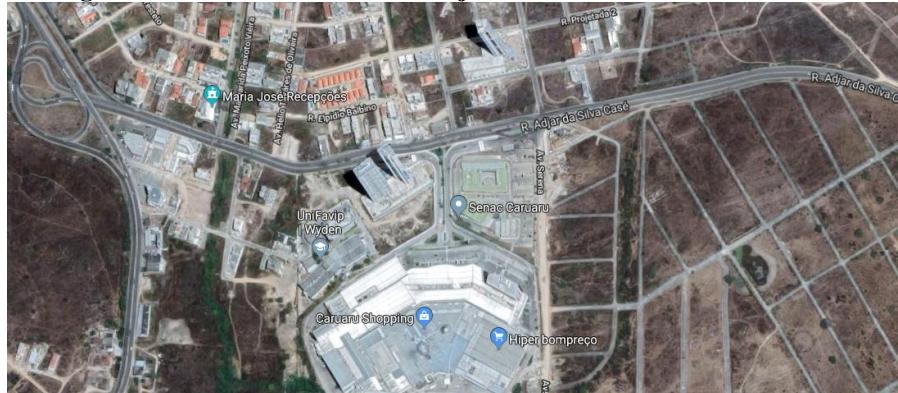
Tabela 1 Frota veicular e variação percentual em Caruaru de 2006 a 2017

ANO	FROTA	VARIAÇÃO
dez/06	65.583	-
dez/07	69.253	5,6%
dez/08	77.203	11,5%
dez/09	86.103	11,5%
dez/10	97.316	13,0%
dez/11	109.209	12,2%
dez/12	120.074	9,9%
dez/13	131.042	9,1%
dez/14	140.872	7,5%
dez/15	148.731	5,6%
dez/16	154.224	3,7%
dez/17	160.201	3,9%
VARIAÇÃO TOTAL		144%
VARIAÇÃO MÉDIA		8%

Fonte: DENATRAN(2017)

O que motivou este estudo foi observar várias irregularidades nas vias, que causa na maioria das vezes, um desconforto aos passageiros dos veículos que por ali passa. Quando não é feito a manutenção adequada ou uma manutenção de forma errada, chegará a um ponto de que terá de pavimentar novamente a via, tendo por sua vez, um projeto com maior custo e por consequência um maior congestionamento causado pela obra de pavimentação. Para uma melhor visualização da área escolhida para o estudo de caso deste trabalho, a Figura 2 a seguir mostra uma vista aérea.

Figura 2 Vista aérea da avenida Adjair da Silva Casé em Caruaru-PE



Fonte: Google Maps(2018)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar e mapear os tipos de patologias de pavimentos flexíveis em uma das regiões mais solicitadas de Caruaru relacionada ao tráfego de veículos, relatando as possíveis causas dos mesmos. Para atingir esse objetivo se propõe uma análise do estado das vias, mapeando as principais patologias na Avenida Adjair da Silva Casé no bairro Indianópolis.

2.2 Objetivos Específicos

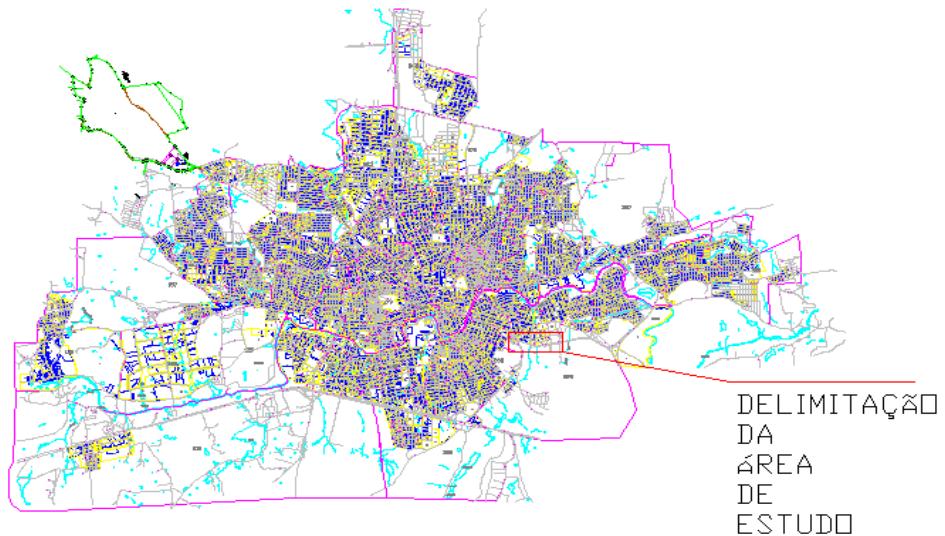
Para buscar atingir o objetivo geral, estão colocadas as seguintes ações como objetivos específicos:

- Fazer um levantamento das patologias da via em estudo, classificando as mesmas pela norma do DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia.
- Realizar o cálculo do IGG (Índice de Gravidade Global) do pavimento, para saber o grau de degradação do mesmo.
- Mostrar para prefeitura da cidade os defeitos no pavimento em uma das avenidas mais importantes para o tráfego de veículos da cidade de Caruaru para que a mesma se mobilize e execute um projeto de restauração da via mapeada.

3. ÁREA DE ESTUDO

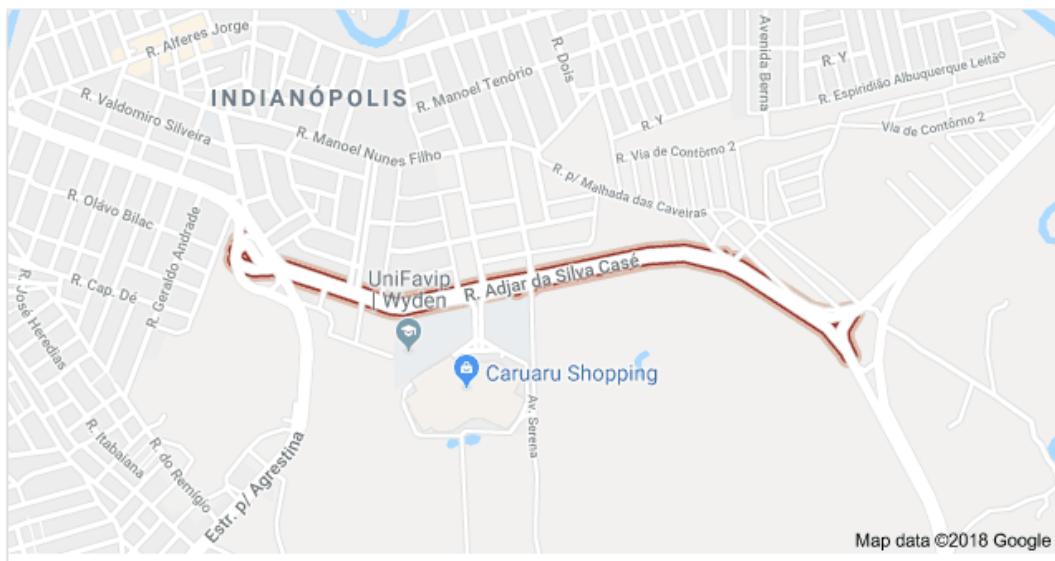
A figura 3 e 4 mostra a planta da cidade de Caruaru-PE e o bairro Indianópolis respectivamente, demarcando a área que será utilizada para o estudo.

Figura 3 Planta da cidade de Caruaru com delimitação da área em estudo



Fonte: Autor Desconhecido

Figura 4 Bairro Indianópolis com a delimitação da área de estudo



Fonte: Google Maps.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Pavimentação

Dos tipos de pavimentação existente no Brasil, foi abordada para este estudo a pavimentação flexível.

4.1.2 Contexto histórico da pavimentação

Embora este trabalho apresente fundamentalmente aspectos técnicos relativos a pavimentação asfáltica, mais especificamente a defeitos de pavimentação, optou-se por abordar um breve histórico da pavimentação.

A história da pavimentação está diretamente ligada ao desenvolvimento das primeiras cidades, ou seja, o contexto histórico está diretamente ligado a história da humanidade, passando pelas conquistas territoriais, povoamento dos continentes, urbanização, desenvolvimento, intercâmbio religioso, cultural e comercial. Como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas. (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não era destinada a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas na sua maioria blocos de pedra para a construção das pirâmides no Egito (2600-2400 a.C.), foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. O atrito era amenizado com umedecimento constante por meio de água, azeite ou musgo molhado (Saunier, 1936).

Bittencourt (1958) registrou diversas referências históricas de estradas construídas e que atendiam à Assíria e à Babilônia, bem como velhos caminhos da Índia e da China, mesmo aqueles considerados apenas itinerários, e identificados a partir de estudos arqueológicos, históricos, agrícolas e linguísticos. Entre esses caminhos, merece destaque a chamada Estrada da Seda.

O Império Romano, por sua vez foi o responsável por criar várias redes de caminhos pavimentados, ligando todas as regiões do continente europeu. Para tornar o controle do grande império mais fácil, além de facilitar o comércio e o abastecimento.

Chevallier (1976) aponta que não existia um padrão de construção das estradas romanas, embora exista algumas características comuns. No que diz respeito à geometria, as vias romanas eram traçadas geralmente em linhas retas ou seguindo cursos de rios ou

riacho, elas não possuíam um traçado suave como atualmente, sendo compostas por pequenos trechos retos que mudavam de direção bruscamente com a forma do terreno, ocasionando um certo desconforto (Margary, 1973).

Na época já havia uma grande preocupação com aterros e drenagem geralmente a estrutura, começando pela fundação da rodovia, era formada por pedras grandes colocadas em linha para que possa proporcionar uma boa plataforma possibilitando a drenagem. A camada intermediária era então colocada sobre a fundação. De acordo com Margary (1973), a areia era comum ser encontrada na camada intermediária, misturada ou não com argila ou pedregulhos, com a finalidade de adicionar resiliência ao pavimento. A última camada da superfície varia bastante, entretanto em sua maioria possui pedras na borda formando o que conhecemos hoje como meio-fio (Adam, 1994). A grande variabilidade das estradas romanas se deve exatamente à disponibilidade ou não desses materiais. (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Das vias romanas, a mais conhecida de todas é a Via Ápia, o nome se dá em homenagem ao seu construtor, Appius Claudius. O seu principal objetivo era ligar Roma a cidade de Cápua, tendo 195 km de extensão. A Figura 5 traz uma foto nos dias atuais da Via Ápia que ligava Cápua a Roma.

Figura 5 Via Ápia



Fonte: romeabs.com

Em 476 d.C. a partir da queda do Império Romano, as novas nações europeias fundadas perderam de vista a conservação e a construção das estradas. A França foi pioneira, desde a época dos romanos, reconhecendo o efeito que o transporte dá para o comércio, tendo em vista a maior velocidade nas viagens. (Mascarenhas Neto, 1790). O mesmo autor apontou uma mudança significativa no reinado de Felipe Augusto (1180-

1223), foi daí que a França passou a ter uma maior preocupação em construir novas estradas e conservá-las. Aponta ainda que os ingleses, por meio de observações de como eram executadas as estradas na França, conseguiram construir as vias mais rápidas e duráveis da Europa, o que foi de suma importância para o progresso industrial do país.

Na época, havia grande preocupação com vários aspectos que hoje é de grande importância para considerar uma boa pavimentação (trechos extraídos de Mascarenhas Neto, 1790):

- drenagem e abaulamento: “o convexo da superfície da estrada é necessário para que as águas, que chovem sobre ela, escorram mais facilmente para os fossos, por ser esta expedição mais conveniente à solidez da estrada”;
- erosão: “quando o sítio não contém pedra, ou que ela não se consegue sem longo carroto, pode suprir-se formando os lados da estrada com um marachão de terra de grossura de quatro pés, na superfície do lado externo, formando uma escarpa; se devem semear as gramas ou outras quaisquer ervas, das que enlaçam as raízes”;
- distância de transporte: “o carroto de terras, que faz a sua maior mão-de-obra”;
- compactação: “é preciso calcar artificialmente as matérias da composição da estrada, por meio de rolos de ferro”;
- sobrecarga: “devia ser proibido, que em nenhuma carroça de duas rodas se pudesse empregar mais de dois bois, ou de duas bestas, e desta forma se taxava a excessiva carga; liberdade para o número de forças vivas, empregadas nos carros de quatro rodas, ... peso então se reparte, e causa menos ruína”;
- marcação: “todas as léguas devem estar assinaladas por meio de marcos de pedra”

Na América Latina, destaca-se as estradas feitas pelos incas, habitantes da região que atualmente é ocupada pelo Peru, Equador, oeste da Bolívia, norte do Chile e noroeste da Argentina.

Segundo uma reportagem especial da rádio câmara, feita por Daniele Lessa (09/08/2005 00h00), quando a primeira estrada brasileira foi inaugurada, os presentes ficaram abismados com a velocidade que a pista proporcionava, e em 1861, D. Pedro II e uma grande comitiva percorreram o caminho de Petrópolis à Juiz de Fora, a uma velocidade de 20 quilômetros por hora (velocidade impressionante para a época).

