

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E ECONÔMICA DE UMA ESTRATÉGIA DE REQUALIFICAÇÃO DE VIAS URBANAS EM PAVIMENTOS COMPOSTOS POR CAMADA POROSA DE ATRITO E PLACAS DE CONCRETO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Larissa Virgínia da S. Ribas¹; Luís Paulo Freire²; Wellington Lorrann G. Ferreira³; Verônica Castelo Branco⁴;

RESUMO

O uso de pavimentação asfáltica é comum em vias urbanas das cidades brasileiras. Nos pontos de ônibus, devido à combinação de altas temperaturas e a natureza do tráfego, há concentração de esforços de cisalhamento no pavimento, especialmente nas camadas superiores, resultando em deformações permanentes e outros tipos de defeitos. Para enfrentar esse desafio, na cidade de Fortaleza/CE foram adotadas soluções de pavimento misto com uso da Camada Porosa de Atrito (CPA) nas faixas de tráfego e placas de Concreto de Cimento Portland (CCP) em pontos de ônibus. O objetivo desse trabalho é avaliar as soluções de pavimentos mistos adotadas em meio urbano quanto às condições funcionais e de seus custos. A análise funcional do pavimento flexível foi realizada através do método do Levantamento Visual Contínuo (LVC) por meio do Índice de Gravidade Geral Expedido (IGGE), enquanto para os pontos de ônibus foi determinado o Índice de Condição do Pavimento (ICP). A partir dos dados de geometria e das características dos materiais obtidos no projeto fornecido pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF), foram propostos três cenários orçamentários para comparação de custos das seguintes soluções: pavimento flexível, pavimento misto (CPA + CCP) e pavimento rígido. Os resultados da análise funcional indicam que adotar a solução com pavimento rígido nos pontos de ônibus é uma estratégia eficiente. Do ponto de vista econômico, para um período de 20 anos, o cenário com pavimento rígido apresentou o menor custo total dentre os três cenários avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: camada porosa de atrito; pavimento rígido; pavimento misto; deformação permanente; análise funcional.

ABSTRACT

The use of asphalt paving is quite common on urban roads in Brazilian cities. At bus stops, due to the combination of high temperatures and the nature of the traffic, there is a concentration of shear stresses in the pavement, especially in the upper layers, resulting in rutting and other types of distresses. Trying to deal with this challenge, mixed pavement solutions using Open Graded Friction Course (OGFC) in the traffic lanes and Portland Cement Concrete (PCC) slabs in the bus stop bays were adopted in Fortaleza. The main goal of this work is to assess the urban-composed pavement solutions in terms of functional conditions and costs. The functional analysis of the flexible pavement included a continuous visual survey and determination of the Expedited General Gravity Index (IGGE), while for the bus stops the Pavement Condition Index (PCI) of the rigid pavement was determined. Based on the geometry data and material characteristics obtained from the project adopted by the Municipal Government of Fortaleza (in Portuguese, PMF), three budget scenarios were proposed for cost comparisons of the following solutions: flexible pavement, mixed pavement (OGFC + PCC) and rigid pavement. The functional analysis results indicate that adopting the rigid pavement solution at bus stops is an efficient strategy. From an economic point of view, for a 20-year period, the rigid pavement scenario presented the lowest total cost among the three proposed scenarios.

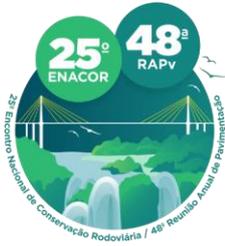
KEY WORDS: open grade friction course; rigid pavement; composed pavement; rutting; functional analysis.

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC, larissa.ribas@det.ufc.br;

²Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará, luispaulomf@gmail.com;

³Professor Adjunto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido -UFERSA, wellington.ferreira@ufersa.edu.br;

⁴Ph.D., Professora Associada do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, veronica@det.ufc.br.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INRODUÇÃO

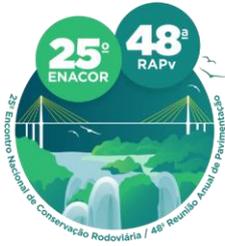
Os pavimentos asfálticos são amplamente utilizados em áreas urbanas do Brasil devido às suas propriedades de resistência, durabilidade e custo relativamente baixo. No entanto, é bem conhecido que esses pavimentos são suscetíveis a defeitos, especialmente em locais de alta carga, baixa velocidade, esforços cisalhantes de aceleração/frenagem e tráfego intenso, como os pontos de ônibus. Um dos principais problemas enfrentados nesses locais é a ocorrência de deformações permanentes, que comprometem a qualidade e a vida útil do pavimento (SANTOS, 2020).

