

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCELO MENEZES BARBOZA DE SÁ

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EMPREGADO COMO MATERIAL DE BASE EM
UMA VIA NA CIDADE DE ARACAJU E SUAS PATOLOGIAS: ESTUDO DE CASO**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

MARCELO MENEZES BARBOZA DE SÁ

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EMPREGADO COMO MATERIAL DE BASE EM
UMA VIA NA CIDADE DE ARACAJU E SUAS PATOLOGIAS: ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientadora: Prof. MSc. ANDRÉA SANTANA
TEIXEIRA LINS

ARACAJU

2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 11

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EMPREGADO COMO MATERIAL DE BASE EM UMA
VIA NA CIDADE DE ARACAJU E SUAS PATOLOGIAS: ESTUDO DE CASO**

MARCELO MENEZES BARBOZA DE SÁ

Esta monografia foi apresentada às 09 horas do dia 04 de Julho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.(a). Msc. Emiliana de Souza
Rezende Guedes
Instituto Federal de Sergipe

Prof. Msc. Marcilio Fabiano Goivinho
da Silva
Instituto Federal de Sergipe

Prof.(a). MSc. Andréa Santana Teixeira
Lins
Instituto Federal de Sergipe
Orientadora

Prof. Msc. Rodolfo Santos da
Conceição (IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a toda minha família, em especial aos meus pais, meus irmãos, minha filha e minha esposa que estão sempre ao meu lado me dando apoio e a todos os meus amigos que estiveram do meu lado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha vida, fiz algumas escolhas em busca de um ideal. Hoje é o fim de uma trajetória e início de outra. Nesse dia tão especial agradeço primeiramente a Deus, que é digno de toda honra e glória, pela vida e por ter me guiado até aqui, me dando força para seguir em frente e nunca desistir.

Aos meus pais Carlos e Maria, minha esposa Sara e minha filha Júlia, e aos meus irmãos, Mateus e Maricarla, pois sem vocês eu nada seria e por serem tão essenciais em minha vida. Obrigado por todo apoio, carinho, conselhos, compreensão, dedicação, amor e por não medirem esforços para me ver realizar esse grande sonho.

A toda minha família em especial aos meus tios (as) Bernadete, João, Marluce, Mazinho, Néa e a toda a família da minha esposa em especial a Cintia, Celio, Chico, Barbara, Sergio, Nalva, Luís, Neide, Camila, Neto, Larissa, Sonia, Didi, Glorinha, Carmélia, Carol e Celino que me deram um apoio sem igual. Obrigado pelas preocupações, compreensão, apoio e carinho. Só tenho a agradecer a Deus por ter me dado uma família tão maravilhosa. Obrigado por acreditarem em mim e pela força que me deram para seguir em frente e não desistir desse sonho.

Aos meus amigos do IFS, Thaysa, Thaina, Hannah, Thanmires, Luis Henrique, Arthur, Philipe, Pedro, Igor, Sergio, Ray, Ricardo, Waldir, Altamir, Wendel, Bruno, que estão comigo desde o início e, direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado nos momentos que mais precisei. Sem vocês tudo teria sido bem mais difícil. Obrigado por terem me proporcionado grandes momentos ao longo desses sete anos de convivência. Vocês, sem dúvidas, foram muito importantes nessa jornada e, espero que essa amizade continue por muito tempo.

Agradeço em especial a Thaysa, Thaina, Hannah e Thanmires que foram nestes sete anos de convivência como irmãs, pela compreensão nos momentos de ausência impostos pela rotina tão intensa e pelas inúmeras vezes que ficaram com minha filha para que eu pudesse assistir aula ou até mesmo fazer uma prova da faculdade.

A toda equipe da EMURB, em especial aos Engenheiros Adroaldo e Carlão, onde realizei meu primeiro estágio, obrigado por toda experiência, companheirismo e por não medirem esforços para me passar todo conhecimento adquirido.

A toda equipe do Instituto Federal de Sergipe, em especial à equipe da COEC, por não medirem esforços para buscar sempre o melhor para nos oferecer. Obrigado por todo aprendizado que nos foi passado e por estarem sempre presente para ajudar.

Agradeço aos professores da minha banca Marcilio e Emiliana por terem aceitado fazer parte e contribuído bastante para a melhoria desse trabalho.

E, um agradecimento especial a minha professora e orientadora Andréa e ao meu professor José Resende, que foi de extrema importância durante minha vida acadêmica e também na realização desse trabalho. Obrigado por toda dedicação e disposição sempre que precisei e por ter nos ensinado um pouco de toda sua experiência de vida. Ensinaamentos esses que levarei para minha vida toda.

Por fim, agradeço a todos que torceram e continuam torcendo por mim.

“Para o sucesso, atitude é igualmente
tão importante quanto capacidade”.
(Harry F. Ban)

RESUMO

SÁ, Marcelo M B. **Caracterização do solo empregado como material de base em uma via na cidade de Aracaju e suas patologias: estudo de caso.** 73 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2017.

Devido à má execução do revestimento asfáltico no Brasil, vem crescendo o aparecimento de patologias na pavimentação trazendo desconforto e insegurança aos usuários das vias. Na região de Aracaju-SE essas patologias podem ser encontradas em diversas vias. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de caso do processo de execução da pavimentação asfáltica e analisar o material de base utilizado nas ruas do bairro Aruanda, em Aracaju-SE, executado pela Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB) em conjunto com a construtora, onde esta obra irá beneficiar toda a população local, localizada na zona de expansão da capital. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para a fundamentação teórica e apresentado um estudo de caso de análises e discussões de todo o processo executivo, desde a obtenção do traço do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) no laboratório da usina da EMURB, até o seu transporte e execução no local da obra e análise do material de base utilizado para a pavimentação no laboratório do Instituto Federal de Sergipe (IFS). Constatou-se através de visualizações em campo que alguns procedimentos executivos utilizados estavam fora do padrão das normas do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e através de ensaios laboratoriais foi constatado que o material de base utilizado para a pavimentação não é o mais adequado para tal fim. Foram observadas várias irregularidades, as quais possivelmente influenciaram para a perda de durabilidade e resistência do pavimento.

Palavras-Chave: Execução. Patologias. CBUQ. Durabilidade. Resistência.

ABSTRACT

SÁ, Marcelo M B. **Characterization of the soil used as base material in a road in the city of Aracaju and its pathologies: case study**. 73 pages. Monograph (Bachelor of Civil Engineering) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

Due to the poor execution of the asphalt coating in Brazil, the appearance of pathologies in the pavement has increased, causing discomfort and insecurity to road users. In the region of Aracaju-SE these pathologies can be found in several ways. The objective of this work is to perform a case of study for the process of execution of asphalt pavement and to analyze the base material used in the streets of the Aruanda district, in Aracaju-SE, executed by the Municipal Company of Construction and Urbanization (EMURB), where will benefit the entire local population, located in the zone of expansion. A bibliographical research was performed as theoretical basis and a case of study of analyzes and discussions for the entire executive process presented, starting at the tracing for the Hot Asphaltic Concrete (CBUQ) in laboratory of the EMURB plant until its transportation, on-site execution and analysis of the base material used for paving in the laboratory of the Federal Institute of Sergipe (IFS). It was verified through on-field visualizations that some executive procedures used were out of the standard for the National Department of Roadways (DNER) and through laboratory tests it was verified that the base material used for paving is not the most adequate. Several irregularities were observed, which possibly influenced in the lack of durability and resistance for the pavement.

Keywords: Execution. Pathologies. CBUQ. Durability. Resistance.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIações E NOMENCLATURAS

a.C. - Antes de Cristo

ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADP – Asfalto Diluído de Petróleo

ALC - Afundamento Local de Consolidação

ALP - Afundamento Local Plástico

ATP - Afundamento na Trilha Plástico

ATC - Afundamento em Trilha por Consolidação

BGS - Brita Graduada Simples

BGTC - Brita Graduada Tratada com Cimento

°C - Grau Centígrado

CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCR - Concreto Compactado a Rolo

cm - Centímetro

CNT - Confederação Nacional do Transporte

D - Desgaste

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

E - Escorregamento

EMURB - Empresa Municipal de Obras e Urbanização

EX - Exsudação

FC-1 - Trincas cujas aberturas são menores que 1,0 mm

FC-2 - Trincas cujas aberturas são superiores a 1,0 mm, sem erosão nas bordas

FC-3 - Trincas cujas aberturas são superiores a 1,0 mm, com erosão nas bordas

GC - Grau de Compactação

IFS - Instituto Federal de Sergipe

ISC - Índice de Suporte Califórnia

J - Trincas Interligadas tipo “Couro de Jacaré”, sem erosão acentuada nas bordas

JE - Trincas Interligadas tipo “Couro de Jacaré”, com erosão acentuada nas bordas

km - Quilômetros

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

m - Metro

O - Ondulação ou Corrugação

P - Panela ou Buraco

PCA - Portland Cement Association

PMA - Prefeitura Municipal de Aracaju

RP - Remendo Profundo

RS - Remendo Superficial

TB - Trincas Interligadas tipo “Bloco”, sem erosão acentuada nas bordas

TBE - Trincas Interligadas tipo “Bloco”, com erosão acentuada nas bordas

TLC - Trinca Longitudinal Curta

TLL - Trinca Longitudinal Longa

TTC - Trinca Transversal Curta

TTL - Trinca Transversal Longa

TRR Trinca Isolada de Retração

TSD - Tratamento Superficial do Solo

% - Porcentagem

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas do pavimento rígido.	20
Figura 2 - Camadas do pavimento flexível.	21
Figura 3 - Classificação dos revestimentos flexíveis.	27
Figura 4 – Classificação do pavimento quanto ao estado de conservação.	30
Figura 5 – Classificação e características do pavimento.	31
Figura 6 - Resumo dos defeitos - codificação e classificação.	32
Figura 7 - Trinca transversal.	34
Figura 8 - Trinca longitudinal.	34
Figura 9 - Trinca tipo “couro de jacaré”.	35
Figura 10 - Trinca tipo “bloco”.....	35
Figura 11 - Afundamento.	36
Figura 12 - Panela ou buraco.	37
Figura 13 - Ondulação ou corrugação.	37
Figura 14 - Escorregamento do revestimento.....	38
Figura 15 - Tipos de manutenção corretiva.	40
Figura 16 - Localização da Rua Evaldo Campos Junior.	41
Figura 17 - Localização da Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos.	42
Figura 18 - Seleção e preparação dos materiais.	45
Figura 19 - Pesagem dos agregados.	45
Figura 20 - Aquecimento do CAP.	46
Figura 21 - Mistura com adição do CAP.	46
Figura 22 - Moldagem dos corpos de prova.	46
Figura 23 - Compactação dos blocos.	47
Figura 24 - Banho-maria.	47
Figura 25 - Desmolde do corpo de prova.	47
Figura 26 - Bloco para ensaio de compressão.	47
Figura 27 - Armazenamento de areia com e sem proteção.....	48
Figura 28 - Retroescavadeira colocando agregados nos silos e seu armazenamento..	49
Figura 29 - Dosagem volumétrica controlada por computador.	49
Figura 30 - Esteiras que transportam os agregados.....	49
Figura 31 - Misturador.	50
Figura 32 - Armazenamento do CAP.....	50
Figura 33 - Aquecimento do CAP.	50

Figura 34 - Remessa de massa é descartada.	50
Figura 35 - Caminhão a espera do CBUQ e despejo do CBUQ em caminhão basculante.	51
Figura 36 - Transporte do CBUQ para o local de execução.	51
Figura 37 - Ensaio do grau de compactação da sub-base (Ensaio do Frasco de Areia).	52
Figura 38 - Camada imprimada.	53
Figura 39 - Resíduos na via.	53
Figura 40 - Imprimação com imperfeições.	53
Figura 41 - Pintura de ligação.	53
Figura 42 - Aplicação da pintura de ligação.	54
Figura 43 - Vibro-acabadora e lançamento do CBUQ na vibro-acabadora.	54
Figura 44 - Rolo liso usado antes do do rolo pneumático.	55
Figura 45 - Rastro de passagem dos caminhões.	55
Figura 46 - Regularização manual e com rolo liso dos rastros do caminhão.	56
Figura 47 - Falta de meio-fio no asfalto acabado.	56
Figura 48 - Fissuras e panelas no asfalto acabado.	57
Figura 49 - Panelas na via.	58
Figura 50 - Fissuras na via.	59
Figura 51 - Peneiramento do solo.	60
Figura 52 - Solo + Defloculante.	60
Figura 53 - Sedimentação.	60
Figura 54 - Cápsulas para o limite de contração.	60
Figura 55 - Limite de liquidez (LL).	60
Figura 56 - Ensaio de compactação.	61
Figura 57 - Ensaio de expansão / retração.	61
Figura 58 - Ensaio do Índice Suporte Califórnia (ISC).	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Granulometria do material.	26
Tabela 2 - Umidade higroscópica e análise granulométrica do material de base.	62
Tabela 3 - Teor de umidade natural do material de base.	63
Tabela 4 - Massa específica real do material de base.	64
Tabela 5 - Ensaio de compactação.	65
Tabela 6 - Ensaio de expansão / retração e ensaio de índice de suporte Califórnia (ISC).	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do material de base.	63
Gráfico 2 - Curva de compactação.	66
Gráfico 3 - Curva pressão x penetração.	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	19
2.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO.....	19
2.1.1 Pavimentos Rígidos	19
2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos	20
2.1.3 Pavimentos Flexíveis	20
2.2 CAMADAS DE UM PAVIMENTO	22
2.2.1 Subleito	22
2.2.2 Reforço do Subleito.....	22
2.2.3 Sub-base	22
2.2.4 Base.....	23
2.2.4.1 Ensaios de caracterização do material de base	23
2.2.4.2 Execução da base	23
2.2.4.3 Estabilização do solo para base	24
2.2.4.4 Controle de qualidade do material de base	25
2.2.5 Revestimento Flexível (Asfalto)	26
2.2.5.1 Revestimento areia betume.....	27
2.2.5.2 Revestimento pré-misturado a frio.....	27
2.2.5.3 Revestimento sheet-asphalt	27
2.3 REVESTIMENTO CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)....	27
2.3.1 TRANSPORTE	29
2.3.2 APLICAÇÃO DO CBUQ	29
2.4 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS DE CBUQ	29
2.4.1 Fendas	33
2.4.1.1 Fissura.....	33
2.4.1.2 Trinca.....	33
2.4.2 Afundamento	35
2.4.3 Panela ou Buraco	36
2.4.4 Ondulação ou Corrugação.....	37
2.4.5 Escorregamento do Revestimento.....	38
2.5 MANUTENÇÃO	38
3 METODOLOGIA	41
3.1 ÁREA DE ESTUDO	41
3.2 COLETA DE DADOS.....	42
4 ESTUDO DE CASO	43
4.1 A EMURB E A EMPRESA CONSTRUTORA	43
4.2 PROCESSOS LABORATORIAIS PARA OBTENÇÃO DO TRAÇO DE CBUQ	44
4.3 PRODUÇÃO DO CBUQ EM USINA	47
4.4 TRANSPORTE E EXECUÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	51
4.5 APÓS 2 MESES DE EXECUTADO A PAVIMENTAÇÃO	57
4.6 ENSAIOS DO MATERIAL DE BASE	59
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
6 CONCLUSÕES	69
7 REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das cidades desde séculos antes de Cristo, o homem já enxergava a necessidade do uso de transportes, tanto para cargas quanto para pessoas. Um exemplo disso pode ser notado na Pré-História, no uso de troncos para mover animais pesados que fossem abatidos.

