



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUIS PAULO DE MORAIS FREIRE

**AVALIAÇÃO DE PAVIMENTO MISTO COMPOSTO POR REVESTIMENTOS EM
CPA E CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND EM VIAS URBANAS**

FORTALEZA

2021

LUIS PAULO DE MORAIS FREIRE

AVALIAÇÃO DE PAVIMENTO MISTO COMPOSTO POR REVESTIMENTOS EM CPA E
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND EM VIAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. PhD. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F933a Freire, Luis Paulo de Moraes.
Avaliação de Pavimento Misto Composto por Revestimentos em CPA e Concreto de Cimento Portland em Vias Urbanas / Luis Paulo de Moraes Freire. – 2021.
83 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco.

1. Pavimentação Asfáltica. 2. Camada Porosa de Atrito. 3. Pavimento Rígido. 4. Deformação Permanente. 5. Análise Estrutural. I. Título.

CDD 620

LUIS PAULO DE MORAIS FREIRE

AVALIAÇÃO DE PAVIMENTO MISTO COMPOSTO POR REVESTIMENTOS EM CPA E
CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND EM VIAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 08 de abril de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. PhD. Verônica Teixeira Franco Castelo
Branco (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. M.Sc Victor Mosca De C. Araújo (Avaliador
Externo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao ser superior e aos espíritos iluminados pela vida, saúde, oportunidades e pessoas.

Agradeço a minha família por ter dado o suporte durante toda a minha vida.

Agradeço a minha namorada, Isadora, por conseguir me entender, incentivar e torcer, apesar das vezes não ser a melhor pessoas nas diferentes situações. Agradeço também aos puxões de orelha.

Agradeço a minha orientadora, professora Verônica, que aceitou essa complicada missão de orientar uma pessoa que não gosta de escrever em um TCC, além das diversas orientações e conselhos.

Agradeço aos amigos de longa data (ensino médio, Ciências da Computação, dança), pois apesar da distância o suporte de vocês é gratificante.

Agradeço aos amigos da Civil, apesar de mais recentes, vocês me ajudaram a aguentar uma segunda graduação melhor, além de servirem de apoio durante esses tempos difíceis de pandemia e extremistas sem preparo e inteligência no governo.

"Com o sucesso, não se aprende absolutamente nada. Do fracasso e dos contratempos podem ser tiradas conclusões. Isto vale tanto para a sua vida privada como para a sua carreira "

(Niki Lauda)

RESUMO

Existe a preferência por uso da pavimentação asfáltica em todo o território do Brasil. É sabido que os dois principais defeitos da pavimentação asfáltica brasileira são o trincamento por fadiga e a deformação permanente. A combinação de altas temperaturas e da baixa velocidade nas paradas de ônibus torna esses lugares especialmente propícios aos defeitos de deformação permanente. A fim de minimizar essas deformações permanentes, uma opção de pavimento misto está em uso na cidade de Fortaleza, sendo a análise desta o objetivo do presente trabalho. O uso da Camada Porosa de Atrito (CPA) se tornou uma alternativa recente para a melhoria da segurança viária por proporcionar melhoria na drenagem superficial. A estrutura mista estudada é composta por revestimento em CPA na extensão da via e placas Concreto de Cimento Portland (CCP) em paradas de ônibus. Essa solução foi usada na Av. Governador Raul Barbosa, em toda sua extensão; na Av. Desembargador Moreira entre Av. Raul Barbosa e Av. Padre Antônio Tomás; e Av. Abolição. Em um primeiro momento foi feita uma análise funcional dos locais das paradas de ônibus antes da intervenção da obra com o uso de imagens do *GoogleMaps* para geração de um Índice de Gravidade Geral Expedido (IGGE). Ao selecionar alguns pontos de maior solicitação, levantou-se a situação das paradas para o cálculo do ICP do pavimento rígido, comparando-se à situação das vias. Posteriormente, com dados de geometria e das características dos materiais utilizados, obtidos da literatura e do projeto da Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) utilizou-se de *softwares* de análise para obter resultados estruturais. Por fim, foram propostas três soluções de via, uma de pavimento flexível, uma de pavimento misto e uma de pavimento rígido; para serem feitos orçamentos correspondentes e comparados com orçamento de como o projeto foi proposto e executado. Constatou-se que a pavimentação mista está em melhor estado de conservação do que o pavimento tradicional. Do ponto de vista financeiro a obra executada apresentou um custo menor que os três cenários propostos.

Palavras-chave: Pavimentação Asfáltica. Camada Porosa de Atrito. Pavimento Rígido. Deformação Permanente. Análise Estrutural.

ABSTRACT

There is a preference for using asphalt paving throughout Brazil. It is known that the two main defects of Brazilian asphalt paving are fatigue cracking and permanent permanent deformation. The combination of high temperatures and low speeds at bus stops makes The combination of high temperatures and low speed at bus stops makes these places especially prone to permanent deformation defects. In order to minimise these permanent deformations, a mixed pavement option is in In order to minimize these permanent deformations, a mixed pavement option is in use in the city of Fortaleza. The use of Friction Porous Layer (CPA) has become a recent alternative for the improvement of road safety The use of CPA has become a recent alternative to improve road safety by providing better surface drainage. The mixed structure studied is composed by CPA coating on the extension of the road and Portland Cement Concrete (PCC) slabs at bus stops. at bus stops. This solution was used at Governador Raul Barbosa Av. Desembargador Moreira Av. between Raul Barbosa Av. and Padre Antônio Tomás Av; and Abolição Av. At first, a functional analysis of the bus stop locations was carried out before bus stops before the intervention of the work with the use of GoogleMaps images for generation of an Expedited General Gravity Index (IGGE). By selecting some points of the situation of the bus stops was calculated for the calculation of the PCI of the rigid pavement, by comparing the situation of the roads. Subsequently, with geometry data and the characteristics of of the materials used, obtained from literature and the project of the City Hall of Fortaleza (PMF), analysis software was used to obtain structural results. Finally, three three solutions were proposed, one with flexible pavement, one with mixed pavement and one with rigid pavement; to be made corresponding budgets and compared with budget of how the project was proposed and executed. It was found that the mixed pavement is in better condition than traditional pavement. From a financial point of view, the executed work presented a lower cost than the three proposed scenarios.

Keywords: Asphalt Paving. Open Grade Friction Course. Rigid Pavement. Permanent Deformation. Structural Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de um pavimento rígido	20
Figura 2 – Estrutura de um pavimento flexível	21
Figura 3 – Afundamento de Trilha de Roda	22
Figura 4 – Geometria e extensão de placas de CCP	26
Figura 5 – Execução de frisagem do pavimento de concreto do Terminal.	28
Figura 6 – Perfil transversal do pavimento rígido	31
Figura 7 – Fluxograma do método aplicado a esta pesquisa	32
Figura 8 – Parada P1 antes da intervenção	38
Figura 9 – Parada P2 antes da intervenção	38
Figura 10 – Parada P3 antes da intervenção	39
Figura 11 – Parada P4 antes da intervenção	39
Figura 12 – Parada P5 antes da intervenção	39
Figura 13 – Parada P6 antes da intervenção	39
Figura 14 – Intervenção humana não identificada	40
Figura 15 – Intervenção humana para implantação de radar eletrônico	40
Figura 16 – Deslocamentos D_z no pavimento flexível	41
Figura 17 – Deslocamentos D_z na placa de CCP com aplicação de carga na borda	42
Figura 18 – Deslocamentos D_z na placa de CCP com aplicação de carga no meio	42
Figura 19 – Tensão S_z no pavimento flexível	43
Figura 20 – Tensão S_z na placa de CCP com aplicação de carga na borda	43
Figura 21 – Tensão S_z na placa de CCP com aplicação de carga no meio	44
Figura 22 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção	53
Figura 23 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção	53
Figura 24 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção	53
Figura 25 – Av. Abolição - sentido Centro da intervenção	54
Figura 26 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção	54
Figura 27 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção	54
Figura 28 – Av. Abolição - sentido Centro da intervenção	55
Figura 29 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	55
Figura 30 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	55
Figura 31 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	56

Figura 32 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	56
Figura 33 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	56
Figura 34 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	57
Figura 35 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuros antes da intervenção	57
Figura 36 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuroa antes da intervenção	57
Figura 37 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	58
Figura 38 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	58
Figura 39 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção	58
Figura 40 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	59
Figura 41 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	59
Figura 42 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	59
Figura 43 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	60
Figura 44 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	60
Figura 45 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	60
Figura 46 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	61
Figura 47 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção	61
Figura 48 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	61
Figura 49 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	62
Figura 50 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	62
Figura 51 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	62
Figura 52 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	63
Figura 53 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	63
Figura 54 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	63
Figura 55 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	64
Figura 56 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção	64
Figura 57 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção	65
Figura 58 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção	65
Figura 59 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção	66
Figura 60 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção	66
Figura 61 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção	66
Figura 62 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	67
Figura 63 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	67

Figura 64 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	67
Figura 65 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	68
Figura 66 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	68
Figura 67 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	68
Figura 68 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	69
Figura 69 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	69
Figura 70 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção	69
Figura 71 – Av. Dom Luis - antes da intervenção	70
Figura 72 – Av. Dom Luis - antes da intervenção	70
Figura 73 – Av. Dom Luis - antes da intervenção	70
Figura 74 – Av. Dom Luis - antes da intervenção	71
Figura 75 – Av. Abolição - paradas em CCP	72
Figura 76 – Av. Abolição - paradas em CCP	72
Figura 77 – Av. Abolição - paradas em CCP	73
Figura 78 – Av. Abolição - paradas em CCP	73
Figura 79 – Av. Abolição - paradas em CCP	73
Figura 80 – Av. Abolição - paradas em CCP	74
Figura 81 – Av. Abolição - paradas em CCP	74
Figura 82 – Av. Abolição - paradas em CCP	74
Figura 83 – Av. Abolição - paradas em CCP	75
Figura 84 – Av. Abolição - paradas em CCP	75
Figura 85 – Av. Abolição - paradas em CCP	75
Figura 86 – Av. Abolição - paradas em CCP	76
Figura 87 – Av. Abolição - paradas em CCP	76
Figura 88 – Av. Abolição - paradas em CCP	76
Figura 89 – Av. Abolição - paradas em CCP	77
Figura 90 – Av. Abolição - paradas em CCP	77
Figura 91 – Av. Abolição - paradas em CCP	77
Figura 92 – Av. Abolição - paradas em CCP	78
Figura 93 – Av. Abolição - paradas em CCP	78
Figura 94 – Av. Abolição - paradas em CCP	78
Figura 95 – Av. Abolição - paradas em CCP	79

Figura 96 – Av. Abolição - paradas em CCP	79
Figura 97 – Av. Abolição - paradas em CCP	79
Figura 98 – Av. Abolição - paradas em CCP	80
Figura 99 – Av. Abolição - paradas em CCP	80
Figura 100–Composição para Base	81
Figura 101–Composição para pavimento em CBUQ	81
Figura 102–Composição para escavação	82
Figura 103–Composição para fresagem	82
Figura 104–Composição para imprimação	82
Figura 105–Composição para o pavimento rígido	83
Figura 106–Composição para sub-base granular	83
Figura 107–Composição para CPA	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os principais parâmetros da forma geométrica da baía de transporte público.	24
Tabela 2 – Materiais pavimento flexível	31
Tabela 3 – Análise funcional por IGGE adaptado.	37
Tabela 4 – Análise objetiva do pavimento rígido	40
Tabela 5 – Quantitativo do executado em campo	44
Tabela 6 – Quantitativo dos serviços do pavimento misto	45
Tabela 7 – Quantitativo dos serviços do pavimento flexível	45
Tabela 8 – Quantitativo dos serviços do pavimento rígido	46
Tabela 9 – Orçamento da obra executada	46
Tabela 10 – Orçamento pavimentos mistos	47
Tabela 11 – Orçamento pavimentos flexíveis	47
Tabela 12 – Orçamento pavimentos rígidos	47
Tabela 13 – Tabela resumo dos custos dos cenários analisados	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
CCP	Concreto de Cimento Portland
CPA	Camada Porosa de Atrito
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
AMP	Asfalto Modificado por Polímero
SMA	Matriz Pétreo Asfáltica, do inglês, Stone Matrix Asphalt
ATR	Afundamentos de Trilhas de Roda
MARQ	Misturas Asfálticas Recicladas a Quente
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
PCCA	Pavimento de Concreto Continuamente Armado
BGS	Brita Graduada Simples
CBR	Índice de Suporte Califórnia
PMF	Prefeitura Municipal de Fortaleza
TCPO	Tabela de Composição de Preços para Orçamentos
SICRO	Sistema de Custos Rodoviários
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
ICP	Índice de Condição do Pavimento
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CA	Concreto Asfáltico
JPCP	pavimentos de concreto simples com juntas, do inglês <i>Jointed Plain Concrete Pavements</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema Motivador	17
1.2	Questões Motivadoras	18
1.3	Justificativa	18
1.4	Objetivos	18
1.4.1	<i>Objetivo Geral</i>	18
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Pavimento flexível X Pavimento rígido	20
2.2	Uso de CPA em meios urbanos	21
2.3	Patologias em corredores de ônibus	22
2.4	Contribuições para a Melhoria da Resistência a Deformação Permanente	23
2.5	Uso de placas de concreto em paradas de ônibus	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Materiais	30
3.1.1	<i>Localização</i>	30
3.1.2	<i>Características do pavimento</i>	30
3.2	Método	31
3.2.1	<i>Análise Funcional</i>	32
3.2.2	<i>Análise estrutural com o uso de softwares</i>	33
3.2.3	<i>Análise Financeira</i>	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1	Análise Funcional	37
4.2	Análise via softwares	41
4.3	Análise Financeira	44
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	49
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICES	53
	APÊNDICE A – IMAGENS DA AVENIDA ABOLIÇÃO	53

APÊNDICE B–IMAGENS DA AVENIDA RAUL BARBOSA	59
APÊNDICE C–IMAGENS DA AVENIDA DESEMBARGADOR MO- REIRA	65
APÊNDICE D–IMAGENS DA AVENIDA DOM LUIS	70
APÊNDICE E–FOTOS DAS PARADAS ESCOLHIDAS EM CCP . . .	72
APÊNDICE F–COMPOSIÇÕES DOS SERVIÇOS PARA OS ORÇA- MENTOS	81

1 INTRODUÇÃO

O ato de se locomover se tornou cada vez mais fácil com o passar do tempo. No passado, usavam-se as estradas para viagens a pé (caminhada). Com a evolução da sociedade e a implantação de tecnologias, as viagens a pé foram substituídas por carros e, com isso, a tecnologia das estradas também evoluiu para receber esses meios de transportes (FARIA, 2003).

