

# Análise comparativa de custos entre pavimentos rígidos e flexíveis

**MICHELE AUGUSTO DE OLIVEIRA** - ENG.<sup>º</sup> M.Sc. - <https://orcid.org/0009-0000-9232-9409> ([michele.aug@hotmail.com](mailto:michele.aug@hotmail.com)) ;  
**RAFAEL COSTA PAIXÃO FERNANDES** - ENG.<sup>º</sup> M.Sc. - <https://orcid.org/0009-0000-7780-0856> ([rafaelpaixao95@gmail.com](mailto:rafaelpaixao95@gmail.com)) ;  
**RONALDO FEU ROSA PACHECCO** - PROF. DR. - <https://orcid.org/0009-0006-7386-3087> ([ronaldo@ifes.edu.br](mailto:ronaldo@ifes.edu.br)) | **IFES**

## RESUMO

**A** PREDOMINÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL NA MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA E A MÁ CONSERVAÇÃO DAS VIAS OCASIONAM IMPACTOS SIGNIFICATIVOS AO DESENVOLVIMENTO URBANO DAS CIDADES E TORNAM IMPRESCINDÍVEL O ESTUDO DE NOVAS SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO PAVIMENTO DE CONCRETO BETUMINOSO. REALIZOU-SE A ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE OS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS PARA UMA VIA DE ALTO TRÁFEGO LOCALIZADA EM VITÓRIA/ES. COMPARADAS AS ESTRUTURAS DE CADA TIPO PAVIMENTO, FORAM CONFRONTADOS OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E CICLO DE VIDA DE CADA SOLUÇÃO. AO FINAL DO ESTUDO, CONCLUIU-SE QUE A IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO É VIÁVEL QUANDO COMPARADA AO PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA TRÁFEGOS ELEVADOS E APRESENTANDO-SE ECONOMICAMENTE MAIS VANTAJOSA QUANDO LEVADO EM CONSIDERAÇÃO OS CUSTOS DE REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA UMA VIDA ÚTIL DE 20 ANOS.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTO RÍGIDO, PAVIMENTO DE CONCRETO, PAVIMENTO FLEXÍVEL, COMPARATIVO, CUSTO.

## 1. INTRODUÇÃO

A pavimentação é parte essencial da infraestrutura rodoviária de qualquer país, contribuindo efetivamente para o seu crescimento econômico por proporcionar o deslocamento de pessoas e mercadorias, refletindo no desenvolvimento social (CAVALET, 2019).

De acordo com a Confederação Nacional de Transporte, no Brasil a matriz de transporte tem uma participação expressiva do modal rodoviário, que concentra cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros, ressaltando assim a importância de que apresente condições adequadas de desempenho e utilização (CNT, 2021).

Estima-se que cerca de 99% das rodovias são construídas em pavimento flexível, ou seja, o material principal do seu revestimento é o asfalto. Esse tipo de pavimento possui uma vida útil, com correta manutenção periódica, de 8 a 12 anos. Porém, é comum encontrarmos rodovias brasileiras deterioradas antes deste prazo de utilização (CNT, 2021).

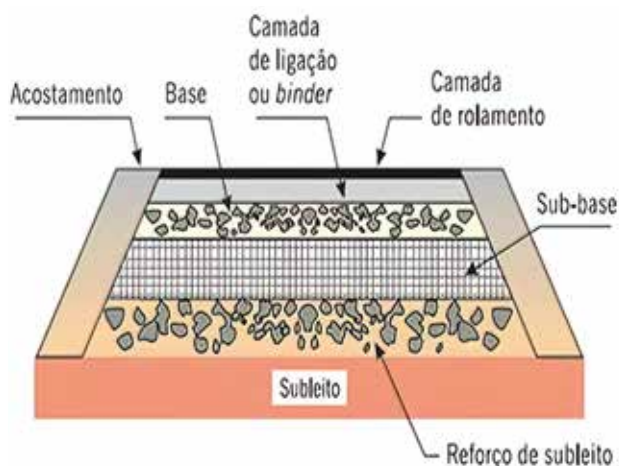
Ainda segundo a CNT, em pesquisa realizada em cerca de 1.745km de rodovias pavimentadas no Espírito Santo, foi levantado que 67,7% das rodovias apresentam problemas em seu estado geral e foram classificadas como péssimas, ruins ou em situação regular (CNT, 2017). E essa degradação aumentou nos últimos anos, sendo que no período de 2021 a 2022 cresceu em 50% (CNT, 2023).