Com o passar dos tempos o transporte foi sendo desenvolvido cada vez mais. No Império Romano ele foi muito utilizado, principalmente no poderio militar. Nesse período também houve intensa construção de estradas que já eram regulamentadas pela Lei das XII Tábuas (século 5 a.C.), onde na Lei das Tábuas, o número VII, dizia que toda propriedade tinha que ter sua estrada, porém essa lei não falava sobre a manutenção, a não ser em caso de destruição proposital, onde quem destruiu tinha obrigação de reconstruir o que destruiu (ALVES, 1987).

Já no século 4 a.C., com o aumento populacional na Grécia e na Roma, que foram os grandes impérios da época, surgiu-se a necessidade de transportar cada vez mais cargas e pessoas. Com isso, os gregos fabricaram as primeiras “CARROZZIERI”, uma pequena vagoneta que era utilizada em serviços regulares a tração animal (denominada “CARPENTVM”), e foram utilizadas até a queda do império romano (TEMA TRANSPORTES, 2015).

Em 1826 foi criado o primeiro conceito de ônibus como modalidade de transporte público, em Nantes na França, o qual transportava passageiros e correios dos centros das cidades até as periferias. No Brasil, o primeiro serviço de ônibus efetivo surgiu em julho de 1838 no Rio de Janeiro com dois carros de dois pavimentos (MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO, 2005).

Segundo Colavite e Konishi (2015), a matriz de transportes no Brasil se concentra no modal rodoviário, mas com uma baixa utilização do modal ferroviário se comparado a países de grande extensão territorial.

A importância do transporte rodoviário no Brasil se dá desde o início da República, quando os governos começaram a priorizar o transporte rodoviário, em detrimento ao transporte ferroviário e hidroviário. Em 1861, foi utilizada a primeira rodovia pavimentada no Brasil, com a inauguração da estrada de rolagem ligando o estado do Rio de Janeiro ao estado de Minas Gerais, nomeada Estrada União Indústria (CNT, 2014).

Nos anos 50, a malha rodoviária brasileira contava com 968 km de estradas pavimentadas, como consequência do Decreto Lei Nº 8463/1945, que deu autonomia

técnica e financeira ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Após isso, teve um grande crescimento das rodovias, ocasionando uma grande expansão do modal rodoviário (CNT, 2014).

De acordo com os dados da CNT (2016) existem no país, 1.720.756 km de rodovias, dos quais apenas 211.468 km são pavimentadas, isto é, aproximadamente 12,3% da malha. Das rodovias pavimentadas, 64.895 km são federais. Destas, apenas 9,6% são de pista dupla (6.221 km) e 2,0% (1.276 km) são vias em fase de duplicação; os demais (88,4%) são de pista simples.

Dentre os 12,3% de pavimentação existente no Brasil, estão presentes diversas tipologias, os quais são superestruturas constituídas por um sistema de camadas de espessuras finitas assentadas sobre um terreno de fundação denominado subleito. O subleito deve ser estudado e considerado até a profundidade onde atua, o que depende da carga imposta pelo tráfego que a utilizam. Essa profundidade deve situar-se numa faixa de 0,60 m a 1,5 m. Nesta camada apoiam-se a sub-base e a base, que são camadas finitas com composições variadas de acordo com especificações de projeto, que tem como principal função transmitir as cargas oriundas do tráfego, sobre o revestimento, ao subleito. O revestimento é a camada mais externa do pavimento (DNIT, 2006).

Segundo Nakamura (2011), em pesquisa realizada pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

O CBUQ é normalmente composto por um agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e um ligante, o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido da destilação fracionada do petróleo.

Este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo de caso do processo de dosagem, produção, execução da pavimentação asfáltica, bem como uma análise do material de base utilizado na execução da pavimentação no bairro Aruanda em Aracaju-SE, com a finalidade de identificar as possíveis causas que possam ter influenciado o ligeiro aparecimento de patologias neste pavimento.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar o processo executivo da via e os desvios (erros) cometidos em relação às normas pertinentes de pavimentação;
- Identificar as patologias que surgiram no pavimento ao longo de dois meses;
- Caracterizar o material de base adotado para a execução do pavimento;

- Analisar a adequabilidade do material de base empregado na via.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Segundo SENÇO (2007), o pavimento é uma estrutura constituída por um sistema de camadas finitas, assentadas sobre o terreno de fundação, considerado como infinito e designado como subleito. Essa estrutura deve atender os requisitos de resistência aos esforços produzidos pelo tráfego e distribuí-los ao subleito, além de ter durabilidade em quaisquer condições climáticas, proporcionando conforto e segurança aos usuários.

De acordo com Pinto et al.(2002), os pavimentos podem ser classificados em três classes, sendo eles os rígidos, semi-rígidos e os flexíveis.

Já segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,1982), define pavimento como uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e, resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

2.1.1 Pavimentos Rígidos

De acordo com o DNIT (2006b), os pavimentos rígidos são aqueles que utilizam em sua camada de revestimento, placas de concreto de cimento Portland que podem ser armadas ou não com barras de aço. Por possuir uma grande capacidade de rigidez, comparando-se com suas camadas inferiores, o pavimento rígido tem a capacidade de absorver grande parte das tensões aplicadas sobre ele.

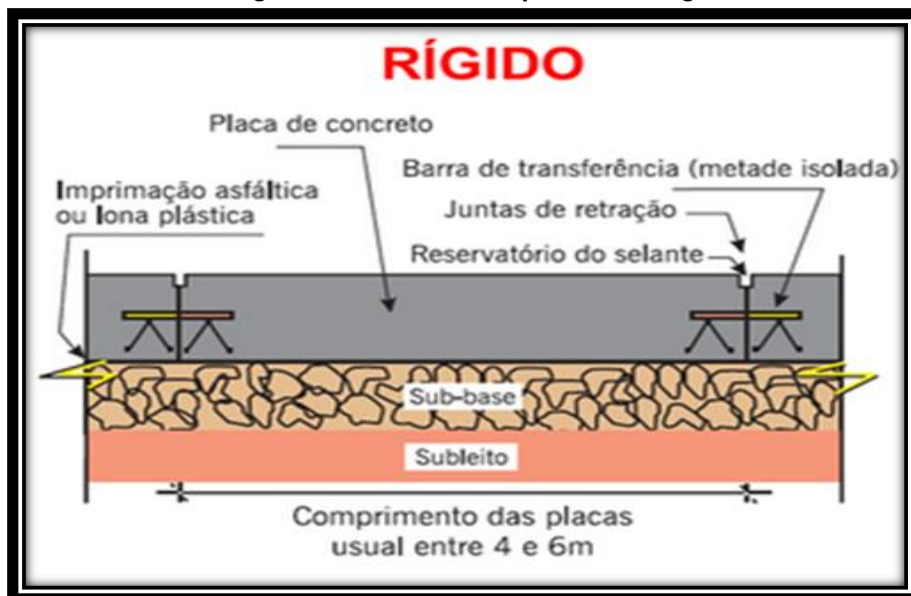
Os principais constituintes do pavimento rígido são: o cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras (plástico ou aço), selante de juntas (moldado), material de enchimento de juntas (fibras ou borracha) e aço (DNIT, 2004). A figura 1 ilustra as camadas do pavimento rígido.

Segundo a Portland Cement Association (1984), os pavimentos rígidos podem ser divididos em quatro categorias principais, as quais são:

- Pavimentos de concreto simples;
- Pavimentos de concreto simples com juntas e barras de transferência de esforços;

- Pavimentos de concreto armado com juntas e barras de transferência de esforços;
- Pavimentos continuamente armados.

Figura 1 - Camadas do pavimento rígido.



Fonte: Bernucci et al.(2008).

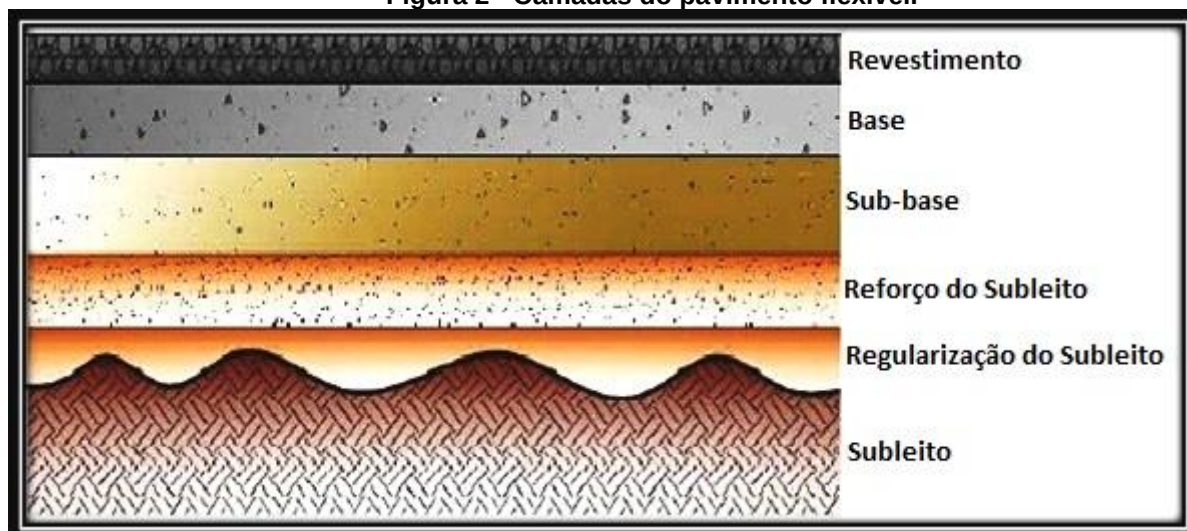
2.1.2 Pavimentos Semi-rígidos

O pavimento semi-rígido apresenta uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. Neste tipo de pavimento faz-se a associação de misturas como solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração.

2.1.3 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis, geralmente, são constituídos por revestimentos asfálticos (betuminosos) sobre camadas granulares ou acima de camada de solo estabilizada granulometricamente. Diferentemente do pavimento rígido, o pavimento flexível possui mais camadas, conseguindo transferir as cargas oriundas do tráfego para uma seção mais concentrada do subleito. De acordo com Marques (2007), este pavimento possui diferentes tipos de camadas, como mostra a figura 2.

Figura 2 - Camadas do pavimento flexível.



Fonte: Marques (2007).

De acordo com Marques (2007) as definições das referidas camadas são:

- **Subleito:** é o terreno onde o pavimento será assentado. Deve-se estudar até onde a profundidade onde as tensões irão atuar;
- **Regularização do subleito:** também é conhecido como nivelamento, é a camada destinada a conformar o leito transversalmente e longitudinalmente. A existência desta camada está relacionada com as condições do subleito;
- **Reforço de subleito:** é uma camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente que serve para melhorar a qualidade do subleito no caso deste ter Índice de Suporte Califórnia (ISC) menor que 2%;
- **Sub-base:** é a camada que complementa a base, no caso de não ser possível executar a base diretamente no subleito regularizado ou reforço. Deve ter ISC maior que 20%;
- **Base:** é a camada que resiste os esforços da superfície de rolamento e distribui ao subleito, devendo ter um ISC maior que 60%;
- **Revestimento:** é a camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e serve para melhorar as condições da via, proporcionando conforto e segurança. Deve resistir ao desgaste e aos esforços atuantes.

2.2 CAMADAS DE UM PAVIMENTO

2.2.1 Subleito

Para a preparação do subleito, os materiais a serem empregados podem ou não ser do próprio solo já existente, desde que, atenda as especificações mínimas de projeto. Devem-se utilizar alguns equipamentos apropriados como: motoniveladora com escarificador, carro tanque distribuidor de água, rolos compactadores, grade de discos, pulverizadora e outros equipamentos, de acordo com a necessidade na hora da execução (DNIT 138, 2010).

Segundo o DNIT 138 (2010), a regularização do subleito é a operação destinada a conformar o leito da estrada transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas de projeto. Para este serviço, podem ser executados cortes ou aterros de até 20 cm. Deve-se fazer a escarificação geral na profundidade de 20 cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.

Os materiais utilizados na regularização, de preferência, devem ser os do próprio subleito, caso tenha a necessidade de substituir ou adicionar material, estes devem ser provenientes de jazidas indicadas no projeto e com características específicas

2.2.2 Reforço do Subleito

De acordo com o DNIT 138 (2010), o reforço do subleito é utilizado quando é necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base e são originadas quando o subleito possui uma baixa capacidade de suporte e é definido como uma camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente regularizado.

Os materiais utilizados são solos ou misturas de solos, de qualidade superior a do subleito e são executados por operações de mistura e pulverização, umedecendo ou secando os materiais na pista, seguida de espalhamento, compactação e acabamento.

