



CENTRO UNIVERSITÁRIO - UNDB
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JONAS MAGNO MACHADO MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO NA
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA: Um estudo de caso da obra da extensão da Avenida
Litorânea em São Luís - MA**

São Luís

2021

JONAS MAGNO MACHADO MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO NA
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA: Um estudo de caso da obra da extensão da Avenida
Litorânea em São Luís - MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para a obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Ricardo Alberto Barros Aguado

São Luís

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Centro Universitário – UNDB / Biblioteca

Moraes, Jonas Magno Machado

Estudo comparativo entre pavimento flexível e rígido na pavimentação rodoviária: um estudo de caso da obra da extensão da Avenida Litorânea em São Luís – MA. / Jonas Magno Machado Moraes. __ São Luís, 2021.

61f.

Orientador: Prof. Esp. Ricardo Alberto Barros Aguado. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2021.

1. Pavimento flexível. 2. Pavimento rígido 3. Pavimentação de rodovia. 4. Obra – Projeto. I. Título.

CDU 625.8(812.1)

JONAS MAGNO MACHADO MORAES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO NA
PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA: Um estudo de caso da obra da extensão da Avenida
Litorânea em São Luís - MA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para a obtenção do Grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____ / ____ / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Ricardo Alberto Barros Aguado
Centro Universitário - UNDB

2º Examinador
Centro Universitário - UNDB

3º Examinador
Centro Universitário - UNDB

Aos meus pais, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por ter me mantido na direção certa no decorrer deste trabalho de pesquisa, com foco, saúde e intensidade para chegar até o final.

Sou grato ao apoio incondicional da minha família em todas as etapas da minha vida, sem dúvida foram meu alicerce e porto seguro.

Agradecimento também ao meu orientador, sempre me incentivando de forma excepcional e pela atenção, mesmo com seu tempo remido, porém de grande valia para consolidação para o meu projeto de pesquisa.

Também deixar um agradecimento à Centro Universitário - UNDB e aos professores do curso de engenharia civil pela qualidade do ensino oferecido.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, eles são a abertura para achar as que estão certas”.

Carl Sagan

RESUMO

Dimensionar pavimento requer um estudo refinado das cargas solicitantes, a maioria das nossas malhas apresentam inconsistências de dimensionamento na base, sub-base e pavimento, outros fatores a serem considerados é a incorreta metodologia de execução, gerando falhas em nossas rodovias, sendo a água, o principal fator que influencia na deterioração das camadas de pavimento, para solucionar esse dilema foi incorporado materiais a base de betume e foram estudados outros tipos de pavimentação, com por exemplo, a rígida. Todavia ainda existe dúvidas quanto a escolha do tipo de pavimento em função principalmente do custo, durabilidade e do uso a qual o pavimento se propõe a atender. Diante desse contexto, esse trabalho propôs-se promover uma análise comparativa das vantagens e desvantagens, tempo de uso e custos envolvidos nas pavimentações rígidas e flexíveis. Utilizou-se o case, do projeto da extensão da Avenida Litorânea em São Luís do Maranhão, com execução iniciada em setembro de 2018 e entregue em dezembro de 2020, com aproximadamente 1.900 metros de extensão, a empresa construtora foi a JCA Empreendimentos. De posse dos dados levantados e após devidas análises dos projetos e documentações da obra, pôde-se verificar em uma análise direta, usando as mesmas larguras de faixas de tráfego e extensão de projeto, que a pavimentação rígida é 517% mais cara que a pavimentação flexível, porém, a mesma justifica-se pelo tempo de uso e por ser recomendado para faixas exclusivas de transportes de massa, sendo que a pavimentação rígida a médio e longo prazo se torna mais vantajosa dependendo do tipo de veículo e tráfego requerido, a vida útil pode chegar a 20 anos ou mais. Já para vias que não necessitam de volume de tráfego pesado e elevado, compensa a pavimentação flexível, a qual foi usada nas vias paralelas e transversais do empreendimento. Comparações simplistas e diretas de custos envolvendo a pavimentação rígida e flexível não fazem sentido se não for levado em consideração outros fatores como: o desejo do cliente e a proposta do projeto, uso a que cada tipo de pavimento se aplica, tempo de uso e custo-benefício envolvidos.