No Brasil, as rodovias propriamente ditas chegaram muito anos depois, na década de 20. A primeira rodovia pavimentada ligava o Rio de Janeiro a Petrópolis e foi

inaugurada em 1928. Esse trecho hoje faz parte da BR 040, que liga o Rio de Janeiro a Belo Horizonte. Mas a grande explosão do desenvolvimento rodoviário aconteceu somente na década de 40 e 50, como explica o consultor da área de transportes da Câmara, Rodrigo Borges:

"A partir da década de 50 com o advento das fábricas de automóveis e do automóvel propriamente dito, a prioridade que foi dada pelo governo do Brasil foi para a expansão da malha rodoviária."

Em seguida, houve a fundação da Petrobrás e a criação de impostos destinados à construção de estradas, que estimulou ainda mais as rodovias. Mas um fato foi decisivo para o aumento da malha rodoviária: o próprio carro, que se desenvolvia cada vez mais. Os brasileiros também foram encantados por essa mobilidade. O transporte ferroviário andava prejudicado com a falta de investimentos, e nesse contexto, o carro e o caminhão foram assumindo mais importância para os brasileiros (LESSA, 2005).

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), a malha rodoviária brasileira tem pouco mais de 1 milhão e 744 mil quilômetros, incluindo rodovias federais, estaduais e municipais. Desse dígito, apenas cerca de 210 mil quilômetros estão pavimentados. A falta de investimentos gerou uma situação considerada comum para os brasileiros, tendo rodovias perigosas, repletas de buracos e mal sinalizadas em sua maioria.

Segundo pesquisas feitas pela CNT, a malha rodoviária pública federal, melhorou 24 pontos percentuais passando de 18,7% com classificação de ótimo ou bom em 2004 para 42,7% em 2016. Isto implica dizer que o governo voltou a novamente investir na malha rodoviária neste intervalo de tempo, em 2011 por exemplo investiu cerca de R\$ 15.73 bilhões.

Entre os anos de 94 e 97 foi implantado o Programa de Concessões de Rodovias. Atualmente, a Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR) representa o setor de concessão de rodovias, que é formado atualmente por 59 empresas privadas associadas, que atuam em 12 estados do País: Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Tendo 19.030 de malha rodoviária concedida, que representa cerca de 9,1% das rodovias pavimentadas no Brasil.

4.1.2 Pavimento Rodoviário

Segundo o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), pavimento rodoviário é a estrutura construída por uma ou mais camadas destinadas econômica e simultaneamente a existir e distribuir os esforços verticais oriundos das cargas transmitidas pelos veículos, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança dos usuários e resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície do rolamento. Os pavimentos podem ser classificados em rígido, flexível e semirrígido.

4.1.2.1 *Rígido*

Aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado (SOUZA, 2004).

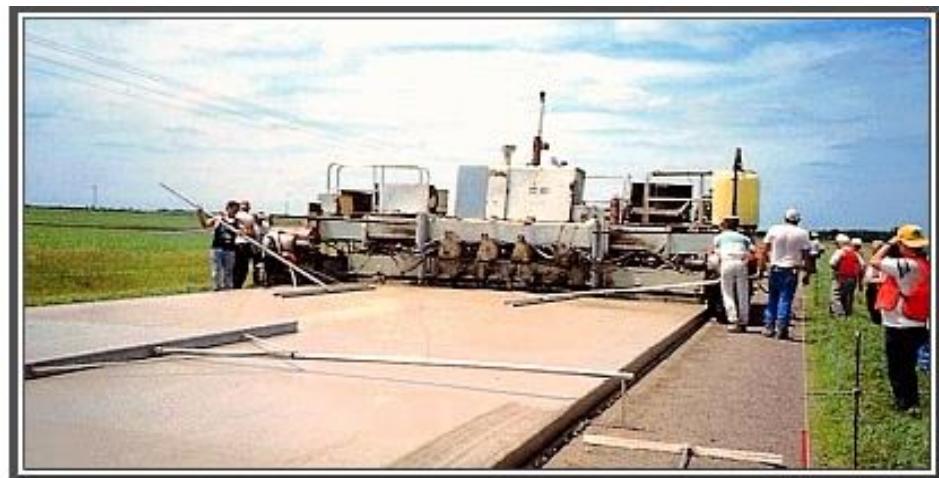
Os Pavimentos Rígidos ou de concreto, associados aos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito, quando necessário (Paixão, M., *et al.* 2017).

Devido à importância da placa de concreto no pavimento rígido, a resistência do concreto é o fator com o maior grau de importância no projeto. Pequenas alterações na sub-base ou subleito têm pouca influência na capacidade estrutural do pavimento. As bases e sub-bases podem ser flexíveis (granulares: estabilização granulométrica ou macadame hidráulico) ou semirrígidas (estabilizada: com cimento, com cal, com betume) e servem para controlar bombeamento (erosão do material granular da sub-base através das juntas), controlar expansão e contração do subleito, drenagem e acelerar a construção

O pavimento rígido dentre outras características que tem feito crescer a opção pelo pavimento rígido, entre elas destacamos a resistência, durabilidade, menor custo de manutenção, economia em iluminação pública, menor risco de acidentes, menor temperatura superficial, entre outras.

No Brasil, este tipo de pavimento vem ganhando força de forma discreta e concentrada em grandes centros urbanos. Além da crescente aplicação nas estradas, sua utilização é fundamental na reforma ou construção de pistas de aeroportos, nos corredores de ônibus e em grandes avenidas das cidades.

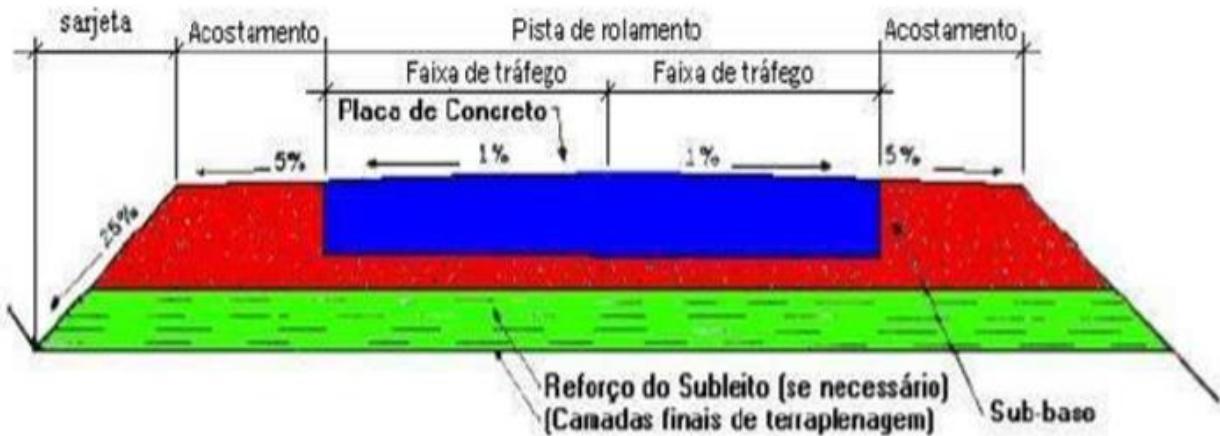
Figura 6 Execução de um pavimento rígido



Fonte:portaldoconcreto.com.br

O pavimento rígido tem uma seção transversal mais simplificada, com apenas a pista de rolamento de concreto, a sub-base e o subleito, não necessitando de uma base (camada que resiste aos esforços) pois a pista de rolamento por si só resiste a praticamente a todo os esforços. A figura 7 mostra uma seção típica de um pavimento rígido.

Figura 7 Seção típica de um pavimento rígido



4.1.2.2 Flexível

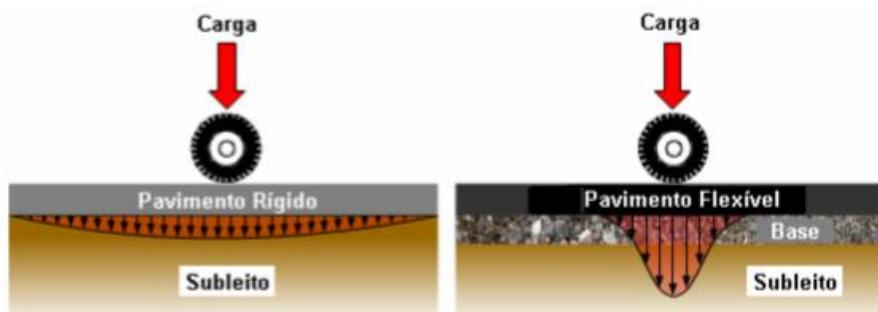
Aquele em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre camadas (SOUZA, 2004).

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro

camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de binder. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros (Bernucci *et al.*, 2008).

Sobre a estrutura de um pavimento flexível, a mesma “flete” devido às cargas do tráfego. A figura 8 mostra como é feita a distribuição de tensões de um pavimento flexível e comparando-a a de um pavimento rígido.

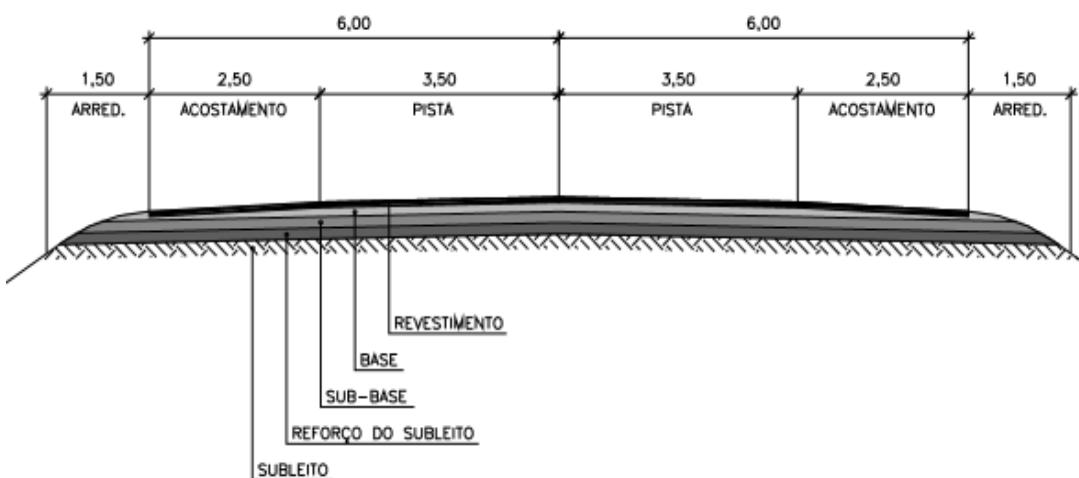
Figura 8 Comparação da distribuição de tensões de um pavimento rígido e um pavimento flexível



Fonte: Departamento de Transportes-UFPR (2018).

A vantagem de ter um pavimento flexível é o menor custo de execução, em relação ao pavimento rígido, tendo em vista um tráfego menos intenso e a disponibilidade do material a ser empregado em suas camadas.

Figura 9 Seção típica de um pavimento flexível

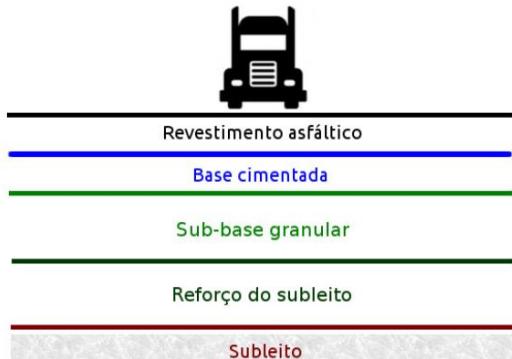


Autor Desconhecido

4.1.2.3 Semirrígido:

Segundo o Manual Pavimentos Flexíveis e Rígidos do DER-Paraná (2008), pavimentos semirrígidos caracterizam-se por uma base cimentada quimicamente. Compõem-se de: Revestimento, Base Cimentada, Sub-Base Granular, Reforço do Subleito e Subleito. A distribuição destas camadas é exemplificada na figura 10.

Figura 10 Seção típica de um pavimento semirrígido.