2.2.3 Sub-base

Para Silva (2008), a sub-base é a camada superior ao subleito regularizado ou reforçado, e os materiais que podem ser empregados na composição da sub-base são: o cascalho, solo-cal e solo-cimento.

2.2.4 Base

Já a base é a camada superior à sub-base, e tem como função aliviar as tensões nas camadas inferiores, permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento e resistir às tensões e deformações atuantes. Os materiais que podem ser empregados como base são: brita graduada simples (BGS), brita graduada tratada com cimento (BGTC), macadames hidráulico e seco, concreto compactado a rolo (CCR), solo-cal, solo-cimento e solo-brita. A tensão máxima de cisalhamento ocorre na base, logo estes materiais devem ser de excelente qualidade e bem executados (SILVA, 2008).

2.2.4.1 Ensaios de caracterização do material de base

Segundo a norma do DNIT 141-ES (2010), o material de base precisa seguir uma normatização de ensaios para a constatação que o material a ser empregado em tal pavimentação atinja o percentual de qualidade adequado. Os tipos de ensaios para averiguar a qualidade do material são: determinação da abrasão Los Angeles, determinação da massa específica aparente, determinação do Índice de Suporte Califórnia, determinação do teor de umidade, análise granulométrica por peneiramento, determinação do limite de plasticidade, determinação do limite de liquidez e ensaio de compactação.

2.2.4.2 Execução da base

Segundo o DNIT 141-ES (2010), a execução da camada de base, de um modo geral consiste em algumas operações, tais como:

- Mistura e pulverização;
- Umedecimento ou secagem dos materiais em central de mistura ou na pista;
- Espalhamento, compactação e acabamento, realizadas na pista, nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada.

O processo de mistura do material precisa começar pela distribuição do material em maior quantidade na pista e, em seguida, o segundo material de menor quantidade. O material distribuído precisa ser espalhado e homogeneizado a fim de se obter uma

camada que apresente espessura constante. No decorrer desta etapa deve-se remover todos os corpos estranhos ou fragmentos que não fazem parte do material de base.

Já no processo de compactação do material deve-se determinar previamente o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação como rolos compactadores para que se consiga atingir o melhor grau de compactação adequado. Quando houver variação do material deve-se realizar uma nova determinação de passadas dos equipamentos.

A compactação deve sempre iniciar pelas bordas em direção ao eixo da via e, quando não for possível o uso de rolos compactadores, a compactação precisa ser executada com rolos vibratórios portáteis ou sapos mecânicos.

Após a compactação deve-se fazer o devido acabamento com ação conjunta de motoniveladora e de rolos de pneus liso-vibratório, sendo proibido o ajuste de irregularidades com o acréscimo de material.

Concluído todo o processo de execução a camada de base precisa ser imprimada imediatamente para que a base não fique exposta a ações climáticas que venham a interferir na qualidade do material.

2.2.4.3 Estabilização do solo para base

Por definição, a estabilização do solo pode ser uma alteração em qualquer uma das suas propriedades, a fim de melhorar seu comportamento no ponto de vista da Engenharia. É um tratamento artificial, por um processo químico, físico ou físico-químico, tornando estável o solo para o limite de sua utilização, permanecendo sob ação de cargas externas e ações climáticas variáveis (SENÇO, 2007).

Segundo MEDINA (1997), a estabilização do solo visa modificar as suas propriedades, tais como:

- Resistência ao cisalhamento, tornando-a menos sensível as mudanças ambientais, principalmente a umidade, além de torná-la compatível com as cargas que a estrutura vai absorver;
- Permeabilidade, aumentando-a ou diminuindo-a a depender das solicitações;
- Compressibilidade, reduzindo-a.

Ainda segundo a norma do DNIT 141-ES (2010), a estabilização trata-se de um processo de melhoria da capacidade resistente do material mediante o emprego de

compactação adequada, de forma a se obter um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade.

2.2.4.4 Controle de qualidade do material de base

Segundo norma do DNIT 141-ES (2010), para que o material escolhido possa ser utilizado para a pavimentação o solo precisa estar dentro de algumas especificações citadas a seguir:

- a) Estar dentro de uma faixa granulométrica (tabela 1);
- b) A fração que passar na peneira N°40 deve apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.
- c) A porcentagem que passa na peneira N°200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira N°40;
- d) O Índice Suporte Califórnia (ISC) precisa ser maior ou igual a 60%;
- e) Grau de expansão precisa ser menor ou igual a 0,5%;
- f) O ensaio de abrasão Los Angeles não deve apresentar desgaste superior a 55%;
- g) O teor de umidade deve ser mais ou menos 2 pontos percentuais em relação à umidade ótima;
- h) O Grau de compactação (GC) não deve ser inferior a 100%.

Tabela 1 - Granulometria do material.

Tipos	Para N > 5 X 10 ⁶				Para N < 5 X 10 ⁶		Tolerâncias da faixa de projeto
Peneiras	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: DNIT 141-ES (2010).

2.2.5 Revestimento Flexível (Asfalto)

Segundo a ABNT (1993), todas as camadas do pavimento têm a sua finalidade, e a imprimação do revestimento flexível torna-se necessária para promover a aderência da base com o revestimento, atuar como impermeabilizante da base e aumentar a coesão superficial da base através da penetração do material asfáltico empregado. Esta imprimação consiste na aplicação de uma fina película de material betuminoso sobre uma superfície granular concluída de uma das camadas do pavimento, seja ela a base ou sub-base.

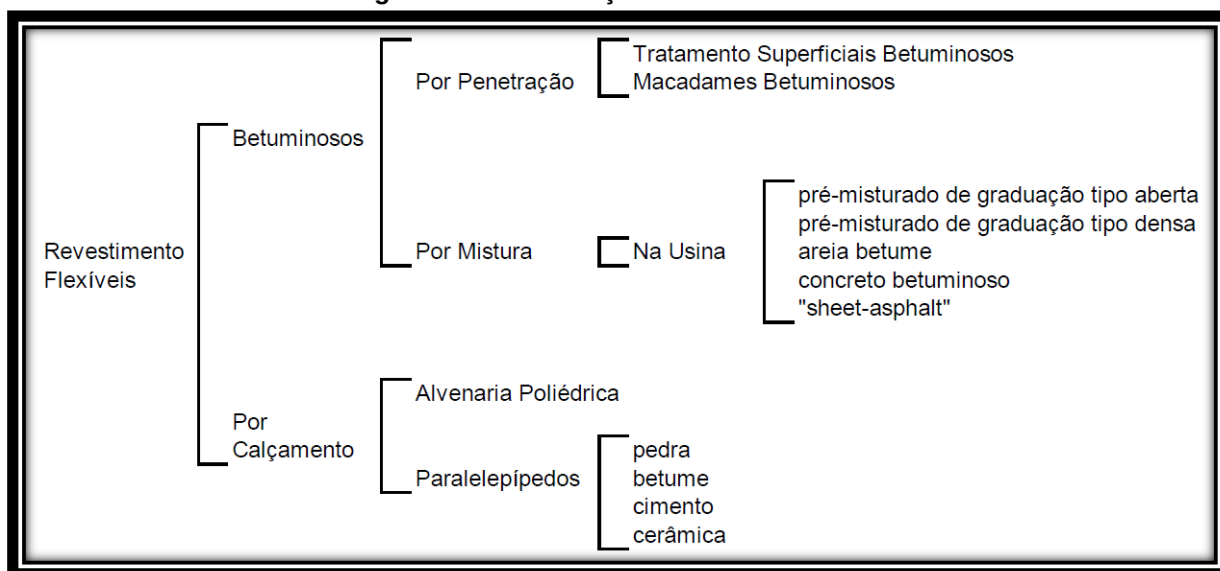
De acordo com a norma do DNER 363 (1997), os ligantes betuminosos empregados na imprimação poderão ser os asfaltos diluídos de petróleo (ADP). A escolha adequada deste ligante betuminoso deve ser feita em função da textura do material da base.

Antes da execução da imprimação deve-se fazer uma varredura da base, ou seja, uma limpeza no local de modo a eliminar todo e qualquer material solto e depois umedecê-la superficialmente, observando se as declividades estipuladas em projeto já estão totalmente concluídas. Em seguida, pode-se fazer uma distribuição uniforme do ligante corrigindo falhas entre a pista e o acostamento. Não se deve aplicar em dias de

chuvas e também não se deve transitar sobre a imprimação até que aconteça a sua cura completa, para que não ocorram falhas nessa camada.

Segundo o manual de pavimentação do DNIT (2006b), os revestimentos flexíveis podem ser classificados de acordo com a figura 3 abaixo apresentada.

Figura 3 - Classificação dos revestimentos flexíveis.



Fonte: DNIT (2006b).

2.2.5.1 Revestimento areia betume

Trata-se de uma mistura betuminosa onde a mesma é produzida sem agregado graúdo sendo usado só o agregado miúdo. Pode ser produzido a quente, usando cimento asfáltico, ou a frio, utilizando emulsões asfálticas.

2.2.5.2 Revestimento pré-misturado a frio

Consiste na mistura de agregado mineral, água, polímero e fíler, para uso como camada de selagem, impermeabilização ou camada antiderrapante.

2.2.5.3 Revestimento sheet-asphalt

É um tipo de areia-asfalto a quente com uma quantidade maior de fíler.

2.3 REVESTIMENTO CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)

Dos tipos de revestimentos asfálticos existentes, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é o mais utilizado no Brasil por ser, segundo Senço (2007), o mais

nobre dos revestimentos flexíveis, satisfazendo rigorosas especificações, sendo misturado com elevado controle de materiais e temperatura, além de ter custo satisfatório. O CBUQ é uma mistura de agregados minerais (naturais ou artificiais, britado ou em sua forma disponível), de material fino (pó de pedra, cimento Portland, etc.) e de cimento asfáltico de petróleo (CAP). Tem-se a homogeneização a quente, desses materiais em uma usina onde é misturada (BALBO, 2007).

A mistura dos agregados com o ligante é realizada numa temperatura de 140°C a 175°C em uma usina de asfalto apropriada, para que se consiga chegar à composição e dosagem estabelecidas em normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), após é transportada até o local de sua aplicação por caminhões especialmente equipados onde é lançado por equipamento adequado, chamado de vibro acabadora. Após seu lançamento a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto (BERNUCCI et al., 2008).

Nessa mistura deve-se realizar a dosagem desses materiais, obtida previamente em laboratório através dos ensaios Marshall (DNER-ME 043/95) e o de resistência a tração (DNER-ME 138/94), com finalidade de obter uma composição granulométrica de agregados que misturada ao (CAP), em temperaturas adequadas, formem um material que deve oferecer condições mecânicas adequadas para suportar as solicitações impostas ao pavimento (tráfego de veículos, ações climáticas, entre outros), sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação dos componentes ou perda de compactação. Além de que, uma dosagem de mistura asfáltica visa, entre outros objetivos, obter uma mistura adequadamente trabalhável, com baixa deformação permanente, estável a ações de cargas estáticas ou móveis e pouco suscetível à fissuração por fadiga (BALBO, 2007).

Após os resultados dos ensaios serem satisfatórios, selecionam-se os materiais apropriados para o processo de mistura na usina de asfalto, faz-se a dosagem de acordo com as recomendações laboratoriais e em seguida os agregados são secados e misturados a elevada temperatura onde posteriormente será adicionado com o CAP e misturado até chegar ao produto final, e este é despejado nos caminhões basculantes para serem transportados ao local de execução.

2.3.1 TRANSPORTE

Chegando ao concreto betuminoso adequado, o seu transporte para o local a ser pavimentado deve ser feito através de caminhões basculantes com caçambas limpas e lisas. Para se evitar a aderência da mistura asfáltica nas chapas metálicas da caçamba deve-se lubrificá-las com solução de cal, água e sabão, óleo cru fino ou parafínico e sempre mantendo a temperatura adequada da mistura, cobrindo quando precisar todo o CBUQ com lona. Não é permitida a utilização de produtos na caçamba como óleos ou produtos que possam interferir na qualidade do ligante betuminoso.

2.3.2 APLICAÇÃO DO CBUQ

De acordo com o DNIT (2005), o CBUQ é aplicado utilizando a vibro acabadora de asfalto em temperatura entre 150°C e 160°C, onde ele é despejado em faixas e espessuras pré-determinadas em projeto. Em seguida, através do rolo pneumático, realiza-se a compactação da camada e, por último, o rolo chapa que tem a função de acabamento, vem retirando as marcas do rolo de pneus completando também a compactação do CBUQ.

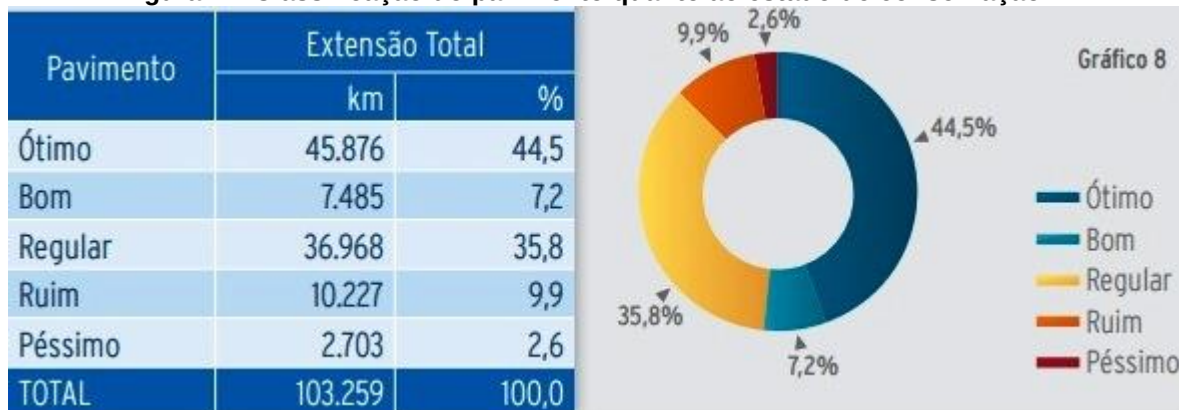
2.4 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS DE CBUQ

Apesar de 90% das estradas pavimentadas serem de CBUQ, essas vêm sofrendo com a falta de fiscalização na sua preparação, assim como a falta de drenagem, de manutenção e a má execução em campo, ocasionando defeitos nas estruturas dos pavimentos asfálticos, como: fissuras, trincas, afundamentos, desgastes, buracos, entre outros, o que oferece riscos a todos os usuários e, principalmente, aos que trafegam transportando cargas consideradas perigosas. Além de implicar em custos elevados, sobre tudo com a restauração dos pavimentos e operação dos veículos, e que requer soluções técnicas mais onerosas e robustas para a reversão desses casos (CNT, 2014).