Palavras-chave: Rodovia. Pavimento. Dimensionamento. Custo. Projeto e Obra.

ABSTRACT

Sizing pavement requires a refined study of the requesting loads, most of our networks have sizing inconsistencies in the base, sub-base and pavement, other factors to be considered is the incorrect execution methodology, generating failures in our highways, being water, the main factor influencing the deterioration of the pavement layers, to solve this dilemma, bitumen-based materials were incorporated and other types of paving were studied, such as rigid ones. However, there are still doubts regarding the choice of the type of pavement, mainly due to the cost, durability and use which the pavement is intended to serve. Given this context, this work proposed to promote a comparative analysis of the advantages and disadvantages, time of use and costs involved in rigid and flexible paving. The case was used, the project for the extension of Avenida Litorânea in São Luís do Maranhão, with execution started in September 2018 and delivered in December 2020, with approximately 1,900 meters in length, the construction company was JCA Empreendimentos. With the data collected and after due analysis of the projects and documentation of the work, it could be verified in a direct analysis, using the same traffic lane widths and project length, that rigid paving is 517% more expensive than paving flexible, however, it is justified by the time of use and for being recommended for exclusive lanes of mass transport, and rigid paving in the medium and long term becomes more advantageous depending on the type of vehicle and traffic required, life useful can reach 20 years or more. On the other hand, for roads that do not require heavy and high traffic volume, it compensates for the flexible paving, which was used in the development's parallel and transversal roads. Simplistic and straightforward cost comparisons involving rigid and flexible paving do not make sense if other factors are not taken into account such as: the customer's desire and the project proposal, use to which each type of pavement applies, time of use and cost -benefit involved.

Key-words: Highway. Floor. Sizing. Cost. Project and Work.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estado das rodovias brasileiras em 2018	20
Figura 2 - Mapa sobre o estado das rodovias brasileiras	21
Figura 3 - Representação das Cargas nos Pavimentos	24
Figura 4 - Seção transversal típica de um pavimento	25
Figura 5 - Aplicação da interoperabilidade através da metodologia BIM na construção civil	27
Figura 6 - Seção transversal típica de pavimento flexível.....	28
Figura 7 - Fluxograma de um método mecanístico de dimensionamento de pavimentos asfálticos	30
Figura 8 - Seção transversal típica de pavimento rígido	32
Figura 9 – Avenida São Carlo e Extensão da Avenida Litorânea	35
Figura 10 – Projeto Implantado Extensão da Avenida Litorânea (Pavimento Rígido e Flexível)	37
Figura 11 – Projeto Implantado Extensão da Avenida Litorânea (Pavimento Rígido e Flexível)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos materiais pavimentação flexível.....	40
Tabela 2 – Camadas de Projeto do Pavimento Flexível.....	41
Tabela 3 – Trem tipo usado no projeto.....	42
Tabela 4 – Camadas de Projeto do Pavimento Rígido	43
Tabela 5 – Configuração final das camadas de projeto do pavimento flexível.....	44
Tabela 6 – Configuração final das camadas de projeto do pavimento rígido.....	44
Tabela 7 – Comparação entre os projetos, espessura, extensão e custos.....	45
Tabela 8 - Comparativos dos Pavimentos – Rígido x Flexível	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação entre os projetos, espessura, extensão e custos.	45
--	----

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BGS	Brita graduada simples
BRT	Bus Rapid Transit
CA	Concreto Armado
CBR	Califórnia Bearing Ratio (ver ISC)
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Suporte Califórnia (ver CBR)
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos
MOB	Agência Estadual de Mobilidade Urbana e Serviços Públicos
MPa	Mega Pascal
MR	Módulo de Resiliência
N	Número N
NBR	Norma Brasileira
PCA	Portland Cement Association
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
USACE	United States Army Corps of Engineers