Fonte: Ecivilnet.com (2018)

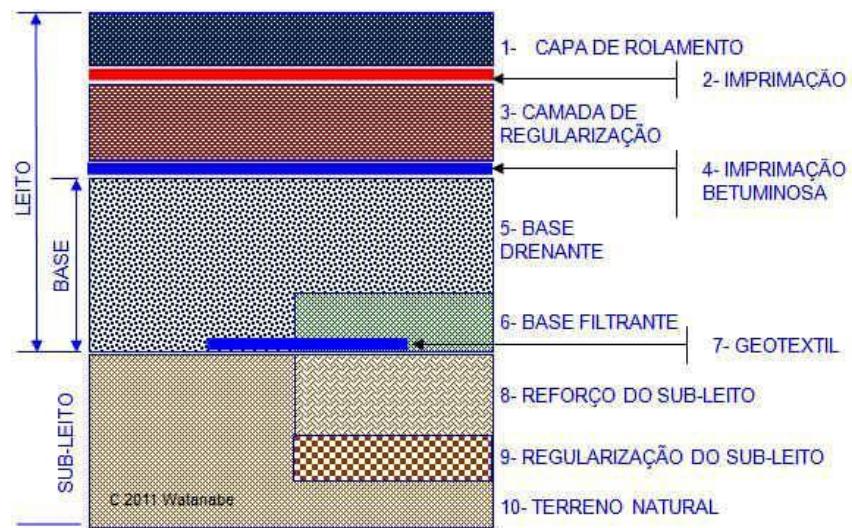
Assim como nos flexíveis, os Pavimentos Semirrígidos também são revestidos de materiais asfálticos. O que diferencia um do outro é a presença de ligantes hidráulicos (cimento Portland ou cal hidratada) em sua base, com o intuito de se alcançar uma camada com rigidez suficiente para resistir às cargas de tráfego de projeto. A adição dos ligantes hidráulicos pode ser em diversos materiais, cada um com características próprias (Paixão *et al.*, 2017).

Este tipo de pavimento tem uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível. Por ter características semelhantes ao pavimento flexível, as suas patologias também serão semelhantes.

4.2 Camadas do pavimento

A figura 11 irá mostrar basicamente as divisões de cada camada para o melhor entendimento das mesmas.

Figura 11 Camadas típicas do pavimento.



Fonte: WATANABE(2018)

4.2.1 Leito

O “Leito do Pavimento” é a superfície obtida na conclusão da terraplenagem ou obra de arte, através das características geométricas do greide, do seu perfil longitudinal e da seção transversal tipo (SOUZA, 2004).

4.2.2 Subleito

Segundo Souza (2004) o subleito é o terreno onde repousa a estrutura do pavimento que pode ser excepcionalmente forte ou pouco resistente, que deverá suportar os esforços impostos pelo pavimento e seus carregamentos dentro de valores compatíveis com a resistência do mesmo. É o terreno de fundação do pavimento e que se não for executado com requintes técnicos pode comprometer todo o trabalho de pavimentação.

Figura 12 Preparação do subleito.



Fonte: youtube.com.

4.2.3 Regularização

A regularização do subleito é uma operação realizada após o término dos trabalhos de limpeza e movimento de terra onde será implantado o pavimento. É uma camada irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, de acordo com o projeto geométrico. A regularização resume-se em corrigir algumas falhas de superfície da terraplenagem (SOUZA, 2004).

4.2.4 Reforço do Subleito

O reforço do subleito é obtido por tratamentos aplicados à superfície com a finalidade de aumentar a resistência do subleito, através de compactações realizadas com base no CBR – Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio), obtido através de controle de qualidade. É a camada que desempenha função semelhante à da sub-base, sem especificações definidas, apenas com condições de apresentar características de suporte superiores às do subleito. Geralmente o material constituinte é um solo argiloso selecionado, de boas características físicas e elevada resistência. A simples utilização do reforço do subleito indica um pavimento de elevada espessura advindo de um subleito de má qualidade, ou de um subleito de regulares condições associado a um tráfego intenso e pesado (SOUZA, 2004).

Figura 13 Utilização de geogrelhas para reforço do subleito reduzindo a espessura do pavimento.



Fonte: metalica.com.br.

4.2.5 Sub-base

Sub-base é a camada construída sob a base, com função semelhante desta, mas que por posição na estrutura já pode ter características inferiores às da base, pois recebe esforços menores. Deve ter estabilidade e capacidade de suporte, ótima capacidade para drenar água acumulada e reduzida suscetibilidade às variações volumétricas.

O material da sub-base deve ser de melhor qualidade do que o solo do subleito ou reforço do subleito. Muitos materiais alternativos têm sido usados com sucesso; recentemente tem-se utilizado como material de sub-base a brita graduada tratada com cimento (BGTC) com características de resistência maior que a camada de base granular, também podemos utilizar, por exemplo, o solo existente no subleito devidamente compactado, solo estabilizado, pedregulho, pedra britada e escória. Além da camada estrutural, a sub-base tem algumas funções secundárias que são: i) prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base; ii) prevenir o acúmulo de água livre no pavimento; e iii) proporcionar uma plataforma de trabalho para os equipamentos pesados utilizados na fase de construção do pavimento (SOUZA, 2004).

Figura 14 Preparação da sub-base da BR-116/RS (2013).



Fonte: gestaoambientalrodovias.blogspot.com.

4.2.6 Base

Abaixo do revestimento, fornecendo suporte estrutural. Sua rigidez alivia as tensões no revestimento e distribui as tensões nas camadas inferiores.

Segundo Souza (2004) a base é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos das cargas dos veículos e sobre a qual é construído o revestimento, situado acima da sub-base quando existente, ou diretamente sobre o subleito.

Os materiais mais comumente utilizados de produtos de britagem, misturas de solos e mistura de solos com materiais britados.

A base pode também ser executada com materiais tratados ou estabilizados com aglomerantes, como cimento Portland, betume, cal, cinzas volantes e mistura desses aglomerantes.

Quando são utilizadas bases “pozolânicas” revestidas com capas asfálticas, deve-se considerar que pode ocorrer a propagação de trincas transversais no revestimento.

Uma grande abundância de materiais pode ser usada, incluindo todos os tipos de agregados disponíveis nas proximidades da rodovia.

Devido à importância estrutural da camada de base Souza (2004) apresentou os tipos mais utilizados:

- Base de Brita Graduada – pode ser definida como uma base resultante da mistura, em usina ou “*in situ*”, de um agregado previamente dosado granulometricamente, contendo inclusive material de enchimento e água.

- Base de Brita Corrida – é uma camada constituída por produtos resultantes da britagem primária de rocha sã, enquadrados numa condição granulométrica contínua.
- Base de Macadame Hidráulico – é definida por compressão de agregado graúdo seguida do enchimento de seus vazios com agregado miúdo uniformemente distribuído, a princípio a seco e depois com ajuda de água. Diferencia-se das anteriores pelo tamanho do agregado pétreo principal, que nesse caso tem no máximo 10 cm de diâmetro médio.
- Base de Macadame Betuminoso – embora o nome macadame indique semelhança com macadame hidráulico, contudo é limitado a certos fatores. Esse tipo de base consiste na superposição de camadas de agregados britados, interligados entre si por pinturas de material betuminoso.
- Base de Solo Estabilizado Granulometricamente – consiste na utilização de solos naturais, rochas alteradas ou ainda de qualquer combinação desses materiais, de modo a oferecer, após umedecimento e compactação, boas condições de estabilidade.
- Base de Solo Cimento – pode ser definida como uma mistura íntima de solo, água e cimento, em proporções convenientes e previamente determinadas, mistura essa que, uniformizada e compactada, apresenta após a cura e cobertura por uma capa de rolamento, boas condições de durabilidade.
- Base de Solo Arenoso Fino Laterítico – é uma base de solo que predomina a fração areia fina, com pequenas porcentagens de silte e argila. Este solo é o característico das regiões tropicais e foi formado pelo processo pedológico de laterização.
- Base de Solo-Brita – pode ser dividida em solo arenoso-brita e solo argiloso-brita. A primeira constitui-se de uma mistura de solo arenoso fino laterítico e brita corrida, e a segunda, de solo com predomínio de argila, misturado com brita corrida. Para ambos os casos as porcentagens ideais das misturas devem ser definidas em estudos de laboratório.
- Brita Graduada Tratada com Cimento – é constituída de uma mistura usinada de brita graduada ou brita corrida, cimento e água, adequadamente estudada com relação ao teor de cimento, e devidamente compactada no campo. Tem sido utilizado como camada de sub-base.

As figuras 15 e 16 mostram tipos de bases do pavimento sendo executadas

Figura 15 Preparação da base de uma rodovia



Fonte: Felipe Cava.

Figura 16 Preparação da base de uma rodovia no interior de São Miguel do Oeste SMO-290 (2016).



4.2.7 Revestimento

É a camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destina-se técnica e economicamente a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e à segurança, resistir aos esforços horizontais que nele atuam, em função do movimento dos

veículos, tornando sua vida útil maior, resistir às forças abrasivas do tráfego e reduzir a penetração de água superficial no pavimento (SOUZA, 2004).

Um dos tipos mais empregados no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante (Bernucci *et al.*, 2008).

A massa para os revestimentos é geralmente preparada por misturas a quente, em usinas apropriadas, como o concreto asfáltico, por exemplo. Também pode ser obtida em usinas de mistura a frio, com emulsões asfálticas.

Devido ao grande número de materiais betuminosos disponíveis o seu uso pode ser resumido nos seguintes serviços, segundo Souza (2004):

- Pinturas Asfálticas – são serviços que consistem na aplicação de uma película de material asfáltico, que consistência líquida, sobre a superfície de uma camada do pavimento. Conforme as funções desejadas as pinturas asfálticas podem ser dos seguintes tipos:
 - a) Imprimação – pintura asfáltica realizada com objetivo de conferir coesão à superfície da camada pela penetração do ligante aplicado, atribuir à camada granular certo grau de impermeabilização e promover condições de aderência entre a base e a camada asfáltica a ser sobreposta;
 - b) Pintura de ligação – pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência em relação à camada asfáltica a ser sobreposta. A pintura de ligação pode ser aplicada sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um recapeamento, ou mesmo de um tratamento de rejuvenescimento, sobre pinturas asfálticas aplicadas anteriormente e que pela ação do tráfego e do tempo tenham perdido a sua potencialidade de promover aderência com a camada a ser sobreposta e como elemento de ligação entre duas camadas asfálticas;
 - c) Pintura de cura – pintura aplicada sobre camadas tratadas com cimento Portland ou cal hidratada, recém executadas, com função de evitar a perda acelerada de umidade e, consequentemente, promover adequadas condições para o desenvolvimento do processo de cura. Secundariamente, a pintura de cura desempenha a função de conferir aderência entre a camada tratada e o revestimento asfáltico a ser sobreposto.

- Macadame Betuminoso – é o serviço por penetração que envolve aplicações alternadas de ligante betuminoso e agregados minerais. O emprego deste tipo de serviço pode se dar como base ou revestimento, sendo neste último caso necessária a aplicação de uma capa selante. Diferencia-se do tratamento superficial devido à granulometria e a espessura.
- Concreto Asfáltico – é uma mistura asfáltica aqueente executada em usina apropriada constituída de agregado mineral graduado e cimento asfáltico, espalhada e comprimida a quente, com características de estabilidade, vazios e relação betume/vazios definidas nas especificações de serviços. Recebendo geralmente as seguintes designações:
 - a) Camada de rolamento – camada superior da estrutura destinada a receber diretamente a ação do tráfego. A mistura empregada deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego, mesmo sob condições climáticas e geométricas adversas;
 - b) Camada de ligação ou binder – camada posicionada imediatamente abaixo da camada de rolamento apresentando uma relação à mistura utilizada para camada de rolamento, diferenças de comportamento decorrentes do emprego de agregado de maior diâmetro máximo, de maior percentagem de vazios e menor relação betume/vazios;
 - c) Camada de nivelamento ou regularização – serviço executado com massa asfáltica de graduação fina, com a função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento e, simultaneamente, promover a selagem de fissuras existentes.
- Pré-Misturado a Quente Aberto – é a mistura asfáltica executada a quente em usina apropriada, composta por cimento asfáltico e agregado mineral preponderantemente graúdo, cuja graduação confere à mistura elevada percentagem de vazios ($Vv \geq 12\%$), sendo espalhada e comprimida a quente. A mistura é usualmente utilizada como camada intermediária, posicionada imediatamente abaixo de um revestimento do tipo concreto asfáltico. Sua utilização, no entanto, pode ser estendida a diversas aplicações as quais destacam-se as seguintes:
 - a) Camada de regularização em obras de restauração onde, além da função estrutural, deseja-se corrigir deformações da pista existente;

- b) Camada de revestimento recebendo uma capa selante;
- c) Camada delgada aplicada sobre revestimentos, para prevenção contra derrapagens, compondo-se a mistura, neste caso, com agregado de limitado diâmetro máximo.
- Lama Asfáltica ou Micro Revestimento Asfáltico a Frio – é a mistura resultante da associação, em consistência fluida, de agregados ou misturas de agregados miúdos, material enchimento (“filler”), água e emulsão asfáltica. A consistência da lama asfáltica e a graduação dos agregados empregados permitem que a mistura seja aplicada em espessuras bastante delgadas. O serviço tem especial aplicação no rejuvenescimento de superfícies asfálticas desgastadas, e na impermeabilização de revestimentos fissurados.
- Capa Selante – é o serviço executado por penetração invertida, envolvendo uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado miúdo. Sua execução tem por finalidade principal o melhoramento das condições de impermeabilidade da camada a ser tratada. A capa selante influencia na macro-rugosidade dos revestimentos melhorando as condições de aderência dos veículos no caso de certos tratamentos superficiais, de macadames asfálticos, pré-misturados de textura aberta e de misturas asfálticas densas desgastadas pela ação do tráfego e das intempéries.