Por elevar a qualidade das vias no que diz respeito aos critérios de ordem técnica e no que diz respeito a custo durante a vida útil do projeto, o pavimento rígido leva vantagem na implantação para tráfego de veículos mais pesados (ALVARENGA, 2013).

Para análise e caracterização da estrutura em pavimento rígido foi realizado o Estudo de Caso do projeto de Reabilitação da Avenida Vitória, localizada em Vitória/ES, onde levantaram-se os dados característicos do local, o dimensionamento do pavimento rígido pelo método PCA/84 e os métodos executivos. Utilizando-se dos dados obtidos do local de implantação por meio do estudo de caso, dimensionou-se o pavimento flexível aplicável pelo método do DNER-DNIT. Com os dois dimensionamentos, realizou-se o comparativo das estruturas e custos, finalizando com a identificação do melhor tipo de pavimentação em relação ao custo-benefício.

## 2. TIPOS DE PAVIMENTO

O pavimento é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, bem como melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e ao conforto e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando



**FIGURA 1**

ESTRUTURA PAVIMENTO FLEXÍVEL

FONTE: BALBO, 2007

mais durável a superfície de rolamento (DNIT, 2022)

Segundo o DNIT (2022), os pavimentos são classificados como flexível, semirrígido e rígido, tendo como definição:

- ▶ **Flexível:** aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado;
- ▶ **Semirrígido:** caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias;
- ▶ **Rígido:** aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

## 2.1 Pavimento flexível

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos e que são formados por camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI, 2008).

De acordo com o DNIT (2022), temos as seguintes definições:

- ▶ **Subleito:** É o terreno de fundação do pavimento;
- ▶ **Sub-base:** É a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização;
- ▶ **Base:** É a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;
- ▶ **Revestimento:** É a camada que recebe diretamente os esforços provenientes das ações dos veículos e tem a finalidade de promover conforto e segurança para os veículos que trafegam sobre ela.

Apresenta-se na Figura 1 a representação por camadas da estrutura do pavimento flexível.

No Brasil, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é um dos tipos mais utilizados e trata-se do produto da mistura proporcional de agregados (britas) de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da

**TABELA 1**

ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

Número N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,5 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

FONTE: DNIT (2006)

característica viscosidade-temperatura do ligante (BERNUCCI, 2008).

De acordo com Bernucci et al., os materiais que são mais utilizados na pavimentação para a composição de base e sub-base são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente), solo-agregado, solo natural e solo melhorado com cimento ou cal (BERNUCCI, 2008).

Existem inúmeros métodos para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis, porém o mais consagrado no Brasil é o do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) (CAVALET, 2019).

Para determinação das espessuras das camadas estruturais dos pavimentos flexíveis, inicialmente, segundo o método, é necessária a determinação dos coeficientes de equivalência estrutural que correlacionam empiricamente a resistência dos materiais empregados no pavimento com a de um material granular tomado como padrão de referência ( $K = 1,0$ ). Para a base de brita graduada simples (BGS) e para o revestimento de concreto betuminoso, os coeficientes são respectivamente 1,0 e 2,0 (DNIT, 2022).

O método DNER apresenta também a espessura mínima de revestimento betuminoso necessário para a proteção da camada de base e evitar a ruptura do próprio revestimento dos esforços provenientes do tráfego nas vias. Apresenta-se na Tabela 1 as espessuras mínimas de revestimento betuminoso.

Ainda de acordo com o procedimento contido no manual de pavimentação

do DNIT (DNIT, 2022), a espessura total da estrutura de pavimento é determinada por meio da correlação de N (número de solicitações de eixos equivalente ao eixo padrão de 8,2t) e o ISC do subleito, de acordo com a Equação 1:

$$[1] \quad H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

Para a determinação das espessuras de base e sub-base, o manual do DNIT determina que o ISC da base, para efeitos de dimensionamento, seja igual a 20, mesmo essa apresentando valores maiores nos ensaios.