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
β	Beta
©	Copyright
δ	Delta
\neq	Diferente
γ	Gama
=	Igualdade
®	Marca registrada
x/*	Multiplicação
Ω	Omega
π	Pi
\exists	Quantificação existencial
$\sqrt{\quad}$	Radiciação
Σ	Sigma
\subseteq	Subconjunto
\wedge	Exponencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Geral	19
1.1.2	Específicos	19
1.2	Justificativa do Estudo	20
1.3	Tema.....	21
1.4	Delimitação do Tema	22
1.5	Divisão do Trabalho	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Considerações iniciais sobre pavimentos	22
2.1.1	Rodovias.....	22
2.1.2	Pavimento.....	23
2.2	Tipos de Pavimentos	26
2.2.1	Pavimentos flexíveis	27
2.2.2	Pavimentos rígidos	32
3	ESTUDO DE CASO	33
3.1	Metodologia	33
3.1.1	Local de Estudo	33
3.1.2	Avenida São Carlos – 0,878 Km.....	36
3.1.3	Avenida Litorânea (Extensão) – 1,81 Km.....	36
3.1.4	Coleta de Dados	38
3.1.5	Análise dos Dados.....	39
3.1.6	Aspectos Éticos	39
3.2	Projeto de pavimentação flexível	40
3.2.1	Volume Médio Diário de Tráfego VMDA.....	40
3.2.2	Estruturas propostas em projeto	40
3.2.3	Projeto de pavimentação rígida	41
3.2.4	Estudo de Tráfego	41
3.2.5	Características da obra	42
3.2.6	Premissas de cálculo.....	42
3.2.7	Estruturas propostas em projeto	43

3.3 Resultados	44
3.3.1 Custos econômicos de outras referências.....	46
3.4 Vantagens de cada tipo de pavimentação.....	46
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO I - ESTUDO DE TRÁFEGO	54

1 INTRODUÇÃO

A ação de caminhar é um dos meios mais antigos e básico de locomoção. Com o passar dos anos o homem foi aperfeiçoando os meios locomoção, como isso a premência de um acesso na qual pudesse trafegar (FARIA, 2003).

As lembranças mais remotas de pavimentação provêm da China, país que as inventou. Bem mais tarde, os romanos aperfeiçoaram as estradas instalando pavimentos e drenagem, com o intuito de torná-las duradouras. Segundo autores alemães durante a fase áurea da Roma, mais de oitenta mil quilômetros de estradas foram construídos, permitindo aos dominadores o transporte de legiões militares, e o acesso a bens disponíveis nos longínquos territórios dominados. Os romanos também procuraram estabelecer rotas por terra mais racionais, para galgar montanhas e atingir os principais portos no mediterrâneo, combinando meios de transportes da maneira mais eficiente que seus estrategistas poderiam conceber (BALBO, 2007, p. 23).

Tamanha foi a importância desses caminhos pavimentados para a sociedade romana que, na época áurea de Otávio Augusto (30 a.C.a 14 d.C.), por solicitação do Senado e da população do Império, o senhor de Roma era responsável pelo direito pela manutenção das grandes vias de circulação, e serviço de extrema necessidade para estabilidade política, econômica, militar, e, sobretudo para a agricultura como atividade econômica (ROSTOVITZ, 1983).

Na década de 1920, o advento da Mecânica dos Solos deu grande impulso às pesquisas aplicadas à pavimentação, em especial por pesquisadores ligados a universidades e a agências viárias America as. Entre 1922 e 1929, O. J. Porter, engenheiro do California Division of Highways, realizou pesquisas que permitiram definir algumas das principais causas da ruptura dos pavimentos flexíveis apresentando, então, a primeira curva empírica para dimensionamento com base em critério de resistência ao cisalhamento do subleito indiretamente obtida pelo ensaio do California Bearing Ratio (CBR) – Índice de Suporte Californiano. Na mesma época e local, estabelecia-se o ensaio de Proctor (nome em homenagem ao autor) para a compactação de solos. Tais trabalhos geraram frutos inimagináveis anos mais tarde, em especial nos critérios de pavimentos asfálticos e flexíveis estabelecidos pelo u.S.ArmyCorps os Engineers (Usace) (BALBO, 2007, p. 24).