Figura 17 Revestimento com asfalto quente está sendo aplicado no sentido Cruz Alta - Ibirubá



Foto: 5ª SR/Daer (2016)

A escolha do tipo de revestimento é uma questão econômica e técnica.

4.3 Defeitos de pavimentação

Como foi dito anteriormente, as patologias podem ser geradas de várias formas, desde a uma má execução dos materiais até a um desgaste por tempo de uso.

Do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos uma vez que afetam seu conforto. Quando o conforto é prejudicado, significa que o veículo também sofre mais intensamente as consequências desses defeitos. Essas consequências acarretam maiores custos operacionais, relacionados a maiores gastos com peças de manutenção dos veículos, com consumo de combustível e de pneus, com o tempo de viagem etc. Portanto, atender o conforto ao rolamento também significa economia nos custos de transporte. Modelos empíricos de desempenho mostram claramente a correlação entre a irregularidade e os custos operacionais (Geipot, 1981; Robinson, 1986).

4.3.1 Serventia

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento. O primeiro método estabelecido de forma sistemática para a avaliação funcional foi o da serventia de um dado trecho de pavimento, concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (*American Association of State Highway Officials*, hoje AASHTO, *American Association of State Highway and Transportation Officials*). O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento. Esta escala compreende cinco níveis de serventia, conforme expresso no Tabela 2, sendo também adotada no país pelo DNIT 009/2003-PRO (DNIT, 2003d).

Tabela 2 Níveis de serventia

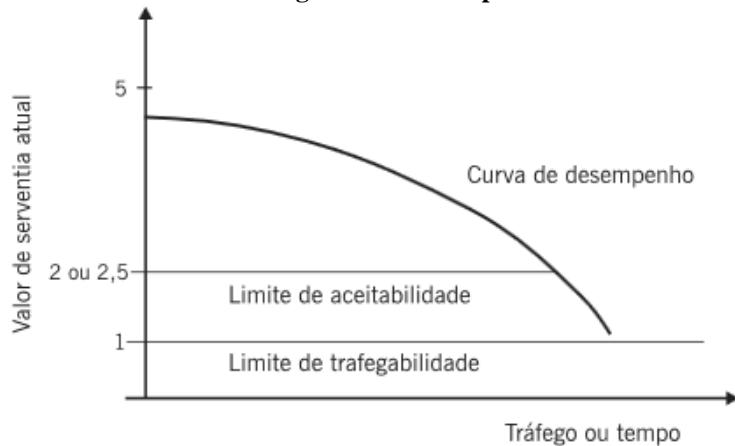
Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: (DNIT 2003d)

Nos Estados Unidos a avaliação subjetiva de conforto ao rolamento do pavimento é denominada *present serviceability ratio* (PSR), correspondendo no Brasil ao valor de serventia atual (VSA) (DNIT, 2003d). O VSA é, em geral, elevado logo após a construção do pavimento, quando bem executado pois este exibe uma superfície suave, praticamente sem irregularidades. A condição de perfeição, sem qualquer irregularidade (VSA = 5), não é encontrada na prática. Como exemplo, nas pistas experimentais da AASHO, na década de 1960, foram obtidos valores de serventia atual inicial de 4,2 para pavimentos asfálticos e de 4,5 para pavimentos de concreto de cimento Portland. Com o aprimoramento das técnicas construtivas, é possível obter nos dois tipos de pavimento valores iniciais mais próximos da nota 5. Portanto, o VSA, logo após o término da construção do pavimento, depende muito da qualidade executiva e das alternativas de pavimentação selecionadas.

O VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. A forma da curva de serventia com tempo decorrido de utilização da via é mostrada esquematicamente na Figura 18.

Figura 18 Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via



Fonte: AASHTO, 1993

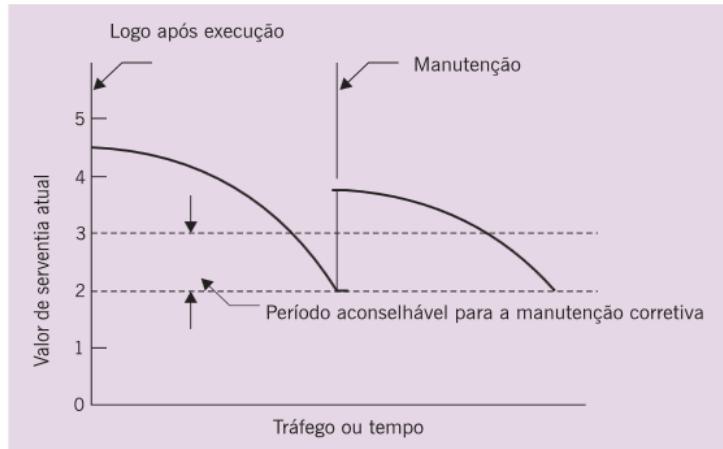
O clima contribui para a aceleração da deterioração do pavimento uma vez que a água da chuva pode provocar queda de capacidade de suporte. Como consequência, a estrutura ao ser solicitada pelo tráfego sofre maiores deslocamentos, provocando maiores danos estruturais e de superfície. O pavimento já trincado na superfície facilita a entrada de água. Com a evolução das trincas, o decréscimo do valor de serventia é ainda mais acentuado. A temperatura também afeta o comportamento dos materiais. O aumento da temperatura reduz a viscosidade dos ligantes asfálticos e a resistência das misturas asfálticas às deformações permanentes. Temperaturas muito baixas podem provocar

trincamento no revestimento asfáltico por retração e levam ainda ao seu enrijecimento que, se muito delgado, e construído sobre materiais muito deformáveis, fica mais suscetível ao trincamento por fadiga. (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Na figura 18 estão indicados dois limites: de aceitabilidade e de trafegabilidade. Para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável; este limite depende da categoria da rodovia e do tráfego.

O guia de dimensionamento de pavimentos norte-americano da AASHTO (1993) introduziu pioneiramente já na sua primeira versão da década de 1960, além do critério de resistência, também o critério de serventia para o cálculo das estruturas de pavimento. Esse método atribui como limite da aceitabilidade a nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais. Na prática, sempre que o valor de serventia atual atinge este patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada de modo a repor o índice a um valor superior – Figura 19. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica de modo a prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento. Caso não haja manutenção ou esta seja inadequada, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação na qual se torna necessária sua reconstrução. Este limite depende dos padrões estabelecidos, estando geralmente próximo ao valor de serventia atual de 1,0 – Figura 18.

Figura 19 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos

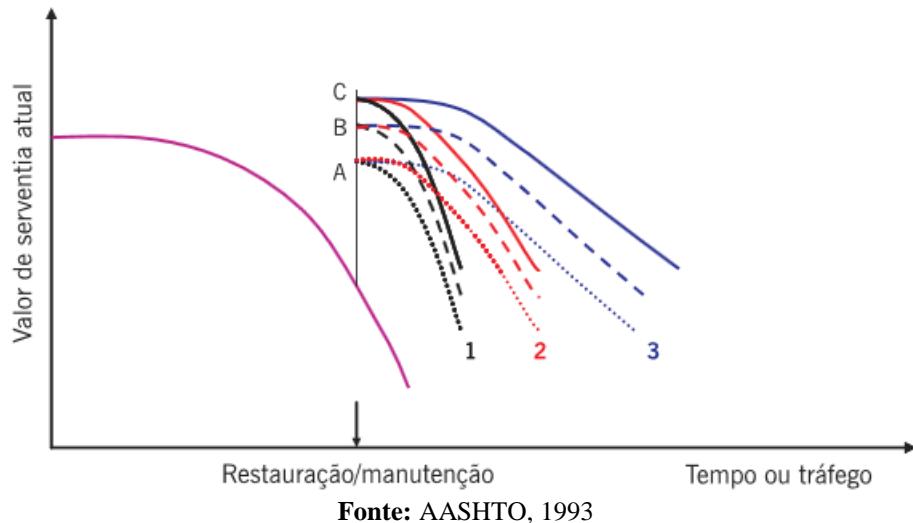


Fonte: AASHTO, 1993

Após manutenção corretiva, o valor de serventia eleva-se novamente podendo atingir valores menores, iguais ou maiores à serventia inicial do pavimento. Esta situação é representada na Figura 20 pelas letras A B e C. Este novo valor depende do tipo de revestimento asfáltico, da espessura projetada e da qualidade executiva. Após a

restauração do pavimento, a serventia volta a diminuir dependendo da estrutura original, do grau de deterioração em que se encontrava, e do tipo e espessura da camada de manutenção.

Figura 20 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos



4.3.2 Irregularidade Longitudinal

Segundo Bernucci *et al.* (2008) a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico que afeta a dinâmica do veículo, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

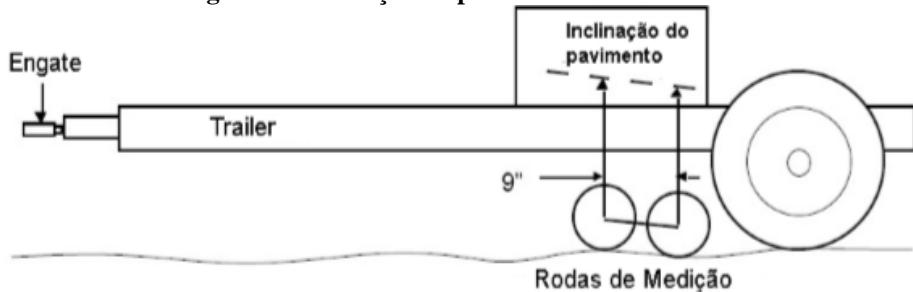
Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de IRI – *international roughness index* (índice de irregularidade internacional) que é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

A irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de roda, podendo em alguns casos haver o interesse de melhor detalhar o perfil, levantando-o em diversas linhas paralelas imaginárias. A linha de levantamento longitudinal possui uma largura variável de alguns milímetros a centímetros e depende do tipo de equipamento empregado.

Um exemplo de um equipamento para medição do IRI – *international roughness index* (índice de irregularidade internacional) é o perfilômetro CHLOE desenvolvido para o AASHO Road Test, representado na Figura 21, que leva este nome devido às iniciais

principais dos engenheiros que trabalharam no seu desenvolvimento: “Carey, Hutchkins, Lathers and Other Engineers”.

Figura 21 Ilustração do perfilômetro CHLOE



Fonte: Gillespie (1992).

4.3.3 Defeitos de Superfície

Os defeitos de superfície são danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003-TER-DNIT, 2003a). O levantamento dos defeitos de superfície tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e embasa o diagnóstico da situação funcional para subsidiar a definição de uma solução tecnicamente adequada e, em caso de necessidade, indicar a melhor ou melhores alternativas de restauração do pavimento. Na gerência de pavimentos ou de manutenção, o conjunto de defeitos de um dado trecho pode ser resumido por índices que auxiliem na hierarquização de necessidades e alternativas de intervenção.

Os defeitos de superfície podem aparecer em três períodos de tempo, precocemente (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries).

Entre os erros ou inadequações que levam à redução da vida de projeto, Bernucci *et al.* (2018) destaca os seguintes fatores, agindo separada ou conjuntamente:

- Erros de projeto: Decorrem de diferentes fatores, muitos comumente relacionados à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto. Essa dificuldade advém da ausência de dados de tráfego local ou da falta de planejamento estratégico regional, o que leva ao desconhecimento das taxas de crescimento real. Também é difícil quantificar o volume de tráfego gerado por uso não previsto em projeto, tais como utilização como via alternativa pelo maior conforto ao rolamento ou por não ser cobrado o pedágio. Deve-se incluir nessas falhas de prognóstico a dificuldade de prever o excesso de carga, comumente

praticado em muitas rodovias brasileiras não controladas por balança. Ainda podem ocorrer erros ou problemas no dimensionamento estrutural, tais como: incompatibilidade estrutural entre as camadas gerando fadiga precoce dos revestimentos (ex.: revestimento asfáltico com módulo de resiliência muito elevado – alta rigidez, e muito delgado sobre camadas muito resilientes ou deformáveis); especificação em projeto de material inexistente ou de difícil disponibilidade local, obrigando substituições incorretas durante a obra; concepção estrutural que permita aprisionamento de água na estrutura de pavimento e falhas no sistema de drenagem; ou mesmo subdimensionamento estrutural, seja por erro de projeto ou erro na previsão da capacidade de suporte dos materiais.

- Erros ou inadequações na seleção de materiais, na dosagem ou na produção de misturas: Destacam-se alguns exemplos ilustrativos: seleção incorreta de solo para reforços do subleito ou para misturas; seleção imprópria de agregados e de graduação para compor bases e sub-bases, ou ainda revestimentos asfálticos; dosagem incorreta de materiais estabilizados com cimento ou cal; dosagem incorreta do teor de ligante asfáltico nas misturas asfálticas; variações de materiais e teores durante a usinagem; uso de temperatura inadequada na usinagem das misturas asfálticas, entre outros.
- Erros e problemas construtivos: Destacam-se alguns exemplos, espessuras menores que as previstas em projeto; falta de compactação apropriada das camadas, causando deformações e afundamentos excessivos ou rupturas localizadas; técnica de compactação inadequada, com uso de equipamentos de baixa eficiência; compactação de misturas asfálticas em temperaturas inadequadas ou variabilidade de temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação; erros nas taxas de imprimação ou de pintura de ligação, entre outros.
- As inadequações na seleção de alternativas de conservação e manutenção: Podem causar novos defeitos, como por exemplo: reforço de revestimento asfáltico delgado de rigidez elevada sobre pavimento muito trincado possibilitando a reflexão de trincas precocemente; tratamentos superficiais delgados para redução de irregularidade; restauração com revestimentos permeáveis sobre superfícies já muito trincadas, permitindo a entrada de água, entre outros.