Os pontos de ônibus em vias urbanas, devido a frenagem e a aceleração corriqueiras dos veículos pesados, costumam sofrer maior impacto estrutural e desgaste funcional. O surgimento precoce de defeitos como escorregamentos, ondulações e trilhas de roda pode contribuir para redução da segurança viária e do conforto dos usuários, além de aumentar o custo operacional dos veículos (LINK, 2009). O citado autor propõe a utilização de misturas do tipo Matriz Pétreo Asfáltica (do inglês, *Stone Matriz Asphalt* – SMA) nos pontos de ônibus. Arraes *et al.* (2019) avaliaram a condição das placas de Concreto de Cimento Portland (CCP) nas estações de embarque/desembarque de 19 pontos de ônibus após 21 anos da sua implantação. O estudo apontou que o pavimento rígido apresentou estado de conservação superior ao flexível, sendo que os principais defeitos das placas de CCP se davam na interface entre os dois revestimentos (ARRAES *et al.*, 2019). Arraes *et al.* (2019) sugerem o prolongamento das áreas concretadas nas estações.

Assim, justifica-se avaliar materiais e tecnologias mais avançadas que podem contribuir para o desenvolvimento de soluções eficientes e duradouras para os pontos de ônibus, como o uso de CCP na região de maior solicitação. O pavimento rígido, devido à alta rigidez, pode trazer benefícios com a redução da necessidade de realização de intervenções de Manutenção e Restauração (M&R), promovendo condições funcionais e estruturais adequadas pelo tempo de vida útil do pavimento. A Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) optou pelo uso de placas de CCP em paradas de ônibus nos principais corredores da cidade com o intuito de minimizar os defeitos concentrados nestes locais. A solução adotada em algumas vias consiste em um pavimento misto, composto pela combinação do pavimento flexível nas faixas de tráfego, com revestimento do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), e placas de CCP nos pontos de ônibus. Essa iniciativa visa melhorar a capacidade de suporte, reduzir a deformação permanente e proporcionar maior conforto aos usuários do transporte público.

Maia *et al.* (2019) relatam que a utilização de revestimentos esbeltos do tipo CPA em meios urbanos é uma alternativa recente em uso na cidade de Fortaleza/CE, para combater os 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 (ALECRIM *et al.* 2022).

A busca por soluções mais eficazes 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. Diante dessa perspectiva, é importante realizar estudos que avaliem o comportamento funcional dessas soluções, através da avaliação da eficácia na redução de defeitos superficiais e da viabilidade técnica e econômica em condições reais de tráfego urbano. Desse modo, o principal objetivo desse trabalho é avaliar a solução de pavimento misto adotada em meio urbano da cidade de Fortaleza/CE quanto às condições funcionais e econômicas.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



MATERIAIS E MÉTODOS

Local de Estudo

Fortaleza, situada na região Nordeste do Brasil, é a capital do estado do Ceará. Com um clima tropical quente e úmido, a cidade abriga uma população de aproximadamente 2,7 milhões de habitantes (IBGE, 2020). A infraestrutura viária de Fortaleza é caracterizada por uma extensa malha que se estende por cerca de 4.700 km, abrangendo vias urbanas, rodovias e corredores de ônibus. Ainda de acordo com IBGE, em 2022, a frota de veículos registrados na cidade já ultrapassava 1,2 milhão de veículos. A cidade conta também com uma extensa rede de transporte público, incluindo um sistema de ônibus que utiliza corredores exclusivos para facilitar a mobilidade urbana.

As obras de requalificação viária dos corredores turísticos da cidade de Fortaleza fazem parte de um pacote de investimentos em infraestrutura para promover urbanização e mobilidade. As vias contempladas pelo projeto receberam além de nova pavimentação (CPA na via e CCP nos pontos de ônibus), melhorias voltadas à acessibilidade, sinalização, reforma do canteiro central, calçadas, ciclofaixas, reforço na iluminação e projeto paisagístico (PMF, 2019). Como objeto de estudo deste trabalho, foram selecionados três importantes corredores da cidade de Fortaleza que receberam a referida requalificação, localizados conforme mapa de situação (Figura 1) e cuja extensão e número de pontos de ônibus são detalhados na Tabela 1. O período de execução da obra foi entre o final de 2019 e primeiro semestre de 2020.

Tabela 1. Corredores turísticos – trechos requalificados (AUTOR, 2023).

Trecho	Extensão (km)	Nº de pontos de ônibus
Av. Governador Raul Barbosa	2,90	16
Av. Desembargador Moreira	1,30	10
Av. Abolição	3,00	15
Av. Dom Luís	1,50	4
Total	8,70	45

Características do Projeto de Pavimentação dos Corredores Turísticos

De acordo com projeto da PMF, o pavimento rígido tem extensão de 60,0m, sendo composto por placas de 20,0cm de espessura, 6,0m de comprimento e largura variável de acordo com a faixa de tráfego existente. A resistência característica do concreto à compressão de projeto é de 35,0MPa. Entre as placas de concreto foram usadas barras de transferências em aço CA-25, de 60,0cm de comprimento e espaçadas entre si de 30,0cm. Foi construída uma laje de transição de 1,20m entre o pavimento rígido e o flexível. A base do pavimento em concreto é de Brita Graduada Simples (BGS), com 17,0cm de espessura, Índice de Suporte Califórnia (ISC) maior ou igual a 80% e expansão menor ou igual a 0,5%.