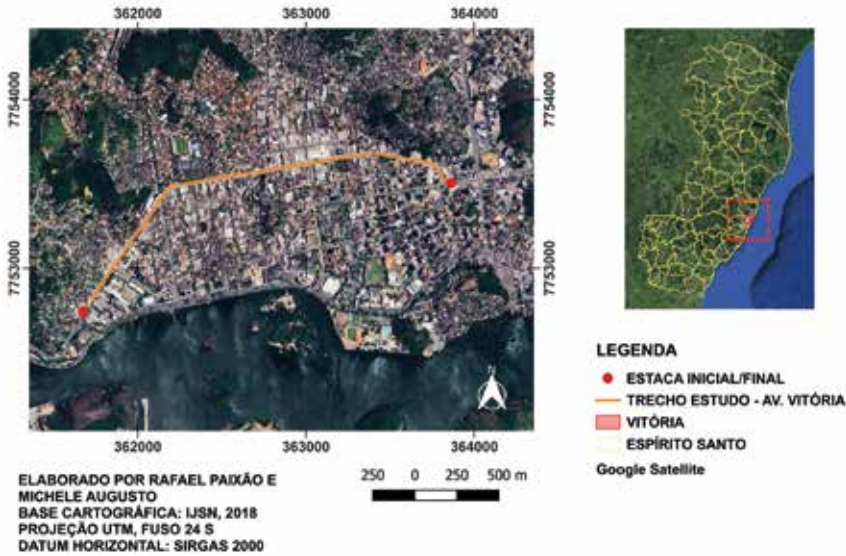
Com base nesta premissa e com o valor da espessura mínima de revestimento betuminoso, apresentado anteriormente, as camadas são determinadas de acordo com as Equações 2 e 3, onde R é a espessura do revestimento, B é a espessura da camada de base, H20 sendo a espessura necessária para a proteção da camada de sub-base, SB a espessura da camada de base e K representando os coeficientes de equivalência estrutural de cada tipo de material (DNIT, 2022).

$$[2] \quad R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$[3] \quad R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

## 2.2 Pavimento rígidos

Os pavimentos de concreto (rígido) são aqueles nos quais o revestimento é executado com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), tendo variadas técnicas de manipulação e elaboração do concreto, como pré-moldados ou produzidos in loco (BALBO, 2016).



**FIGURA 2**  
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO  
 FONTE: AUTOR

**TABELA 2**  
 COORDENADAS UTM

Estaca	X	Y
Inicial	363.863,65	7.753.505,43
Final	361.674,35	7.752.742,17

FONTE: AUTOR

volumes de tráfego, da classificação da frota e das cargas atuantes por eixo, deve-se definir o parâmetro de tráfego correspondente ao número "N", necessário ao dimensionamento dos pavimentos de uma rodovia, o qual é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN), durante o período de vida útil do projeto (DNIT, 2006).

### 3. ESTUDO DE CASO

O comparativo entre a utilização do pavimento rígido em relação ao pavimento flexível foi realizado com base no projeto de Reabilitação da Avenida Vitória, localizada na capital do Espírito Santo, no trecho situado entre o Centro de Vitória e o Bairro Bento Ferreira. O estudo teve enfoque na comparação do custo de implantação dos dois tipos de pavimentos, através de planilhas orçamentárias, utilizando as tabelas referenciais de preço para determinação dos

No Brasil, para o dimensionamento dos pavimentos rígidos, geralmente se utiliza a metodologia da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, recomendada pela ABCP (CAVALET, 2019).