De acordo com a pesquisa da CNT (2016), 58,2% de um total de 103.259 km analisadas, possui algum tipo de deficiência, seja ela na geometria da via, no pavimento ou na sinalização. Estes defeitos ou irregularidades aumenta o risco de acidentes e afeta diretamente o conforto e a segurança dos passageiros.

Ainda segundo a pesquisa da CNT (2016), 48,3% de um total de 103.259 km analisadas, possui algum tipo de deficiência no pavimento. Na figura 4 a seguir pode-se visualizar a situação atual do pavimento brasileiro.

Figura 4 – Classificação do pavimento quanto ao estado de conservação.



Fonte: CNT (2016).

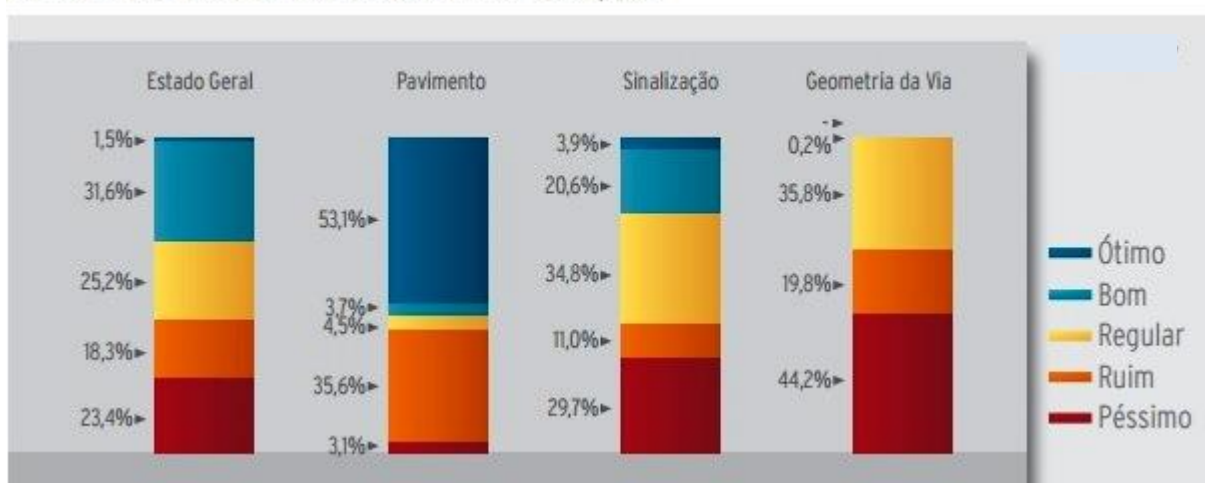
Segundo a CNT (2016), o estado de Sergipe conta com 2.276 km de extensão pavimentada. Em pesquisa foi analisado 646 km, onde consta que somente 1,5% das rodovias pavimentadas encontram-se em ótimo estado. A figura 5 a seguir mostra o resumo das características avaliadas.

Figura 5 – Classificação e características do pavimento.

Classificação das características avaliadas em km - Sergipe

Sergipe	Estado Geral	Pavimento	Sinalização	Geometria da Via
Ótimo	10	343	25	-
Bom	204	24	133	1
Regular	163	29	225	231
Ruim	118	230	71	128
Péssimo	151	20	192	286
TOTAL	646	646	646	646

Resumo das características avaliadas - Sergipe



Fonte: CNT (2016).

Existem diversas patologias encontradas em revestimentos asfálticos. Quando os surgimentos destas patologias ocorrem precocemente pode-se dizer que existiu erros de projeto, de execução ou material de base, sub-base ou CBUQ de qualidade inadequada. Erros de projeto levam-se em conta uma previsão de tráfego equivocada, falhas no sistema de drenagem ou a inexistência deste sistema, ou até um dimensionamento errôneo. Já os erros de execução deve-se fazer um estudo minucioso a cerca de espessura do revestimento menor, imprimação irregular, temperatura da massa asfáltica abaixo do normal ou até mesmo uma compactação mal executada. Quando o surgimento das patologias surgem de médio a longo prazo suas causas prováveis podem ser os intempéries, aliados a falta de conservação e manutenção do pavimento.

Segundo Fontes (2009), ao longo da vida dos pavimentos flexíveis, há aparecimento de degradações, as quais contribuem para a perda de sua qualidade. Assim, essas deteriorações do pavimento podem ocorrer mais brevemente, sobretudo

em função de fatores como: condições ambientais; capacidade de suporte do pavimento e do subleito; volume de tráfego; carga por eixo do caminhão; e, qualidade dos materiais utilizados e do processo construtivo.

No Brasil, existe um documento que define os termos técnicos relativos à classificação das degradações que ocorrem nos pavimentos flexíveis e que é utilizado também para padronizar a linguagem adotada na elaboração das normas, manuais, projetos e textos relativos aos pavimentos flexíveis, que é a norma do DNIT 005-TER (2003). Esta norma apresenta um quadro (figura 6) com resumo das degradações, sua codificação e classificação, a representação das degradações e ilustrações fotográficas das mesmas.

Figura 6 - Resumo dos defeitos - codificação e classificação.

Figura 6 - Resultado 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 no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	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
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			Remendo Superficial	RS
			Remendo Profundo	RP

Fonte: DNIT 005-TER (2006).

Segundo o DNIT (2006b), foram constatados que as principais patologias que ocorrem nos pavimentos brasileiros atualmente são os afundamentos plásticos, os fendilhamentos por fadiga, escorregamento em pontos de ônibus e painéis ou buracos.

De acordo com o DNIT 005-TER (2003), as principais patologias ficam definidas e conceituadas como a seguir apresentado.

2.4.1 Fendas

A fenda se traduz como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob as formas de fissura ou de trinca (DNIT, 2003). Segundo o DNIT (2006b), as fendas são causadas provavelmente pelas ocorrências em conjunto de alguns fatores, como: tráfego atuante que pelo ciclo do carregamento e alívio promovem tensões de tração na fibra interior do revestimento; alternância da mudança diária de temperatura que acusam contrações de revestimento existente; e, reflexão no revestimento de trincas existentes em bases cimentadas.

2.4.1.1 Fissura

A fissura é classificada como a fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m (DNIT, 2003).

2.4.1.2 Trinca

Fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003).

As trincas no revestimento podem acontecer devido à fadiga ou não. O excesso de tráfego e de carga pesada está relacionado com a fadiga (Silva, 2011).

a) Trinca isolada

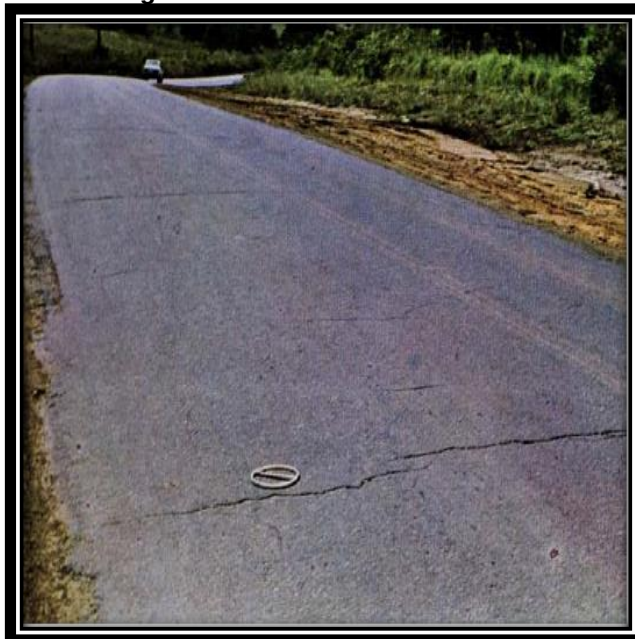
a.1) Trinca transversal

A trinca transversal isolada é a trinca que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via (figura 7). Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominado trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa.

a.2) Trinca longitudinal

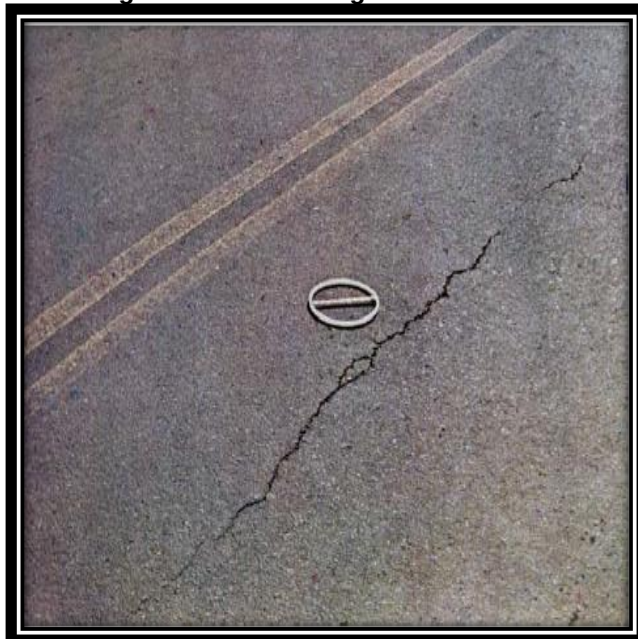
Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via (figura 8). Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa.

Figura 7 - Trinca transversal.



Fonte: DNIT (2003).

Figura 8 - Trinca longitudinal.



Fonte: DNIT (2003).

a.3) Trinca de retração

Trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado.

b) Trinca interligada

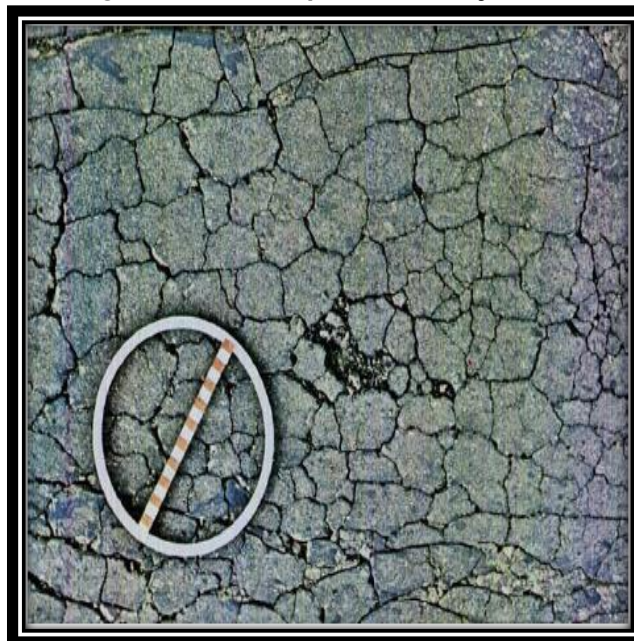
b.1) Trinca tipo “couro de jacaré”

Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré (figura 9). Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas. Este tipo de trinca indica um estágio avançado de fadiga (Silva, 2011).

b.2) Trinca tipo “bloco”

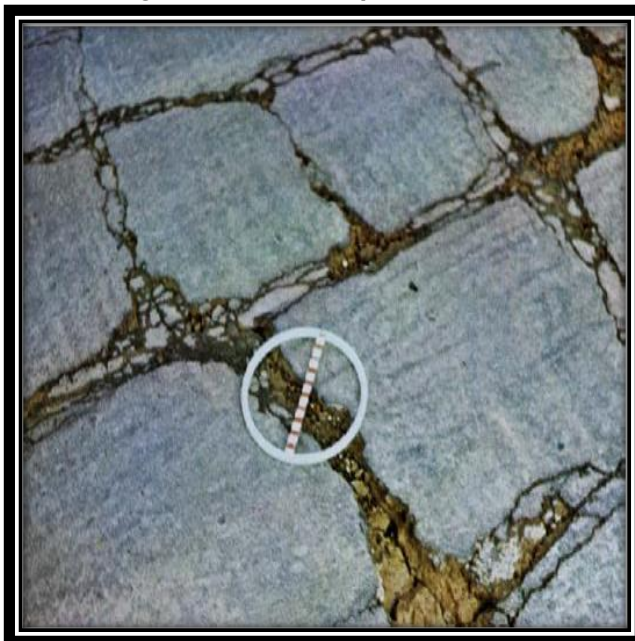
Conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas (figura 10).

Figura 9 - Trinca tipo “couro de jacaré”.



Fonte: DNIT (2003).

Figura 10 - Trinca tipo “bloco”.



Fonte: DNIT (2003).

2.4.2 Afundamento

Trata-se da deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (figura 11). Segundo Silva (2011), os afundamentos ocorrem devido ao intenso fluxo de tráfego e pelo excesso de carga, devido à ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus e devido ao fluxo canalizado dos veículos nas vias que causam as deformações.

a) Afundamento plástico

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local. Quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (DNIT, 2003).

b) Afundamento de consolidação

Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação

local. Quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003).

Figura 11 - Afundamento.



Fonte: DNIT (2003)

2.4.3 Panela ou Buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas (figura 12), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (DNIT, 2003).

De acordo com Silva (2011), estes buracos costumam aparecer de defeitos como trincas, afundamentos ou desgaste superficial. Com o surgimento de trincas a água da chuva penetra e induz a uma degradação mais rápida do revestimento. Ainda segundo Silva (2011) é necessária à execução de remendo de superfície profundo para corrigir uma panela ou buraco.

Figura 12 - Panela ou buraco.