Desde então o Brasil vem implementando políticas públicas voltadas para investimentos e planejamento de transportes. O antigo e extinto Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (1965), afirma que:

"Em uma apreciação geral, pode-se afirmar que a prática do planejamento de transportes no Brasil não é tão nova assim. Desde o Império, a adoção de planos de viação foi preocupação de muitas personalidades, embora a história tivesse de esperar até o início da República para que o Estado brasileiro tomasse alguma iniciativa com vistas a preparar planos. Após a frustração com relação ao primeiro plano geral, fruto de uma comissão composta em 1890, continuou-se a adotar programas independentes para cada modal, e somente em 1934 o país adotou formalmente um Plano Geral de Viação. A prática de planejamento, mais sistemática e recorrente, iria, contudo, começar após a Segunda Guerra e se consolidar, definitivamente, no Regime Militar, onde gozou de alguma estabilidade institucional."

O planejamento de transporte é uma das políticas mais importantes de uma nação, o que está ligado diretamente ao desenvolvimento econômico, segundo o IPEA. A oferta de bons serviços de transporte é essencial para o crescimento social de uma cidade, bem como para a melhoria da qualidade de vida da população. Tendo em vista os grandes investimentos do setor público e privado para ampliação da infraestrutura de transportes, torna-se necessário a adoção dos melhores métodos para implantação dos pavimentos de modo que sejam mais econômicos, mais duráveis e confortáveis para os usuários.

Quando se fala em pavimentação, podemos dizer que basicamente consiste em uma estrutura de várias camadas construída sobre a terraplenagem a fim de resistir aos esforços causados pelo tráfego, clima e a melhorar as condições de rolamento, constituídas geralmente por: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico. Os pavimentos podem ser classificados em 3 tipo: rígido, flexível e semi-rígido (JUNIOR, 1992). Desses, os pavimentos flexíveis e rígidos serão detalhados no desenvolvimento do trabalho.

Como referência de transporte coletivo de qualidade e baixo custo de implantação quando comparado a outros modais, a adoção do sistema BRT é a alternativa que mais se adequa aos problemas de deslocamento da população e ao desenvolvimento da região metropolitana de São Luís, a médio e longo prazo. Em curto prazo, a implantação do BRT torna a sua viabilidade favorável em função do baixo custo de desapropriações e pela possibilidade da alteração dos eixos de transporte. Adicionalmente, garantir que as áreas com maior densidade populacional tenham a possibilidade de usufruir de um espaço viário adequado à circulação de pessoas e veículos (MOB, 2016).

Ainda segundo a MOB, a implantação do sistema BRT na Av. dos Holandeses e Litorânea em São Luís, visa otimizar os corredores estruturantes das vias por onde

trafegam o transporte público, visando atender os usuários nos sentidos de norte/sul, com qualidade, rapidez, conforto e segurança. Isto será viabilizado por meio de um centro de controle operacional, estações, terminais, funcionando em conjunto, viabilizando a integração entre modais de transporte público, promovendo assim, inclusão social. Além disso, como fatores importantes temos que a implantação deste sistema e traçado permite uma maior fluidez, permitindo que a população da área Litorânea/ Calhau/ Barramar/ OlhoD'Água/ Araçagy agora possa ter um transporte de média densidade para as regiões centrais da cidade de São Luís.

Diante desse contexto, esse estudo visa avaliar os tipos de pavimentações implantados na extensão da Av. Litorânea e suas particularidades, analisando vantagens e desvantagens, além da estimativa dos custos dos pavimentos flexível e rígido.