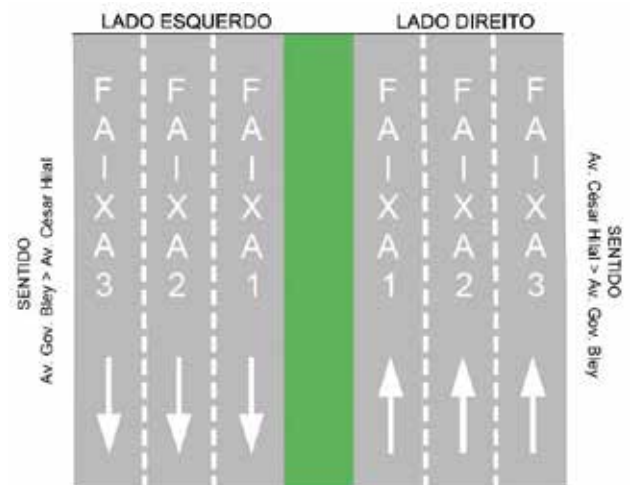
O método da PCA/1984 é um método empírico-mecanístico de dimensionamento de pavimentos de concreto que emprega a lei de Miner para avaliação mecanicista e utiliza modelos de desempenho por fadiga do concreto e de erosão das placas de concreto de cimento Portland (CCP). Os ábacos para determinação das tensões atuantes foram elaborados com base no cálculo de tensões por meio de Métodos de Elementos Finitos (MEF), que permite a análise das placas como elementos de dimensões finitas. Utiliza também a análise do grau de transferência de carga nas juntas transversais, os efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto, a contribuição estrutural das sub-bases de concreto rolado ou sub-bases tratadas com cimento, a ação dos eixos tandem triplos; e introduz o modelo de ruína por erosão de fundação do pavimento, o qual inclui o modelo de ruína por formação de degraus ou escalonamento nas juntas transversais, usando-o concomitantemente com o tradicional modelo de fadiga (SANTOS, 2011).

### 2.3 Outros elementos necessários para análise dos pavimentos

Os principais parâmetros de entrada para dimensionamento dos pavimentos são: o Tráfego - caracterizado pelo número de solicitações impostas ao pavimento pelo eixo-padrão que deu origem à curva de dimensionamento e a Capacidade de Suporte do Subleito (CBR) - medido pelo ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) (SANTOS, 2011).

O ensaio de CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada (DNIT, 2022).

A partir do conhecimento dos



**FIGURA 3**  
 ESQUEMA GEOMÉTRICO AVENIDA VITÓRIA  
 FONTE: AUTOR

custos para cada tipo de solução. Como recursos necessários para o desenvolvimento do comparativo, foram utilizados os softwares AutoCad Civil 3D, Microsoft Excel e Google Earth Pro.

Apresenta-se na Figura 2 o mapa de localização do projeto de reabilitação da Avenida Vitória.

A Tabela 2 apresenta as coordenadas no sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM) da estaca inicial e final do trecho estudado na Avenida Vitória.

### 3.1 Características geométricas

A via do presente estudo apresenta extensão de 2,62 km, com três faixas de rodagem em cada sentido de tráfego, com largura de 3,0 m, sendo as faixas 1 e 2 as faixas internas executadas em pavimento flexível, destinadas para o tráfego de carros pequenos, e a faixa 3 sendo destinada ao tráfego de ônibus e caminhões. Com enfoque no dimensionamento da estrutura de pavimentação da faixa 3 utilizando o dimensionamento pelo método PCA/84 para os pavimentos rígidos e pelo método do DNER para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis.

Apresenta-se na Figura 3 o Esquema Geométrico utilizado na Avenida Vitória.

### 3.2 Características subleito

Para a determinação da estrutura dos pavimentos foi necessária a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito, por meio dos ensaios de caracterização físico e mecânicos dos materiais presentes no subleito, previstos na IS-206 - Estudos Geotécnicos do DNIT e foi determinado um ISC de projeto de 8%.

### 3.3 Determinação do número N

Para determinação do número "N" da faixa 3, utiliza-se a Equação 4 presente na Instrução de Projeto 02/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo, onde  $P = \text{Vida de projeto [anos]} = 10$  anos,  $V_0 = \text{Volume inicial de veículos comerciais (caminhões/ônibus) [veículos]} = 2.000$  e  $e = \text{Equivalente/veículo [adimensional]} = 5,9$ , cujo resultado leva

a obtenção de N (Equação 5).

$$[4] \quad [N = 365 \times P \times V_0 \times 1,30 \times e]$$

$$[5] \quad N = 365 \times 10 \times 2000 \times 1,30 \times 5,9 = 5,6 \times 10^7$$

Para a faixa 3 de projeto, adotou-se um valor de tráfego muito pesado, o qual é classificado pela IP 02/2004 PMSP, como: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número "N" típico superior a  $5 \times 10^7$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN).