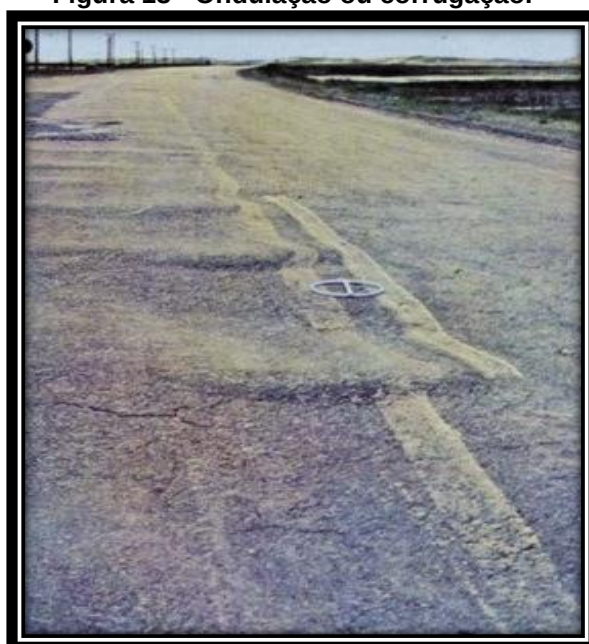


Fonte: DNIT (2003).

2.4.4 Ondulação ou Corrugação

De acordo com o DNIT (2006b), trata-se de uma falha a qual apresentam ondulações transversais, permanente e com caráter plástico (figura 13). Sua causa pode estar alinhada a alguns fatores como a instabilidade da mistura betuminosa da camada de revestimento, a contaminação da mistura asfáltica, excesso de umidade das camadas inferiores ou até mesmo a retenção de água na mistura asfáltica. Este defeito costuma-se aparecer em locais de aceleração ou de frenagem dos veículos.

Figura 13 - Ondulação ou corrugação.



Fonte: DNIT (2003).

2.4.5 Escorregamento do Revestimento

Segundo o DNIT (2006b), o escorregamento consiste na movimentação horizontal do revestimento betuminoso devido à frenagem e aceleração dos veículos aliados a baixa aderência e a baixa resistência do revestimento nas áreas onde ocorre o maior fluxo de veículos pesados que precisem realizar desacelerações repentinas e acelerações constantes (figura 14). Um grande exemplo deste tipo de acontecimento é em pontos de ônibus, mas também podem ocorrer próximos a lombadas e rampas. Seu escorregamento vem aparecendo de maneira lentamente através de trincas em forma de meia-lua. Quando o seu escorregamento estiver completo pode-se visualizar as camadas inferiores do revestimento.

Este tipo de defeito possui como prováveis causas uma deficiência na compactação das misturas asfálticas ou da base, deficiência na imprimação ou pintura de ligação, espessura do revestimento asfáltico reduzida e até mesmo uma ligação inadequada entre o CBUQ e a camada inferior a ele.

Figura 14 - Escorregamento do revestimento.



Fonte: DNIT (2003).

2.5 MANUTENÇÃO

Segundo o manual de pavimentação do DNIT (2006a), a manutenção de rodovia compreende um processo sistemático a que, de forma contínua, deve ser submetido uma rodovia, no sentido de que esta, de conformidade com suas funções e magnitude

de tráfego, venha a oferecer ao usuário, permanentemente, um tráfego econômico, confortável e seguro.

Ao término de qualquer implantação de um pavimento, o órgão responsável pela gestão da rodovia deve identificar e efetuar as atividades de conservação preventivas necessárias, para que com isso consiga permitir que o tráfego flua de forma segura, confortável, econômica, de modo a que não se precisem utilizar meios de conservação corretiva, as quais possuem elevados custos.

De acordo com o manual do DNIT (2006a), a conservação se divide em preventiva e corretiva, sendo a preventiva, o conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos; e, a corretiva, é aquela realizada de acordo com uma programação, com base em mesma técnica, para eliminação de imperfeições existentes.

Para definir um método para restauração, é necessário fazer um estudo das condições do pavimento existente, analisando o pavimento funcional e estruturalmente (BERNUCCI et al., 2008).

A avaliação funcional verifica a condição da superfície do pavimento e a irregularidade longitudinal. Os principais defeitos verificados nesse tipo de avaliação são: área trincada e severidade de trincamento, a irregularidade longitudinal e a deformação permanente. Já a avaliação estrutural verifica as condições do pavimento suportar cargas. Os principais parâmetros considerados na avaliação estrutural são a deflexão na superfície e a bacia de deformação (BERNUCCI et al., 2008).

A análise dos dados das avaliações através dos procedimentos específicos, ajuda na escolha da solução de restauração apropriada em cada caso (BERNUCCI et al., 2008).

As principais técnicas de manutenção preventiva são: remendo superficial e profundo, lama asfáltica e tratamentos superficiais (GONÇALVES, 1999). Segundo Gonçalves (1999), as principais medidas adotadas no Brasil para a manutenção corretiva estão apresentadas na figura 15.

Figura 15 - Tipos de manutenção corretiva.

TIPOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA
Recapeamento simples em CBUQ, na espessura do revestimento
Fresagem total ou parcial do revestimento e aplicação de camada em CBUQ que aumente a capacidade estrutural do pavimento
Colocação de camada intermediária especial contra reflexão de trincas, seguida de recapeamento ("Sistema Anti-Reflexão de Trincas")
Fresagem parcial do revestimento, seguida de aplicação de camada intermediária contra reflexão de trincas e coberta com novo revestimento de CBUQ. Considera-se em dois níveis: 1 e 2, com o nível 2 envolvendo maiores espessuras
Reciclagem do revestimento e da base granular, formando-se uma base tratada com emulsão ou cimento e construindo-se um novo revestimento
Aplicação de Tratamento Superficial Duplo (TSD) sobre o tratamento existente
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de TSD
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de CBUQ
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico existente, nas condições de projeto original, seguida de complementação da espessura da capa em CBUQ (reforço estrutural)
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico

Fonte: Gonçalves (1999).

Quando são identificadas fissuras isoladas na superfície do revestimento, por exemplo, é necessário fazer uma manutenção preventiva, por selagem, para retardar a evolução do problema e para que não necessite de uma intervenção de restauração de maior magnitude e custo, que seria uma manutenção corretiva.

3 METODOLOGIA

Através de bibliografias, livros, revistas e internet, que orientaram o trabalho, além do acompanhamento em campo e ensaios laboratoriais, que possibilitou a realização de um estudo preliminar para reunir informações sobre o tema proposto, para que seja possível o desenvolvimento da discussão e analisar os resultados.

Para o suporte e estudo de caso dessa pesquisa, foi utilizada a Usina de Asfalto da EMURB (Empresa Municipal de Obras e Urbanização), localizada no km 4 da Rodovia João Bebe Água, na Grande Aracaju, Sergipe, responsável por toda produção de CBUQ das obras de Aracaju, com capacidade de produzir 80 a 100 toneladas/hora de massa asfáltica e misturas betuminosas (Portal da PMA, 2010). Também foi feito um estudo no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Sergipe (IFS) com o objetivo da realização de ensaios no material de base utilizado para a pavimentação da via em estudo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

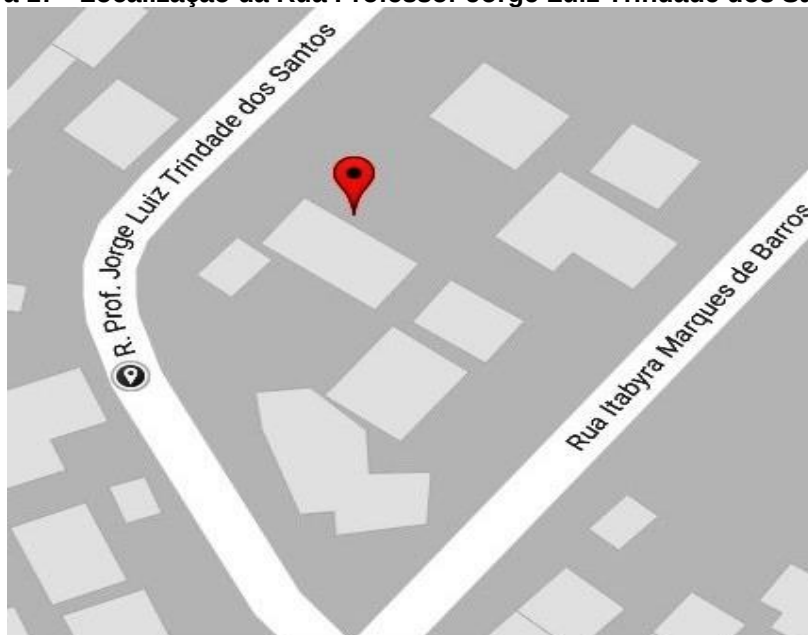
As vias estudadas foram as Ruas Evaldo Campos Junior (figura 16) e a Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos (figura 17). Na Rua Evaldo Campos Junior foi visto todo o processo de compactação do material de sub-base e base. Já na Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos foi visto o processo de lançamento do CBUQ. As fotos tiradas onde apresentavam diversas patologias após dois (2) meses da execução do CBUQ foram em ambas as ruas.

Figura 16 - Localização da Rua Evaldo Campos Junior.



Fonte: Google Maps (2017b).

Figura 17 - Localização da Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos.



Fonte: Google Maps (2017a).

3.2 COLETA DE DADOS

Foi coletada uma amostra deformada da camada de base na Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos com o objetivo de realizar os ensaios de caracterização deste material afim de verificar a sua adequabilidade como material de base de pavimentos. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do IFS. Durante a coleta foi retirada uma amostra para a determinação do teor de umidade natural desse solo “in loco”.

4 ESTUDO DE CASO

Este item é composto de cinco partes. Inicia-se com a apresentação das empresas objeto de estudo, na segunda parte, descrevem-se os processos laboratoriais utilizados pelo técnico da empresa EMURB para obtenção do CBUQ, na terceira parte, as etapas da produção do CBUQ em usina, na quarta parte, o transporte do CBUQ e a execução da pavimentação asfáltica e, na quinta parte, a análise no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Sergipe do material de base utilizado para a pavimentação a fim de se averiguar as possíveis causas do aparecimento de várias patologias após um mês de pavimentação concluída e identificar possíveis desvios em relação à norma que venha causar diminuição na sua durabilidade.

4.1 A EMURB E A EMPRESA CONSTRUTORA

A empresa de estudo para obtenção, transporte e execução do CBUQ é a Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB), situada na Av. Augusto Franco, 3340, no bairro Getúlio Vargas, na cidade de Aracaju - SE, que é responsável pela implantação e recuperação da malha viária e da rede de drenagem, construção, reforma e ampliação das escolas, creches, postos de saúde e prédios da administração municipal, como também a urbanização de praças. Hoje, além desses serviços, a EMURB faz a implantação de iluminação pública e de placas de identificação nos logradouros da cidade.

Já a empresa responsável pela execução do reforço do subleito, do material de base e serviços de drenagem pluvial é uma construtora que é responsável pela exploração do ramo de edificações: residenciais, comerciais e de serviços; terraplanagem e outras movimentações de terra; serviços de projetos arquitetônicos; construção de sistema de saneamento básico; construção de redes de água e esgoto; execução de poços de água, execução de drenos em camadas; execução de escoramento; serviço de gerenciamento e execução de obras por contratos de construção por administração; serviços de avaliação e perícia em engenharia civil; serviços técnicos de topografia e Geodésia; construção de obra d'arte de grandes estruturas; montagem de estruturas metálicas, exceto as temporárias; e, instalação e manutenção de elétrica em edificações.

4.2 PROCESSOS LABORATORIAIS PARA OBTENÇÃO DO TRAÇO DE CBUQ

Em visitas ao laboratório da usina foi acompanhado o processo de dosagem dos materiais para a obtenção do CBUQ. O modelo utilizado para a dosagem é o ensaio Marshall. A proposta dos métodos de dosagem de misturas asfálticas é determinar a proporção de ligante para uma distribuição granulométrica pré-estabelecida de agregado que resulte em desempenho satisfatório quando em serviço.

Os materiais agregados utilizados para preparação do CBUQ foram obtidos em diversas jazidas do estado de Sergipe, a areia vem do povoado de Pedrinhas (areia fina) ou do município de Areia Branca (areia mais grossa) e o pó de pedra e a brita vem das cidades de Itaporanga ou Itabaiana.

Segundo o técnico da EMURB, antes de efetuar o pedido dos materiais ele solicita uma amostra de cada material para a realização do ensaio a fim de atingir as especificações de projeto. Caso o material seja aprovado é efetuado o pedido. Quando for necessária uma nova remessa de materiais estes são novamente colhidos para um novo ensaio.

O ensaio em laboratório consiste em seleção dos materiais e separação granulométrica (peneiramento), conforme ilustra a figura 18, pesagem (figura 19), mistura dos agregados, aquecimento do CAP50/70 até cerca de 150°C a 155°C (figura 20), adição do CAP a mistura de agregados e medição da temperatura da mistura (figura 21), moldagem dos corpos de prova (figura 22), compactação dos corpos de prova (figura 23), repouso do corpo de prova em banho-maria. Como no dia da visita o aparelho estava em manutenção, então foi utilizada uma pia com água, o que possivelmente influenciou no resultado dos ensaios (figura 24). Após 24 horas, o corpo de prova foi desmoldado (figuras 25 e 26) para a realização do ensaio de compressão. O ensaio de tração foi realizado no laboratório da Universidade Federal de Sergipe por falta do equipamento para a realização do mesmo.

Figura 18 - Seleção e preparação dos materiais.



Fonte: Autor (2017).

Figura 19 - Pesagem dos agregados.



Fonte: Autor (2017).

Figura 20 - Aquecimento do CAP.



Fonte: Autor (2017).

Figura 21 - Mistura com adição do CAP.



Fonte: Autor (2017).

Figura 22 - Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2017).

Figura 23 - Compactação dos blocos.

Fonte: Autor (2017).

Figura 24 - Banho-maria.

Fonte: Autor (2017).

Figura 25 - Desmolde do corpo de prova.

Fonte: Autor (2017).

Figura 26 - Bloco para ensaio de compressão.

Fonte: Autor (2017).