O perfil do pavimento flexível reportado pela PMF é apresentado na Tabela 2. O revestimento asfáltico é composto por duas camadas: camada estrutural de Concreto Asfáltico (CA) e camada funcional em CPA.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

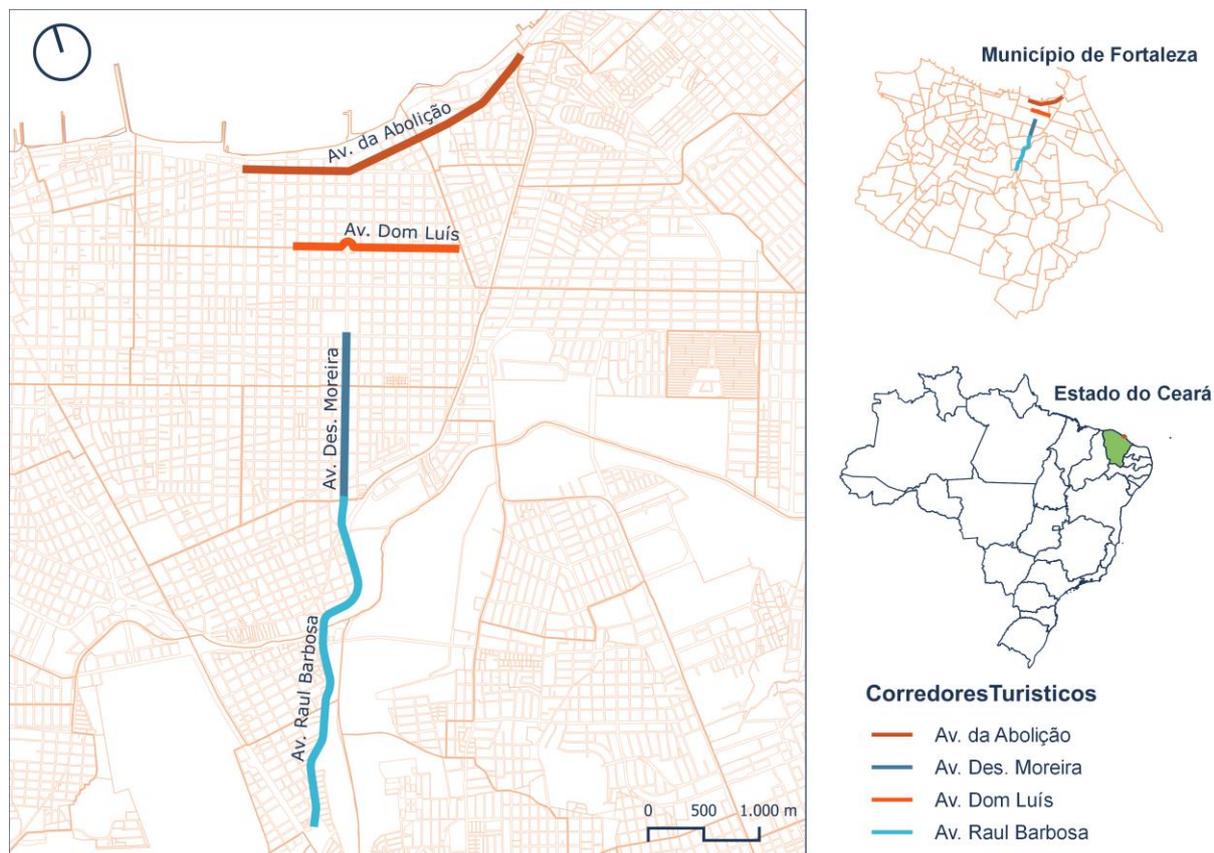


Figura 1. Mapa de situação e locação dos Corredores Tuísticos requalificados (AUTOR, 2023).

Tabela 2. Espessuras do pavimento flexível (PMF, 2021).

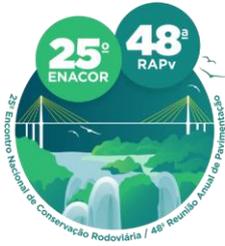
Camada	Material Utilizado	Espessuras (cm)
Revestimento	CPA	3
Revestimento	CA	12
Base	BGS	22
Sub-Base	Granular	15

Etapas Metodológicas

A Figura 2 apresenta o fluxograma da sequência de atividades e etapas metodológicas para o desenvolvimento deste trabalho. As principais atividades são detalhadas nos tópicos subsequentes.