### 3.4 Dimensionamento da estrutura do pavimento flexível

Com o uso do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER (Eng. Murillo Lopes de Souza), calcula-se a estrutura das camadas de pavimentação tal como abaixo apresentado:

#### a) Espessura do revestimento betuminoso

Para vias com  $N \geq 5 \times 10^7$ , que é o caso da via estudada, o DNIT determina a espessura de 12,5 cm.

#### b) Espessura total do pavimento

Considerando-se que  $ISC = 8\%$  e  $N = 5,6 \times 10^7$ , aplicado na equação 1, obtém-se a Equação 6.

$$[6] \quad \begin{aligned} H_i &= 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598} \\ H_i &= 77,67 \times 5,6 \times 10^7^{0,0482} \times 8^{-0,598} \\ &= 52,93 \text{ cm} = 53 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### c. Espessura sobre a camada de sub-base

Aplicando na equação 1, obtém-se:  $H_{20} = 77,67(5,6 \times 10^7)^{0,0482} \times 20^{-0,548} = 30,59 \text{ CM} = 31 \text{ CM}$  [7] e aplicando o resultado da equação 7 na equação 2, resulta-se:  $12,5 \times 2 + B_1 \geq 31 \geq B > = 31 - 12,5 \times 2 = 6 \text{ cm}$ .

Porém, como a espessura mínima exigida pelo DNIT para a base é de 15 cm,  $B = 15 \text{ cm}$ .

#### d. Espessura sobre a camada de subleito

Aplicando os resultados das equações 6 e 7 na equação 3, obtém-se  $12,5 \times 2 + 15 \times 1 + SB \times 1 \geq 53 \geq SB > = 53 - 12,5 \times 2 - 15 = 13 \text{ cm}$ .

Porém, como a espessura mínima

**TABELA 3**

SOLUÇÃO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

Camada	Espessura (cm)
Revestimento (CBUQ)	12,50
Base (brita graduada simples)	15,00
Sub-base (brita graduada simples)	15,00

Fonte: Autor

**TABELA 4**

NÚMERO DE REPETIÇÕES DE EIXO EM FUNÇÃO DA CARGA - FAIXAS 3

Eixo	Carga (kN)	Nº de repetições
Simplex	63,00	25.345.054
Simplex	105,00	3.922.449
Tandem duplo	178,50	16.240.003
Tandem triplo	267,75	120.691

Fonte: Autor

exigida pelo DNIT para a sub-base é de 15 cm,  $SB = 15 \text{ cm}$ .

#### e. Resumo da solução do pavimento

Apresenta-se na Tabela 3 a compilação dos resultados das camadas de pavimento flexível.

### 3.5 Dimensionamento da estrutura do pavimento rígido

Apresenta-se a seguir o dimensionamento utilizado no estudo de caso da Avenida Vitória para determinação da estrutura do pavimento rígido pela metodologia e procedimentos contidos na PCA/84 (PCA, 1984). Utilizou-se a vida útil de

**TABELA 5**

RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DA PLACA DE CONCRETO - FAIXAS 3

Espessura da placa (cm)	Consumo de fadiga (%)	Danos por erosão (%)
23	0,00	160,70
24	0,00	91,70

Fonte: Autor

**TABELA 6**

SOLUÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO

Camada	Espessura (cm)
Concreto Cimento Portland (CCP)	24,00
Sub-base – CCR	10,00

FONTE: AUTOR

projeto de 20 anos e o coeficiente de recalque de 133 MPa/m. Apresenta-se na Tabela 4 as cargas de solicitações do pavimento.

No dimensionamento do pavimento de concreto são considerados os danos por fadiga e dano por erosão. Como critério da fadiga considera as tensões de tração por flexão que passam a ser produzidas pela passagem de carga

tangenciando a borda longitudinal, e não mais a junta transversal. O dano por erosão corresponde a perda de material do topo da camada imediatamente sob a placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem das cargas pesadas.