A importância das estradas se justifica desde os primórdios da civilização. Os romanos construíam estradas para facilitar a conquista dos povos inimigos (SENÇO, 2007). A partir do término da Segunda Guerra Mundial, a produção nacional de cimento foi destinada prioritariamente ao suprimento de necessidades fundamentais da emergente indústria da Construção Civil, o que conduziu os setores de pavimentação a lançarem-se em empreendimentos que não dependessem maciçamente desse produto. Na mesma época desenvolveu-se nos EUA extensa tecnologia de pavimentos flexíveis à base de produtos betuminosos em detrimento dos pavimentos rígidos pois os preços dos derivados de petróleo eram muito baixos e, por isso, muito convidativos, o que rapidamente foi absorvido pelos órgãos brasileiros ligados ao ramo (SILVA; CARNEIRO, 2014). Aliado a isso, a estratégia do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em aplicar a técnica de construção por etapas devido à escassez de recursos financeiros e à grande demanda por novas rodovias no país, levou ao emprego quase exclusivo do pavimento asfáltico.

É sabido que os dois principais defeitos encontrados em pavimentos asfálticos no Brasil, são: o trincamento por fadiga e a deformação permanente. Estão são objetos de pesquisa explorados na literatura técnica, visto tratar-se do principal revestimento das vias brasileiras. A temperatura é um dos fatores mais significativos no desempenho de pavimentos flexíveis, principalmente no que diz respeito ao revestimento asfáltico. Esta variável pode ocasionar alterações momentâneas na resposta estrutural dos pavimentos, bem como, com especial relevância, a modificação de propriedades dos materiais, o que resulta na degradação mais rápida da estrutura dos pavimentos. Temperaturas mais elevadas no pavimento asfáltico podem provocar uma alteração na rigidez do revestimento asfáltico o que, associada à diminuição da viscosidade do mesmo, favorece o aparecimento de deformações permanentes. As temperaturas elevadas afetam também a resistência à tração do material, diminuindo-a consideravelmente, o que acarreta a fragilização do material, seguida de seu trincamento (LAUTHARTE, 2017).

As paradas de ônibus em vias urbanas, devido a frenagem e aceleração corriqueira dos veículos pesados, costumam sofrer maior impactado na sua estrutura. Esses defeitos podem,

dentre outros problemas ocasionar acidentes, promover o desconforto dos passageiros e aumentar o custo operacional dos veículos (LINK, 2009). Assim, a substituição do pavimento flexível por um pavimento rígido com revestimento em Concreto de Cimento Portland (CCP), em pontos específicos, pode trazer benefícios com a redução da necessidade de realização de intervenções, promovendo conforto e segurança aos usuários por um maior período de tempo.

Maia *et al.* (2019) relatam que a utilização de revestimentos esbeltos do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA) em meios urbanos é uma alternativa recente em uso na cidade de Fortaleza/CE, para combater dos efeitos degradantes intensificados pelo período chuvoso. Este tipo de material proporciona o aumento da aderência pneu-pavimento e a melhoria na drenagem superficial durante eventos de chuva, além de reduzir o ruído provocado pelo rolamento dos veículos.

1.1 Problema Motivador

O Brasil possui muitos contrastes. A urbanização do país não se distribui de forma homogênea por todo o território nacional, estando mais concentrada na região Sudeste. A urbanização desordenada, associada a falta de estrutura dos municípios para atender às necessidades básicas dos migrantes, causa uma série de problemas sociais e ambientais. Dentre estes problemas destacam-se o desemprego, a criminalidade, a favelização e a poluição do ar e da água.

Com o processo de urbanização desordenado pelo qual as principais cidades brasileiras passam, o planejamento urbano raramente é tema principal de discussão. Isso se deve a realização de planejamento de curto prazo, em detrimento das estratégias de médio e longo prazos, o que desencadeou diversos problemas estruturais nas grandes cidades. Um dos mais visíveis desses problemas é o nível de conservação dos pavimentos urbanos, reflexo da falta de planejamento de médio e longo prazos no que diz respeito a construção e a manutenção destas estruturas.

Observa-se, não raramente, na rede de vias urbanas brasileiras projetos falhos, execução inadequada, falta de manutenção e intervenção recorrentes. Isso resulta em vias de má qualidade, com possível diminuição da vida útil dessas estruturas, que tem por consequência fato já citado anteriormente: é o impacto negativo no deslocamento das pessoas seja: em relação ao desconforto, à destruição dos veículos e à diminuição da mobilidade urbana.

1.2 Questões Motivadoras

Observando-se o estado da pavimentação urbana e a execução de soluções não tradicionais, além do que se tem posto na literatura, são levantados os seguintes questionamentos:

1. Qual o estado funcional da pavimentação flexível comumente utilizada na cidade de Fortaleza, especialmente em pontos de ônibus?
2. Como a solução com o uso de pavimento misto irá se comportar estruturalmente?
3. Qual o impacto econômico(curto, médio e longo prazos) do uso da uma solução de pavimento misto se comparada à solução tradicionalmente utilizada?

1.3 Justificativa

A busca por soluções mais eficazes e com uma período de vida útil maior para a pavimentação urbana é um tema de interesse da sociedade. A condição das vias impacta no deslocamento diário da população, no transporte de cargas e, conseqüentemente, no desenvolvimento das regiões.

No Brasil há uma predisposição geral da comunidade técnica e executiva de pavimentação rodoviária para o uso de revestimentos asfálticos. Assim, há um esforço maior no estudo e aplicação dos pavimentos flexíveis, sendo a investigação de outras alternativas técnicas, muitas vezes, descartada.

Apesar disso, há obras em contextos específicos que se beneficiam de soluções alternativas, como o uso de pavimentos de concreto em portos e aeroportos. Estudos sobre os estados de conservação destas estruturas possibilitaram o entendimento e a documentação do uso destas tecnologias, possibilitando seu uso em meio urbano.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo Geral*

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a estrutura de pavimento misto composto por Camada Porosa de Atrito (CPA) e Concreto de Cimento Portland (CCP) em meio urbano.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

Tem-se por objetivos específicos do presente estudo:

- Comparar o desempenho funcional entre a solução tradicional e a solução mista.
- Comparar os resultados estruturais obtidos pelos *softwares* de análise.
- Comparar as soluções do ponto de vista financeiro.

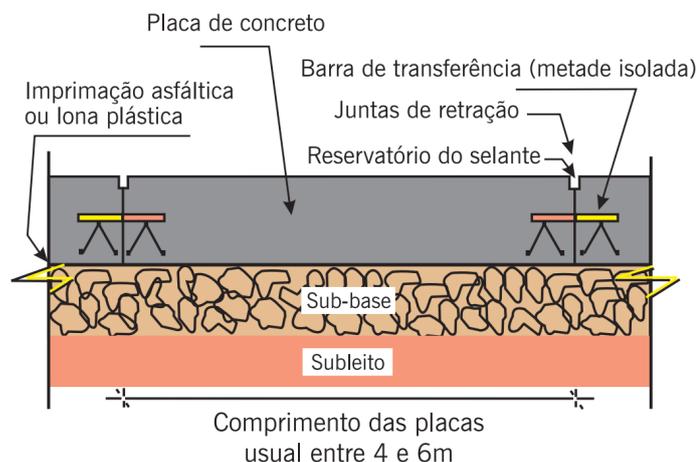
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será então abordada a revisão bibliográfica realizada em relação aos principais assuntos relacionados ao desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, serão apresentados estudos comparativos entre pavimentos flexíveis e rígidos. Em seguida serão abordados estudos sobre patologias em corredores de ônibus seguido de estudos sobre o uso de placas de CCP em corredores e/ou paradas de ônibus. Ainda serão apresentados estudos que contribuam para o entendimento dos mecanismos de deformação permanente e apresentaram alternativas para aumentar a resistência à deformação de materiais e pavimentos asfálticos.

2.1 Pavimento flexível X Pavimento rígido

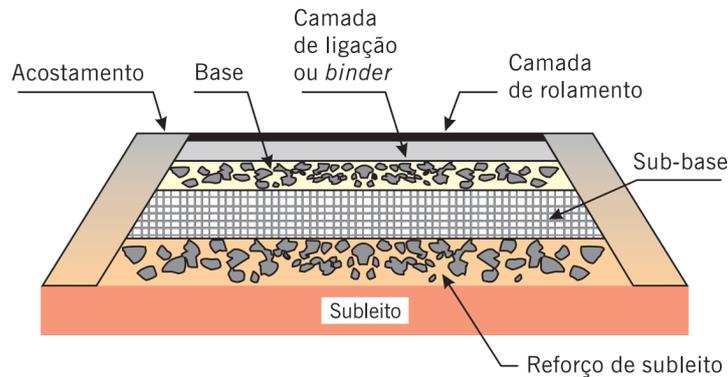
O debate sobre qual tipo de pavimento, flexível ou rígido é superior se estende há muito tempo. Primeiramente, faz-se necessário conhecer cada um desses tipos de abordagens. Os trabalhos de Queiroz *et al.* (2018) e Silva (2019) servem como apoio teórico para tal, visto que ambos procuram fazer um comparativo entre os dois tipos de pavimentos citados. Ambos apresentam referencial teórico acerca do que é pavimento, trazem características do pavimento rígido e do flexível, indicam o comportamento da distribuição de tensões em cada um destes, apresentam o perfil normalmente utilizado para cada uma das soluções, assim como os materiais constituintes das suas camadas. Os autores fizeram comparativos técnicos, englobando custos econômicos e vida útil para cada uma das soluções citadas. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as estruturas do pavimento rígido e flexível, respectivamente.

Figura 1 – Estrutura de um pavimento rígido



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2010)

Figura 2 – Estrutura de um pavimento flexível



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2010)

2.2 Uso de CPA em meios urbanos

O trabalho de Maia *et al.* (2019) detalhou o processo de dosagem, usinagem e aplicação em campo do tipo de mistura asfáltica CPA em meio urbano, na cidade de Fortaleza-CE. Para tal, os autores expuseram o projeto dessas misturas, com os procedimentos de caracterização dos materiais, a dosagem e a avaliação realizada em laboratório para as amostras produzidas, por meio de ensaios mecânicos. Também detalharam os processos de usinagem e compactação das misturas asfálticas em campo, destacando as particularidades dos processos relativos à CPA. Foi observado que a utilização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) Flexpave 55/75 para a produção de misturas asfálticas do tipo CPA resultou num teor de projeto de aproximadamente 4%, inferior àquele encontrado para misturas convencionais, usualmente superiores a 5%. Deste modo aferiu-se que a utilização de CPA pode ser interessante, ante a redução da quantidade de CAP necessária, bem como pela redução na espessura a ser executada em campo.

Alecrim (2021) avaliou a incorporação de fresado de diferentes teores, em mistura do tipo CPA. A autora caracterizou reologicamente, por meio do uso do Reômetro de Cisalhamento Dinâmico, os ligantes resultantes da interação do Asfalto Modificado por Polímero (AMP), utilizado na CPA, com o ligante asfáltico envelhecido, oriundo do fresado. Por meio desta avaliação, verificou o atendimento às propriedades mecânicas requeridas no Brasil para CPA. Além disso, foram obtidas as propriedades funcionais, os parâmetros de rigidez e a resistência à deformação permanente e à fadiga das misturas avaliadas. A autora afirma que, como CPAs estão sendo utilizadas sobre revestimento antigo em vias urbanas da cidade onde desenvolveu seu trabalho, Fortaleza/CE, será verificado se a camada de CPA pode oferecer contribuição estrutural para o pavimento nas condições de tráfego encontradas nessas vias.

2.3 Patologias em corredores de ônibus

Patologias são corriqueiramente observadas em corredores e paradas de ônibus, havendo diversas soluções na literatura na intenção de amenizá-las. Link (2009) fez uma análise dos defeitos nos revestimentos dos pavimentos construídos em corredores de ônibus da cidade de Porto Alegre/RS. A autora percorreu trechos selecionados e catalogou os defeitos que os trechos apresentavam, como mostrado na Figura 3. Após, levantou hipóteses das possíveis causas desses defeitos. A partir do conhecimento dessas causas, propôs algumas soluções, sugerindo a utilização de misturas asfálticas do tipo Matriz Pétreo Asfáltica, do inglês, Stone Matrix Asphalt (SMA) ou misturas asfálticas com emprego de cal hidratada como *filler*.

A mesma autora relatou que as misturas asfálticas do tipo SMA apresentam maior resistência devido ao intertravamento dos grãos e melhor desempenho quanto à durabilidade do revestimento. Comenta ainda que a cal hidratada aumenta a rigidez da mistura asfáltica, deixando o ligante asfáltico menos suscetível ao aparecimento de Afundamentos de Trilhas de Roda (ATR) e à fadiga, mesmo em cenários com altas temperaturas. A cal pode ainda, promover a redução da oxidação e do envelhecimento do ligante, evitando os trincamentos e aumentando a resistência ao dano por umidade induzida.

Figura 3 – Afundamento de Trilha de Roda



Fonte: (LINK, 2009)

Arraes *et al.* (2019) analisam o corredor de ônibus Eixo-Anhanguera, implantado em 1976 na cidade de Goiânia. No ano de 1998 este recebeu o que os autores consideram sua mais importante intervenção, a construção das 19 estações de embarque e desembarque, todas utilizando pavimento rígido. Os autores verificam as condições dos pavimentos rígidos localizados nas estações de embarque/desembarque, averiguando os defeitos com maior incidência, suas prováveis causas, e soluções viáveis passados 21 anos da sua implantação. O estudo das patologias/defeitos nos pavimentos de concreto de todas as plataformas de embarque/desembarque do Eixo-Anhanguera foi considerado inviável, resultando na seleção de 4 das 19 estações existentes. Na segunda etapa, realizou-se em campo uma análise tátil e visual das condições de conservação das placas de concreto dos pavimentos rígidos, tanto ao longo da plataforma quanto em suas interfaces com o pavimento flexível.