O pavimento flexível já vem sendo usado amplamente e tornou-se padrão quando se fala em pavimento, não obstante, já comprovado que o pavimento asfáltico nem sempre é a escolha mais apropriada para a pavimentação de certos trechos específicos e nem os mais rentáveis (CNT, 2017). Portanto, qual o melhor tipo de pavimento a ser implantado na obra de extensão da Avenida Litorânea? Há particulares de tipos de transportes para a melhor escolha do pavimento, qual o melhor custo-benefício? Através destes questionamentos dar-se-á início a esse trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo desse trabalho é realizar análise comparativa de implantação e estimativa dos custos de um pavimento rígido e flexível aplicado na obra de extensão da Avenida Litorânea.

1.1.2 Específicos

- a) Conceituar pavimentação e apresentar as metodologias de execução e projeto.
- b) Elencar as vantagens e desvantagens da aplicação dos pavimentos flexível e rígido.
- c) Apresentar os parâmetros de projetos de na execução do pavimento flexível e rígido na obra da extensão da Avenida Litorânea.
- d) Verificar a estimativa de custo de cada tipo dos pavimentos rígido e flexível;

1.2 Justificativa do Estudo

Atualmente, grande parte da malha rodoviária brasileira é composta por pavimentos flexíveis. Nesses tipos de pavimentos é usado como revestimento uma mistura de agregados de origem mineral, que podem variar quanto a granulometria e origem, com ligantes asfálticos que juntos processados garantem à estrutura características como impermeabilidade, flexibilidade, durabilidade, resistência à fadiga, derrapagem e resistência ao trincamento térmico, de acordo com o tráfego e climas previstos para o local (BERNUCCI et al., 2010).

Uma pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), em 2018, feita em mais de 107 mil quilômetros de rodovias federais e estaduais pavimentadas, indica que 57% dos trechos das rodovias apresentam problemas, e acordo com o levantamento, os trechos avaliados apresentaram estado geral com classificação regular, ruim ou péssima. Em 2017, o percentual com algum problema foi de 61,8%, ou seja, houve uma diminuição dos problemas, embora longe do ideal, e a variável que contribuiu para a mudança dos dados foi a sinalização, que inclui placas de limite de velocidade, faixas centrais, laterais e defensas – elementos inseridos nas vias com a finalidade de reduzir o impacto de possíveis colisões.

Figura 1 - Estado das rodovias brasileiras em 2018



Fonte: Confederação Nacional do Transporte - CNT (2018)

A Figura 2 abaixo, mostra o estado das rodovias brasileiras, podemos destacar, por exemplo, que a região sudeste tem as melhores rodovias e o norte do Brasil apresenta as rodovias em pior estado.

Figura 2 - Mapa sobre o estado das rodovias brasileiras



Fonte: Confederação Nacional do Transporte - CNT (2018)

A tecnologia empregada para os estudos e execução dos pavimentos é muito relevante para a qualidade, conservação e custos envolvidos. Diante deste contexto, o trabalho foca em apresentar os modelos usados no dimensionamento de pavimentos rígido e flexível adotados pelos engenheiros projetistas na rodovia da extensão da Avenida Litorânea, que pretende operar no sistema BRT do tipo binário com corredor exclusivo, sendo este de pavimentação rígida e corredores de veículos no sistema de mão dupla em pavimentação flexível, apresentando suas vantagens, desvantagens e custos envolvidos.

1.3 Tema

Estudo comparativo entre pavimento flexível e rígido na pavimentação rodoviária

1.4 Delimitação do Tema

Um estudo de caso da obra da extensão da Av. Litorânea em São Luís-MA. Aplicação das pavimentações rígidas e flexíveis possuem diferentes características em função do resultado que se espera alcançar, como custo-benefício, orçamento e tipos de tráfego. Abordaremos seus dimensionamentos fornecidos e comparação de custo de pavimentos.

1.5 Divisão do Trabalho

No capítulo 1 será retratada uma visão geral do tema a ser abordado e é exposto o motivo da inspiração, além dos objetivos, da justificativa e da delimitação do projeto.