Apresentam-se, na Tabela 5, os valores das tensões obtidas para o presente estudo de caso, considerando uma

**TABELA 7**

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
5501706	Escavação material de 1ª categoria	m <sup>3</sup>	4.227,53	35.595,80
5503041	Compactação de aterros a 100% PI	m <sup>3</sup>	1.989,43	20.073,34
4011276	Base ou sub-base de BGS	m <sup>3</sup>	2.984,14	748.302,94
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	m <sup>2</sup>	9.318,33	4.752,34
4011353	Pintura de ligação	m <sup>2</sup>	18.636,66	6.522,83
4011463	Cbuq faixa C	T	2.795,50	668.040,63
ANP	Fornecimento de EAI	T	11,8	37.246,39
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	7,45	23.527,84
ANP	Fornecimento de Cap-50/70	T	153,75	620.033,77
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	13.963,29	45.939,22
5914389	Transporte com caminhão basculante	Tkm	361.619,07	358.002,87
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	93.374,07	208.224,17

FONTE: AUTOR

**TABELA 8**

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO PAVIMENTO RÍGIDO

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
5501706	Escavação material de 1ª categoria	m <sup>3</sup>	1.208,47	10.175,31
5503041	Compactação de aterros a 100% PI	m <sup>3</sup>	2.387,67	24.091,59
COMP.	Lona plástica	m <sup>2</sup>	11.938,33	29.368,29
4011214	Sub-base de CCR	m <sup>3</sup>	1.193,83	373.227,07
4011520	Pavimento de concreto – CCP	m <sup>3</sup>	2.550,80	1.655.902,83
3106121	Fôrmas de tábuas de pinho	m <sup>2</sup>	1.277,04	147.000,07
4011537	Serragem de juntas	m	2.607,17	57.800,95
407818	Armação em aço CA-25	kg	15.216,86	264.164,68
407819	Armação em aço CA-50	kg	17.761,36	296.792,32
408067	Tela de aço eletrossoldada	kg	3.208,33	54.830,35
4011353	Pintura de ligação	m <sup>2</sup>	11.938,33	4.178,41
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	12,58	39.728,89
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	2.114,82	6.957,75
5914345	Transp. de concreto com caminhão basculante de 7 m	Tkm	39.539,65	34.004,09
5914569	Transporte com caminhão betoneira	Tkm	84.482,50	68.430,82
5914479	Transporte com caminhão carroceria	Tkm	1.059,09	963,77
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	6.818,36	15.204,94

FONTE: AUTOR

**TABELA 9**

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
4011480	Fresagem descontínua de revestimento	m <sup>3</sup>	492,38	44.762,26
4915667	Remoção mecanizada de revestimento	m <sup>3</sup>	12,43	185,82
4915669	Remoção mecanizada de camada granular	m <sup>3</sup>	29,84	279,30
4011276	Base ou sub-base de BGS	m <sup>3</sup>	218,48	54.786,04
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	m <sup>2</sup>	99,47	50,72
4011353	Pintura de ligação	m <sup>2</sup>	10.046,60	3.516,31
4011463	Cbuq faixa C	T	1.211,56	289.526,49
ANP	Fornecimento de eai	T	0,12	399,78
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	4,02	12.695,56
ANP	Fornecimento de CAP-50/70	T	66,64	268.741,79
5914352	Carga, manobra e descarga de fresagem	T	2.363,42	12.738,83
5914675	Carga, manobra e descarga de material demolido	T	95,48	358,05
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	480,66	1.581,37
5914389	Transporte com caminhão basculante	Tkm	105.458,78	104.404,19
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	38.350,34	85.521,25

FONTE: AUTOR

estrutura sem acostamentos, assentado em uma camada de sub-base de concreto compactado com rolo (CCR) com espessura de 10,0 cm.

Dessa forma, sendo o consumo total admissível de fadiga 100%, utilizou-se o pavimento de concreto com espessura de 24,0 cm.

Portanto, para determinação dos custos do pavimento rígido foi considerada uma estrutura com placas com dimensões de 5,00 x 3,00 m assentado em uma camada de sub-base de concreto compac-

tado com rolo (CCR), com espessura de 10,0 cm, com juntas com a utilização de barra de transferência em aço CA-25 com Ø32,0 mm, comprimento de 0,46m, espaçadas a cada 0,30 m e barras de ligação com Ø12,5 mm, comprimento de 0,93 m e espaçadas a cada 0,50 m. Devido à existência de dois tipos de soluções de pavimentação, foi utilizada junta de transição entre o pavimento rígido e pavimento flexível.