Análise Funcional

A análise funcional dos pontos de ônibus foi realizada para duas situações: (a) anterior à requalificação - pavimento flexível (revestimento do tipo CA); e, (b) pós requalificação - pavimento misto (CPA + CCP). Seis (6) pontos de ônibus contemplados no projeto foram avaliados nessa etapa. Os critérios de seleção se deram 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 a partir da análise visual das imagens anteriores à intervenção.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

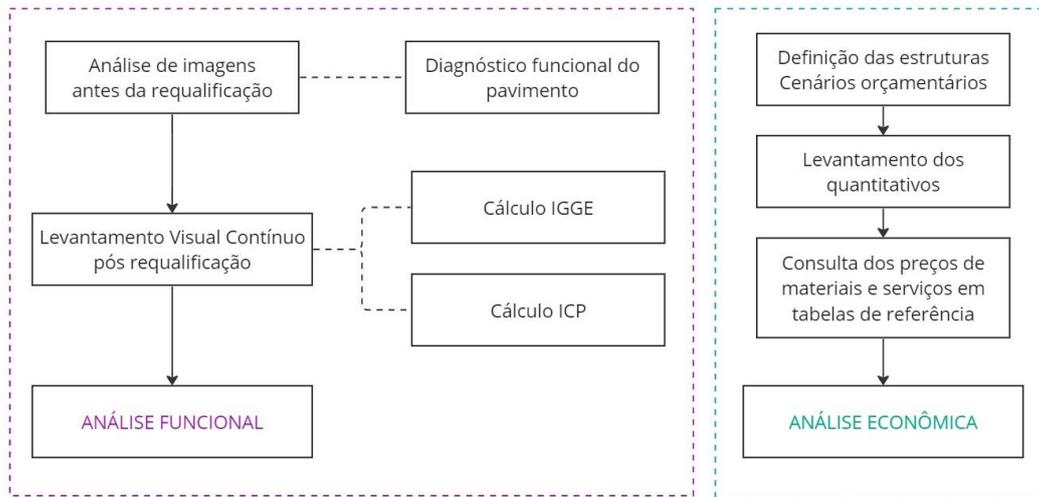


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas realizadas neste trabalho (AUTOR, 2023).

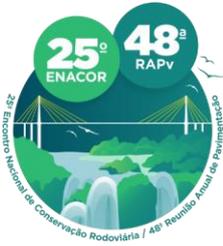
Para a situação (a), a análise funcional se deu a partir da análise de imagens do *Google Street View*, com a identificação dos principais defeitos de superfície e estimativa de suas dimensões. Para a situação (b), o levantamento de campo foi realizado nos trechos das 6 paradas de ônibus com extrapolação de 50m para cada lado e em segmentos do pavimento flexível, a fim de avaliar as condições de superfície das placas de concreto e da CPA. Em vias que possuem sentido duplo, para cada sentido foi feita uma avaliação. Dado que a norma DNIT 008/2003 - PRO (2003) trata alguns defeitos em sua quantidade por quilômetro 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.

Para avaliação do trecho de pavimento flexível tomou-se como base a norma DNIT-008/2003: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígido (DNIT, 2003). Foi realizada uma avaliação da frequência de ocorrência dos defeitos nas faixas de tráfego onde a solução foi implementada, concentrando-se nos seguintes defeitos: trincas, panelas, remendos, deformação permanente (afundamento local) e escorregamentos. A partir das frequências calculadas, prosseguiu-se com o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) para classificação do estado das vias.

Para o pavimento rígido, realizou-se uma análise com base na norma DNIT - 062/2004 (DNIT, 2004) para avaliação objetiva. Levantaram-se os defeitos existentes nas placas e sua classificação, coletando-se fotos para posterior conferência. Foram definidos dois trechos de análise: sentido Praia-Centro e sentido Centro-Praia. Para cada trecho foi calculado o valor do Índice de Condição do Pavimento (ICP) correspondente.

Análise Econômica

O estudo financeiro de soluções de pavimentação consistiu na elaboração de três cenários orçamentários para 1,0km de via construída, a saber: (i) somente pavimentação flexível, com os custos de reabilitação para um período de vida útil de vinte anos; (ii) pavimento flexível nas faixas de tráfego e pavimento rígido nas paradas de ônibus (pavimento misto – CPA + CCP); e, (iii) pavimento rígido. Na elaboração dos orçamentos desses cenários considerou-se um tempo de vida útil de 20 anos e apenas serviços referentes a pavimentação foram contabilizados. Para compor os orçamentos considerou-se a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) de 2019,



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



preços do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT e do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de 2019.

Para o cenário orçamentário (i) levou-se em consideração os custos de intervenções de conservação demandadas por pavimentos flexíveis consistindo em: fresagem de 3,0cm e recapeamento de 3,0cm, numa frequência de 6 anos, totalizando três intervenções ao longo da vida útil estimada. Para a elaboração do orçamento do cenário (ii) do pavimento misto, foi considerada uma distância de 400m entre os pontos de ônibus por ser uma distância média adotada na cidade. Assim, consideraram-se três pontos de ônibus por km. Como o projeto indica a utilização de duas placas de transição de 5,0m por parada, no orçamento computou-se como se esse fosse um trecho em placa de concreto, assim a solução foi composta por 210,0m de pavimento rígido e 790,0m de pavimento flexível. Para o cenário (iii) consideraram-se serviços de manutenção do pavimento rígido, na mesma frequência de intervenção supracita. Isto é, a reselagem de juntas foi considerada a cada 6 anos.