4.3 PRODUÇÃO DO CBUQ EM USINA

Após uma dosagem definida em laboratório são solicitados os materiais, os quais são armazenados próximos aos silos (figura 27). Foi observado que somente um tipo de areia estava protegido com lona. A usina utilizada para a produção é do tipo volumétrica na qual se colocam os agregados nos silos e através de processo computacional é colocado os volumes exatos de cada material já definido em ensaio

laboratorial. Um trator transporta os materiais armazenados até os silos da usina (figura 28). Os dados dos volumes dosados são colocados no computador onde será feito o processo todo automatizado (figura 29).

Os volumes de cada material são levados por esteiras (figura 30) até o misturador (figura 31) onde os mesmos são misturados e tem sua temperatura elevada a cerca de 160°C até que possa ser adicionada ao CAP, o qual é utilizado a temperatura de 150°C a 155°C. O CAP é armazenado em tonéis (figura 32), e vai para um aquecedor para adquirir temperaturas ideais antes de ser misturado aos agregados (figura 33). Após a adição do CAP na mistura de agregados, todo o material passa por uma nova mistura até atingir as condições ideais previamente estabelecidas, antes da mistura ser despejada nos caminhões para o transporte até o local da execução. Descarta-se uma remessa de CBUQ em retroescavadeiras para tentar garantir a limpeza e homogeneidade da mistura (figura 34). Após a limpeza, a mistura é despejada nos caminhões basculantes (figura 35) os quais irão transportá-la ao local da execução.

Figura 27 - Armazenamento de areia com e sem proteção.



Fonte: Autor (2017).

Figura 28 - Retroescavadeira colocando agregados nos silos e seu armazenamento.



Fonte: Autor (2017)

Figura 29 - Dosagem volumétrica controlada por computador.



Fonte: Autor (2017).

Figura 30 - Esteiras que transportam os agregados.



Fonte: Autor (2017).

Figura 31 - Misturador.

Fonte: Autor (2017).

Figura 32 - Armazenamento do CAP.

Fonte: Autor (2017).

Figura 33 - Aquecimento do CAP.

Fonte: Autor (2017).

Figura 34 - Remessa de massa é descartada.

Fonte: Autor (2017).

Figura 35 - Caminhão a espera do CBUQ e despejo do CBUQ em caminhão basculante.



Fonte: Autor (2017).

4.4 TRANSPORTE E EXECUÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Os caminhões basculantes recebem o CBUQ da usina e, em seguida, cada motorista cobre o CBUQ com lona a fim de não perder temperatura para o ambiente, conservando assim a mistura (figura 36). Chegando ao local de execução na Rua Evaldo Campos Junior (bairro Aruanda), foi-se observado todo o processo da compactação da sub-base e base através de rolos compactadores. A sub-base foi de argila e a base de solo britado. Foi visualizado em campo um técnico realizando o ensaio do grau de compactação da sub-base, a fim de constatar se as especificações de projeto foram atingidas (figura 37).

Figura 36 - Transporte do CBUQ para o local de execução.



Fonte: Autor (2017).

Figura 37 - Ensaio do grau de compactação da sub-base (Ensaio do Frasco de Areia).



Fonte: Autor (2017).

Com a chegada dos caminhões basculantes para execução do revestimento asfáltico da Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos, um encarregado que tem a responsabilidade de seguir o plano de execução da pavimentação asfáltica, recebeu o CBUQ. Foi observado no local que a camada de imprimação já tinha sido executada (figura 38), porém não havia uma limpeza adequada próximo aos canteiros, o que pode prejudicar as condições finais do revestimento (figura 39), além de que em alguns trechos, a imprimação já estava danificada, o que possivelmente pode resultar em perdas da durabilidade do pavimento (figura 40). Antes de o revestimento ser executado, os operários passaram uma pintura de ligação na imprimação para facilitar a junção do revestimento novo, com a camada de imprimação (figuras 41 e 42). Após a aplicação da pintura, o CBUQ foi despejado na vibro-acabadora para o seu espalhamento (figura 43) e alinhamento das camadas do revestimento. Em seguida, foi observada a utilização do rolo compactador liso antes do que o rolo pneumático, o que contraria a metodologia executiva do processo de pavimentação (figura 44). Porém, em outro trecho foi invertida a ordem dos rolos compactadores. Foi observado também que não havia sinalização e nem um plano para despejo dos caminhões, onde os mesmos passavam em trechos que tinham acabado de ser asfaltado, danificando o pavimento (figura 45), tendo que voltar várias vezes o serviço para a regularização do mesmo trecho (figura 46).

Figura 38 - Camada imprimada.



Fonte: Autor (2017).

Figura 39 - Resíduos na via.



Fonte: Autor (2017).

Figura 40 - Imprimação com imperfeições.



Fonte: Autor (2017).

Figura 41 - Pintura de ligação.



Fonte: Autor (2017).

Figura 42 - Aplicação da pintura de ligação.



Fonte: Autor (2017).

Figura 43 - Vibro-acabadora e lançamento do CBUQ na vibro-acabadora.



Fonte: Autor (2017).

Figura 44 - Rolo liso usado antes do do rolo pneumático.



Fonte: Autor (2017).

Figura 45 - Rastro de passagem dos caminhões.



Fonte: Autor (2017).

Figura 46 - Regularização manual e com rolo liso dos rastros do caminhão.



Fonte: Autor (2017).

Foi observado na Rua Odilon Gonçalves da Silveira, a qual já estava asfaltada há algumas semanas, que a mesma não possuía os acabamentos laterais (meio-fio) (figura 47), podendo assim ocorrer percolação de água abaixo do revestimento asfáltico, o que possivelmente ocasionou as patologias (fissuras e panelas) observadas naquele local (figura 48).

Figura 47 - Falta de meio-fio no asfalto acabado.



Fonte: Autor (2017).

Figura 48 - Fissuras e panelas no asfalto acabado.



Fonte: Autor (2017).

4.5 APÓS 2 MESES DE EXECUTADO A PAVIMENTAÇÃO

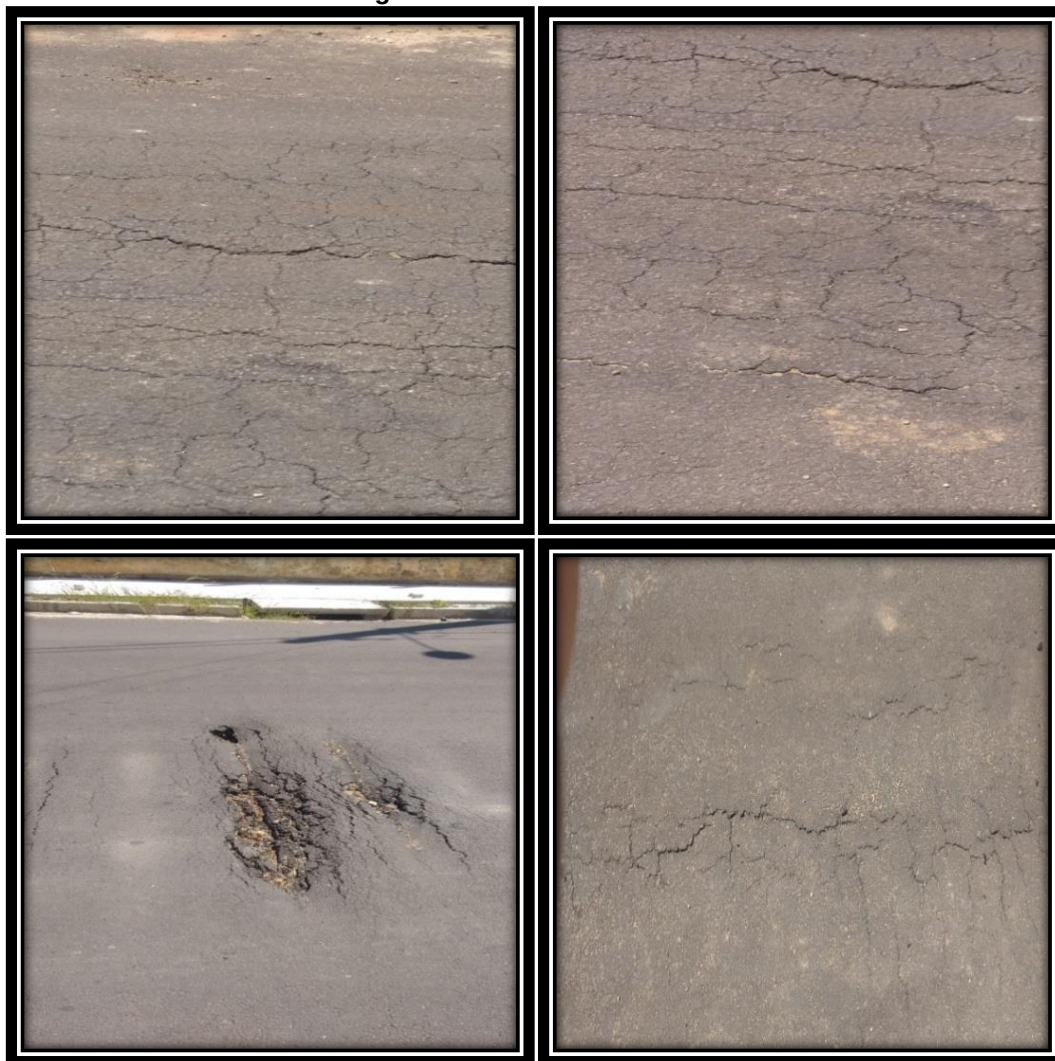
Ao chegar ao local da obra dois (2) meses após a execução da via foram observadas inúmeras patologias (figuras 49 e 50) já existentes no pavimento, onde as mesmas possivelmente foram resultantes dos erros já elencados anteriormente, em conjunto com a possível má qualidade do material escolhido para a pavimentação.

Figura 49 - Painéis na via.



Fonte: Autor (2017).

Figura 50 - Fissuras na via.



Fonte: Autor (2017).

A fim de constatar as possíveis causas que propiciaram a ocorrência dessas patologias, que surgiram em tão pouco tempo após a execução da obra, foi recolhido o material de base do local da obra para realização de alguns ensaios em laboratório. Mesmo observando alguns erros já citados anteriormente, desde a produção do CBUQ até a execução da via, que provavelmente interferiram na durabilidade da pavimentação, uma análise mais detalhada do material de base utilizada na obra foi realizada.

4.6 ENSAIOS DO MATERIAL DE BASE

Para obter uma perfeita análise do material de base foram realizados alguns ensaios, tais como: umidade natural do material de base, umidade higroscópica, análise granulométrica (figuras 51 e 52), sedimentação (figura 53), massa específica real, limite de contração (figura 54), limite de plasticidade - LP, limite de liquidez - LL

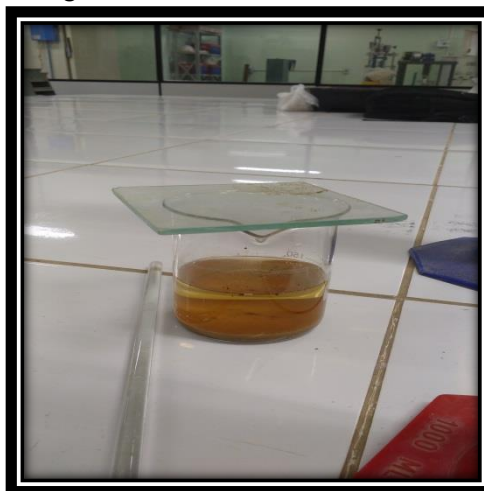
(figura 55), ensaio de compactação (figura 56), ensaio de expansão / retração (figura 57) e determinação do Índice de Suporte Califórnia - ISC (figura 58).

Figura 51 - Peneiramento do solo.



Fonte: Autor (2017).

Figura 52 - Solo + Defloculante.



Fonte: Autor (2017).

Figura 53 - Sedimentação.



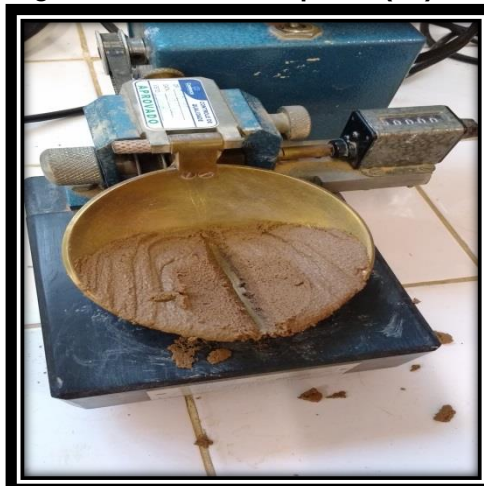
Fonte: Autor (2017).

Figura 54 - Cápsulas para o limite de contração.



Fonte: Autor (2017).

Figura 55 - Limite de liquidez (LL).



Fonte: Autor (2017).

Figura 56 - Ensaio de compactação.



Fonte: Autor (2017).

Figura 57 - Ensaio de expansão / retração.



Fonte: Autor (2017).

Figura 58 - Ensaio do Índice Suporte Califórnia (ISC).



Fonte: Autor (2017).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 abaixo apresenta os resultados obtidos do material de base da via em estudo no que refere-se à umidade higroscópica e a análise granulométrica (peneiramento + sedimentação).

Tabela 2 - Umidade higroscópica e análise granulométrica do material de base.