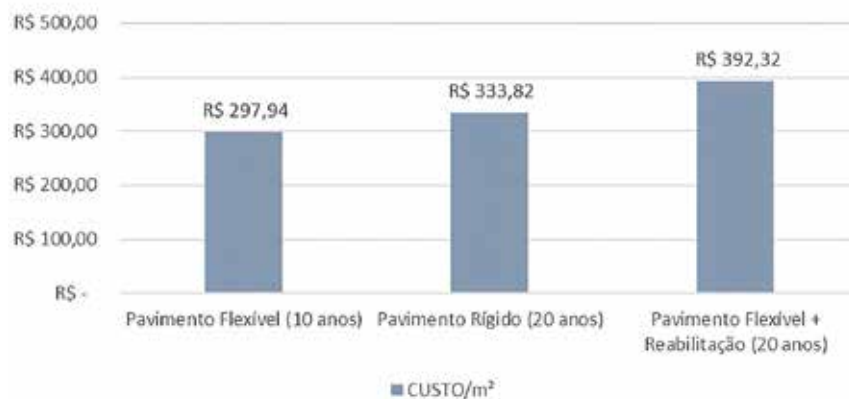
Apresenta-se na Tabela 6 o resumo da solução do pavimento rígido.

#### 4. RESULTADOS

Para a determinação do custo das estruturas de cada tipo de pavimento foram utilizadas as tabelas referenciais do DNIT apresentada do sistema SICRO com data base de abril de 2023. Os custos dos materiais betuminosos, por sua vez, foram obtidos por meio da Agência Nacional do Petróleo (ANP) com referência dos preços da Região Sudeste de abril de 2023, visto que para o Estado do Espírito Santo não são apresentados valores de referência. Por esse motivo, foi considerado um custo de 12% referente à circulação interestadual de mercadorias, além de bonificação de 15,28% sobre a aquisição de materiais betuminosos.

Devida à diferença entre a vida útil no dimensionamento do pavimento flexível (10 anos) em relação ao pavimento rígido (20 anos), foram considerados serviços de reabilitação do pavimento flexível para que o mesmo atingisse a vida útil de 20 anos. O dimensionamento do reforço de pavimento é regido pelas normas DNER-PRO 011/79 E DNER-PRO 269/94, porém, para realização desse estudo será considerado a fresagem descontínua de 5,00 cm em 100% da área do pavimento e posterior recomposição além de execução de reparo profundo em 1,00% da área total.

#### COMPARATIVO DE CUSTOS



#### GRÁFICO 1

COMPARATIVO DE CUSTO

FONTE: AUTOR

Na Tabela 7 apresentam-se os serviços utilizados, juntamente com seus quantitativos e custo, para execução dos pavimentos flexíveis baseados na geometria descrita no item 3.1.

A Tabela 8 apresenta os serviços, quantitativos e custo para execução do pavimento rígido baseado também no item 3.1.

Apresentam-se na Tabela 9 os quantitativos e custos dos serviços de reabilitação do pavimento flexível para que o mesmo obtenha vida útil de 20 anos.

Os custos totais de implantação de pavimento flexível e do rígido são respectivamente R\$ 2.776.262,14 e R\$ 3.110.606,63. O custo do pavimento flexível passa para R\$ 3.655.809,90 considerando que a reabilitação tem um custo de R\$ 879.547,76. Portanto, para uma vida útil de projeto de 20 anos, o pavimento rígido apresenta uma economia de R\$ 545.203,27 que corresponde a 17,5%, quando comparada ao pavimento flexível. No Gráfico 1, apresenta-se o custo por m<sup>2</sup> para cada tipo de solução.

A partir dos resultados do Gráfico 1, a solução em concreto asfáltico, para uma vida útil de 10 anos, apresenta um custo aproximadamente 12% inferior ao pavimento rígido.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pavimentação constitui um componente essencial na infraestrutura viária de qualquer país, desempenhando um papel eficaz no fomento do crescimento econômico ao possibilitar a mobilidade de indivíduos e bens, o que se traduz em progresso social.