O estudo concluiu que a maior recorrência das patologias se deu nas interfaces (entrada e saída) com o pavimento flexível. Salienta-se contudo, que os pavimentos flexíveis se encontravam em estado de conservação inferior ao das placas de concreto subsequentes, originando situações desfavoráveis (desnível acentuado em relação a placa). Arraes *et al.* (2019) trazem como sugestão o prolongamento das áreas concretadas nas estações, pois a frenagem dos ônibus aconteceria totalmente na área do pavimento rígido, o que levaria à significativa diminuição do impacto sobre os pavimentos flexíveis e, conseqüentemente nos pavimentos rígidos subsequentes.

As dimensões da área reservada para a parada de ônibus podem afetar negativamente na durabilidade das estruturas das paradas. Laurinavicius *et al.* (2005) afirmam que as áreas de entrada, de parada e de aceleração nas paradas de ônibus podem favorecer a desaceleração brusca por parte dos veículos, que se um inconveniente para os passageiros e provoca deformações por cisalhamento no pavimento asfáltico. Os autores citados comentam ainda que uma geometria apropriada pode auxiliar o combate ao aparecimento de patologias. Os principais parâmetros geométricos são mostrados na Tabela 1, a depender do tipo de via na qual a parada está inserida e da velocidade de aproximação dos veículos. Os autores sugerem um tamanho mínimo de 80m extensão para uma parada de baía única.

2.4 Contribuições para a Melhoria da Resistência a Deformação Permanente

Rocha Segundo *et al.* (2016) apresentam um estudo sobre o potencial de utilização de diferentes Misturas Asfálticas Recicladas a Quente (MARQ) com incorporação de elevado

percentual de fresado - do inglês *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) - como camada de base ou de ligação em pavimentos asfálticos. O estudo considera o grande potencial de uso do fresado como material alternativo para a técnica de misturas asfálticas de módulo elevado, do francês *Enrobé à Module Élevé* (EME).

Tabela 1 – Os principais parâmetros da forma geométrica da baía de transporte público.

Velocidade de entrada (km/h)	Comprimento de entrada (m)	Comprimento de parada e aceleração (m)		Comprimento de saída (m)	Largura da baía(m)	Comprimento total da baía (m)	
		Baía única	Baía Dupla			Baía única	Baía Dupla
30	30	20	40	30	4,0	80	100
40	40	35	55	35	4,0	110	130
50	50	50	70	40	4,0	140	160
60	60	80	100	45	4,0	185	205

Fonte: Adaptado de Laurinavicius *et al.* (2005).

Essas misturas são constituídas por um CAP com baixa penetração e por agregados que compõem uma curva granulométrica densa, o que proporciona às mesmas elevada resistência à deformação permanente e ao cisalhamento. Nesse estudo, três tipos de misturas foram avaliadas, (i) Mistura I, composta exclusivamente por fresado como agregado; (ii) Mistura II, composta por 75% de fresado e 25% de agregados naturais; (iii) Mistura III, composta por 75% de fresado e 25% de agregados do tipo refugo de usina de mistura asfáltica. Além da caracterização destes materiais em laboratório, foram realizadas análises computacionais, baseadas no Método dos Elementos Finitos (MEF).

Os autores acreditam que a MARQ com a incorporação de elevado percentual de material reciclado poderia ser uma alternativa para uso em camadas de bases e de ligação para pavimentos especiais, os quais necessitariam de uma solução com EME. O uso desses materiais para essa aplicação é viável devido à consistência elevada do CAP oxidado oriundo dos resíduos, proporciona às misturas asfálticas valores de MR superiores a 10.000MPa. O estudo menciona que essas estruturas também podem apresentar vantagens como: compor pavimentos mais delgados se comparados a estruturas com camadas granulares, reduzindo em torno de 40% a espessura total do pavimento se comparada a estrutura utilizada em um pavimento convencional com o mesmo nível de tráfego; além de reduzir o potencial de dano por fadiga e minimizar as deformações por tração no fundo da camada de revestimento, sendo esta última de grande valia em regiões de altas cargas, minimizando as intervenções de manutenção.

Onofre *et al.* (2013) estudaram o efeito de diversos ligantes asfálticos modificados na rigidez e na resistência à deformação permanente de misturas asfálticas densas. Foram estudadas 13 misturas asfálticas com a mesma granulometria e tipos de agregados, mas com diferentes

tipos de ligantes asfálticos modificados por polímeros e ácido polifosfórico (PPA). Os citados autores caracterizaram a deformação permanente por meio do ensaio de *creep* dinâmico e através do uso de variáveis de densificação. Foram estes índices oriundos da curva de densificação podendo funcionar como ferramentas capazes de mensurar e dar indícios da trabalhabilidade e da resistência à deformação permanente das misturas asfálticas ao longo da construção do pavimento e da vida de serviço (SOARES, 2014). As principais conclusões desse estudo são:

- Todas as modificações feitas nos ligantes asfálticos proporcionaram aumento da resistência à deformação permanente das misturas asfálticas, quando avaliada à luz dos ensaios de *creep* dinâmico, em relação à mistura asfáltica com CAP Replan, um CAP 50/70 com classificação por grau de desempenho PG 64-XX, fornecido pela Replan-Petrobras.
- O critério de falha para o ensaio de *creep* dinâmico, não foi atingido para as misturas asfálticas com ligante modificado por qualquer um dos polímeros utilizados devido ao alto grau de modificação.
- A avaliação realizada permitiu concluir que o uso de PPA, associado a um polímero ou borracha moída, permite a diminuição do consumo de polímero com suas consequências econômicas no caso dos polímeros e técnicas no caso da borracha moída devido a redução da viscosidade e a consequente melhoria da trabalhabilidade sem prejudicar a resistência à deformação permanente das misturas asfálticas.

2.5 Uso de placas de concreto em paradas de ônibus

Rezende *et al.* (2018) realizaram uma análise mecanicista do projeto de pavimentação do corredor Eixo Norte para implantação do *Bus Rapid Transit* (BRT) no Distrito Federal. A análise desta superestrutura teve o auxílio do programa computacional EverFe 2.25.

Os autores dividiram o eixo norte em subtrechos. Alguns desses compõem o chamado eixo principal (Avenida Independência/BR- 020/DF-003). O eixo principal tem sua operação em paralelo ao sistema rodoviário/viário da BR-020/DF-003, cujo volume médio diário de tráfego alcança 99.199 veículos.

Os autores analisaram se as tensões de tração atuantes na parte inferior do concreto atendem à tensão máxima de tração que o concreto suporta (f_{ctm}) e, também ao tráfego previsto, definido em função do número equivalente de operações do eixo padrão rodoviário (número N) de 8,2tf durante o período de projeto. As trações obtidas foram comparadas com a resistência de ruptura à tração na flexão do projeto. Por fim, constatou-se que as espessuras do pavimento

calculadas entre 20cm a 25cm poderiam ter menores valores, visto que espessuras de cerca de 6cm resistiam às mesmas solicitações a partir do resultados obtidos.

Oliveira *et al.* (2018) avaliaram as dimensões das placas de CCP implantadas nos corredores de ônibus da cidade de Anápolis/GO. Os autores analisaram a distância de frenagem percorrida pelos ônibus em função da velocidade incidente na via, de modo a avaliar se os comprimentos dessas placas eram suficientes para ao que estas se destinavam. Calcularam a distância de parada nessas estruturas, adotando inclusive a situação mais crítica, ou seja, quando o pavimento está molhado, com menor atrito e aderência pneu pavimento, exigindo uma distância de frenagem maior. Os autores monitoraram o pavimento e indicaram as possíveis patologias possíveis de incidir nessas estruturas, principalmente no pavimento flexível, devido a movimentação das placas e a funcionalidade da estrutura com pavimento rígido.

Figura 4 – Geometria e extensão de placas de CCP



Fonte: (OLIVEIRA *et al.*, 2018)

Os citados autores usaram o cálculo das distâncias de visibilidade e parada no projeto de vias para comparar aos valores adotados na situação dos corredores de ônibus avaliados. Em função da velocidade permitida da via dos corredores de ônibus, determinar-se-ia se, uma vez iniciado o procedimento de frenagem, as extensões das placas seriam suficientes para que o veículo conseguisse parar sem exercer esforço pontual no pavimento flexível, de modo a utilizar apenas toda a extensão das placas de CCP. Também foram analisadas as possíveis patologias que surgiram no pavimento, em função da insuficiência na dimensão da extensão destas placas, ao longo da sua vida útil.

As vias dos corredores possuíam velocidades máximas diferentes, 40km/h e 60km/h, motivo pelo qual as placas de CCP possuem geometrias diferentes. A extensão total de 35m e

largura de 3,20m foi adotada para as vias de 40km/h, enquanto as vias com velocidade permitida de 60km/h possuem extensão total de 55m e largura de 3,20m. Conforme se demonstra na Figura 4. Os autores consideraram duas condições nas distâncias de paradas: uma para o pavimento seco e outra para o pavimento molhado. Para vias com velocidade de 40 km/h a distância de 38m para pavimento seco e 45m na condição molhada foram sugeridas. Já para vias com velocidade permitida de 60km/h, as distâncias foram de 66m na condição seca e 84m na condição molhada.

Ao monitorar-se as placas implantadas e as vias onde o trânsito foi liberado, percebeu-se que as junções entre as placas de CCP e o pavimento flexível, executadas com material asfáltico, apresentaram danos como: esborcinamento¹ na parte do pavimento de concreto, acompanhadas do escorregamento de material asfáltico do pavimento, o que causou a formação de ondulações nas extremidades destas placas. Os autores destacaram também o surgimento de outras patologias nos pavimentos flexíveis, tais como corrugações e soerguimento (soerguimento) da camada asfáltica, provenientes da movimentação das placas de CCP devido aos eventos de frenagem e aceleração dos ônibus, além de trincamentos extensos devido à fadiga do material em função das cargas repetidas do tráfego, que podem avançar e gerar trincas das bordas que tangenciam a placa de CCP. Por fim os autores afirmam que as placas não possuem comprimento necessário visto que as extensões das placas aferidas de 55m e 35m são menores que as distâncias de paradas de 45m e 84m.

Almeida (2014) fez um comparativo entre projeto executivo adotado no pavimento rígido do terminal do Antônio Bezerra, em Fortaleza/Ce, e os estudos técnicos para a referência da tecnologia empregada. O autor levantou dados de tráfego e as definições de cargas junto aos órgãos responsáveis pela operação do terminal, bem como realizou visitas em campo durante a execução do pavimento, como mostrado na Figura 5, as quais evidenciaram os modelos de execução adotados para a realização do projeto.

Após a investigação de campo, o autor dimensionou as espessuras das placas de concreto, utilizando solo-brita e concreto rolado como opções de materiais de base. Foram utilizados dois métodos para o dimensionamento, o da *Portland Cement Association* (PCA) e o da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Após o dimensionamento, o autor apresentou uma análise dos custos do pavimento para cada opção utilizada na camada de base. Os resultados evidenciaram, que o uso de concreto rolado na base foi uma opção economicamente mais viável, além de ter possibilitado a diminuição de cerca de

¹ Quebra das bordas das juntas de dilatação provocada pela rodas dos veículos ou esmagamento no interior da junta de materiais muito duros

2,0cm na espessura da placa de concreto. Ao fim do estudo, o autor concluiu que o pavimento executado não seguiu os padrões dos modelos da PCA e da AASHTO, propondo a revisão dos parâmetros de tráfego e de cargas considerados no dimensionamento.

Figura 5 – Execução de frisagem do pavimento de concreto do Terminal.



Fonte: (ALMEIDA, 2014)

Salles (2013) analisou um trecho experimental,, considerado por ele como crítico, que simulava uma parada de ônibus, construído em Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA) no campus da Universidade de São Paulo (USP). Por limitar-se a uma extensão considerada pequena, de aproximadamente 50m, o autor denominou a estrutura como PCCA de curta extensão. O trabalho tem por objetivo a análise do comportamento da placa com relação ao clima, dado que este tem um papel fundamental na retração e na fissuração do concreto, sendo assim, é importante a análise deste pavimento em um clima mais quente (tropical) antes de indicar a sua plena aplicação.

O autor analisou o comportamento do padrão de fissuração das quatro seções de PCCA em confronto com o desempenho de outros pavimentos encontrados na literatura técnica, a fim de comprovar a eficácia estrutural do pavimento, determinar e analisar tensões de compressão e tração de modo a verificar a resposta estrutural do pavimento frente a uma carga conhecida e analisar as tensões obtidas com os diferentes meios de operação do veículo teste.

Localizadas na Av. Prof. Almeida Prado, no campus da USP em São Paulo, as seções da pista experimental analisadas pelo autor foram construídas entre julho e setembro de 2010, no período seco do inverno paulistano, com extensão de 50 m cada uma e sem ancoragem em

suas extremidades. Foram feitos levantamentos de fissuras nas semanas seguintes a construção, sempre com a observação das bordas das seções, tendo como resultado o não aparecimento de nenhuma fissura nas quatro seções construídas. Os levantamentos foram realizados mensalmente, com a obtenção dos mesmos resultados. Somente em outubro de 2011, após um ano e dois meses da execução da pista, a primeira fissura foi visualizada.

Com a finalidade de mensurar as deformações da pista experimental de PCCA, foram realizadas uma série de provas de carga com o uso de *Strain Gauges* (SG). Os SG, através de pequenas variações na sua resistência elétrica, possibilitam a avaliação das deformações específicas que por ventura tenham ocorrido na placa de concreto. Estes dados aliados ao conhecimento do módulo de elasticidade do concreto permitem a determinação das tensões na flexão (de tração ou de compressão) máximas atuantes. Com esses dados, o autor alimentou, comparou e aferiu a base de dados de calibração dos modelos de previsão de comportamento de pavimentos para posterior verificação dos resultados nas seções.