Antes da escolha de qualquer alternativa de restauração ou aplicação de qualquer critério numérico ou normativo para cálculo de reforços, um bom diagnóstico geral dos defeitos de superfície é imprescindível para o estabelecimento da melhor solução. Portanto, para corrigir ou minimizar uma consequência (defeito), deve-se conhecer as prováveis causas que levaram ao seu aparecimento. Para tanto, recomenda-se: verificação *in situ* dos problemas de superfície, relações com as condições geométricas, dos taludes e de drenagem; levantamento de dados climáticos, de tráfego, de mapas geológicos, pedológicos ou geotécnicos; levantamento de memórias técnicas e de relatórios de projeto e de controle; e estabelecimento de um cenário global dos defeitos e sua relação com todos os dados observados e levantados.

4.3.3.1 Terminologias e tipos de defeitos

Para a classificação dos defeitos, utiliza-se a norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os tipos de defeitos catalogados pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

4.3.3.1.1 Fendas

As fendas são aberturas na superfície asfáltica e podem ser classificadas como fissuras, quando a abertura é perceptível a olho nu apenas à distância inferior a 1,5m, ou como trincas, quando a abertura é superior à da fissura. As fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas dependendo da tipologia e da gravidade (Bernucci *et al.*, 2008).

As fendas são caracterizadas pelo tipo de gravidade ou como a literatura trata, por classes: classe 1, fendas com abertura não superior a 1mm; classe 2, fendas com abertura superior a 1mm; classe 3, fendas com abertura superior a 1mm e desagregação ou erosão junto às bordas.

Quanto ao tipo, as trincas podem ser classificadas por trincas isoladas que podem ser: transversais curtas (TTC) ou transversais longas (TTL), longitudinais curtas (TLC) ou longitudinais longas (TLL), ou ainda de retração (TRR). As trincas interligadas são

subdivididas em: trincas de bloco (TB) quando tendem a uma regularidade geométrica, ou ainda (TBE) quando as trincas de bloco apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas; ou trincas tipo couro de jacaré (J) quando não seguem um padrão de reflexão geométrico de trincas como as de bloco e são comumente derivadas da fadiga do revestimento asfáltico, ou ainda (JE) quando as trincas tipo couro de jacaré apresentam complementarmente erosão junto às suas bordas (Bernucci *et al.*, 2008).

As fendas são o tipo de patologia mais comum perante um pavimento flexível, pois com o agravamento das mesmas com a questão do tráfego e o tempo de uso, é que aparecerão outros tipos de patologias como por exemplo as panelas (P) e as trincas com erosão.

Figura 22 Fendas



22(a) Trincas isoladas curtas longitudinais (TLC)



22(b) Trincas longitudinais longas (TLL)



22(c) Trinca de retração (TRR)



22(d) Trinca de retração (TRR)



22(e) Trincas de bloco com erosão (TBE)



22(f) Trincas de bloco sem erosão (TB)



22(g) Trinca tipo couro de jacaré com erosão (JE)



22(h) Trinca tipo couro de jacaré (J)



21(i) Conjunto de trincas longitudinais longas



22(j) Trincas de retração

Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Bernucci *et al.* (2008), cita também alguns motivos para a ocorrência das fendas; para a trinca longitudinal curta (TLC), os motivos prováveis são: falhas na execução, na temperatura de compactação ou mesmo na dosagem da mistura asfáltica ou envelhecimento do ligante asfáltico; para a trinca longitudinal longa (TLL): falhas executivas, recalques diferenciais, podem também aparecer junto à trilha de roda ou como falha de juntas longitudinais de diferentes frentes de compactação ou o envelhecimento do ligante asfáltico; para as trincas tipo couro de jacaré (J) e (JE), várias são as causas que podem gerar o trincamento, entre elas: ação da repetição de cargas do tráfego, ação climática – gradientes térmicos, envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade seja pelo tempo de exposição seja pelo excesso de temperatura na usinagem, compactação deficiente do revestimento, deficiência no teor de ligante asfáltico, subdimensionamento, rigidez excessiva do revestimento em estrutura com elevada deflexão, reflexão de trincas de mesma natureza, recalques diferenciais, entre outros.

4.3.3.1.2 Afundamentos

Outro defeito importante são os afundamentos derivados de deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito. Os afundamentos são classificados como: afundamento por consolidação (AC), quando as depressões ocorrem por densificação diferencial, podendo ser localizado (ALC) quando a extensão não supera 6m, ou longitudinal nas trilhas de roda (ATC) no

caso que exceda 6m de extensão; ou afundamentos plásticos (AP), quando as depressões são decorrentes principalmente da fluênciça do revestimento asfáltico, podendo ser localizado (ALP) ou longitudinal nas trilhas de roda (ATP). Em geral, neste último tipo de afundamento, há certa compensação volumétrica, com solevamento da massa asfáltica junto às bordas do afundamento (Bernucci *et al.*, 2008).

Figura 23 Afundamentos



23(a) Afundamento por consolidação em trilha de roda (ATC)



23(b) Afundamento por consolidação localizado (ALC)



23(c) Afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP)

Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Bernucci *et al.* (2008), cita alguns motivos para a ocorrência dos afundamentos; para o afundamento por consolidação em trilha (ATC): afundamento decorrente de densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento, pode também ocorrer por descolamento de película de asfalto junto ao agregado (stripping), em geral desenvolvem-se trincas dentro das trilhas de roda ou à sua borda, geralmente sem compensação volumétrica lateral, a não ser em alguns casos de ruptura por cisalhamento; para o afundamento por consolidação localizado (ALC): problemas ou deficiências construtivas, falhas de compactação, presença de solo “borrachudo”; problemas de drenagem, rupturas por cisalhamento localizadas, em geral, desenvolvem-se trincas nas depressões; para o afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP): falha na dosagem de

mistura asfáltica – excesso de ligante asfáltico, falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante, em geral com solevamento lateral – compensação volumétrica junto à depressão.

4.3.3.1.3 Ondulações e Corrugações

As corrugações (O) são deformações transversais ao eixo da pista, em geral compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros. As ondulações (O) são também deformações transversais ao eixo da pista, em geral decorrentes da consolidação diferencial do subleito, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda entre duas cristas da ordem de metros. Ambas são classificadas pela letra (O) na norma brasileira, embora sejam decorrentes de fenômenos diferentes (Bernucci *et al.*, 2008).

Figura 24 Corrugação (O)



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Bernucci *et al.* (2008), cita alguns motivos para a ocorrência da corrugação e ondulação (O): corrugação devido à fluência da massa asfáltica – comprimento de onda da ordem de centímetros a dezenas de centímetros, em geral ocorre em área de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas, entre outros locais. Não se deve confundir com a ondulação causada por adensamento diferencial do subleito que provoca comprimentos de ondas da ordem de metros.

4.3.3.1.4 Exsudação

A exsudação (EX) é caracterizada pelo surgimento de ligante em abundância na superfície, como manchas escurecidas, decorrente em geral do excesso do mesmo na massa asfáltica (Bernucci *et al.*, 2008).

Figura 25 Exsudação



25(a) Exsudação (EX)
(Foto: Moura, 2004)



25(b) Detalhe de exsudação (EX)
Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Bernucci *et al.* cita alguns motivos para a ocorrência da exsudação (EX): falhas de dosagem provocando excesso de ligante em alguns pontos ou de maneira generalizada, pode ocorrer por segregação de massa, com concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros, ou ainda por cravamento de agregados em base e ascensão de ligante à superfície.

4.3.3.1.5 Desgaste

O desgaste (D) ou ainda desagregação decorre do desprendimento de agregados da superfície ou ainda da perda de mástique junto aos agregados (Bernucci *et al.*, 2008).

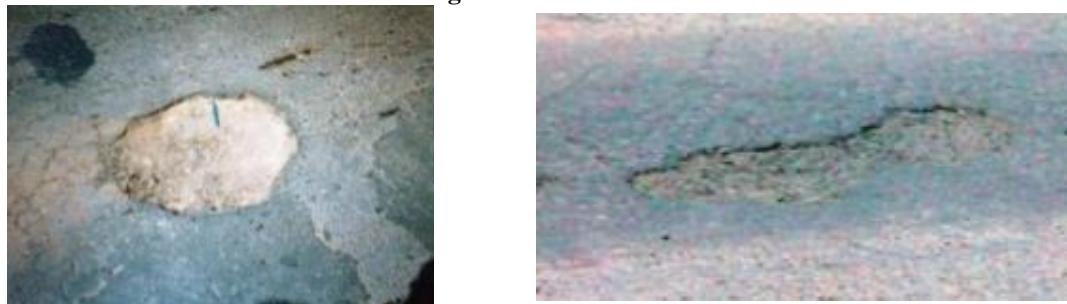
Figura 26 Desgaste

Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

Bernucci *et al.* (2008) cita algumas prováveis causas para a ocorrência do desgaste (D): falhas de adesividade ligante-agregado (stripping), presença de água aprisionada e sobre pressão em vazios da camada de revestimento gerando descolamento de ligante (stripping), problemas de dosagem – deficiência no teor de ligante, falhas de bico em tratamentos superficiais, problemas executivos ou de projeto de misturas – segregação de massa asfáltica, entre outros.

4.3.3.1.6 Panela

A panela (P) ou buraco é uma cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes (principalmente a base).

Figura 27 Panela

Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

Bernucci *et al.* (2008), cita algumas prováveis causas para a ocorrência da panela (P): local onde havia trincas interligadas e com a ação do tráfego e intempéries houve remoção do revestimento ou mesmo de parte da base; falha construtiva – deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, falha na imprimação; desagregação por falha na dosagem, stripping ou ainda segregação. Na foto (b): falha na pintura de ligação em camadas de revestimento causando o destacamento ou “despelamento”.

4.3.3.1.7 Remendo

O remendo (R) é um tipo de defeito apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície e caracteriza-se pelo preenchimento de panelas ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica (Bernucci *et al.*, 2008).

É caracterizado como um tipo de defeito pois trata-se de um local com um certo grau de fragilidade do revestimento e por provocar danos ao conforto ao rolamento.

Figura 28 Remendo



28(a) Remendo mal executado (R)

28 (b) Remendo bem executado (R)

Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

4.3.3.1.8 Escorregamento

O escorregamento (E) é decorrente de fluência do revestimento asfáltico. Uma das possíveis causas é escorregamento do revestimento asfáltico por falhas construtivas e de pintura de ligação.

Figura 29 Escorregamento**Fonte:** Bernucci *et al.* (2008)

Outros defeitos, apesar de não acarretarem prejuízo nos indicadores do tipo IGG, são também importantes e devem ser considerados para uma análise da solução de restauração: escorregamento do revestimento asfáltico, polimento de agregados, bombeamento de finos, trincas distintas das anteriores como trincas de borda próximas aos acostamentos e parabólicas, falhas do bico espargidor, desnível entre pista e acostamento, marcas impressas na superfície – marcas de pneus, empolamento ou elevações por expansão ou raízes de árvores, entre outros (Bernucci *et al.*, 2008).

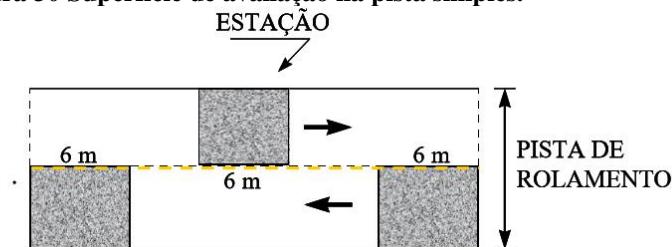
5. METODOLOGIA

Este trabalho se caracteriza como estudo de caso na cidade de Caruaru-PE, baseado na avaliação objetiva da superfície de pavimento flexíveis e semirrígido para o cálculo do IGG (Índice de Gravidade Global), pela norma do DNIT 006/2003 PRO (DNIT, 2003b). Como já visto anteriormente, a avenida em estudo tem uma enorme importância para a cidade de Caruaru e por isso deve-se atentar a mantê-la em bom estado de trafegabilidade. O levantamento tem caráter exploratório, apresentando resultados analisados pelo método em questão.