Ao todo foram utilizadas oito composições para os serviços de pavimentação, a saber: execução de sub-base granular, execução de base em BGS, execução do pavimento flexível com CA enquadrado na faixa C do DNIT, execução de pavimento em CCP, fresagem de camada de pavimento flexível, escavação de vala para execução do pavimento rígido, imprimação, selagem de juntas.

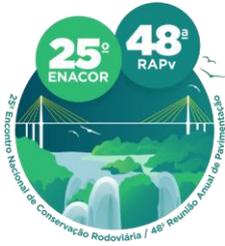
RESULTADOS

Análise Funcional

Os resultados do IGGE para as faixas de tráfego das vias avaliadas são apresentados na Tabela 3. Os sentidos de tráfego foram analisados separadamente, totalizando sete trechos de pavimento asfáltico com CPA. É possível perceber que, após pouco mais de um ano da requalificação, o LVC de todos os trechos avaliados apresentou estágio de conservação “péssimo”, segundo a classificação do IGGE, com exceção a Av. Dom Luís. A referida avenida, classificada com conceito “ótimo”, à época (2021) tinha passado por recente intervenção de manutenção devido à implantação do binário da Av. Santos Dumont, o que justifica essa disparidade de resultados.

A partir desses resultados pode-se inferir que a estratégia de requalificação adotada nas faixas de tráfego não apresentou o desempenho esperado. Tendo em vista que os defeitos do cálculo do IGGE são majoritariamente de superfície, supõem-se que a estrutura do pavimento com CPA não resista adequadamente ao tráfego e/ou intemperismo solicitante. Entretanto, a CPA é uma camada de rolamento sem função estrutural e que possui diversas vantagens funcionais e de segurança viária, como aumento do atrito superficial, da drenabilidade e redução de ruído, características relevantes, sobretudo, para áreas urbanas. Recomenda-se a realização de estudos específicos, como avaliação estrutural da solução de requalificação.

Em relação aos pontos de ônibus, foram avaliados 6 locais, antes e após a requalificação, todos localizados na Av. Abolição. Três pontos no sentido Praia, identificados como P1, P2, P3 e três pontos no sentido Centro, P4, P5 e P6. Os endereços aproximados são: (P1) n°2.026; (P2) n°2.456; (P3) n°3.273; (P4) n°2.456; (P5) n°2.955; e, (P6) n°3.207. A Figura 3 apresenta algumas das imagens utilizadas na avaliação funcional das paradas de ônibus antes da requalificação viária. Nas imagens são destacadas a presença dos principais defeitos observados, sobretudo, deformação permanente, escorregamento e remendos.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 3. Avaliação funcional após requalificação no pavimento flexível, IGGE adaptado (FREIRE, 2021).

Avenida	Sentido	IGGE	Classificação
Av. Abolição	Praia	150	Péssimo
Av. Abolição	Centro	221	Péssimo
Av. Dom Luís	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

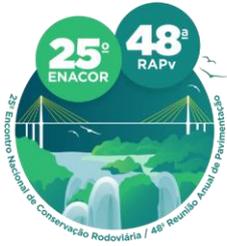
Os pontos de ônibus são locais que recebem grande movimentação e concentração de carga em curtos períodos de tempo. Além disso, em regiões de clima quente, como o caso de Fortaleza, o material asfáltico fica sujeito a condições ambientais extremas que podem acelerar o surgimento de defeitos. Climas quentes apresentam altas temperaturas atmosféricas, resultando em um aumento da temperatura superficial do pavimento asfáltico. As temperaturas elevadas fazem com que o ligante asfáltico reduza sua viscosidade e, conseqüentemente, capacidade de suportar cargas. Esse processo, combinado com a ação do tráfego, provoca a deformação permanente. A deformação permanente é um dos problemas mais comuns observados nesses locais, resultando em afundamentos, trilhas de roda e ondulações no pavimento.

Devido à combinação dos fatores mencionados e a frequência de defeitos, há indícios de que a capacidade de suporte do pavimento em CA esteja reduzida, tornando-o mais suscetível ao dano por deformação permanente. Como alternativas do ponto de vista estrutural, a aplicação de camadas de pavimento mais espessas e o reforço da estrutura do pavimento nas áreas das paradas de ônibus, podem ser viáveis. A fim de avaliar a solução de requalificação adotada pela PMF, o estado de conservação das paradas de ônibus em CCP, após a execução, foi obtido a partir do cálculo do ICP (Tabela 4).

Tabela 4. Avaliação funcional nas paradas de ônibus, ICP adaptado (FREIRE, 2021).