O trabalho concluiu que o pavimento possui comportamento estrutural satisfatório, considerando os resultados dos ensaios utilizados para os estudos. As tensões de tração na flexão impostas pelo carregamento foram baixas (máxima encontrada foi de 1,7MPa) quando comparadas com a resistência de dosagem do concreto(4,5MPa). A transferência de carga entre fissuras foi elevada, visto que as fissuras apresentaram um valor de eficiência da transferência de carga maior que 90%. Deve-se considerar que um sistema de ancoragem, ou até mesmo uma junta reforçada entre os pavimento, necessária para proteger a placa de deslocamentos verticais elevados que podem levar à deterioração precoce do concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 *Localização*

Esse estudo terá como objeto de análise a obra executada na cidade de Fortaleza que ficou conhecida como Corredores Turísticos. Esta obra foi realizada em toda a extensão da Av. Governador Raul Barbosa, totalizando 2,9km; na Av. Desembargador Moreira, entre Av. Raul Barbosa e Av. Padre Antônio Tomás, com extensão de 1,3km; na Av. Abolição, com extensão de 3,0km; e na Av. Dom Luís com extensão de 1,5km. Na Av. Abolição foram executadas quinze paradas de ônibus. Na Av. Dom Luis foram executadas quatro paradas. Na Av. Desembargador Moreira foram executadas dez paradas. Por sua vez, na Av. Governador Raul Barbosa foram executadas dezesseis paradas.

3.1.2 *Características do pavimento*

Na obra Corredores Turísticos houve a recuperação asfáltica das vias usando-se CPA de espessura de 4,0cm, esta funcionando como camada de rolamento. Nas paradas de ônibus foram utilizadas placas de CCP como revestimento.

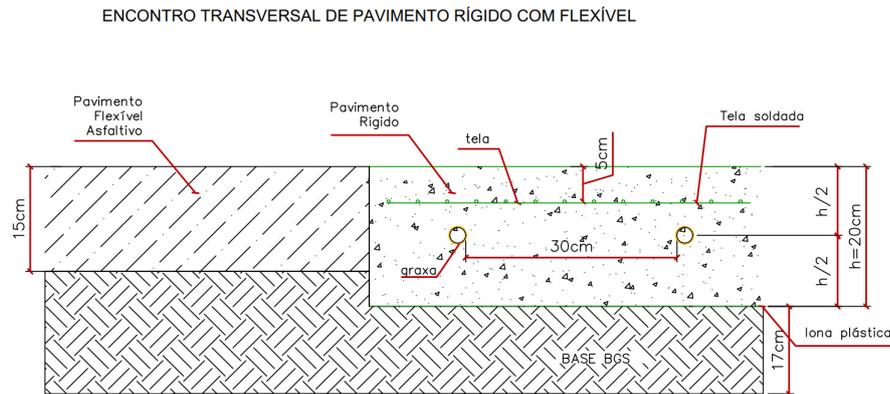
O projeto indica que pavimento de concreto terá extensão de 60,0m, sendo composto por placas de 6,0m de comprimento e largura adequada de acordo com a faixa de tráfego existente. A resistência característica do concreto à compressão (do inglês FCK) de projeto foi de 35,0MPa. O pavimento rígido em questão possui duas camadas, revestimento em CCP com espessura de 20,0cm e base de Brita Graduada Simples (BGS), com Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior ou igual a 80% e expansão menor ou igual a 0,5% com espessura de 17cm. Foram usadas barras de transferências de aço CA-25 entre as placas de concreto com comprimento de 60,0cm espaçadas de 30,0cm entre si, havendo uma laje de transição de 1,20m entre o pavimento em concreto e o flexível. Na Figura 6 é visto um corte transversal do pavimento rígido.

O projeto determina que o pavimento flexível será composto por uma camada de rolamento de 15,0cm de espessura suportado por uma base de BGS de 22,0cm de espessura. A camada de rolamento será composta por duas camadas, uma de 4,0cm de espessura de CPA sobre uma camada de Concreto Asfáltico (CA) de 12,0cm.

Para análise do pavimento em CPA adota-se dois perfis, sendo um baseado no projeto

executado pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) para o pavimento em placa de CCP o qual contém algumas informações sobre a estrutura do pavimento flexível, e um perfil baseado no estudo de Alecrim (2021). Esses perfis são os detalhados na Tabela 2:

Figura 6 – Perfil transversal do pavimento rígido



Fonte: Adaptado pelo autor do projeto da PMF (2021).

Tabela 2 – Materiais pavimento flexível

Camada	Material Utilizado	Espessura Projeto PMF (cm)	Espessura Alecrim (2021) (cm)
Revestimento	CPA	3	3
Revestimento	CA	12	12
Base	BGS	22	15
Sub-Base	Sub-base granular	15	15
Subleito	solo natural	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor(2021).

3.2 Método

A Figura 7 apresenta a estrutura do desenvolvimento deste trabalho. A partir das informações encontrados foram montadas as estruturas do pavimento misto, e então realizada uma análise funcional sobre o comportamento da mesma frente às solicitações de carga e climáticas, de modo a obter uma previsão do comportamento da mesma. Após a análise funcional da estrutura do pavimento misto e da estrutura do pavimento tradicional em CA serão realizadas análises utilizando *softwares*. Para análise do pavimento flexível usou-se o MeDiNA, enquanto que para a análise do pavimento rígido usou-se *EverFE*. Após a obtenção dos resultados pelos *softwares*, será feita uma comparação entre os resultados obtidos para o pavimento misto e para o pavimento tradicional em CA

Realizadas as análises estruturais, realizou-se um estudo financeiro acerca das estru-

turas avaliadas. Para tal, será elencado para o pavimento misto os serviços necessários para a sua execução, além dos serviços de reabilitação durante toda a sua vida útil. Também serão listados os serviços para a execução de um pavimento em CA tradicional, e os possíveis serviços de reabilitação necessários até a vida útil prevista do pavimento misto. Com esses serviços listados, será feito um orçamento considerando composições da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) do ano de 2019, preços da Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT e do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de 2019 dado a execução da obra ter sido realizada entre o fim de 2019 e o primeiro semestre de 2020. Após a finalização do orçamento será feito uma comparação fase a fase das estruturas e, ao fim, uma comparação do custo total de cada estrutura.

Figura 7 – Fluxograma do método aplicado a esta pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor(2021)

3.2.1 Análise Funcional

Visto que os trechos analisados, tanto com pavimentação flexível como a pavimentação com CCP foram executados, usou-se o recurso da linha do tempo da ferramenta do *Google Street View*, buscando-se imagens do ano de 2019. A data foi escolhida por ser anterior a realização das intervenções do pavimento rígido, obtendo-se os trechos das vias em que se localizam as paradas de ônibus para investigação que corroborem com a ideia de que esses locais eram de comum aparecimento de defeitos. As imagens utilizadas se encontram nos apêndices A, B, C e D.

Tendo como base a norma DNIT-008/2003: Levantamento visual contínuo para

avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígido(DNIT, 2003), foi feita uma avaliação da frequência de ocorrência dos defeitos nas avenidas onde a solução foi implementada. Essa avaliação se concentrou nos seguintes defeitos: trincas, panelas, remendos, deformação permanente (afundamento local) e escorregamentos. A avaliação foi feita a partir das paradas que recebem o pavimento em CCP, observando 50m a frente no sentido da via e 50m para trás. Em vias que possuem sentido duplo, para cada sentido foi feito uma avaliação. Dado que DNIT (2003) trata alguns defeitos em sua quantidade por quilometro de extensão da via, na análise feita, os valores dos defeitos que se enquadram nessa categoria foram extrapolados para 1km de via devido a extensão total ser menor.

A partir das frequências calculadas, prosseguiu-se com o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), no qual foram considerados os defeitos anteriormente citados para classificação do estado das vias, de acordo com as tabelas de gravidade da norma (DNIT, 2003). Para comparar o desempenho da solução mista com o da pavimentação anterior, devido a limitações técnicas, foram selecionadas seis das quarenta e cinco paradas que compõem a obra a serem analisadas. A seleção se deu a partir da quantidade de linhas de ônibus que passam pela parada, da quantidade de faixas de tráfego na via, se a via possuía faixa exclusiva de ônibus ou não e se havia defeitos na análise visual das imagens. Foi feita visita em campo a cada uma das seis paradas escolhidas, onde foi realizado um levantamento preliminar e foram obtidas fotos para posterior análise nos moldes da avaliação feita através do uso das imagens do pavimento antes da realização da intervenção.

Para uma comparação mais objetiva, será feita uma análise com base na norma DNIT - 062/2004 (DNIT, 2004) para avaliação objetiva do pavimento rígido. Para tal, realizou-se ida a campo para visualização dos possíveis defeitos existentes nas placas e sua classificação, coletando-se fotos para posterior conferência dos defeitos apresentados. A partir dos dados colhidos, foram constituídos dois trechos de análises: o trecho das paradas no sentido da Praia do Futuro e o trecho das paradas no sentido Centro. Para cada trecho será calculado o valor do Índice de Condição do Pavimento (ICP) correspondente.

3.2.2 Análise estrutural com o uso de softwares

O MeDiNa é um programa computacional, de mesmo nome do novo método de dimensionamento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O programa realiza a verificação do dimensionamento de estruturas de pavimentos utilizando uma análise

mecanístico-empírica, por meio da rotina AEMC de análise de múltiplas camadas. Desenvolvido em Visual C++, permite uma agilidade no processo de cálculos matemáticos, reunindo em poucas telas a entrada de dados, com campos facilmente editáveis e a apresentação dos resultados em relatórios.

No módulo principal do MeDiNa verifica-se a área trincada da estrutura e o valor da deformação permanente. Para tal, é definida a quantidade de camadas da estrutura a ser analisada. E em seguida ocorre a definição dos materiais utilizados e suas espessuras. Caso os materiais que a obra utiliza não estejam no banco de dados do *software* é possível cadastrá-los, inserindo suas propriedades como Módulo de Resiliência (MR), peso específico e, se o comportamento com relação ao MR é linear ou não. A estrutura finalizada é processada e verifica-se se a porcentagem de área trincada da estrutura e o valor da deformação permanente estão dentro dos limites para o tipo de via avaliado. Após essa análise, há a possibilidade de usar o módulo para fazer o dimensionamento do pavimento com os materiais selecionados, assim comparando os resultados calculados com o dimensionamento da estrutura real.

Em um módulo auxiliar do MeDiNa, o AEMC, foram obtidas as tensões e os deslocamentos na estrutura para o pavimento em CPA, tendo como parâmetros de entrada os tipos de materiais, as espessuras das camadas, o MR de cada camada, o coeficiente de Poisson e se a camada em questão é aderida ou não. Os parâmetros necessários foram obtidos a partir do trabalho de Alecrim (2021). Assim, foram utilizados um subleito com MR de 170 MPa e massa específica de $1,80 \text{ g/cm}^3$, base granular com MR de 400 MPa e massa específica de $2,38 \text{ g/cm}^3$. A base será de BGS com MR de 590 MPa e massa específica $2,223 \text{ g/cm}^3$. A camada de rolamento será composta por dois revestimentos asfálticos, o CA com MR de 3500 MPa e massa específica de $2,4 \text{ g/cm}^3$ e CPA com MR de médio de 3281 MPa e massa específica de $2,05 \text{ g/cm}^3$. No mesmo trabalho, a autora comenta sobre a mistura utilizada se enquadra na faixa C do DNER.

O *EverFE* é uma ferramenta de análise em elementos finitos 3D utilizada para simular a resposta de sistemas de pavimento de concreto simples articulado (CCP) às cargas por eixo e efeitos ambientais, estando na versão 2.26. O *EverFE* permite a realização de análises complexas de tensão não linear ou linear simples de pavimentos de concreto simples com juntas, do inglês *Jointed Plain Concrete Pavements* (JPCP). As Universidades de Maine e Washington desenvolveram em conjunto o *EverFE* com financiamento dos Departamentos Estaduais de Transporte de Washington e da Califórnia.

Ao analisar o pavimento rígido no *EverFE*, informa-se como parâmetro de entrada o tamanho da placa de concreto, se há camadas de base e sub-base, e suas respectivas espessuras caso haja interesse em conhecer o seu comportamento. São especificados a massa específica dos materiais, o coeficiente de *Poisson* e o módulo de *Young* ou elasticidade. É definido se a placa está ou não aderida a base, e por fim, é definido o tipo de carga do eixo para a realização da análise. Os dados de entrada se traduzem para a placa de concreto com comprimento de 6,0m por 3,20m de largura, sendo este valor considerado como um valor médio para as larguras das faixas nas vias de Fortaleza. A placa possui 20,0cm de espessura, tendo como base uma camada de BGS de 17,0 cm, sendo a massa específica a mesma considerada para o pavimento flexível. Usou-se um módulo de elasticidade de 33.000MPa, coeficiente de *Poisson* de 0,2 e densidade de 2.400kg/m^3 para o concreto.

Considerando o fato de o *EverFE* realizar a análise do comportamento apenas com o eixo completo, enquanto que para o MeDiNa há a possibilidade de escolher a análise por semi-eixo, foram adotados como pontos de interesse para análise o ponto médio das rodas de um semi-eixo, 50cm de distância desse ponto no sentido da via, 100cm e 150cm de distância do ponto médio as rodas do semi-eixo escolhido no sentido da via. No MeDiNa, no plano da via, o eixo que é paralelo a via é o eixo Y, enquanto o eixo X é paralelo ao eixo do carregamento. No *EverFE* ocorre o contrário, o eixo X é paralelo a via e o eixo Y é paralelo ao eixo de carga. Na análise da placa de concreto o eixo de carga foi colocado em duas posições relativas da placa de concreto: uma na borda da placa, com todo o pneu dentro da placa, e outra no meio da placa

3.2.3 Análise Financeira

No primeiro momento, foi realizado um orçamento relativo ao valor da obra por km construído. Esse orçamento tem como base o procedimento de execução que a empresa responsável utilizou, sendo realizada primeiramente a fresagem de 4cm do pavimento flexível e, então, a pavimentação de 3cm com mistura do tipo CPA nos pontos fora das paradas de ônibus. Nas paradas considerou-se a escavação necessária para acomodar a placa e a camada de BGS como base bem como que a via analisada teria 3,20m de largura, mas para simplificação do orçamento, não foi considerada a escavação necessária para regularização do nível do pavimento, visto que a falta de um histórico das intervenções urbanas dificulta a identificação do tipo de procedimento necessário para a realização da escavação.