5.1 Índice de Gravidade Global (IGG)

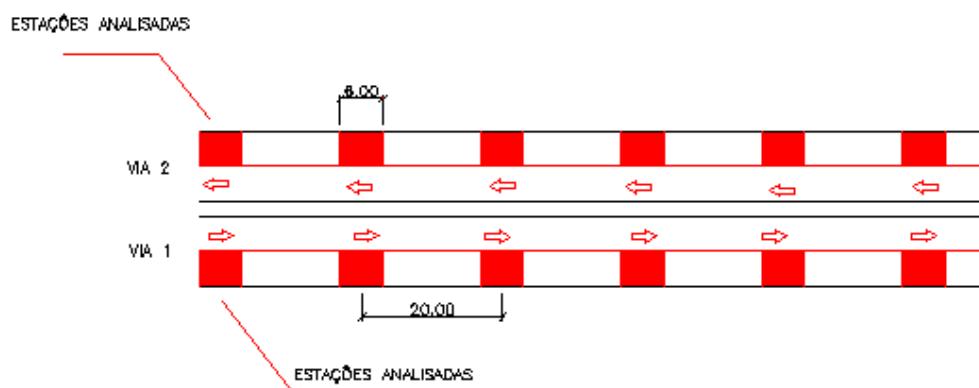
O IGG não é determinado para toda a área da pista, mas de forma amostral para algumas estações com área e distanciamento entre elas prefixados pela especificação do DNIT. As estações são inventariadas nas rodovias de pista simples a cada 20m, alternados entre faixas, portanto, em cada faixa a cada 40m; nas rodovias de pista dupla, a cada 20m, na faixa mais solicitada pelo tráfego, em cada uma das pistas; como mostra a figura 30 e 31, a seguir:

Figura 30 Superfície de avaliação na pista simples.



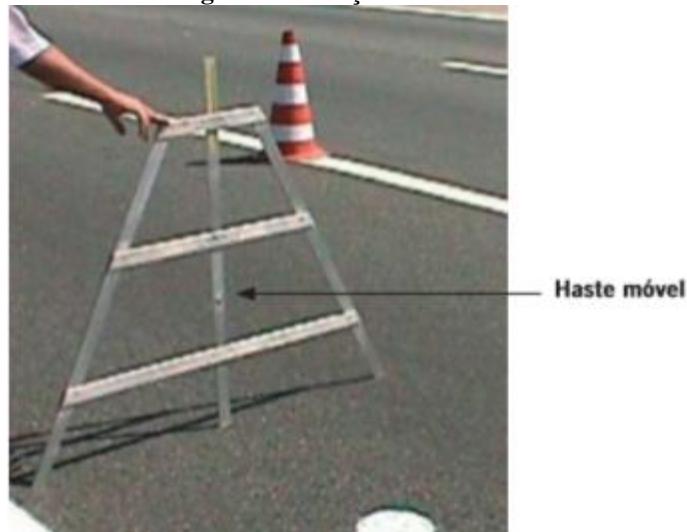
Fonte: Bernucci et al. (2008).

Figura 31 Superfície de avaliação na pista dupla.



Quanto aos equipamentos utilizados, tem-se a treliça de alumínio padronizada com 1,20m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda; e os equipamentos e material auxiliar para localização e demarcação na pista das estações de avaliação; tais como: trena com no mínimo 20 metros, giz, tinta, pincel, formulários, etc. (DNIT 006/2003-PRO). A figura 32 abaixo mostra a treliça de alumínio utilizada para medir os afundamentos em trilha de roda da rodovia.

Figura 32 Treliça de Alumínio.



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

A Norma também apresenta algumas condições de aplicação, tais como:

- quando se desejar, além de um parâmetro definidor das condições de superfície do pavimento, um inventário de ocorrências e suas prováveis causas, possibilitando obter uma avaliação mais rica em pormenores;
- como uma etapa preliminar, para julgamento da necessidade de ser feita uma avaliação estrutural do pavimento e como um complemento desta avaliação;

NOTA 1: No caso de rodovia de pista única, devem ser avaliadas as duas faixas de tráfego, e mais a 3^a faixa (em separado) quando houver.

NOTA 2: No caso de rodovia com mais de uma pista, devem ser avaliadas as faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista.

5.1.1 Execução

Primeiramente, houve a marcação da superfície que avaliada, tendo em vista a tipologia da pista em questão, segundo as figuras 29 e 30. Em seguida foi feita a

demarcação das superfícies de avaliação que devem ser feitas sobre o pavimento, por meio de pintura com tinta de demarcação. Cada estação recebeu o número correspondente à estaca ou distância ao marco quilométrico, número este pintado junto à borda do revestimento (DNIT 006/2003-PRO).

Para medição das flechas foi utilizado a treliça de alumínio exemplificada na figura 31, deve-se medir em milímetros em cada estação demarcada. Essas medidas são executadas nas trilhas internas (TRI) e nas externas (TRE), adotando-se o maior valor medido para cada trilha. Caso a estação tenha apresentado remendo ou panela que inviabilize a medida da flecha, a treliça foi deslocada, com a condição de se obter uma flecha no interior da área previamente demarcada (DNIT 006/2003-PRO).

Para a realização dos inventários de ocorrências (ver Anexo A), em cada área demarcada anota-se a presença de qualquer ocorrência (defeito) no pavimento, segundo a norma DNIT 005/2003-TER. A norma também visa alguns pontos de particularidades:

- a) Para efeito desta norma todas as trincas isoladas foram anotadas como do Tipo 1.
- b) Os Remendos Superficiais e Remendos Profundos foram anotados como Remendos - R.
- c) Deve ser anotado, ainda, o tipo de seção de terraplenagem ocorrente na estação de avaliação (A = Aterro, C = Corte, SMA = Seção mista, lado de aterro, SMC = Seção mista, lado de corte, CR = Corte em rocha, PP = Ponto de passagem).

5.2 Cálculos

5.2.1 Frequências absolutas e relativas

Para a realização do cálculo do IGG é necessário calcular as frequências relativas e absolutas de acordo com a codificação da Norma DNIT 005/2003-TER (ver anexo B).

Segundo a Norma, cada tipo de defeito foi separado em 8 tipos:

- Tipo 1 - Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR);

NOTA 1: No caso particular desta Norma, todas as Trincas Isoladas (ver Anexo C) foram consideradas como sendo do Tipo 1 para efeito de ponderação.

- Tipo 2 - FC-2 (J e TB);
- Tipo 3 - FC-3 (JE e TBE);
- Tipo 4 - ALP e ATP;
- Tipo 5 - O e P;

- Tipo 6 - EX;
- Tipo 7 - D;
- Tipo 8 - R.

NOTA 2: No caso particular desta Norma os Remendos Superficiais e Remendos Profundos (ver Anexo C) serão anotados como Remendos - R para efeito de ponderação.

A frequência absoluta (f_a) corresponde ao número de vezes que a ocorrência foi verificada, e a frequência relativa (f_r) é obtida através da equação:

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n}$$

onde:

f_r = frequência relativa;

f_a = frequência absoluta;

n = número de estações inventariadas.

5.2.2 Parâmetros para as flechas medidas

Para as flechas medidas com a treliça de alumínio, foram calculados os seguintes parâmetros dependendo do tipo de pista, segundo a Norma DNIT 006/2003 PRO (DNIT, 2003b).

- Para rodovia de pista simples, a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das flechas medidas nas TRI e nas TRE de ambas as faixas de tráfego. No caso de “terceiras faixas”, estes parâmetros devem ser considerados separadamente;
- para as rodovias de pista dupla, a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das flechas medidas nas TRI e TRE das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista, separadamente.

As equações para o cálculo da média e da variância dos valores de flecha TRI e TRE, são as seguintes:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

onde:

\bar{x} – Média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

x_i – Valores individuais;

s – Desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

s^2 – Variância.

5.2.3 Índice de gravidade individual (IGI)

Segundo a norma do DNIT, para cada uma das ocorrências inventariadas foi calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela equação:

$$IGI = f_r \times f_p$$

Onde:

f_r – frequência relativa;

f_p – fator de ponderação, obtido de acordo com a tabela 3

A norma também mostra que para a média aritmética das médias das flechas e para a média aritmética das variâncias das flechas, o fator de ponderação a utilizar depende do valor das médias aritméticas, conforme o critério a seguir estabelecido:

- quando a média aritmética das médias das flechas for igual ou inferior a 30, o fator de ponderação é igual a 4/3; quando superior a 30, o Índice de Gravidade Individual é igual a 40;
- quando a média das variâncias das flechas for igual ou inferior a 50, o fator de ponderação é igual a 1 (um); quando superior a 50, o Índice de Gravidade Individual é igual a 50.

Tabela 3 Valor do Fator de Ponderação

Ocorrência tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER “Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia” (ver item 6.4 e Anexo C)	Fator de Ponderação f_p
1	Fissuras e Trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,20
2	FC-2 (J e TB)	0,50
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (f_r) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,80
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,90
5	O, P, E	1,00
6	EX	0,50
7	D	0,30
8	R	0,60

Fonte: DNIT 006/2003-PRO.

Para efeito de cálculo da frequência em cada estação, serão observados os defeitos por tipo (coluna 1 - formulário de inventário apresentado no anexo A). Ou seja, defeitos

diferentes, mas pertencentes ao mesmo tipo (exemplo tipo 2:J e JB), contam uma única vez, mesmo que ocorram simultaneamente

5.2.4 Cálculo do índice de gravidade Global (IGG)

Segundo a norma DNIT 006/2003 PRO, o índice de gravidade global (IGG) é obtido por meio da equação:

$$IGG = \sum IGI$$

onde:

ΣIGI - somatório dos Índices de Gravidade Individuais, calculados de acordo com o estabelecido no item 5.1.2.3. O Índice de Gravidade Global deve ser calculado para cada trecho homogêneo (Anexo B).

5.2.5 Conceito de degradação do pavimento

Segundo a norma, a partir do valor do IGG do segmento estudado, temos uma faixa de limites para cada grau de degradação atingido. O quadro a seguir apresenta as faixas com os limites.

Tabela 4 Conceitos do índice de gravidade global IGG por faixa de valores

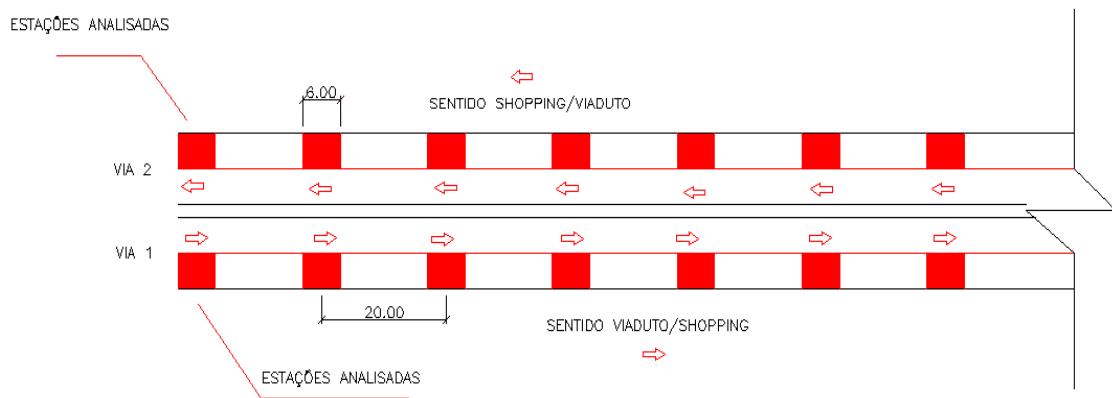
Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: DNIT 006/2003-PRO.

5.3 Estudo de Caso: Avenida Adjair da Silva Casé

A avenida Adjair da Silva Casé na cidade de Caruaru-PE, tem como característica em relação a sua via ser uma via de pista dupla, ou seja, se enquadra no caso do levantamento que apresenta na Figura 31 apresentada anteriormente. Sabendo disso, a avenida foi separada em dois sentidos o Viaduto Dr. Galvão Cavalcanti para o Caruaru Shopping, e o sentido contrário, do Caruaru Shopping para o Viaduto. A contagem das estações de ambas as vias foi iniciada do viaduto em direção ao shopping.

Figura 33 Representação das estações analisadas para o cálculo do IGG.



Os materiais empregados para a execução das estações foram, pincel, tinta da cor branca e trena de 50 metros. Os materiais para o levantamento das patologias em cada estação foram, lápis grafite e o formulário do inventário de superfície (Anexo A).

5.3.1 Patologias encontradas na avenida Adjair da Silva Casé

A seguir é ilustrado uma amostragem de algumas patologias encontradas na avenida Adjair da Silva Casé.

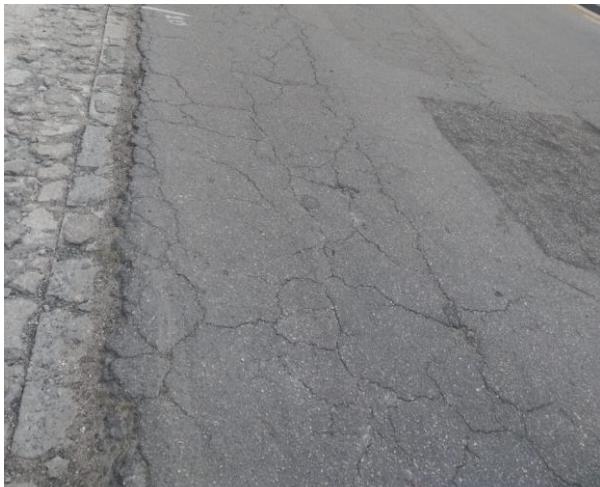
Figura 34 Patologias encontradas na avenida Adjair da Silva Casé



34(a) Panela



34(b) Trincas tipo couro de jacaré com erosão



34(c) Trinca tipo couro de jacaré, ATC e Remendo



34(e) Presença de água degradando o pavimento



34(d) Trincas transversais curtas (TTC)



34(f) Afundamento Consolidação Local

6. RESULTADOS

Por meio da caracterização das patologias da avenida estudada, após ter realizado o levantamento, obteve-se o cálculo das frequências absolutas e relativas preenchendo o anexo B para cada trecho da avenida.