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

Com pouco mais de um ano em operação, é possível perceber que as paradas em PCC estão desempenhando seu papel de combate ao afundamento de trilha de roda local. Não há aparente deformações nas placas, e o trechos avaliados apresentaram condições de conservação “excelente”, de acordo com o ICP. Os maiores impactos no valor do ICP ocorreram por defeitos pontuais de intervenção humana, como a implantação de radar eletrônico no pavimento (Figura 4). Um fator que contribui para o cenário observado é o fato do revestimento em CCP não apresentar grandes variações de suas propriedades mecânicas em função da temperatura de serviço a que está exposto. Outro fator que pode contribuir é o fato de a requalificação contar com a execução de uma nova base em BGS no local da parada de ônibus, o que pode eliminar possíveis problemas oriundos das camadas inferiores, como bombeamento de finos, comuns em pavimentos rígidos.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br

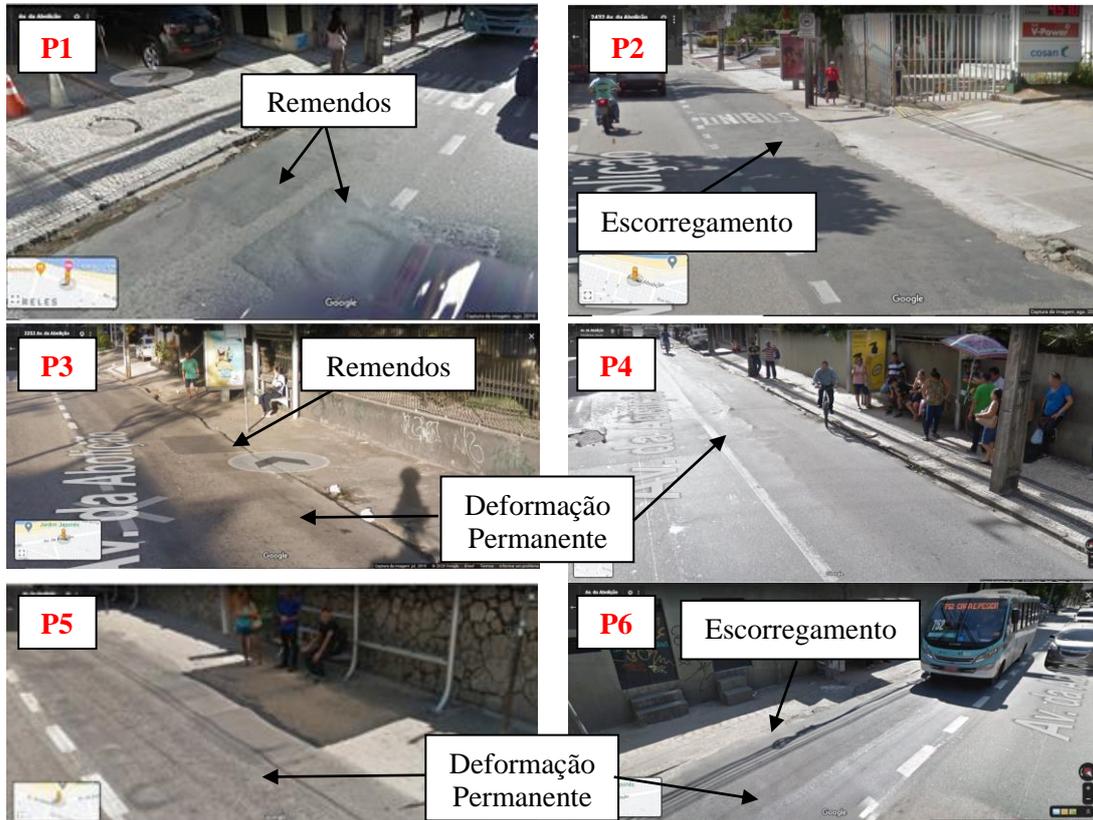


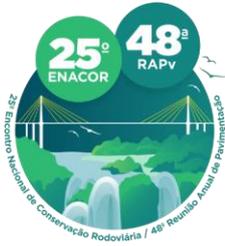
Figura 3 –Avaliação visual das paradas de ônibus antes da requalificação viária (AUTOR, 2023).



Figura 4 –Avaliação visual das paradas de ônibus após da requalificação viária (FREIRE, 2021).

Análise Econômica

A partir das características descritas no método, foram levantados os quantitativos de materiais para execução das soluções de cada cenário orçamentário. A Tabela 6 apresenta um exemplo para a implantação do pavimento misto - cenário orçamentário (ii). As quantidades e orçamentos foram elaborados para 1,0km de via implantada.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 6. Quantitativo dos serviços para implantação e reabilitação da solução em pavimento misto - cenário orçamentário ii (FREIRE, 2021).