Após esse valor base, foram elaborados três orçamentos considerando um cenário em

que não existisse pavimentação e a via ainda fosse ser construída. Os orçamentos representam três possíveis soluções: um orçamento somente com pavimentação flexível, com os custos de reabilitação para um período de vida útil de vinte anos; um orçamento com pavimento flexível e com uso de pavimentação rígida nas paradas de ônibus, ou seja, a solução adotada; e por último um orçamento onde a faixa seria toda em pavimento rígido.

Para a elaboração do orçamento da obra executada de pavimento misto, será considerada uma distância de 400m entre as paradas, o que acarreta em três paradas por km de via. Como o projeto indica a utilização de duas placas de transição de 5m por parada, no orçamento computado-se como se esse fosse um trecho em placa de concreto, assim a estrutura será composta por 210m de pavimento rígido e 790m de pavimento flexível.

Segundo MESQUITA (2001), devido ao significativo grau de deterioração da superfície do pavimento flexível com o decorrer do tempo, foi incluído no orçamento o custo de intervenções nesse tipo de pavimento para a conservação do mesmo consistindo de fresagem de 3cm do pavimento e aplicação de uma camada de 3cm de pavimento flexível. Essas intervenções foram realizadas de seis em seis anos, totalizando três intervenções ao longo da vida útil.

As fontes consultadas forneciam composições para os serviços que representam a execução de camadas de pavimentação. Assim, foram usadas sete composições que representam: os serviços de execução de sub-base granular, execução de base em BGS, execução do pavimento flexível com mistura asfáltica enquadrada na faixa C do DNIT, execução de pavimento em CCP, fresagem de camada de pavimento flexível, escavação de vala para execução do pavimento rígido e imprimação. Os descritivos desses serviços podem ser vistos no apêndice F.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Funcional

Como três das quatro vias possuem dois sentidos de tráfego, no total sete trechos foram avaliados. Assim, após a contagem dos defeitos e a classificação quanto a gravidade é possível encontrar os resultados apresentados na Tabela 3 para o IGGE.

Tabela 3 – Análise funcional por IGGE adaptado.

Avenida	Sentido	IGGE	Classificação
Avenida Abolição	Praia do Futuro	150	Péssimo
Avenida Abolição	Centro	221	Péssimo
Avenida Dom Luis	Centro	0	Ótimo
Av. Desembargador Moreira	Beira-Mar	232	Péssimo
Av. Desembargador Moreira	Aeroporto	258	Péssimo
Av. Raul Barbosa	Beira-Mar	299	Péssimo
Av. Raul Barbosa	Aeroporto	237	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

É possível perceber que, ao se restringir apenas ao espaço em torno das paradas, as vias apresentam um péssimo estágio de conservação segundo o resultado do IGGE, com exceção a Avenida Dom Luís, a qual havia passado por uma intervenção recente devido a implantação do Binário da Av. Santos Dumont.

Dado os critérios citados anteriormente, três paradas foram selecionadas na avenida abolição no sentido Praia do Futuro, localizadas por volta dos endereços: Avenida Abolição 2026, nomeada P1; Avenida Abolição 2456, nomeada P2; Avenida Abolição 3273, nomeada P3. No sentido Centro foram selecionadas outras três: Avenida Abolição 2456, nomeada P4; Avenida Abolição 2955, nomeada P5 e Avenida Abolição 3207, nomeada P6.

Para uma melhor visualização da P1 utilizaram-se duas imagens apresentadas na Figura 8, nas quais é possível perceber pela Tabela 3, facilmente, a presença de deformação permanente e de remendos.

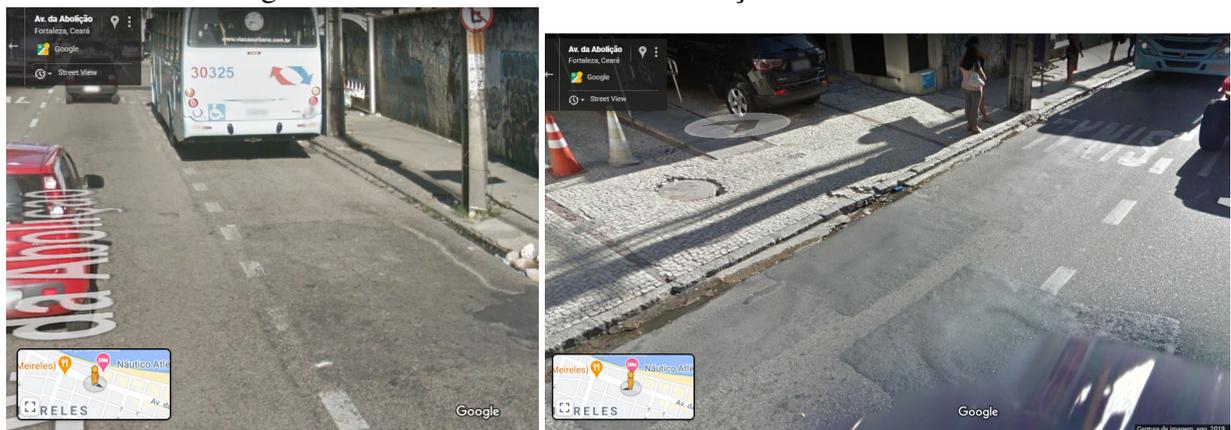
Na P2 é possível observar deformação permanente e escorregamento do CA, invadindo a calçada. Na P3 é possível visualizar o defeito do tipo deformação permanente e remendo. Na P4 é de fácil observar deformação permanente.

Na P5 verifica-se a aparição de remendos e de deformação permanente. Na P6 é visualizado deformação permanente e escorregamento do CA.

Perceber-se que a combinação das altas cargas provenientes dos veículos de trans-

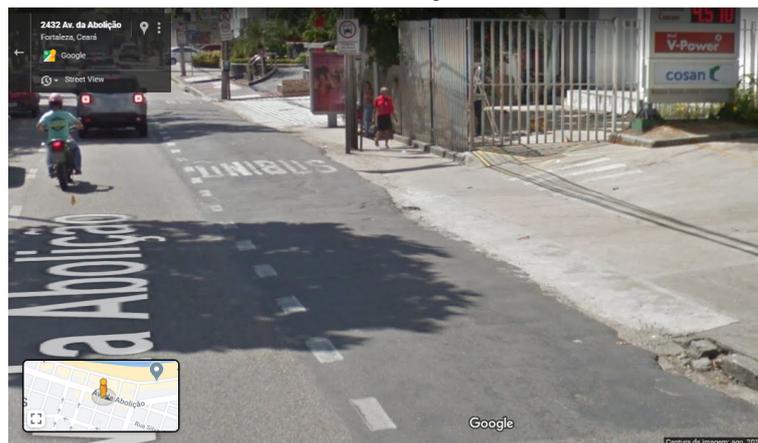
porte público, com a existência da zona de desaceleração e aceleração nas paradas, e um clima quente (temperaturas acima dos 30°C), que provoca a alteração de propriedades do material asfáltico devido ao seu comportamento viscoelástico, não foi suportada pela estrutura do pavimento flexível projetado para a via, visto que há presença de defeitos. A partir dos remendos encontrados nas paradas, e considerando o fato do afundamento local ter sido comum, deduz-se que é recorrente a aparição de defeitos nessas vias.

Figura 8 – Parada P1 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 9 – Parada P2 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Deste modo, é importante saber o estado das vias após a execução da requalificação. A partir dos dados colhidos em campo, calculou-se o ICP dos trechos definidos, mostrados na tabela 4:

Apesar dos trechos se apresentarem em condições excelentes, é possível notar que dois defeitos apresentados nas figuras 14 e 15 foram de grande impacto no cálculo do ICP. Ambos foram provenientes de intervenções humanas para execução de serviços não relacionados com o

Figura 10 – Parada P3 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 11 – Parada P4 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 12 – Parada P5 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 13 – Parada P6 antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

pavimento, um de implantação de radar eletrônico e o outro não foi possível a identificação de seu propósito.

Tabela 4 – Análise objetiva do pavimento rígido

Trecho	ICP	Condição
Praia do Futuro	85,1	Excelente
Centro	85,0	Excelente

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 14 – Intervenção humana não identificada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 15 – Intervenção humana para implantação de radar eletrônico



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para uma melhor visualização dos comportamentos das estruturas das paradas em CCP, as fotos obtidas se encontram no apêndice E.

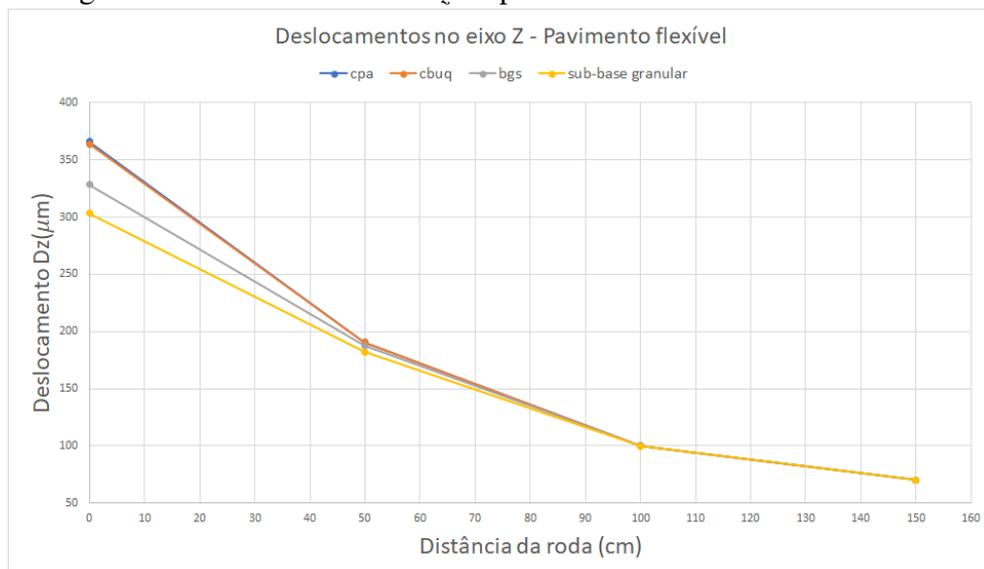
Com pouco mais de um ano em operação, é possível perceber que as paradas em CCP estão desempenhando seu papel de combate ao afundamento local. Não há aparente deformações nestas como ocorria para um mesmo período em pavimento flexível. Um fator que contribui para o cenário observado é o fato do CCP não apresentar comportamento viscoelástico, assim

não é suscetível às mudanças de suas propriedades em temperaturas elevadas. Outro fator que pode contribuir é o fato de haver escavação de parte do solo no local da parada, o que pode eliminar possíveis problemas oriundos das camadas inferiores, diminuindo assim o impacto de irregularidades nas camadas de revestimento.

4.2 Análise via softwares

Na Figura 16, são apresentados os resultados do deslocamento no eixo Z (D_z) para o pavimento flexível, nos quais são mostrados os deslocamentos, também conhecidos como deflexões, no topo de cada camada constituinte do perfil do pavimento flexível para distâncias do centro da roda/eixo de 0, 50cm, 100cm e 150cm.

Figura 16 – Deslocamentos D_z no pavimento flexível



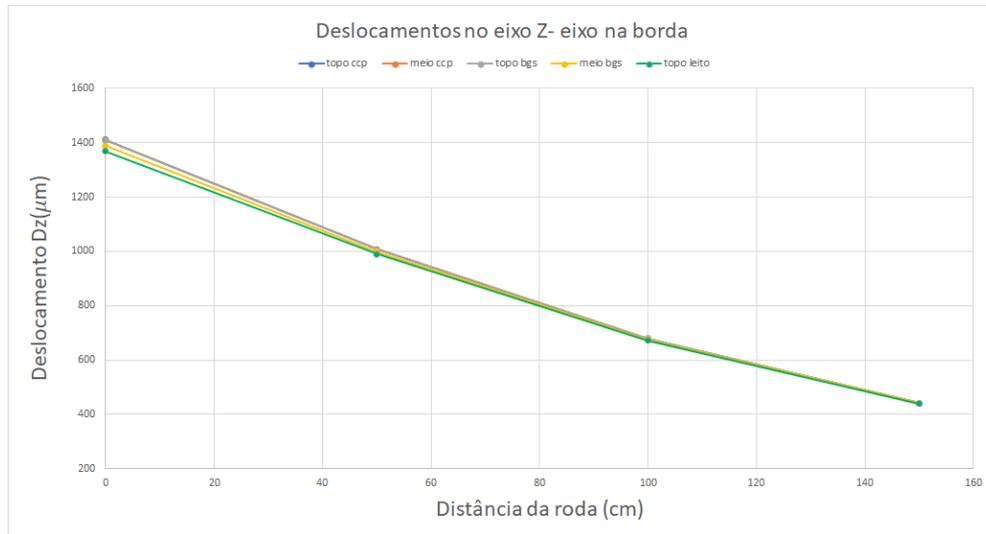
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nas Figuras 17 e 18 são apresentados as deflexões D_z na placa de CCP. A Figura 17 apresenta os resultados correspondentes a posição em que o eixo de carga está na borda da placa, enquanto que na Figura 18 o eixo de carga está no meio da placa. Os resultados representam os valores das deflexões no topo da placa, no meio da placa, no topo da camada de BGS, no meio da camada de BGS e no topo do subleito. Os resultados são apresentados para as distâncias dos pontos analisados até o do centro da roda/eixo de 0, 50cm, 100cm e 150cm.

Na Figura 19 é apresentada a tensão atuante no eixo Z (S_z) no pavimento flexível. Os resultados são apresentados de maneira semelhantes aos dos deslocamentos.