O capítulo 2 inicia-se com a explanação dos conceitos para a elaboração do referencial teórico, entrando nos temas de rodovias, pavimentação, tipos de pavimentos, dimensionamento, materiais constituintes dos pavimentos.

No capítulo 3 é descrito e apresentado o estudo de caso e a metodologia que será utilizada para a realização do projeto, demonstrando o comparativo entre a pavimentação rígida e flexível.

Por fim, no capítulo 4 será apresentada as considerações finais do trabalho e os possíveis desdobramentos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações iniciais sobre pavimentos

2.1.1 Rodovias

As rodovias são construídas de acordo com os estudos de necessidade do local, levando em conta a expectativa de crescimento e utilização. Em função do uso das rodovias são definidas categorias funcionais, de acordo com as funções que exercem (ANTAS et al., 2010)

São construídas de acordo com a necessidade de cada local ao qual elas vão ser

utilizadas. E para atender uso das rodovias são estabelecidas categorias funcionais, de acordo com as funções que exercem (ANTAS et al., 2010).

CLASSE 0: Rodovia do mais elevado padrão técnico, via expressa com mais de uma pista, cruzamentos em desníveis, total controle de acesso e bloqueio total de pedestres (DNIT, 2010).

CLASSE 1-A: Rodovia de pista dupla com controle parcial de acesso, uma pista com menos rigor técnico que a de classe 0, costuma-se ser uma pista simples que teve suas vias duplicadas, sempre é feita uma análise técnica se é necessária duplicação dessa rodovia (LEE, 2000).

CLASSE I-B: São rodovias de pista simples e de elevado padrão técnico, prevista para uma circulação de tráfego inferior à de CLASSE I-A e superior a 200 veículos horário bidirecionais (LEE, 2000).

CLASSE II: Corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo indicada para os casos em que a demanda a atender 700 á 1400 vpd (veículos por dia) (ANTAS, 2010).

CLASSE III: Rodovias de pista simples prevista por projeto para atender um volume médio diário bidirecional de 300 a 700 vpd (DNIT, 2010).

CLASSE IV: Rodovia de pista simples, das classes a mais pobre de projeto, podendo ser aceita sem pavimentação asfáltica, com apenas revestimento primário (estrada de chão, onde não apresenta pavimentação com qualquer tipo de concreto), para um volume de tráfego inferior a CLASSE III (ANTAS et al., 2010).

2.1.2 Pavimento

Segundo Bernucci (2006, p. 9), pavimento é:

Uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

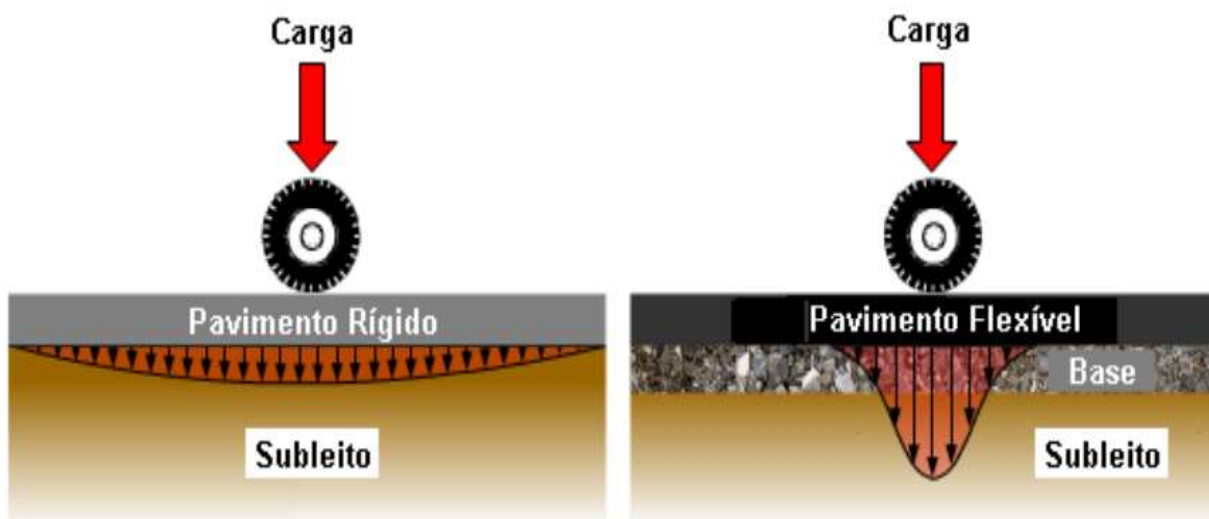
O manual do DNIT (2006), registra ainda que pavimento é: superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentados sobre um semi-espço considerado teoricamente como infinito (infra-estrutura ou terreno de fundação) a