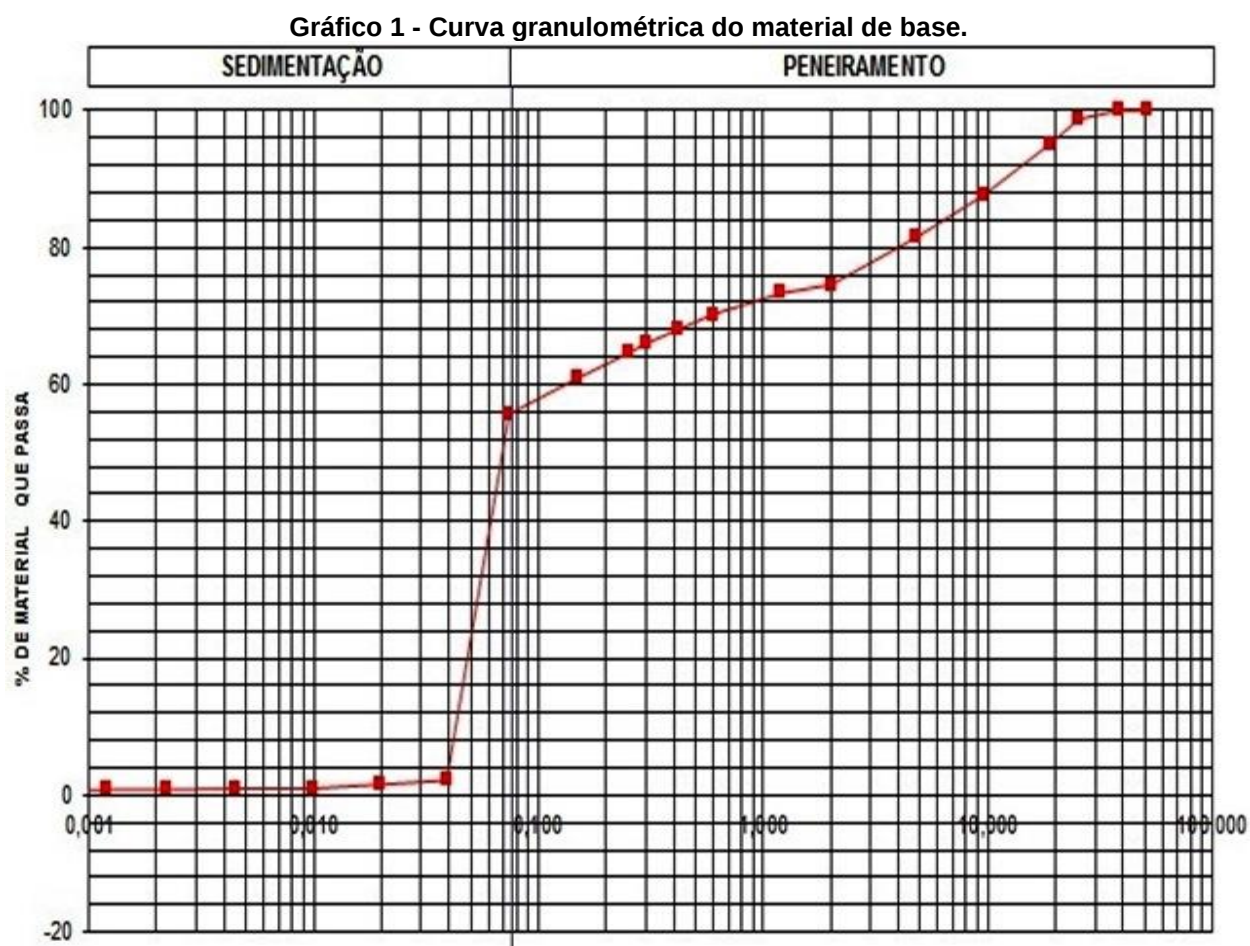
UMIDADE HIGROSCÓPICA				AMOSTRA TOTAL SECA		RESUMO DA GRANULOMETRIA	
Cápsula N°	15	8	17				
Cápsula + Solo Úmido (g)	69,3	69,89	69,36	Amostra total úmida (g)	2162	Pedregulho: acima de 2,0 mm	25,43 %
Cápsula + Solo Seco (g)	69,11	69,72	69,220	Pedregulho (g)	548,4	Areia grossa: 2,0 - 0,42 mm	6,52 %
Peso da Cápsula (g)	19,3	19,89	19,36	Passando N°10 (g) úmida	1614	Areia média e fina: 0,42 - 0,074mm	12,38 %
Peso de Água (g)	0,19	0,17	0,14	Peso de umidade (g)	5,32	Silte: 0,074 - 0,005mm	54,68 %
Peso do solo seco (g)	49,81	49,83	49,86	Passando N°10 (g) seca	1608,24	Argila: abaixo de 0,005mm	0,99 %
Umidade (%)	0,38	0,34	0,28	Amostra total seca	2156,66	Total:	100,00 %
Umidade Média (%)		0,33				Arg. Coloidal: abaixo de 0,001	
Fator de Conversão		0,9967					
PENEIRAÇÃO DA AMOSTRA TOTAL							
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da amostra total		PENEIRA (mm)	
	Peso (g)	% da Amostra Total	% Acumulada				
2"	0	0,00	0,00	100,00		50,8	
1 1/2"	0	0,00	0,00	100,00		38,1	
1"	26,79	1,24	1,24	98,76		25,4	
3/4"	75,98	3,52	4,76	95,23		19,1	
3/8"	164,18	7,61	12,37	87,62		9,5	
N° 4	132,48	6,14	18,51	81,48		4,8	
N° 10	149,01	6,91	25,42	74,57		2,0	
PENEIRAÇÃO DA AMOSTRA PARCIAL							
Peso da amostra parcial úmida (g):	121,65		Peso da amostra parcial seca (g):	121,25			
PENEIRA	MATERIAL RETIDO			% que passa da amostra parcial		% que passa da amostra total	
	Peso (g)	% da Amostra Total	% Acumulada				PENEIRA (mm)
N° 16	2,03	1,67	1,67	98,33		73,32	1,200
N° 30	4,99	4,12	5,79	94,21		70,25	0,600
N° 40	3,58	2,95	8,74	91,26		68,05	0,420
N° 50	3,39	2,80	11,54	88,48		65,98	0,300
N° 60	2,32	1,91	13,45	86,55		64,54	0,250
N° 80	5,43	4,48	18,02	83,98		62,62	0,180
N° 100	2,74	2,26	18,28	81,72		60,94	0,150
N° 200	8,56	7,06	25,34	74,66		55,67	0,074
SEDIMENTAÇÃO							
Massa específica real:		2,66	g/cm³	Pw =	121,65	Pd =	121,25
Data	Hora	Tempo	Leitura	Temp.	Viscosidade	Correção dev. a	Leitura
		(min.)	Densim.	(°C)	N°E-6	temperatura	corrigida
		00:00:00	-	-	-	-	-
00/01/00	11:00:00	00:00:30	3,4	27,7	8,52	-1,2	2,2
00/01/00	11:01:00	00:01:00	2,8	27,7	8,52	-1,2	1,6
00/01/00	11:02:00	00:02:00	2,2	27,7	8,52	-1,2	1,0
00/01/00	11:04:00	00:04:00	2,2	27,7	8,52	-1,2	1,0
00/01/00	11:08:00	00:08:00	2,0	27,6	8,52	-1,2	0,8
00/01/00	11:15:00	00:15:00	2,0	27,3	8,72	-1,2	0,8
00/01/00	11:30:00	00:30:00	2,0	26,7	8,72	-1,4	0,6
00/01/00	12:00:00	01:00:00	2,0	26,1	8,92	-1,6	0,4
00/01/00	13:00:00	02:00:00	2,0	24,7	9,13	-2	0,0
00/01/00	15:00:00	04:00:00	1,8	25,0	9,13	-2	-0,2
00/01/00	19:00:00	08:00:00	1,6	27,3	8,72	-1,2	0,4
01/01/00	12:00:00	01:00:00	1,0	28,5	8,43	-0,8	0,2
Q = 119,4916867 x Lc/ 121,25							

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Conforme apresentado na tabela 2, a porcentagem de argila presente no material de base ensaiado é de apenas 0,99%. Esta pequena porcentagem no teor de argila vai dificultar o processo de envelopamento e compactação do solo com as

camadas inferiores e posteriores da pavimentação, podendo vir a ocasionar problemas futuros na via.

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica obtida após a análise granulométrica realizada no material de base.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A tabela 3 a seguir apresenta os resultados obtidos do ensaio do teor de umidade natural do material de base.

Tabela 3 - Teor de umidade natural do material de base.

UMIDADE NATURAL		
Capsula Nº	2	8
Peso da Cápsula (g)	20,93	19,89
Cápsula e Solo Seco (g)	80,76	79,73
Cápsula e Solo Úmido (g)	80,93	79,89
Peso da Água (g)	0,17	0,16
Peso do solo seco (g)	59,83	59,84
Umidade (%)	0,28	0,27
Umidade Média (%)	0,28	

Fonte: Autor (2017).

Quanto ao teor de umidade natural apresentado na tabela 3 (0,28%), isto dificultou obter um valor do limite de liquidez (LL) e do limite de plasticidade (LP) uma vez que a amostra cisalhou muito rapidamente com pequenos números de golpes durante o ensaio com o aparelho de Casagrande para a determinação do LL, e não deu condições para a moldagem de um cilindro ao ser rolado sobre uma placa de vidro esmerilhada para a determinação do LP. Com isto o solo foi considerado como “NP” (Não Plástico).

A tabela 4 a seguir apresenta os resultados obtidos do ensaio da massa específica real.

Tabela 4 - Massa específica real do material de base.

MASSA ESPECIFICA REAL		
Pic. Nº	4	11
P1	22,420	25,100
P2	34,260	37,600
T °C		
P3	79,56	82,480
P4	72,16	74,68
M.Esp.Real	2,667	2,660
K ₂₀	0,9977	0,9977
D ₂₀	2,66	2,65
Média	2,66	

Fonte: Autor (2017).

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos do ensaio de compactação realizado no material de base da via estudada.

Tabela 5 - Ensaio de compactação.

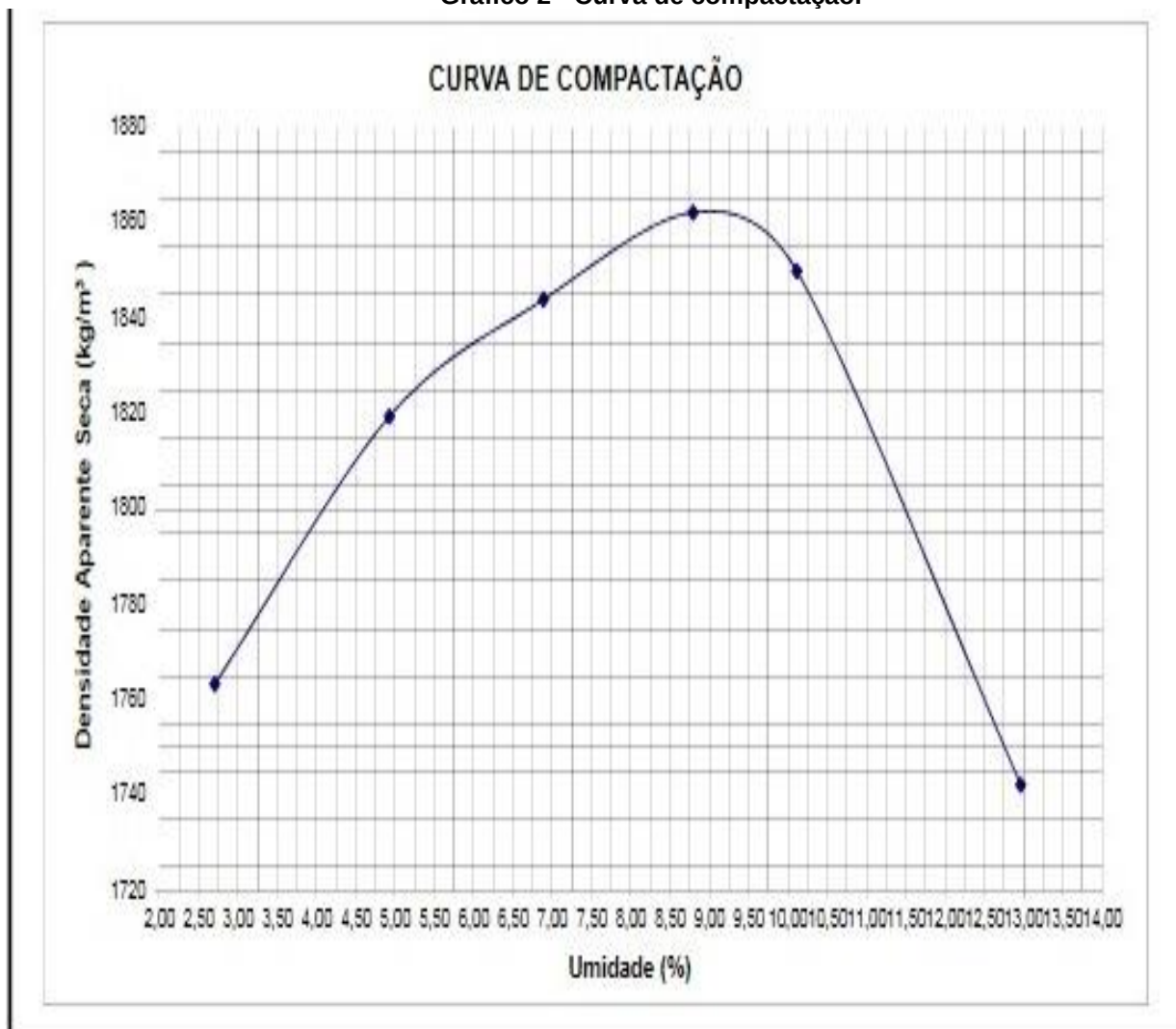
Tabela 5 - Ensaio de compactação.

UMIDADE HIGROSCÓPICA				RESULTADOS						
Cápsula Nº	2	12	52	DENSIDADE APARENTE SECA MÁXIMA: 1853 kg/m³						
Peso da Cápsula (g)	17,90	19,89	26,33							
Cápsula e Solo Seco (g)	69,38	70,19	76,18							
Cápsula e Solo Úmido (g)	69,53	70,39	76,33							
Peso da Água (g)	0,15	0,20	0,15	UMIDADE ÓTIMA: 8,80 %						
Peso do solo seco (g)	51,48	50,30	49,85							
Umidade (%)	0,29	0,40	0,30							
Umidade Média (%)	0,33									
Fator de Conversão	0,9967									
Cilindro Nº:	2	Volume :	2 dm³	Peso :	5743 g	Peso da Amostra (g):	6700			
Amostra compactada e cilindro (g)	Amostra compactada (g)	Densidade do solo úmido (kg/m³)	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						Densidade do solo seco (kg/m³)	
			Cápsula Nº :	Cápsula e solo úmido (g)	Cápsula e solo seco (g)	Cápsula (g)	água (g)	solo seco (g)	% de água	
9880	4117	1811	10	71,750	70,270	15,490	1,480	54,780	2,70	1783
10082	4339	1909	19	78,880	75,700	15,590	2,980	60,110	4,92	1819
10223	4480	1971	13	79,670	75,550	15,730	4,120	59,820	6,89	1844
10349	4808	2028	35	98,780	90,830	23,130	5,950	67,700	8,79	1882
10374	4831	2037	60	101,100	94,320	27,270	6,780	67,050	10,11	1850
10218	4473	1958	59	102,120	93,380	25,780	8,780	67,580	12,98	1742

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

O gráfico 2 ilustra a curva de compactação do solo analisado obtido após a realização do ensaio de compactação.