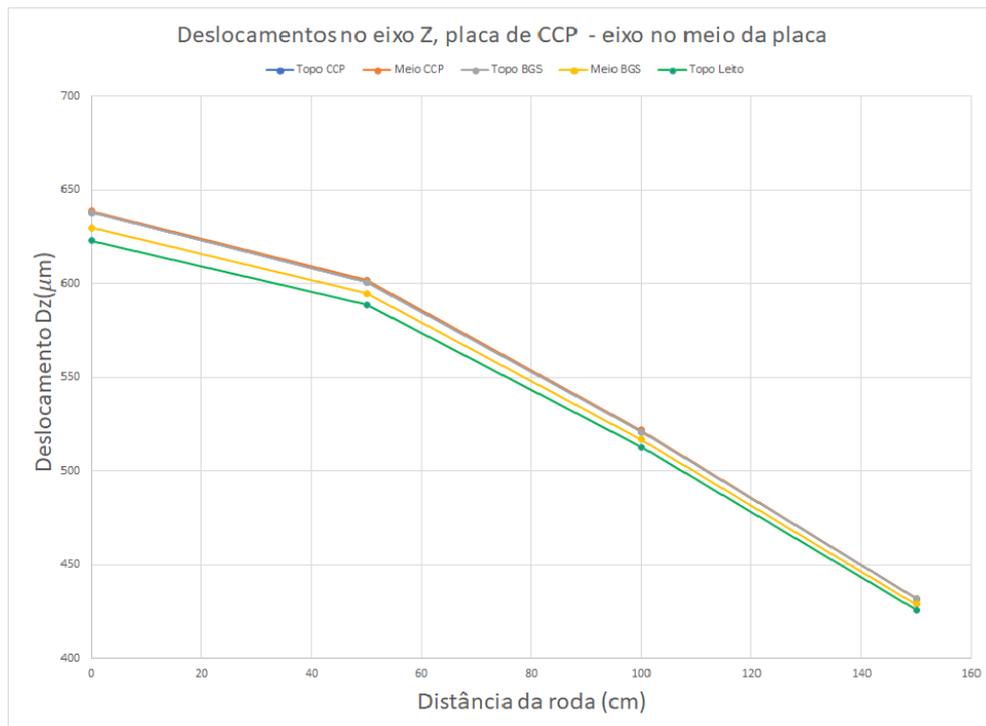
Nas Figuras 20 e 21, por sua vez, são apresentados os resultados das tensões na placa

Figura 17 – Deslocamentos D_z na placa de CCP com aplicação de carga na borda



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 18 – Deslocamentos D_z na placa de CCP com aplicação de carga no meio

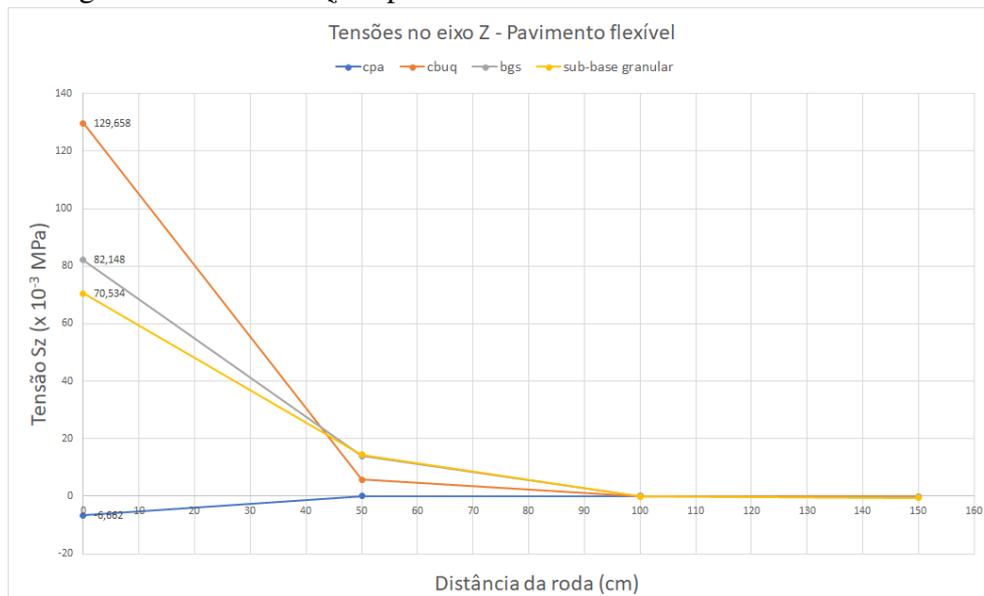


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

de CCP nos casos nos quais o eixo da carga está posicionado sobre o limite da borda e sobre o meio da placa.

Percebe-se que as deflexões apresentadas quando o eixo de carga está na borda da placa são maiores, chegando a ser duas vezes maiores para as posições imediatamente abaixo do eixo de carga. Ao analisar apenas na direção dos pontos, imagina-se a placa como uma viga

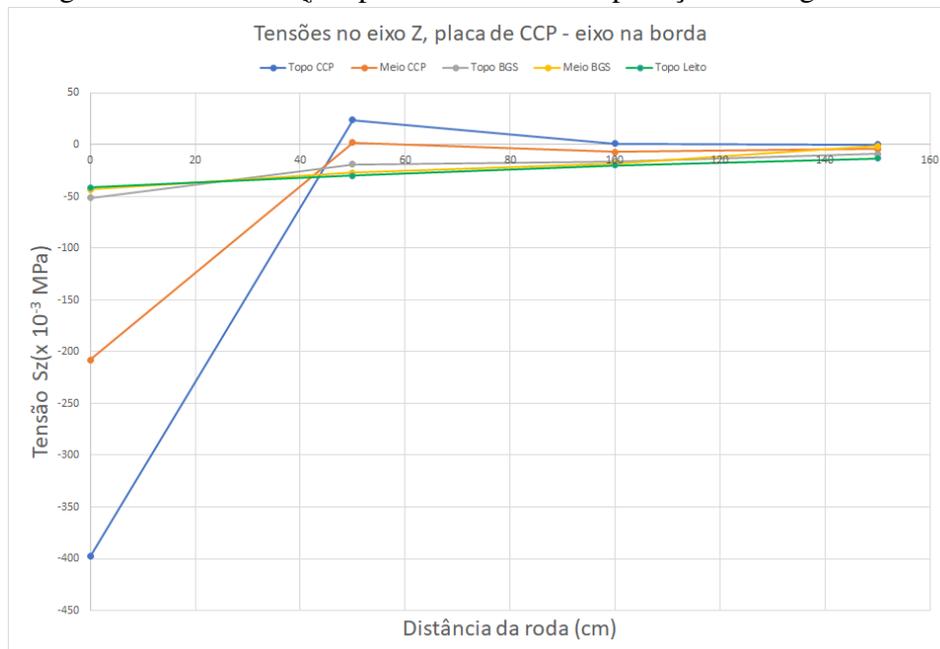
Figura 19 – Tensão S_z no pavimento flexível



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

engastada no caso no limite da borda da placa. No caso do eixo da carga no meio da placa, ela comportar-se-á como uma viga biapoiada nas extremidades. Com essa analogia é de fácil observação o comportamento correspondente das tensões e dos deslocamentos das mesmas.

Figura 20 – Tensão S_z na placa de CCP com aplicação de carga na borda



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pelos gráficos das Figuras 19, 20 e 21 percebe-se que, tendo o local de aplicação da carga há uma distância de 50cm da roda, os valores absolutos de tensões diminuem exponencialmente. A partir daí, verifica-se que no pavimento rígido há uma maior distribuição das tensões,

Figura 21 – Tensão S_z na placa de CCP com aplicação de carga no meio

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

enquanto no pavimento flexível as tensões são dissipadas.

Observam-se maiores valores de deflexão no pavimento rígido, decorrentes do alto módulo de elasticidade, o que provoca menos deformações pela não absorção dos deslocamentos provocados pelas cargas.

4.3 Análise Financeira

Ao optar por fazer o orçamento de como a solução foi executada, decidiu-se considerar uma reabilitação preventiva igual à adotada nos orçamentos com pavimento flexível. Assim, o quantitativo do serviço executado é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantitativo do executado em campo

Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Massa específica (t/m^3)	Massa(t)
Fresagem	0,04	3,20	790,00	101,12		
CPA	0,04	3,20	790,00	101,12	2,05	207,30
					CAP 55/75	9,87
Imprimação		3,20	790,00	Área (m^2) 2528,00		
Reabilitação						
Fresagem	0,03	3,20	790,00	227,52		
CPA	0,03	3,20	790,00	227,52	2,05	466,42
					CAP 55/75	22,21
Imprimação		3,20	790,00	Área (m^2) 7584,00		
Parada						
Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Área (m^2)	
Escavação	0,37	3,20	210,00	248,64		
Base em BGS	0,17	3,20	210,00	114,24		
CCP	0,2	3,20	210,00	134,40	672	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A partir das características descritas anteriormente da via para a qual será feito o orçamento, é possível chegar nos quantitativos de materiais. Na Tabela 6 é apresentado o quantitativo para 1km de via do pavimento misto, considerando três intervenções de Reabilitação na área pavimentada pelo pavimento flexível.

Tabela 6 – Quantitativo dos serviços do pavimento misto

Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Massa específica (t/m^3)	Massa (t)
Sub-base granular	0,15	3,20	790,00	379,20		
Base em BGS	0,22	3,20	790,00	556,16		
CBUQ	0,12	3,20	790,00	303,36	2,4	728,06
CPA	0,03	3,20	790,00	75,84	2,05	155,47
					CAP 50/70	40,04
					CAP 55/75	7,40
				Área m^2		
Imprimação		3,20	790,00	5056,00		
Reabilitação						
Fresagem	0,03	3,20	790,00	227,52		
CPA	0,03	3,20	790,00	227,52	2,05	466,42
					CAP 55/75	22,21
				Área (m^2)		
Imprimação		3,20	790,00	7584,00		
Parada						
Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Área (m^2)	
Base em BGS	0,17	3,20	210,00	114,24		
CCP	0,2	3,20	210,00	134,40	672	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 7 apresenta o quantitativo dos serviços necessário para a construção de um pavimento inteiramente flexível e os serviços de Reabilitação.

Tabela 7 – Quantitativo dos serviços do pavimento flexível

Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume(m^3)	Massa específica (t/m^3)	Massa (t)
Sub-base granular	0,15	3,20	1000,00	480,00		
Base em BGS	0,22	3,20	1000,00	704,00		
CBUQ	0,12	3,20	1000,00	384,00	2,40	921,60
CPA	0,03	3,20	1000,00	96,00	2,05	196,80
					CAP 55/75	9,37
				Área (m^2)		
Imprimação		3,20	1000,00	6400,00		
Reabilitação						
Fresagem	0,03	3,20	1000,00	288,00		
CPA	0,03	3,20	1000,00	288,00	2,05	590,40
					CAP 55/75	28,11
				Área (m^2)		
Imprimação		3,20	1000,00	9600,00		

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por último, apresenta-se o quantitativo do pavimento caso a via fosse toda executada em CCP, na Tabela 8.

Tabela 8 – Quantitativo dos serviços do pavimento rígido

Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m^3)	Área (m^2)
BGS	0,17	3,20	1000,00	544,00	
Concreto	0,20	3,20	1000,00	640,00	3200,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 9 – Orçamento da obra executada

Serviço	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Fresagem	m^3	101,12	36,55	R\$ 3.695,94
Imprimação	m^2	2528,00	0,25	R\$ 632,00
Revestimento cpa	<i>t</i>	207,30	126,57	R\$ 26.237,45
CAP 55/75	<i>t</i>	9,87	3228,53	R\$ 31.870,25
Parada				
Escavação	m^3	248,64	7,39	R\$ 1.837,45
Base em BGS	m^3	114,24	130,58	R\$ 14.917,46
CCP	m^2	672,00	102,83	R\$ 69.101,76
			Total =	R\$ 148.292,31
Reabilitação				
Fresagem	m^3	227,52	36,55	R\$ 8.315,86
Imprimação	m^2	7584,00	0,25	R\$ 1.896,00
CPA	<i>t</i>	466,42	126,57	R\$ 59.034,27
CAP 55/75	<i>t</i>	22,21	3228,53	R\$ 71.708,06
			Total =	R\$ 140.954,19
			Total =	R\$ 289.246,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A partir dos quantitativos de cada serviço e o preço unitário obtido nas bases de dados, chegam-se aos seguintes orçamentos:

Na Tabela 13 é mostrado um resumo do custo dos quatro cenários trabalhados. Pode-se perceber que o cenário de como a obra executada é o menos custoso. Ao analisarmos os custos de execução percebe-se que a pavimentação rígida se mostra uma alternativa financeiramente melhor que o pavimento misto ou o pavimento flexível, se devendo muito principalmente pela alta dos derivados do petróleo, influenciando diretamente o preço dos ligantes asfálticos usados na pavimentação flexível. Assim, ao analisar-se o custo total, o pavimento rígido mostra estar em uma forte ascensão em sua competitividade, sendo a primeira escolha ao executarmos uma via a partir do subleito.

Ao verificar o valor orçado da obra executada, percebe-se que ela se mostrou uma opção mais econômica para os cofres públicos, possibilitando aos já limitados orçamentos públicos a adoção de uma projeto cujo desempenho funcional se demonstra melhor, projetando-se uma maior durabilidade.