Camada	Espessura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume (m ³)	Massa específica (t/m ³)	Massa (t)
Flexível						
Sub-Base granular	0,15	3,20	790,00	379,20		
Base BGS	0,22	3,20	790,00	556,16		
CA	0,12	3,20	790,00	303,36	2,4	728,06
					CAP 50/70	155,47
CPA	0,03	3,20	790,00	75,84	2,05	40,04
					CAP 55/75	7,40
				Área (m ²)		
Imprimação		3,20	790,00	5.056,00		
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	7.584,00		
Selagem de junta de concreto			135,00			
Ponto de Ônibus						
Base BGS	0,17	3,20	210,00	114,24		
CCP	0,20	3,20	210,00	134,40	672,0	

Os preços unitários para os serviços foram obtidos nas tabelas de preços de referência. Nas Tabelas 7, 8 e 9 são apresentados orçamentos dos três cenários avaliados. O resumo dos cenários orçamentários avaliados é mostrado na Tabela 10. Analisando apenas os custos de implantação, é possível perceber que os três cenários resultam em custos semelhantes. Comparando-os, o cenário iii (pavimento rígido) mostra-se como uma alternativa mais econômica, cujo custo total é cerca de 29,69% e 25,63% menor que os custos dos cenários i (pavimento flexível) e ii (pavimento misto), respectivamente. Acredita-se que isso se deve, principalmente, ao fato de que as soluções de pavimentos flexíveis necessitam de intervenções de reabilitação mais robustas, uma vez que a manutenção do pavimento de concreto considerou apenas a reparação das juntas, e à alta dos preços



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



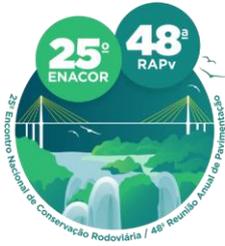
dos derivados do petróleo, o que influencia diretamente o custo de aquisição dos ligantes asfálticos usados na pavimentação flexível.

Tabela 7. Orçamento pavimento flexível - cenário i (FREIRE, 2021).

Serviço	Unidade	Quant.	Preço unitário (R\$)	Valor (R\$)
SB granular	m ³	480,00	47,15	R\$ 22.632,00
Base BGS	m ³	704,00	130,58	R\$ 91.928,32
Imprimação	m ²	6.400,00	0,25	R\$ 1.600,00
CA	t	921,60	126,57	R\$ 116.646,91
CPA	t	196,80	103,85	R\$ 20.437,68
CAP 50/70	t	50,69	2.523,23	R\$ 127.897,32
CAP 55/75	t	9,37	3.228,53	R\$ 30.256,57
Reabilitação				
Fresagem	m ³	288,00	36,55	R\$ 10.526,40
Imprimação	m ²	3.200,00	0,25	R\$ 800,00
CPA	t	590,40	103,85	R\$ 61.313,04
CAP 55/75	t	28,11	3.228,53	R\$ 90.769,70
Total =				R\$ 574.807,94

Tabela 8. Orçamento pavimento misto - cenário ii (FREIRE, 2021).

Serviço	Unidade	Quant.	Preço unitário (R\$)	Valor (R\$)
SB granular	m ³	379,20	47,15	R\$ 17.879,28
Base BGS	m ³	670,40	130,58	R\$ 87.540,83
Imprimação	m ²	5.056,00	0,25	R\$ 1.264,00
CA	t	728,06	126,57	R\$ 92.151,06
CPA	t	155,47	103,85	R\$ 16.145,77
PCC	m ²	672,00	102,83	R\$ 69.101,76
CAP 50/70	t	40,04	2.523,23	R\$ 101.038,88
CAP 55/75	t	7,40	3.228,53	R\$ 23.902,69
Reabilitação				
Fresagem	m ³	227,52	36,55	R\$ 8.315,86
Imprimação	m ²	7.584,00	0,25	R\$ 1.896,00
CPA	t	466,42	103,85	R\$ 48.437,30
CAP 55/75	t	22,21	3.228,53	R\$ 71.708,06
Selagem junta	m	405,00	9,98	R\$ 4.041,90
Total =				R\$ 543.423,39



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A análise dos custos totais dos diferentes cenários ratifica que, do ponto de vista econômico, o pavimento rígido é uma solução competitiva para utilização em corredores de ônibus de grandes cidades como Fortaleza/CE. O que revela o alto custo de intervenções de reabilitação do pavimento flexível e a necessidade desses custos serem inseridos no processo de planejamento e tomada de decisões para implantação da infraestrutura viária. É importante ressaltar que esses resultados são válidos para as condições descritas no método adotado neste trabalho, com simplificações para estimativa de custo como uso restrito de composições de serviço das tabelas de referência, e limitações como desconsideração de equipe, equipamentos e encargos. Este trabalho, entretanto, se faz relevante, sobretudo para o estado da prática, por comparar uma estratégia de requalificação real adotada em Fortaleza e cenários possíveis de intervenção a serem adotados.

Tabela 9. Orçamento pavimento rígido - cenário iii (FREIRE, 2021).