Gráfico 2 - Curva de compactação.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos do ensaio de expansão / retração, bem como os resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) realizados com o material de base.

Tabela 6 - Ensaio de expansão / retração e ensaio de índice de suporte Califórnia (ISC).

DADOS		ÁGUA A ADICIONAR							
Molde Nº	02	Umidade Ótima	8,80				(%)		
Massa do Molde	5743 g	Umidade Higroscópica	0,33				(%)		
Altura Inicial do CP	1,25 dm	Diferença	8,47				(%)		
Volume do CP	2,273 dm³	Massa de Solo Seco	6677,96				g		
Densidade Máxima	1883 g/dm³	Água a Adicionar	565,62				g		
MOLDAGEM DO CP (12 golpes/camada)		UMIDADES	HIGROSCÓPICA			DE MOLDAGEM			
Massa de Solo na Moldagem	6700 g	Cápsula Nº	2	12	52	2	12	52	
Massa do Molde + Solo Úmido	10335 g	Cap. + Solo Úmido (g)	69,53	70,39	76,33	70,230	75,840	73,770	
Massa do Molde	5743 g	Cap. + Solo Seco (g)	69,38	70,19	76,18	66,140	71,480	70,080	
Massa de Solo Úmido	4592 g	Cápsula (g)	17,90	19,89	28,33	17,900	19,890	28,330	
Densidade do Solo Úmido	2020 g/dm³	Água (g)	0,15	0,20	0,15	4,090	4,380	3,710	
Fator de Conversão	0,8218	Solo Seco (g)	51,48	50,30	49,85	46,240	51,570	43,730	
Densidade do Solo Seco	1882 g/dm³	Umidade (%)	0,29	0,40	0,30	8,48	8,49	8,48	
Observações:		Umidade Média (%)	0,33			8,48			
ENSAIO DE EXPANSÃO/RETRAÇÃO									
Data	Hora	Tempo Decor.	Leitura (mm)	Diferença (mm)		Retração (%)			
21/03/17	14:40	0	1,000	-0,100		-0,080			
22/03/17	14:40	24	0,900	-0,100		-0,080			
23/03/17	14:40	48	0,900	-0,100		-0,080			
24/03/17	14:40	72	0,900	-0,100		-0,080			
25/03/17	14:40	96	0,900	-0,100		-0,080			
Massa do Molde + Solo Úmido (após submersão) (g):			10357	Massa de água absorvida (g):		22			
DETERMINAÇÃO DO I.S.C.									
Tempo (min.)	Penetração		Pressão Padrão (kgf/cm²)	Leitura no Extensômetro	Pressão (kgf/cm²)		I. S. C. (%)	Resumo do Ensaio	
	(mm)	(pol.)			Calculada	Corrigida		Umidade Ótima	8,80
0,5	0,64	0,025	0	22	2,233			Densidade Max.	1883
1,0	1,27	0,050	0	43	4,3645			Densidade	1882
1,5	1,91	0,075	0	58	5,887			% de água absorvida	0,48
2,0	2,54	0,100	70,0	71	7,2085	7,25	10,38		
4,0	5,08	0,200	105,0	111	11,2685	11,3	10,76	Expansão em 14 dias (%)	-0,08
6,0	7,62	0,300	132,0	148	15,022				
8,0	10,16	0,400	161,0	182	18,473			G. C. (%)	100
10,0	12,70	0,500	182,0	217	22,0255			I. S. C. (%)	11

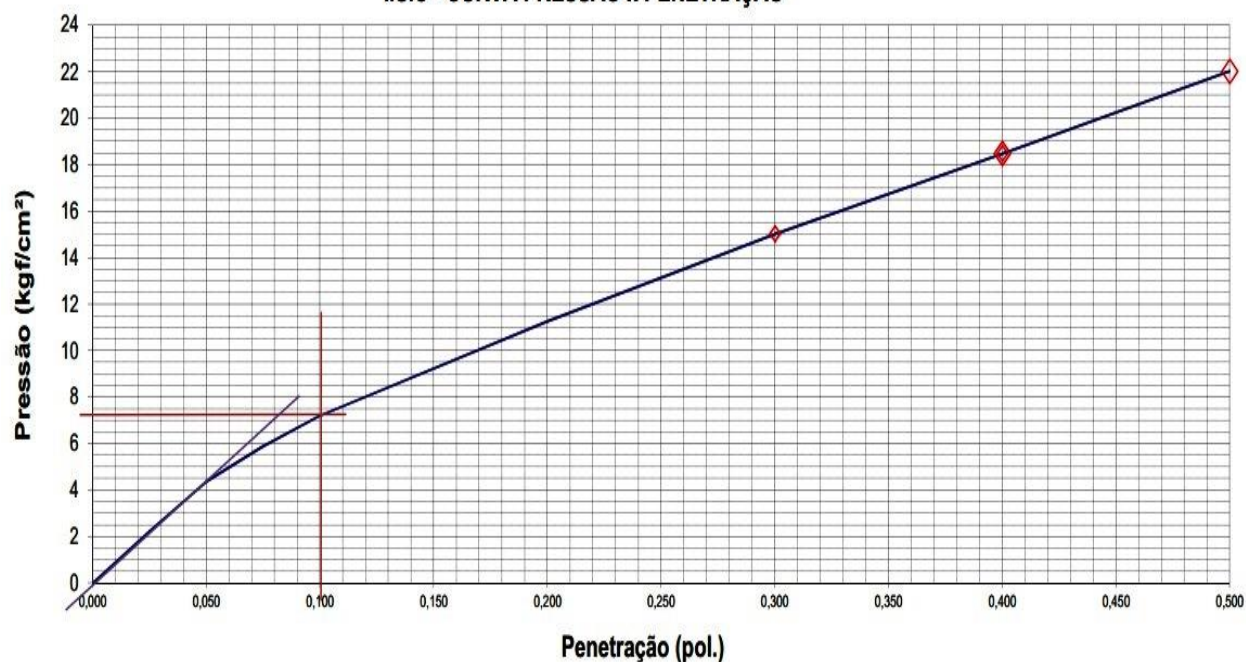
Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

Na tabela 6 apresentada o Índice de Suporte Califórnia (ISC) atingiu o valor de apenas 11%. De acordo com a norma do DNIT 141 (2010), o valor mínimo para base estabilizada granulometricamente para pavimentação é 60%. Com isso constata-se que o solo utilizado para o material de base não seria o ideal para a pavimentação da via.

O gráfico 3 ilustra a curva pressão x penetração obtida pelo ensaio de ISC.

Gráfico 3 - Curva pressão x penetração.

I.S.C - CURVA PRESSÃO x PENETRAÇÃO



Fonte: Elaborado pelo Autor (2017).

No gráfico 3 tem-se a correspondência entre as leituras no extensômetro do anel e as cargas atuantes. A correção da curva apresentada no gráfico 3 é necessária quando ocorre ponto de inflexão, sendo necessário traçar a tangente até sua intersecção com eixo das abcissas, obtendo-se o valor do deslocamento, sendo que a curva corrigida iniciaria no ponto de intersecção da tangente com o eixo das abcissas.

6 CONCLUSÕES

Com o estudo realizado pode-se verificar possíveis causas que possam ter influenciado para a perda de durabilidade e resistência da pavimentação. Na parte de dosagem laboratorial na usina da EMURB foi possível perceber que o laboratório estava com alguns equipamentos danificados e não possuía outros equipamentos necessários para se obter os traços.

Na parte da usina foi observado um inadequado armazenamento dos agregados, onde os mesmos ficavam expostos às ações climáticas e não existia uma devida separação entre eles.

Já na parte executiva foi observado falta de planejamento e fiscalização, bem como sinalização. Foram evidenciadas nas ruas recém-asfaltadas com algumas imperfeições, ruas sem o correto acabamento lateral e execução do revestimento sem o devido nivelamento da imprimação.

Através dos ensaios laboratoriais realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe foi comparado os resultados obtidos com a exigência da Norma do DNIT 141-ES (2010) e chegou-se a conclusão que o material de base utilizado para a pavimentação quase não possuía argila que se faz necessário para o devido envelopamento e compactação apropriado, não estava dentro de uma faixa granulométrica (Tabela 1), o solo não possuía limite de liquidez e plasticidade adequado para ser utilizado como material de base visto que, não foi possível concluir os ensaios devido a má qualidade do material. E, por fim, foi constatado que o Índice de Suporte Califórnia (ISC) não chega ao mínimo exigido da norma do DNIT 141/2010 que é de 60%, tendo sido obtido um valor de apenas 11%.

Logo, em relação aos problemas encontrados, poderiam ser solucionados com um investimento nos equipamentos do laboratório da EMURB ampliando o espaço físico, consertando os equipamentos quebrados e adquirindo maquinários adequados para aquecimento de CAP, o ensaio de tração, a mistura dos agregados e o medidor de temperatura. Além disso, uma construção de depósitos cobertos para o armazenamento correto e separação dos agregados utilizados na usina. Na parte executiva um acompanhamento de um engenheiro para uma fiscalização diária evitaria os erros citados no presente estudo de caso. E quanto ao material utilizado para a base da via, uma fiscalização minuciosa com a realização de ensaios toda vez que chegar

material evitaria o uso de material sem as condições apropriadas para ser utilizado para fins de pavimentação.

Diante do que foi exposto neste trabalho, sugere-se como temas para trabalho futuros realizar ensaios com o material de CBUQ utilizado como revestimento na via estudada, bem como fazer um acompanhamento das patologias que surgiram com o tempo na via e as práticas de manutenção utilizadas pelo órgão responsável para manter a qualidade e o bom estado de conservação da mesma, garantindo a segurança e conforto aos usuários.

7 REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7207: **Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 12.950 - **Execução de Imprimação Impermeabilizante - Procedimento; Especificação Técnica DER-SP (ET-DE-P00/019)**. São Paulo, 1993.

ALVES, J. C. M. **Direito Romano**. 6. ed. Forense. São Paulo, 1987.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros**. 2008. Disponível em: <http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm>. Acesso em: 17 Jan. 2016.

COLAVITE, S.A.; KONISHI, F. **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - SEGET, Resende – RJ. 2015 Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf>>. Acesso em: 17 Jan. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias**. 2016. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)>. Acesso em: 27 Jun. 2017.

_____. **Pesquisa CNT de rodovias**. 2014. Disponível em: <<http://gtexpress.net.br/wp-content/uploads/2014/11/Pesquisa-CNT-de-Rodovias-2014-GT-Express.pdf>>. Acesso em: 25 Jan. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 138/94: **Misturas asfálticas – determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 043/95: **Misturas asfálticas a quente – ensaio Marshall: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. DNER-EM 363/97: **Asfaltos diluídos tipo cura média**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. DNER-ES 301/97: **Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente**. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT-ES 032/2005 **Pavimentos flexíveis– areia - asfalto a quente – especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. DNIT 138/2010-ES: **Pavimentação - Reforço do subleito - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 141/2010-ES: **Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT 005/2003-TER: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **Manual de pavimentos rígidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006a.

FONTES, L. P. T. L. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. Doutorado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, 2009.

GONÇALVES F. P. **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos**. Notas de aula, UFJF: Juiz de Fora, 1999.

Google Maps. **Localização da Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos**. 2017a. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/R.+Prof.+Jorge+Luiz+Trindade+dos+Santos++Aruana,+Aracaju++SE/@11.0143269,37.073076,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x71ab09206f4456b:0xc22e80c5284ec107!8m2!3d-11.0143269!4d37.0708873?hl=ptBR>> Acesso em: 28 Jun. 2017.

_____. **Localização da Rua Evaldo Campos Junior**. 2017b. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Rua+Evaldo+Campos+Junior++Aruana,+Aracaju++SE,+49038570/@11.014707,37.0768298,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x71ab08db969bd4d:0xd04c2d44ee23d125!8m2!3d-11.0144389!4d-37.0739068?hl=pt-BR>> Acesso em: 28 Jun 2017.

MARQUES, G. L. O. **Camadas de pavimentos flexíveis**. Notas de aula. UFJF: Juiz de Fora, 2007.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1. ed. UFRJ: Rio de Janeiro, 1997.

MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE. **A evolução do transporte urbano**. 2005. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/moderna.htm>>. Acesso em: 03 Jan. 2016.

NAKAMURA, Juliana. **Pavimentação asfáltica - os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução. Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção**. 2011 Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/artigo260588-1.aspx>>. Acesso em: 17 Jan. 2016.

PINTO, S. PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro, 2ª ed. 269p. 2002.

PORTAL DA PREFEITURA MUNICIPAL DE ARACAJU (PMA). **Usina de asfalto atende demanda crescente da PMA.** 2010. Disponível em: <http://www.aracaju.se.gov.br/obras_e_urbanizacao/index.php?act=leitura&codigo=42838>. Acesso 18 Jan. 2016.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). **Thickness design for concrete highway and street pavements; Canadian edition.** Skokie, 1984. [EB 209.01`P].

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** Vols. 1 e 2, São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, C. E. P. da. **Pavimento de concreto simples: Dimensionamento, execução e controle tecnológico. Projeto Final de Graduação. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).** Rio Grande do Sul, 2008.

SILVA, F. A. PAULO. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos.** 2. ed., 2011.

TEMA TRANSPORTES. **A história do ônibus.** 2015. Disponível em: <<http://www.tematransportes.com.br/assets/flip/mobile/index.html#p=4>>. Acesso em: 03 Jan. 2016.