Tabela 10 – Orçamento pavimentos mistos

Serviço	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Sub-base granular	m^3	379,20	47,15	R\$ 17.879,28
Base em BGS	m^3	670,40	130,58	R\$ 87.540,83
Imprimação	m^2	5056,00	0,25	R\$ 1.264,00
Revestimento cbuq	t	728,06	126,57	R\$ 92.151,06
Revestimento cpa	t	155,47	103,85	R\$ 16.145,77
CCP	m^2	672,00	102,83	R\$ 69.101,76
CAP 50/70	t	40,04	2523,23	R\$ 101.038,88
CAP 55/75	t	7,40	3228,53	R\$ 23.902,69
Total =				R\$ 409.024,27
Reabilitação				
Fresagem	m^3	227,52	36,55	R\$ 8.315,86
Imprimação	m^2	7584,00	0,25	R\$ 1.896,00
CPA	t	466,42	103,85	R\$ 48.437,30
CAP 55/75	t	22,21	3228,53	R\$ 71.708,06
Total =				R\$ 130.357,22
Total =				R\$ 539.381,49

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 11 – Orçamento pavimentos flexíveis

Serviço	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Sub-base granular	m^3	480,00	47,15	R\$ 22.632,00
Base em BGS	m^3	704,00	130,58	R\$ 91.928,32
Imprimação	m^2	6400,00	0,25	R\$ 1.600,00
Revestimento cbuq	t	921,60	126,57	R\$ 116.646,91
Revestimento cpa	t	196,80	103,85	R\$ 20.437,68
CAP 50/70	t	50,69	2523,23	R\$ 127.897,32
CAP 55/75	t	9,37	3228,53	R\$ 30.256,57
Total =				R\$ 411.398,80
Reabilitação				
Fresagem	m^3	288,00	36,55	R\$ 10.526,40
Imprimação	m^2	3200,00	0,25	R\$ 800,00
CPA	t	590,40	103,85	R\$ 61.313,04
CAP 55/75	t	28,11	3228,53	R\$ 90.769,70
Total =				R\$ 163.409,14
Total =				R\$ 574.807,94

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 12 – Orçamento pavimentos rígidos

Serviço	Unidade	Quantidade	Preço unitário	Valor
Base em BGS	m^3	544,00	130,58	R\$ 71.035,52
CCP	m^2	3200,00	102,83	R\$ 329.056,00
Total =				R\$ 400.091,52

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 13 – Tabela resumo dos custos dos cenários analisados

Cenário	Execução	Reabilitação	Total
Obra executada	R\$ 148.292,31	R\$ 140.954,19	R\$ 289.246,50
Pavimento flexível	R\$ 411.398,80	R\$ 163.409,14	R\$ 574.807,94
Pavimento misto	R\$ 409.024,27	R\$ 130.357,22	R\$ 539.381,49
Pavimento Rígido	R\$ 400.091,52	R\$ -	R\$ 400.091,52

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação funcional, estrutural e financeira da solução de pavimento misto composto por revestimentos em CPA e CCP em vias urbanas da cidade de Fortaleza. Essa solução faz parte de uma série de intervenções da PMF para requalificação das vias.

O trabalho realizou uma análise visual das vias em dois momentos distintos: uma antes da execução da obra, através de imagens públicas e uma outra após a execução da obra com ida a campo e coleta de imagens. A análise visual dos pavimentos foi realizada por dois *softwares* diferentes, que permitiram saber os deslocamentos, tensões e deformações quando os mesmos forem solicitados. A análise financeira se restringiu a orçamentos de soluções para 1km de via.

Pela análise funcional constata-se que as paradas de ônibus são lugares recorrentes de defeitos, sendo a deformação permanente o principal deles. Com a implantação da solução de pavimento misto, verificou-se que no período de avaliação as placas de CCP que compõem as paradas de ônibus não apresentaram os defeitos antes aferidos nos pavimentos flexíveis. O período analisado já seria comum para o aparecimento das deformações permanentes em pavimentos flexíveis, o que demonstra que a solução adotada se mostrou eficaz.

O comportamento estrutural apresentado pelos resultados obtidos com o uso dos *softwares* é condizente com as respostas esperadas para cada tipo de pavimento apresentados na literatura.

Em relação ao aspecto financeiro foi observado que a solução adotada não apresentou incrementos significativos no custo da obra, sendo portando uma solução interessante a ser adotada em outros pontos da cidade, desde que haja o acompanhamento necessário dos pavimentos e sua devida manutenção, de modo a que a vida útil dos mesmos se prolongue e estes possam desempenhar seu papel ao máximo.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Um local com uma combinação de ações parecida com a que ocorre nas paradas de ônibus são as interseções semaforizadas de vias nas quais há um número considerável de ônibus e de veículos de carga circulando. Mapeamento das condições dessas interseções pode ser interessante para identificar se ocorrem os mesmos defeitos nas paradas de ônibus e assim,

estratégias de combate a esses defeitos possam ser investigadas.

O pavimento misto avaliado no presente trabalho possui pouco mais de um ano, assim, não foi possível verificar a evolução da zona de interação entre o pavimento flexível e o pavimento rígido, costumeiramente uma região que pode apresentar defeitos.

Seria interessante o acompanhamento da evolução dos trechos de pavimento nas quais a CPA foi usada, visando investigar a manutenção das propriedades das camadas de CPA e a aparição de defeitos nesse pavimento, a partir do uso da estrutura a fim de compará-los com aqueles que normalmente são encontrados em pavimentos em CA.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, C. M. C. **Avaliação da utilização de camada porosa de atrito em vias do meio urbano**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Federal do Ceará, 2021.
- ALMEIDA, C. E. d. N. Aplicação de pavimentos de concreto: estudo de caso do terminal antônio bezerra–fortaleza, ce. 2014.
- ARRAES, A.; OLIVEIRA, C. *et al.* Patologias do pavimento rígido nos terminais de ônibus do eixo anhanguera. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. d.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. **Rio de Janeiro**, v. 504, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 008/2003**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 062/2004**: Pavimento rígido - avaliação objetiva – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- FARIA, E. d. O. História dos transportes terrestres no mundo. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2003.
- GOOGLE. **Google Stree View**. 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-3.7234922,-38.5795397,15z?hl=pt-BR>. Acesso em: 18.12.2020.
- LAURINAVICIUS, A.; CYGAS, D.; JUKNEVICIUTE, L. Geometric parameters of public transport stops and their influence on asphalt pavement. In: **Proc. of the 6th International Conference Environmental Engineering**. [S. l.: s. n.], 2005. p. 738–743.
- LAUTHARTE, A. C. M. Análise da influência da variação de temperatura em misturas asfálticas usinadas à quente: módulo de resiliência e tração por compressão diametral. 2017.
- LINK, V. M. Pavimentos asfálticos em corredores de ônibus: patologias e concepção de alternativas. **Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre**, 2009.
- MAIA, R. S.; ALECRIM, C. M. C.; BRANCO, V. T. F. C.; ARAUJO, V. M. de C.; JÚNIOR, H. S. R. Utilização de revestimentos drenantes do tipo camada porosa de atrito (cpa) e de asfalto modificado por polímero (amp) como soluções para o meio urbano em fortaleza-ce. 2019.
- MESQUITA, J. C. L. **Pavimento Rígido como Alternativa Econômica Para Pavimentação Rodoviária-Estudo de Caso–Rodovia BR-262, Miranda-Morro do Azeite-MS. 2001. 135f.** Tese (Doutorado) – Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa . . . , 2001.
- OLIVEIRA, M. S.; PEREIRA, C. A.; PAIVA, C. R. de. Avaliação das placas de ccp dos corredores de ônibus de anápolis em função da sua extensão. 2018.
- ONOFRE, F. C.; BRANCO, V. T. F. C.; SOARES, J. B.; FAXINA, A. L. Avaliação do efeito de ligantes asfálticos modificados na resistência à deformação permanente de misturas asfálticas densas. **Transportes**, v. 21, n. 3, p. 14–21, 2013.

- QUEIROZ, G. R.; MARAIA, S. C. *et al.* Estudo comparativo entre sistemas de pavimentação rígida e flexível. Iturama-MG: Faculdade Aldete Maria Alves, 2018.
- REZENDE, J. de P.; OLIVEIRA, T. M. de; FERNANDES, M. de Á.; DUARTE, L. N. Análise mecanicista de pavimento rígido do corredor eixo norte–df. 2018.
- ROCHA SEGUNDO, I. G. d.; BRANCO, V. T. F. C.; VASCONCELOS, K. L.; HOLANDA, Á. S. de. Misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado como alternativa para camada de módulo elevado. **TRANSPORTES**, v. 24, n. 4, p. 85–94, 2016.
- SALLES, L. S. d. **Análise do comportamento de pavimento experimental de concreto continuamente armado de curta extensão.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2013.
- SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação-volume i-2ª edição. **PINI. São Paulo-SP**, 2007.
- SILVA, A. L. d. Estudo comparativo entre pavimento rígido e pavimento flexível. Unicesumar, 2019.
- SILVA, J. E. M. da; CARNEIRO, L. A. V. Pavimentos de concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga. 2014.
- SOARES, J. S. **Investigação da relação entre parâmetros da compactação giratória e de deformação permanente em misturas asfálticas densas.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2014.

APÊNDICE A – IMAGENS DA AVENIDA ABOLIÇÃO

Figura 22 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 23 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção



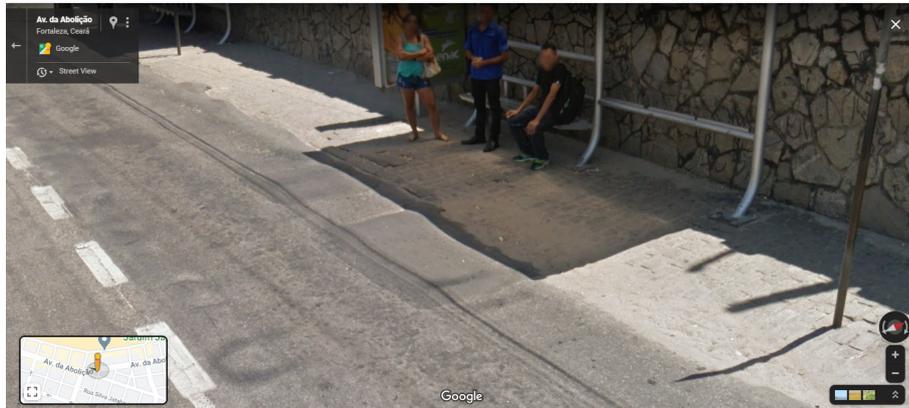
Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 24 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 25 – Av. Abolição - sentido Centro da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 26 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 27 – Av. Abolição - sentido Centro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 28 – Av. Abolição - sentido Centro da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 29 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 30 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 31 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 32 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 33 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 34 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 35 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 36 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 37 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 38 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 39 – Av. Abolição - sentido Praia do Futuro antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

APÊNDICE B – IMAGENS DA AVENIDA RAUL BARBOSA

Figura 40 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 41 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 42 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 43 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 44 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 45 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 46 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 47 – Av. Raul Barbosa - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 48 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 49 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 50 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 51 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 52 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 53 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 54 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



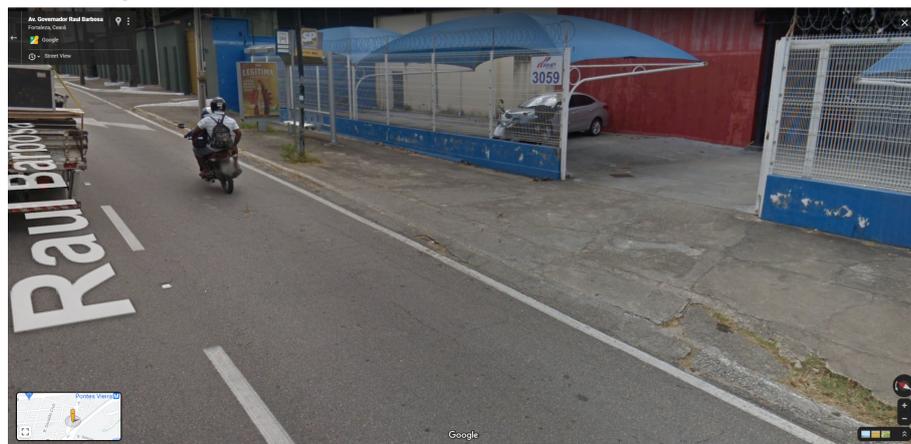
Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 55 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 56 – Av. Raul Barbosa - sentido praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

APÊNDICE C – IMAGENS DA AVENIDA DESEMBARGADOR MOREIRA

Figura 57 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 58 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 59 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 60 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 61 – Av. Desembargador Moreira - sentido aeroporto - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 62 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 63 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 64 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 65 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 66 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 67 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 68 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 69 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 70 – Av. Desembargador Moreira - sentido Praia de Iracema - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

APÊNDICE D – IMAGENS DA AVENIDA DOM LUIS

Figura 71 – Av. Dom Luis - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 72 – Av. Dom Luis - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 73 – Av. Dom Luis - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

Figura 74 – Av. Dom Luis - antes da intervenção



Fonte: (GOOGLE, 2020)

APÊNDICE E – FOTOS DAS PARADAS ESCOLHIDAS EM CCP

Figura 75 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Eleborado pelo autor (2021).

Figura 76 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Eleborado pelo autor (2021).

Figura 77 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 78 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 79 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 80 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 81 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 82 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 83 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 84 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 85 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 86 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 87 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 88 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 89 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 90 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 91 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 92 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 93 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 94 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 95 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 96 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 97 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 98 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 99 – Av. Abolição - paradas em CCP



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

APÊNDICE F – COMPOSIÇÕES DOS SERVIÇOS PARA OS ORÇAMENTOS

Figura 100 – Composição para Base

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	FIC 0,00453				
Custo Unitário de Referência		Julho/2019	Produção da equipe 113,18000 m ³				
4011276 Base ou sub-base de brita graduada com brita comercial		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização	Custo Horário	Custo Horário Total		
			Operativa	Improdutiva	Operativa		
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,34	0,66	199,4066	53,9078	103,3774
E9514	Distribuidor de agregados autopropelido - 130 kW	1,00000	0,80	0,20	180,4319	70,0628	158,3681
E9524	Motoneveladora - 93 kW	1,00000	0,52	0,48	168,5972	76,9174	124,1537
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,65	0,35	142,8024	71,4571	117,8315
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t - 97 kW	1,00000	0,52	0,48	139,9140	61,5884	102,3177
				Custo horário total de equipamentos	606,0384		
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário	Custo Horário Total		
P9824	Servente	1,00000	h	16,0823	16,0823		
				Custo horário total de mão de obra	16,0823		
				Custo horário total de execução	622,1207		
				Custo unitário de execução	5,4967		
				Custo do FIC	0,0249		
				Custo do FIT	-		
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
				Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 th	1,00000	m ³	121,1900	121,1900		
				Custo total de atividades auxiliares	121,1900		
				Subtotal	126,7116		
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 th - Caminhão basculante 10 m ³	5914652	2,10000	t	1,8400	3,8640	
				Custo unitário total de tempo fixo	3,8640		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT	Custo Unitário		
				LN	RP	P	
6416040	Usinagem de brita graduada com brita comercial em usina de 300 th - Caminhão basculante 10 m ³	2,10000	km	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total	130,58		

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 101 – Composição para pavimento em CBUQ