qual é designada de subleito.

Já para SANTANA (1993), pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Segundo manual do DNIT (2006), para entendermos as definições das camadas que compõem um pavimento, é preciso considerar que a distribuição de esforços das mesmas deve ocorrer de modo que as pressões atuantes na interface entre o pavimento e a fundação, e entre a fundação e o subleito, devem ser compatíveis com as suas respectivas capacidades de suporte, como pode ser exemplificado na Figura 3.

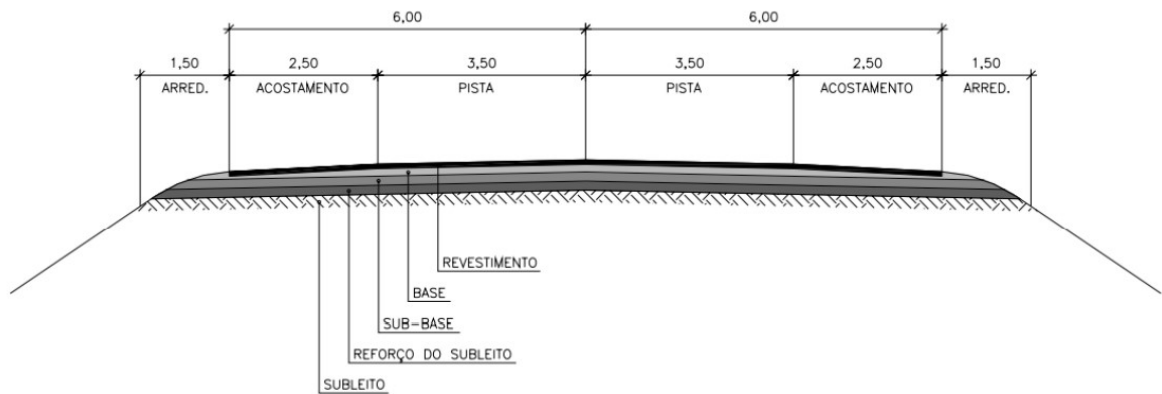
Figura 3 - Representação das Cargas nos Pavimentos



Fonte: questoesdeconcurso.com.br (adaptada)

Senço (2008) afirma que a seção transversal de um pavimento, que possua todas as camadas possíveis, é provida de uma fundação, denominada subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados com base nos diversos métodos de dimensionamento de pavimentos rodoviários. A Figura 4 ilustra as diversas seções que podem constar em um pavimento de concreto.

Figura 4 - Seção transversal típica de um pavimento



Fonte: Sousa, Maurício José, Patologia em pavimentos flexíveis, São Paulo, 2004 p. 32

2.1.2.1 Subleito

Júnior (1992) define o subleito como a camada de fundação do pavimento. A execução de um projeto de construção de qualquer tipo de pavimento tem início com a preparação do subleito. Nessa etapa, são realizadas sondagens a fim de determinar a capacidade de suporte da fundação, podendo haver a necessidade de substituição do subleito por um solo de empréstimo.