A contagem da frequência em cada estação, foi considerado como estabelece a metodologia apresentada. Tendo os seguintes resultados para cada via.

6.1 Via 1 (sentido Viaduto – Caruaru Shopping)

As tabelas 5, 6, 7, 8, 9 e 10 a seguir demonstram os trechos (segmentos) que foram avaliados para esta via; nelas apresentam o tipo do defeito, a natureza do defeito, a frequência absoluta (f_a) e relativa (f_r), o fator de ponderação, o índice de gravidade individual (IGI) e o índice de gravidade global (IGG). Tendo um total de 36 estações avaliadas no trecho da via 1, separou-se em 6 trechos com 6 estações cada um, para ter uma avaliação da via com mais detalhes e observar quais trechos estão com maior grau de degradação.

Tabela 5 Cálculo do IGG do TRECHO 1 (1-6) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	33%	0,20	6,67
2	(FC II) J, TB	4	67%	0,50	33,33
3	(FC III) JE, TBE	0	0%	0,80	-
4	ALP, ATP, ALC, ATC	4	67%	0,90	60,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	4	67%	0,30	20,00
8	R	2	33%	0,60	20,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,50	0,58	0,54	0,14
10	$FV = (TRIv + TREv)/2$	0,30	0,24	0,27	0,27
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$ IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		
Índice de Gravidade Global		140,41			

Para o trecho 1, o IGG foi equivalente à 140,41 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho.

Para o trecho 2, o IGG foi equivalente à 93,36 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho. Comparando com o primeiro trecho, este se aproxima bem mais da outra faixa de IGG, ou seja, este trecho está bem mais conservado do que o primeiro.

Tabela 6 Cálculo do IGG do TRECHO 2 (7-12) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	3	50%	0,20	10,00
2	(FC II) J, TB	1	17%	0,50	8,33
3	(FC III) JE, TBE	1	17%	0,80	13,33
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0	0%	0,90	-
5	O, P	1	17%	1,00	16,67
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	3	50%	0,30	15,00
8	R	3	50%	0,60	30,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,08	-	0,04	0,01
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	0,04	-	0,02	0,02
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$		
Índice de Gravidade Global		93,36	IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		

Tabela 7 Cálculo do IGG do TRECHO 3 (13-18) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	33%	0,20	6,67
2	(FC II) J, TB	1	17%	0,50	8,33
3	(FC III) JE, TBE	3	50%	0,80	40,00
4	ALP, ATP, ALC, ATC	4	67%	0,90	60,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	5	83%	0,30	25,00
8	R	5	83%	0,60	50,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,33	0,75	0,54	0,14
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	0,27	0,98	0,62	0,62
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$		
Índice de Gravidade Global		190,76	IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		

Para o trecho 3, o IGG foi equivalente à 190,76 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação péssima para esse trecho.

Tabela 8 Cálculo do IGG do TRECHO 4 (19-24) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	33%	0,20	6,67
2	(FC II) J, TB	1	17%	0,50	8,33
3	(FC III) JE, TBE	2	33%	0,80	26,67
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1	17%	0,90	15,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	6	100%	0,30	30,00
8	R	3	50%	0,60	30,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,25	0,50	0,38	0,09
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	0,38	0,70	0,54	0,54
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$		
Índice de Gravidade Global		117,30	IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		

Para o trecho 4, o IGG foi equivalente à 117,30 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho.

Tabela 9 Cálculo do IGG do TRECHO 5 (25-30) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0%	0,20	-
2	(FC II) J, TB	5	83%	0,50	41,67
3	(FC III) JE, TBE	0	0%	0,80	-
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1	17%	0,90	15,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	6	100%	0,30	30,00
8	R	5	83%	0,60	50,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,17	0,33	0,25	0,06
10	$FV = (TRIv + TREv)/2$	0,17	0,67	0,42	0,42
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$		
Índice de Gravidade Global		137,15	IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		

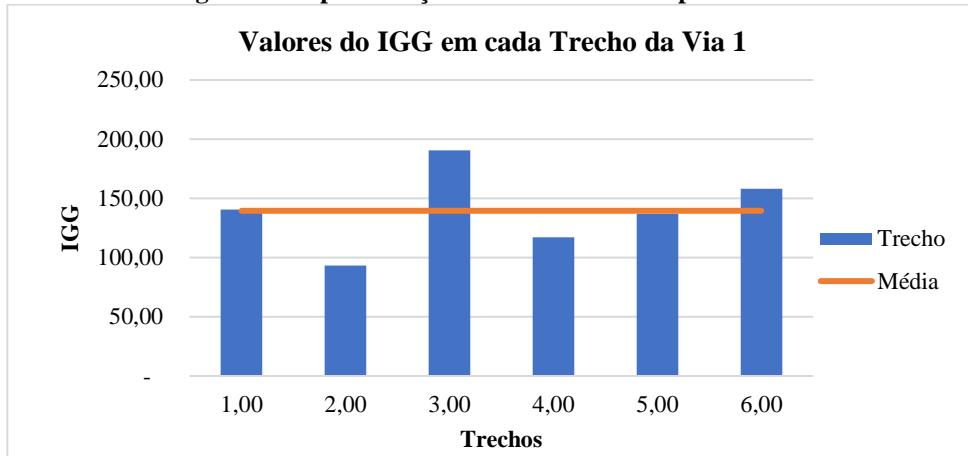
Para o trecho 5, o IGG foi equivalente à 137,15 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho.

Tabela 10 Cálculo do IGG do TRECHO 6 (30-36) da Via 1

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	33%	0,20	6,67
2	(FC II) J, TB	0	0%	0,50	-
3	(FC III) JE, TBE	3	50%	0,80	40,00
4	ALP, ATP, ALC, ATC	3	50%	0,90	45,00
5	O, P	1	17%	1,00	16,67
6	EX	1	17%	0,50	8,33
7	D	6	100%	0,30	30,00
8	R	1	17%	0,60	10,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,83	0,67	0,75	0,19
10	$FV = (TRIv + TREv)/2$	0,97	1,47	1,22	1,22
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$		
Índice de Gravidade Global		158,07	IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		

Para o trecho 6, o IGG foi equivalente à 158,07 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho, estando praticamente no limite do intervalo.

O gráfico abaixo, mostra uma visão geral do IGG da rodovia Adjair da Silva Casé (Via 1). O gráfico informa também os valores do IGG para toda a via tendo uma média de 139,50 para o sentido Viaduto – Shopping, em média uma avaliação considerada ruim do pavimento segundo a norma do DNIT.

Figura 35 Representação do cálculo do IGG para a Via 1

6.1 Via 2 (sentido Caruaru Shopping - Viaduto)

As Tabelas 11, 12,13,14,15 e 16 a seguir demonstram os trechos que foram avaliados para via 2; nelas apresentam o tipo do defeito, a natureza do defeito, a frequência absoluta (f_a) e relativa (f_r), o fator de ponderação, o índice de gravidade individual (IGI) e o índice de gravidade global (IGG). Assim como foi feito na via 1, a via 2 será do mesmo modo, tendo um total de 36 estações avaliadas no trecho da via e separada em 6 trechos com 6 estações cada uma.

Tabela 11 Cálculo do IGG do TRECHO 1 (1-6) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	3	50%	0,20	10,00
2	(FC II) J, TB	2	33%	0,50	16,67
3	(FC III) JE, TBE	0	0%	0,80	-
4	ALP, ATP, ALC, ATC	0	0%	0,90	-
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	4	67%	0,30	20,00
8	R	1	17%	0,60	10,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	-	-	-	-
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	-	-	-	-
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$ IGI = FV quando $FV < 50$ IGI = 40 quando $F > 30$ IGI = 50 quando $FV > 50$		
Índice de Gravidade Global		56,67			

Para o trecho 1, o IGG foi equivalente à 56,67 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação regular para esse trecho.

Tabela 12 Cálculo do IGG do TRECHO 2 (7-12) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	1	17%	0,20	3,33
2	(FC II) J, TB	0	0%	0,50	-
3	(FC III) JE, TBE	3	50%	0,80	40,00
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1	17%	0,90	15,00
5	O, P	1	17%	1,00	16,67
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	5	83%	0,30	25,00
8	R	3	50%	0,60	30,00
9	F = (TRI+TRE)/2	0,17	0,08	0,13	0,03
10	FV = (TRIv + TREv)/2	0,17	0,04	0,10	0,10
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = (F x 1/4) quando F < 30 IGI = FV quando FV < 50		
Índice de Gravidade Global		130,14	IGI = 40 quando F > 30 IGI = 50 quando FV > 50		

Para o trecho 2, o IGG foi equivalente à 130,14 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho.

Tabela 13 Cálculo do IGG do TRECHO 3 (13-18) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	33%	0,20	6,67
2	(FC II) J, TB	1	17%	0,50	8,33
3	(FC III) JE, TBE	3	50%	0,80	40,00
4	ALP, ATP, ALC, ATC	2	33%	0,90	30,00
5	O, P	1	17%	1,00	16,67
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	5	83%	0,30	25,00
8	R	4	67%	0,60	40,00
9	F = (TRI+TRE)/2	-	0,50	0,25	0,06
10	FV = (TRIv + TREv)/2	-	0,70	0,35	0,35
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = (F x 1/4) quando F < 30 IGI = FV quando FV < 50		
Índice de Gravidade Global		167,08	IGI = 40 quando F > 30 IGI = 50 quando FV > 50		

Para o trecho 3, o IGG foi equivalente à 167,08 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação péssima para esse trecho.

Tabela 14 Cálculo do IGG do TRECHO 4 (19-24) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0%	0,20	-
2	(FC II) J, TB	2	33%	0,50	16,67
3	(FC III) JE, TBE	4	67%	0,80	53,33
4	ALP, ATP, ALC, ATC	4	67%	0,90	60,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	5	83%	0,30	25,00
8	R	1	17%	0,60	10,00
9	F = (TRI+TRE)/2	0,75	1,00	0,88	0,22
10	FV = (TRIv + TREv)/2	0,18	0,40	0,29	0,29
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = (F x 1/4) quando F < 30 IGI = FV quando FV < 50		
Índice de Gravidade Global		165,51	IGI = 40 quando F > 30 IGI = 50 quando FV > 50		

Para o trecho 4, o IGG foi equivalente à 165,51 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação péssima para esse trecho.

Tabela 15 Cálculo do IGG do TRECHO 5 (25-30) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0%	0,20	-
2	(FC II) J, TB	4	67%	0,50	33,33
3	(FC III) JE, TBE	2	33%	0,80	26,67
4	ALP, ATP, ALC, ATC	4	67%	0,90	60,00
5	O, P	0	0%	1,00	-
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	6	100%	0,30	30,00
8	R	4	67%	0,60	40,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,50	1,58	1,04	0,26
10	$FV = (TRIv + TREv)/2$	0,10	0,14	0,12	0,12
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$		
Índice de Gravidade Global		190,38	IGI = FV quando $FV < 50$		
			IGI = 40 quando $F > 30$		
			IGI = 50 quando $FV > 50$		

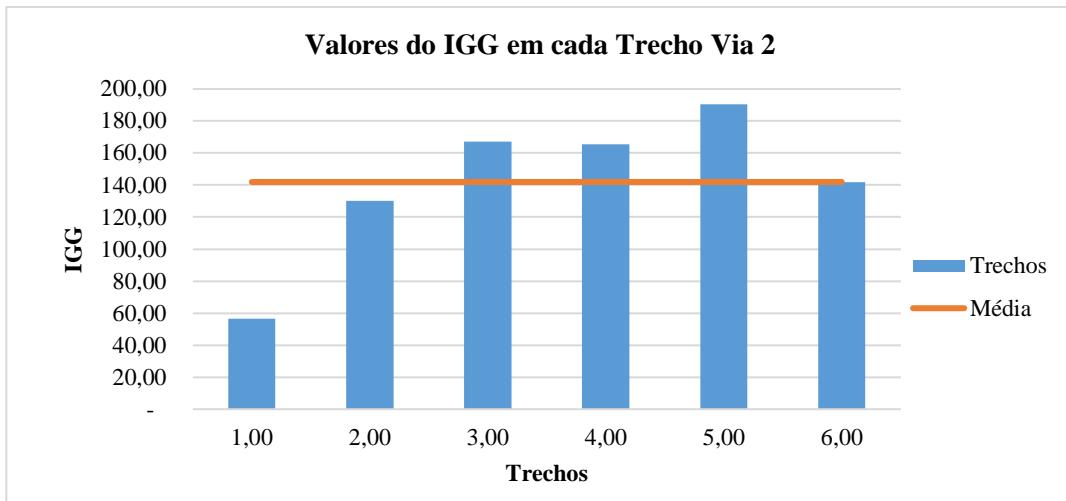
Para o trecho 5, o IGG foi equivalente à 190,38 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação péssima para esse trecho.