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	FIC 0,00226				
Custo Unitário de Referência		Julho/2019	Produção da equipe 83,00000 t				
4011463 Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização	Custo Horário	Custo Horário Total		
			Operativa	Improdutiva	Operativa		
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,59	0,41	142,8024	71,4571	113,5508
E9530	Rolo compactador liso autopropelido vibratório de 11 t - 97 kW	1,00000	0,51	0,49	139,9140	61,5884	101,5345
E9545	Vibroacabadora de asfalto sobre esteiras - 82 kW	1,00000	0,89	0,11	212,3836	100,3563	200,0606
				Custo horário total de equipamentos	415,1459		
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade	Custo Horário	Custo Horário Total		
P9824	Servente	8,00000	h	16,0823	128,6584		
				Custo horário total de mão de obra	128,6584		
				Custo horário total de execução	543,8043		
				Custo unitário de execução	6,5519		
				Custo do FIC	0,0148		
				Custo do FIT	-		
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
				Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	1,02000	t	110,7800	112,9956		
				Custo total de atividades auxiliares	112,9956		
				Subtotal	119,5623		
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m ³	5914649	1,02000	t	6,8700	7,0074	
				Custo unitário total de tempo fixo	7,0074		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade	DMT	Custo Unitário		
				LN	RP	P	
6416078	Usinagem de concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais - Caminhão basculante 10 m ³	1,02000	km	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total	126,57		

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 102 – Composição para escavação

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	FIC 0,00453				
Custo Unitário de Referência		Julho/2019	Produção da equipe 14,66000 m³				
4805762 Escavação mecânica de vala em material de 2ª categoria		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS							
	Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo		
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9526	Retroscoavadeira de pneus - 58 kW	1,00000	1,00	0,00	91,7905	49,4343	91,7905
				Custo horário total de equipamentos		91,7905	
B - MÃO DE OBRA							
	Quantidade	Unidade		Custo Horário	Custo Horário Total		
P9824	Servente	1,00000	h	16,0823	16,0823		
				Custo horário total de mão de obra	16,0823		
				Custo horário total de execução	107,8728		
				Custo unitário de execução	7,3583		
				Custo do FIC	0,0333		
				Custo do FIT	-		
C - MATERIAL							
	Quantidade	Unidade		Preço Unitário	Custo Unitário		
				Custo unitário total de material			
D - ATIVIDADES AUXILIARES							
	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário		
				Custo total de atividades auxiliares			
				Subtotal	7,3916		
E - TEMPO FIXO							
	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
				Custo unitário total de tempo fixo			
F - MOMENTO DE TRANSPORTE							
	Quantidade	Unidade		DMT	Custo Unitário		
			LN	RP	P		
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total	7,39		

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 103 – Composição para fresagem

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	FIC 0,00226				
Custo Unitário de Referência		Julho/2019	Produção da equipe 61,51000 m³				
4011479 Fresagem contínua de revestimento betuminoso		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS							
	Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo		
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9605	Caminhão tanque com capacidade de 6.000 l - 136 kW	1,00000	0,57	0,43	154,6941	47,6884	106,6816
E9679	Fresadora a frio - 410 kW	1,00000	1,00	0,00	997,0818	378,1403	997,0818
E9697	Minicarregadeira de pneus com vassoura de 1,8 m - 42 kW	2,00000	0,81	0,19	95,5085	46,0477	172,2219
				Custo horário total de equipamentos		1.277,9853	
B - MÃO DE OBRA							
	Quantidade	Unidade		Custo Horário	Custo Horário Total		
P9824	Servente	8,00000	h	16,0823	128,6584		
				Custo horário total de mão de obra	128,6584		
				Custo horário total de execução	1.406,6437		
				Custo unitário de execução	22,8685		
				Custo do FIC	-		
				Custo do FIT	-		
C - MATERIAL							
	Quantidade	Unidade		Preço Unitário	Custo Unitário		
M1995	Apoio do porta bit para fresadora de 410 kW	0,00065	un	2.540,1900	1,6511		
M1974	Bit para fresadora de 410 kW	0,28000	un	28,3746	7,3774		
M2053	Material fresado	1,00000	m³	0,0000	0,0000		
M1975	Porta bits para fresadora de 410 kW	0,00260	un	369,5905	0,9609		
				Custo unitário total de material	9,9894		
D - ATIVIDADES AUXILIARES							
	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário		
				Custo total de atividades auxiliares			
				Subtotal	32,8579		
E - TEMPO FIXO							
	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
M2093	Material fresado - Caminhão basculante 10 m³	5915407	2,40000	t	1,5400	3,6960	
				Custo unitário total de tempo fixo	3,6960		
F - MOMENTO DE TRANSPORTE							
	Quantidade	Unidade		DMT	Custo Unitário		
			LN	RP	P		
M2093	Material fresado - Caminhão basculante 10 m³	2,40000	tkm	5914359	5914374	5914389	
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total	36,55		

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 104 – Composição para imprimação

CGCIT		DNIT					
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Ceará	FIC 0,00226				
Custo Unitário de Referência		Julho/2019	Produção da equipe 1.125,00000 m²				
4011352 Imprimação com emulsão asfáltica		Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS							
	Quantidade	Utilização		Custo Horário	Custo		
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário Total	
E9509	Caminhão tanque distribuidor de asfalto com capacidade de 6.000 l - 7 kW/136 kW	1,00000	1,00	0,00	161,3157	49,7516	161,3157
E9558	Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	1,00000	1,00	0,00	16,4406	11,2048	16,4406
E9577	Trator agrícola - 77 kW	1,00000	0,35	0,65	124,2222	33,2035	65,0600
E9544	Vassoura mecânica rebocável	1,00000	0,35	0,65	6,1816	3,9739	4,7468
				Custo horário total de equipamentos		247,5629	
B - MÃO DE OBRA							
	Quantidade	Unidade		Custo Horário	Custo Horário Total		
P9824	Servente	2,00000	h	16,0823	32,1646		
				Custo horário total de mão de obra	32,1646		
				Custo horário total de execução	279,7275		
				Custo unitário de execução	0,2486		
				Custo do FIC	0,0006		
				Custo do FIT	-		
C - MATERIAL							
	Quantidade	Unidade		Preço Unitário	Custo Unitário		
M2092	Emulsão asfáltica para imprimação	0,00130	t	0,0000	0,0000		
				Custo unitário total de material	0,0000		
D - ATIVIDADES AUXILIARES							
	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário		
				Custo total de atividades auxiliares			
				Subtotal	0,2492		
E - TEMPO FIXO							
	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário		
				Custo unitário total de tempo fixo			
F - MOMENTO DE TRANSPORTE							
	Quantidade	Unidade		DMT	Custo Unitário		
			LN	RP	P		
				Custo unitário total de transporte			
				Custo unitário direto total	0,25		

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 105 – Composição para o pavimento rígido

CGCIT		Ceará		FIC 0,00453		DNIT	
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Julho/2019		Produção da equipe 124,50000 m ²		Valores em reais (R\$)	
Custo Unitário de Referência							
4011529 Pavimento de concreto com equipamento de pequeno porte, espessura de 0,20 m, com agente de cura e com tela soldada - concreto usinado - areia e brita comerciais							
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9586	Réguas vibratórias treliçada com 4 m - 4,1 kW	1,00000	0,60	0,40	6,5594	0,3653	4,0818
					Custo horário total de equipamentos		4,0818
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade		Custo Horário	Custo Horário Total	
P9821	Pedreiro	2,00000	h		20,9570	41,9140	
P9824	Servente	6,00000	h		16,0823	96,4938	
					Custo horário total de mão de obra		138,4078
					Custo horário total de execução		142,4896
					Custo unitário de execução		1,1445
					Custo do FIC		0,0052
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade		Preço Unitário	Custo Unitário	
M2152	Aditivo de cura para concreto	0,20000	kg		6,7053	1,3417	
					Custo unitário total de material		1,3417
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário	
1107871	Concreto fcm.k = 4,5 MPa - confecção em central dosadora de 30 m ³ /h - areia e brita comerciais	0,20000	m ³		300,1200	60,0240	
0408067	Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação	5,37000	kg		6,5800	35,3346	
					Custo total de atividades auxiliares		95,3586
					Subtotal		97,8500
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
M2152	Aditivo de cura para concreto - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,00020	t	21,2100	0,0042	
1107871	Concreto fcm.k = 4,5 MPa - confecção em central dosadora de 30 m ³ /h - areia e brita comerciais - Caminhão betoneira 8 m ³	5909007	0,48000	t	10,1300	4,8624	
0408067	Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,00537	t	21,2100	0,1139	
					Custo unitário total de tempo fixo		4,9805
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade		DMT		Custo Unitário
					LN	RP	P
M2152	Aditivo de cura para concreto - Caminhão carroceria 15 t	0,00020	tkm		5914449	5914464	5914479
1107871	Concreto fcm.k = 4,5 MPa - confecção em central dosadora de 30 m ³ /h - areia e brita comerciais - Caminhão betoneira 8 m ³	0,48000	tkm		5914539	5914554	5914569
0408067	Tela de aço eletrosoldada - fornecimento, preparo e colocação - Caminhão carroceria 15 t	0,00537	tkm		5914449	5914464	5914479
					Custo unitário total de transporte		102,83
					Custo unitário direto total		102,83

Fonte: SICRO

Figura 106 – Composição para sub-base granular

CGCIT		Ceará		FIC 0,01360		DNIT	
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Julho/2019		Produção da equipe 120,70000 m ²		Valores em reais (R\$)	
Custo Unitário de Referência							
4011268 Base estabilizada granulometricamente com mistura solo brita (70% - 30%) em usina com material de jazida e brita comercial							
A - EQUIPAMENTOS		Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
			Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9571	Caminhão tanque com capacidade de 10.000 l - 188 kW	1,00000	0,36	0,64	199,4066	53,9078	106,2874
E9514	Distribuidor de agregados autopropelido - 130 kW	1,00000	0,85	0,15	180,4319	70,0628	163,8765
E9762	Rolo compactador de pneus autopropelido de 27 t - 85 kW	1,00000	0,69	0,31	142,8024	71,4571	120,6654
E9665	Rolo compactador pó de carneiro vibratório autopropelido de 11,8 t - 82 kW	1,00000	0,72	0,28	132,8667	62,0852	113,0490
					Custo horário total de equipamentos		503,8983
B - MÃO DE OBRA		Quantidade	Unidade		Custo Horário	Custo Horário Total	
P9824	Servente	1,00000	h		16,0823	16,0823	
					Custo horário total de mão de obra		16,0823
					Custo horário total de execução		519,9806
					Custo unitário de execução		4,3080
					Custo do FIC		0,0486
					Custo do FIT		-
C - MATERIAL		Quantidade	Unidade		Preço Unitário	Custo Unitário	
					Custo unitário total de material		
D - ATIVIDADES AUXILIARES		Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário	
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h	1,00000	m ²		38,9900	38,9900	
					Custo total de atividades auxiliares		38,9900
					Subtotal		43,3566
E - TEMPO FIXO		Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m ³	5914652	2,06300	t	1,8400	3,7959	
					Custo unitário total de tempo fixo		3,7959
F - MOMENTO DE TRANSPORTE		Quantidade	Unidade		DMT		Custo Unitário
					LN	RP	P
6416030	Usinagem de solo brita (70% - 30%) com material de jazida e brita comercial em usina de 300 t/h - Caminhão basculante 10 m ³	2,06300	tkm		5914359	5914374	5914389
					Custo unitário total de transporte		47,15
					Custo unitário direto total		47,15

Obs:

Fonte: SICRO

Figura 107 – Composição para CPA

CGCIT		DNIT			
SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO					
Custo Unitário de Referência		Ceará			
6416240 Usinagem de pré-misturado a quente com asfalto polímero - faixa III - camada porosa de atrito - areia e brita comerciais		Julho/2019			
		Produção da equipe 83,00000 t			
Valores em reais (R\$)					
A - EQUIPAMENTOS					
Quantidade	Utilização	Custo Horário		Custo Horário Total	
		Operativa	Improdutiva		
E9559 Aquecedor de fluido térmico - 12 kW	1,00000	1,00	0,00	36,7766	
E9584 Carregadeira de pneus com capacidade de 1,53 m³ - 106 kW	1,00000	0,59	0,41	111,0041	
E9021 Grupo gerador - 456 kVA	1,00000	1,00	0,00	250,6088	
E9558 Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30,000 l	2,00000	1,00	0,00	16,4406	
E9689 Usina de asfalto a quente gravimétrica com capacidade de 100/140 th - 280 kW	1,00000	1,00	0,00	762,2423	
				407,6102	
				762,2423	
				Custo horário total de equipamentos 1.171,9463	
B - MÃO DE OBRA					
Quantidade	Unidade	Custo Horário		Custo Horário Total	
P9824 Servente	8,00000			16,3923	
				128,6584	
				Custo horário total de mão de obra 128,6584	
				Custo horário total de execução 1.300,6047	
				Custo unitário de execução 15,6699	
				Custo do FIC -	
				Custo do FIT -	
C - MATERIAL					
Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M0028 Areia média	0,26032			67,4116	
M0005 Brita 0	0,09524			79,6849	
M0345 Cal hidratada	38,09524			0,4634	
M1955 Cimento asfáltico CAP 50/70 com polímero	0,04762			0,0000	
M1941 Óleo combustível 1A	8,00000			3,0105	
M1103 Pedrisco	0,25397			77,2683	
				Custo unitário total de material 86,4989	
D - ATIVIDADES AUXILIARES					
Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário	
				Custo total de atividades auxiliares	
				Subtotal 102,1688	
E - TEMPO FIXO					
Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário	
M0028 Areia média - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,39048		0,9600	
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,14286		0,9600	
M0345 Cal hidratada - Caminhão carroceria 15 t	5914655	0,03810		21,2100	
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,38096		0,9600	
				Custo unitário total de tempo fixo 1,8658	
F - MOMENTO DE TRANSPORTE					
Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
		LN	RP	P	
M0028 Areia média - Caminhão basculante 10 m³	0,39048	tkm	5914359	5914374	5914389
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	0,14286	tkm	5914359	5914374	5914389
M0345 Cal hidratada - Caminhão carroceria 15 t	0,03810	tkm	5914449	5914464	5914479
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	0,38096	tkm	5914359	5914374	5914389
					Custo unitário total de transporte
					Custo unitário direto total 103,85

Fonte: SICRO