Buscando novas soluções para o sistema de pavimentação no Brasil, que historicamente utiliza em sua grande maioria da pavimentação com concreto betuminoso (CBUQ), esse estudo teve como objetivo comparar os custos de implantação do pavimento rígido e do pavimento flexível, buscando apresentar a viabilidade econômica de outras soluções.

De acordo com os dados obtidos no estudo, verificou-se que considerando

apenas o custo direto de implantação, o pavimento flexível apresenta economia de 12,0%, aproximadamente R\$36,00/m<sup>2</sup>, com relação ao pavimento rígido, valor esse muito moderado visto que esse pavimento apresenta metade da vida útil quando comparado ao pavimento de concreto de cimento Portland. No cenário onde foi considerado os custos com manutenção e reabilitação do pavimento flexível, o pavimento rígido apresenta uma economia de 17,5%, aproximadamente R\$ 58,50/m<sup>2</sup>.

Sendo assim, para tráfegos pesados a solução em pavimento rígido de concreto se apresenta como uma alternativa viável e competitiva quando comparada com os pavimentos flexíveis na sua implantação e apresenta maior vantajosidade econômica quando levado em consideração os custos de reabilitação do pavimento flexível, devido à sua maior capacidade de resistência a cargas elevadas que, por sua vez, proporciona uma vida útil maior da estrutura do pavimento. ☹

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVARENGA, LOPES A. T. E. A. V. UNIVERSIDADE DE SÃO FRANCISCO, 2013. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3268.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.
- [2] BALBO, José T. Pavimentos de Concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- [3] BERNUCCI, Liedi L. B. E. A. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.
- [4] CAVALET, Victor N. et al. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento portland aplicado em rodovia de alto tráfego. Balneário Camboriú, v. 33, 2019. Disponível em: [http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Infraestrutura/Dimensionamento%20Avaliacao%20e%20Gestao%20de%20Pavimentos%20III/1\\_719\\_AC.pdf](http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Infraestrutura/Dimensionamento%20Avaliacao%20e%20Gestao%20de%20Pavimentos%20III/1_719_AC.pdf).
- [5] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Aumento do custo operacional das rodovias do Espírito Santo chega a 37,7%. CNT, Brasília, 29 nov. 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/es-aumento-custo-operacional-transporte-por-problemas-rodovias>. Acesso em: 8 mai. 2023.
- [6] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Pesquisa CNT Rodovias 2021. CNT, Brasília, [s.d]. Disponível em: [//static.poder360.com.br/2021/12/pesquisa-cnt-rodovias.pdf](https://static.poder360.com.br/2021/12/pesquisa-cnt-rodovias.pdf). Acesso em: 08 mai. 2023.
- [7] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Aumenta em 50% o número de pontos críticos na malha rodoviária brasileira em um ano. CNT, Brasília, 17 jan. 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/aumenta-numero-de-pontos-criticos-na-malha-rodoviaria-brasileira-em-um-ano>. Acesso em: 8 mai. 2023.
- [8] DNIT. Manual de estudo de tráfego IPR 723. DNIT, Rio de Janeiro, 15 ago. 2006. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723\\_manual\\_estudos\\_trafego.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.
- [9] DNIT IPR 714, Departamento N. D. I.-E. D. T.-. Manual de Pavimentos Rígidos- IPR 714. DNIT, Rio de Janeiro, 26 jul. 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714\\_manual\\_de\\_pavimentos\\_rigidos.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.
- [10] DNIT, Departamento N. D. I.-E. D. T. Manual de Pavimentação IPR 719. DNIT, RIO DE JANEIRO, 13 maio 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr\\_719\\_manual\\_de\\_pavimentacao\\_versao\\_corrigida\\_errata\\_1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigida_errata_1.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.
- [11] PMSP, Prefeitura M. D. S. P.-. Instrução de Projeto - 02/2004 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS. PMSP, São Paulo, 01 jan. 2004. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip\\_02\\_2004\\_classificacao\\_das\\_vias.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_02_2004_classificacao_das_vias.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.
- [12] SANTOS, Caio R. G. Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: Uma abordagem probabilística, São Paulo, 27 jul. 2011.