Serviço	Unidade	Quant.	Preço unitário (R\$)	Valor (R\$)
Base BGS	m ³	544,00	130,58	R\$ 71.035,52
CCP	m ²	3.200,00	102,83	R\$ 329.056,00
Reabilitação				
Selagem junta	m	405,00	9,98	R\$ 4.041,90
Total =				R\$ 404.133,42

Tabela 10. Resumo dos custos para os cenários orçamentários estudados (FREIRE, 2021).

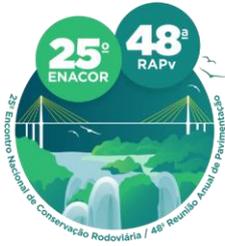
Cenário	Revestimento	Implantação	Reabilitação	Total
i	CA	R\$ 411.398,80	R\$ 163.409,14	R\$ 574.807,94
ii	Misto (CPA+CCP)	R\$ 409.024,27	R\$ 134.399,12	R\$ 543.423,39
iii	CCP	R\$ 400.091,52	R\$ 4.041,90	R\$ 404.133,42

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação funcional e financeira da solução de pavimento misto composto por revestimentos em CPA nas faixas de tráfego e CCP nos pontos de ônibus implantados em vias urbanas da cidade de Fortaleza/CE. Essa solução faz parte de uma série de intervenções da PMF para requalificação viária.

A análise funcional do pavimento flexível, existente antes da obra de requalificação viária, confirmou a frequência de defeitos de superfície, como escorregamentos, trilha de roda e ondulações, em especial nas áreas de aceleração/frenagem dos veículos pesados. A análise funcional dos pontos de ônibus requalificados após cerca de um ano e meio em operação apresentou condição funcional “excelente”, com valores de ICP acima de 85. O que indica que o uso de pavimento misto é uma estratégia potencial para melhorar as condições de conforto e segurança nos locais de embarque e desembarque de passageiros do transporte público rodoviário.

A análise econômica consistiu na elaboração de diferentes cenários orçamentários com soluções de pavimentação para 1,0km de via implantada. O cenário iii (pavimento rígido) mostrou-se como a alternativa mais econômica, com custos totais (implantação + reabilitação) cerca de 25% menor que os demais. A análise dos custos totais dos diferentes cenários ratifica que, para as condições e



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



limitações desse trabalho, do ponto de vista econômico, o pavimento rígido é uma solução competitiva para utilização em corredores de ônibus de grandes cidades como Fortaleza/CE. Como recomendação para trabalhos futuros ressalta-se a importância de avaliações sistemáticas das soluções de pavimentação, com análises de tensões e deformações para compreensão do comportamento estrutural dos pavimentos e análises funcionais para acompanhamento a longo prazo quanto a durabilidade e o desempenho no tempo. Ademais, análises térmicas são relevantes para investigar os efeitos da temperatura nas propriedades do pavimento e no conforto térmico ambiente, sobretudo para os passageiros do transporte público nas áreas dos pontos de ônibus. Recomenda-se ainda a realização de contagens de tráfego nos pontos de interesse para avaliar a demanda de carga e as relações com o desgaste das vias. Essas abordagens podem fornecer subsídios valiosos para aprimorar à tomada de decisões quanto aos projetos de pavimentação e garantir uma infraestrutura eficiente e duradoura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALECRIM, C. M. C., CASTELO BRANCO, V.T.F., PEIXOTO, N. G. M., ALVES, A., & PINHEIRO, G.M. (2022). **Avaliação do desempenho acústico e das características de superfície de camada porosa de atrito em meio urbano**. TRANSPORTES, 30(1), 2581. <https://doi.org/10.14295/transportes.v30i1.2581>
- ARRAES, A.P.S.; OLIVEIRA, C.B.M. **Patologias do pavimento rígido nos terminais de ônibus do eixo anhanguera**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.
- 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.
- FREIRE, L.P.M. **Avaliação de Pavimento Misto Composto por Revestimentos em CPA e Concreto de Cimento Portland em Vias Urbanas**. 2021. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- 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.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; ARAUJO, V. M. de C.; REIS JÚNIOR, H. S. **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**. 33º ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Balneário Camboriú - SC. 2019.
- MOCELIN, D.M. **Avaliação do comportamento à fadiga de misturas asfálticas quentes e mornas através do modelo de dano contínuo viscoelástico**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- PMF - PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA, Prefeitura de Fortaleza apresenta projeto de requalificação dos corredores turísticos da capital. <https://www.fortaleza.ce.gov.br/>, 2019. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-apresenta-projeto-de-requalificacao-dos-corredores-turisticos-da-capital>. Acesso em: 25 de maio de 2023.
- SANTOS, M.R.; SILVA, A.C., FERRERIA, F.G.D. **Estudo das manifestações patológicas contidas no pavimento das faixas exclusivas de ônibus do BRT localizado na rodovia PE-15**. Revista Eletrônica Estácio Recife, v.6, n°1, 2020.