Tabela 16 Cálculo do IGG do TRECHO 6 (30-36) da Via 2

Tipo	Natureza do Defeito	f_a	f_r	Fator de Ponderação	IGG
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0%	0,20	-
2	(FC II) J, TB	2	33%	0,50	16,67
3	(FC III) JE, TBE	4	67%	0,80	53,33
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1	17%	0,90	15,00
5	O, P	1	17%	1,00	16,67
6	EX	0	0%	0,50	-
7	D	6	100%	0,30	30,00
8	R	1	17%	0,60	10,00
9	$F = (TRI+TRE)/2$	0,08	0,08	0,08	0,02
10	$FV = (TRIv + TREv)/2$	0,04	0,04	0,04	0,04
Número de Estações Invertariadas:		6	IGI = $(F \times 1/4)$ quando $F < 30$		
Índice de Gravidade Global		141,73	IGI = FV quando $FV < 50$		
			IGI = 40 quando $F > 30$		
			IGI = 50 quando $FV > 50$		

Para o trecho 6, o IGG foi equivalente à 141,73 observando a faixa de valores do IGG, tem-se um conceito de pavimentação ruim para esse trecho.

O gráfico abaixo, mostra uma visão geral do IGG da rodovia Adjair da Silva Casé (via 2). O gráfico informa também os valores do IGG para toda a via tendo uma média de 141,91 para o sentido Shopping - Viaduto, em média uma avaliação considerada ruim do pavimento segundo a norma do DNIT, se aproximando da avaliação da via 1.

Figura 36 Representação do cálculo do IGG para a Via 2

7. CONCLUSÕES

Como a avenida Adjair da Silva Casé tem grande importância para o fluxo de passageiros na cidade de Caruaru, feita a avaliação objetiva dos defeitos deste pavimento. Tendo em vista os resultados obtidos com o índice de gravidade global (IGG) conclui-se que o pavimento da avenida é um pavimento com um grau de degradação elevado e caracterizado em média como um pavimento ruim. Recomenda-se a realização de um projeto de restauração do pavimento, para melhorar além da estrutura da via melhorar a trafegabilidade do usuário, afetando assim o trânsito do local de forma positiva. O pavimento da rodovia Adjair visualmente mostra um pavimento com característica de um pavimento “velho”, apresentando vários remendos e várias trincas (que possivelmente se evoluirão para pequenas panelas), com uma coloração mais clara (em relação a um pavimento com pouco tempo de acabado). Caso não possa ser feito uma restauração geral do pavimento o foco nos trechos que estão com um maior grau de degradação ($IGG > 160$), sendo estes trechos são: em relação à via 1: trechos 3 e 6 (158,07), o trecho 6 recomenda-se pois se aproxima muito do valor de 160, já que é uma avaliação que teve em conta efeitos de ponderação; em relação à via 2: trechos 3, 4 e 5.

A questão de acidentes também é vista com cautela, pois uma avenida com o pavimento muito desgastado a ocorrência de acidentes pode ser agravada, por vários fatores, como por exemplo, desviar de buracos na via.

8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros sugerem-se os seguintes temas:

- Realizar o estudo em outra avenida solicitada em Caruaru;
- Realizar um projeto de restauração das vias estudadas na avenida em estudo;
- Realizar um projeto de pavimentação com o cálculo do número N dimensionando o pavimento da avenida em estudo e comparar com o real já executado;
- Buscar novos métodos de levantamento de patologia visando atualizar o método do cálculo do IGG.

REFERÊNCIAS

AGENCIA BRASIL. Pesquisa da CNT diz que 42,7% das rodovias federais são boas ou ótimas. Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-08/pesquisa-da-cnt-diz-que-427-das-rodovias-federais-sao-boas-ou-otimas>> Acesso em: 12 jul. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS (ABCR). O setor de concessões na crise: desafios e oportunidades. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/RelatoriosAnuais/Digital2016/cenario.html>> Acessado em 12 jul. 2018.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008. 504p.

DARLLAN, D. F. M. Análise quantitativa e qualitativa do trânsito em área comercial no centro de Caruaru-PE. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2014. Disponível em <https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2013.2/tcc2_versaofinal201302%20-%20dayvid%20darllan%20feitoza%20de%20moraes%20-%20reduzido.pdf> Acessado em 01 mai. 2017.

DENATRAN. Frota Nacional Brasileira. Brasília – DF, 2014. Disponível em <www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 03 jun. de 2018.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit005_2003_ter.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2017.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE: Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2017.

IBGE. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Histórico do município Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Brasília, 2013. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=260410&search=pernambuco|caruaru|infograficos:-historico>>. Acessado em 15 mai. de 2017.

LESSA, D. **Especial Rodovias - As primeiras estradas brasileiras**, 2005. Disponível em < <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/REPORTAGEM-ESPECIAL/330615-ESPECIAL-RODOVIAS--AS-PRIMEIRAS-ESTRADAS-BRASILEIRAS--%28-05%27-49%22-%29.html>> Acessado em 08 jul. 2018.

PAIXÃO, M.; CORDEIRO, C.C.; CORREIA, M.C. **Pavimentos semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas**, 2107. Disponível em < <http://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/4949/3298> > Acessado 13 jul. 2018.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária**: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002. 259p.

SOUZA, M. J. **Patologias em pavimentos flexíveis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi, 2004. Disponível em < <https://engucm.files.wordpress.com/2016/04/patologia-pavimentos-flexivel.pdf>> Acessado em 15 mai. 2017.

UFPR – Departamento de Transportes (DTT). Disponível em < <http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/dtt/> > Acesso em 12 jul. 2018.

WATANABE, R. M. **O leito Carroçável**. Disponível em < <http://www.ebanataw.com.br/trafegando/leitocarroavel.php> > Acesso em 12 jul. 2018.

Anexo A Inventário de Superfície

Inventário de Superfície											Operador: revestimento tipo: estaca final: 20												
Rodovia : Avenida Adjáir da Silva Casé		Trecho: Viaduto/ Shopping		Sub-trecho: estaca inicial: 1																			
data: Estação	Via 1 22/05/2018	folha: D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Estação		D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
Faixa		SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA		
Configuração da Terraplenagem																							
Tipo	OK	Sem Defeito																					
1 FI	Fissuras																						
(FCI)	TTC	Trincas transversais curtas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	TTL	Trincas transversais longas																					
	TLC	Trincas longitudinais curtas																					
	TLL	Trincas longitudinais longas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	TRR	Trincas isoladas retracão																					
2 J	Couro de Jacaré																						
(FCII)	TB	Trincas em Bloco																					
3 JE	Couro de Jacaré c/ erosão																						
(FCIII)	TBE	Trincas em Bloco c/ erosão																					
4 ALP	Afundamento Plástico Local																						
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																					
5 O	Ondulação																						
	P	Panela																					
6 EX	Exsudação																						
7 D	Desgaste																						
8 R	Remendo																						
	ALC	Afundamento Consolidação Local																					
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	E	Escorregamento																					
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)	0,5	1,5	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1,5	0		
	TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)	1	1	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0,5	0	2	

Rodovia : Avenida Adijair da Silva Case		Inventário de Superfície									
Via 1		Trecho: Viaduto/ Shopping									
data: 22/05/2018		folha: 2		Sub-trecho: estaca inicial: 21		Operador: revestimento tipo: Concreto Asfáltico		estaca final: 36			
Estação		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Estação		D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Faixa											
Configuração da Terraplenagem		SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA
Tipos	OK	Sem Defeito									
1 FI	Fissuras										
(FCI)	TRC	Trincas transversais curtas	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TRL	Trincas transversais longas				X	X	X		X	X
	TLC	Trincas longitudinais curtas			X	X					
	TLL	Trincas longitudinais longas			X	X	X				
	TRR	Trincas isoladas retração									
2 J	Couro de Jacaré	X			X	X	X	X	X	X	X
(FCII)	TB	Trincas em Bloco								X	X
	JE	Couro de Jacaré c/ erosão								X	X
(FCIII)	TBE	Trincas em Bloco c/ erosão									
4 ALP	Afundamento Plástico Local										
	ATP	Afundamento Plástico Trilha								X	X
5 O	Ondulação									X	X
	P	Panela									
6 EX	Exsudação										X
7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8 R	Remendo	X			X	X	X	X	X		X
	ALC	Afundamento Consolidação Local									X
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha	X								X
E	Escorregamento										
TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1
.TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)	1	0	0	0	0	0	2	0	1	3

Inventário de Superfície												Operador: revestimento tipo: estaca final:	20	
		Trecho: Sub-trecho: estaça inicial:		1										
		folha:		3										
data:	Via 2	22/05/2018												
Estação			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Faixa			E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
Configuração da Terraplenagem			SMA	SMA										
Tipo	OK	Sem Defeito		X										
1 FI	Fissuras				X	X	X							
(FCI)	TTC	Trincas transversais curtas												
	TTL	Trincas transversais longas				X								
	TLC	Trincas longitudinais curtas												
	TLL	Trincas longitudinais longas			X	X	X							
	TRR	Trincas isoladas retração						X						
2 J	Couro de Jacaré			X	X								X	
(FCII)	TB	Trincas em Bloco												
3 JE	Couro de Jacaré c/ erosão						X	X					X	
(FCIII)	TBE	Trincas em Bloco c/ erosão												
4 ALP	Afundamento Plástico Local													
	ATP	Afundamento Plástico Trilha												
5 O	Ondulação													
	P	Panela												
6 EX	Exsudação													
7 D	Desgaste													
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8 R	Remendo				X									
	ALC	Afundamento Consolidação Local												
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha												
	E	Escorregamento												
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	
	.TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0,5	
									0	1	2	0	1	

Rodovia : Avenida Adjair da Silva Casé			Inventário de Superfície																	
Via 2			Trecho:			Sub-trecho:			Operador:											
data: 22/05/2018			folha: 4			estaca inicial: 21			revestimento tipo: 36											
Estação	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Faixa	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
Configuração da Terraplenagem	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	SMA	
Tipos	OK	Sem Defeito																		
1 FI	Fissuras																			
(FCI)	TTC	Trincas transversais curtas																		
	TTL	Trincas transversais longas	X	X	X	X													X	
	TLC	Trincas longitudinais curtas																		
	TLL	Trincas longitudinais longas																	X	
	TRR	Trincas isoladas retração																		
2 J	Couro de Jacaré	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
(FCI)	TB	Trincas em Bloco																		
3 JE	Couro de Jacaré c/ erosão	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
(FCI)	TBE	Trincas em Bloco c/ erosão																		
4 ALP	Afundamento Plástico Local																			
	ATP	Afundamento Plástico Trilha																		
5 O	Ondulação																			
	P	Panela																	X	
6 EX	Exsudação																			
7 D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8 R	Remendo	X																	X	
	ALC	Afundamento Consolidação Local																		
	ATC	Afundamento Consolidação Trilha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	E	Escorregamento																		
	TRI	Afundamento Trilha Interna (mm)	1	1	0	1	1	0	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0	
	.TRE	Afundamento Trilha Externa (mm)	1,5	1,5	0	1,5	1	1,5	2	2	1,5	1,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0

Anexo B Planilha de Cálculo do IGG

TRECHO					
Tipo	Natureza do Defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FC I) F, T, T, C, T, T, L, T, L, C, T, L, L, T, R			0,20	
2	(FC II) J, T, B			0,50	
3	(FC III) J, E, T, B, E			0,80	
4	ALP, ATP, ALC, ATC			0,90	
5	O, P			1,00	
6	EX			0,50	
7	D			0,30	
8	R			0,60	
9	$F = (TRI + TRE)/2$	-	-	-	-
10	$FV = (TRIV + TREV)/2$	-	-	-	-
Número de Estações Invertariadas:			$IGH = (F \times 1/4)$ quando $F < 30$	$IGH = FV$ quando $FV < 50$	
Índice de Gravidade Global			$IGH = 40$ quando $F > 30$	$IGH = 50$ quando $FV > 50$	

Fonte: DNIT 006/2003-PRO, p. 08.

Anexo C Resumo dos defeitos: Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS			
Fissuras				FI	-	-	-	
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3	
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3	
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3	
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3	
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-	
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3	
	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3	
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-	
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-		FC-3	
OUTROS DEFEITOS					CODIFICAÇÃO			
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito			ALP		
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito			ATP		
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito			ALC		
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito			ATC		
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O			
Escorregamento (do revestimento betuminoso)					E			
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX			
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D			
"Panelas" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P			
Remendos			Remendo Superficial			RS		
			Remendo Profundo			RP		

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: DNIT 006/2003-PRO p. 09.