A determinação da capacidade de suporte de um solo compactado é dada pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC), popularmente conhecido como ensaio de CBR (California Bearing Ratio). O ensaio do ISC realizado em laboratório tem como objetivo determinar a expansão do solo e é normatizado pela NBR 9895/87.

Em alguns casos, realiza-se uma camada de regularização do subleito de modo a conformá-lo com a geometria do projeto, com inclinações adequadas à pluviometria da região, na tangente entre duas rampas opostas, nas curvas e na superelevação, por exemplo.

2.1.2.2 Sub-base

A definição de sub-base, segundo Júnior (1992), é a camada complementar à camada de base, executada após o subleito ou reforço de subleito quando for necessário, de acordo com o projeto. Exemplos de materiais que podem ser utilizados como base, ou sub-base de pavimentos, são o solo cimento, brita graduada simples, e a brita graduada tratada com cimento.

2.1.2.3 Base

A base é a camada destinada a ganhar e dividir uniformemente os esforços oriundos do tráfego sobre o qual se efetua o revestimento (MACIEL, 2007).

Temos ainda que, a base tem como objetivo resistir aos esforços advindos do tráfego e distribuí-los para as demais camadas. O pavimento pode ser considerado composto por base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito (SENÇO, 2007).

2.1.2.4 Revestimento

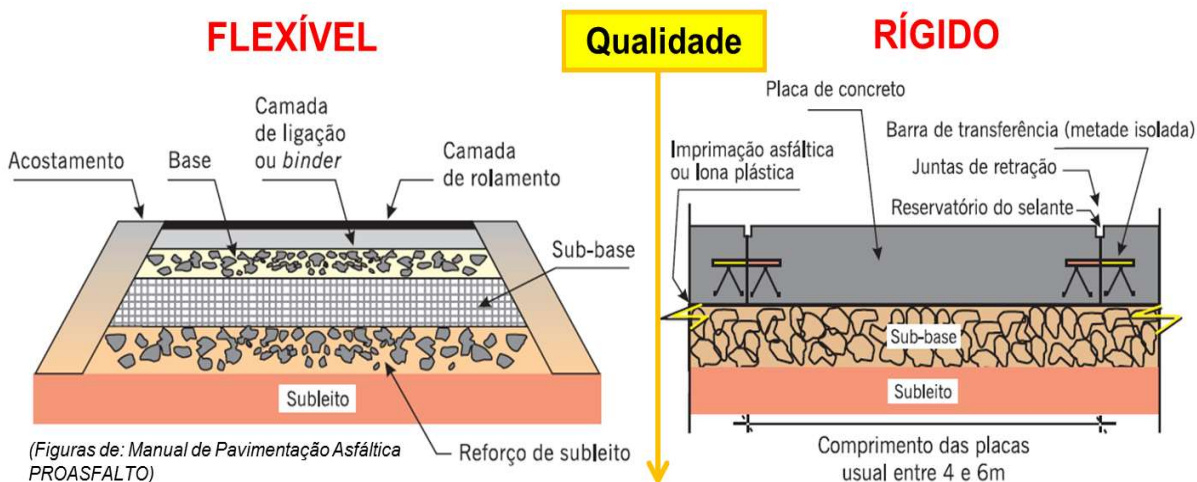
Segundo DNIT (2006), esta camada é encarregada por absorver esforços de compressão e tração causados pela flexão, dissemelhantemente das outras camadas que são submetidas essencialmente à compressão. É a camada que está diretamente atuando na ação do tráfego, o revestimento deve o tanto quanto possível, melhorar a superfície de rolamento, nos quesitos de conforto e segurança, resistir aos desgastes causados pela abrasão, constituído de uma geometria que facilite o processo de drenagem e ainda, possuir características impermeabilizantes.

Em razão de ser a camada mais nobre, a especificação da espessura não deve ser um parâmetro projetado de modo que as suas resistências sejam diminuídas. É necessário todo um cuidado técnico na adoção das espessuras, principalmente, em razão de seu elevado custo unitário.

2.2 Tipos de Pavimentos

Essencialmente, os pavimentos são classificados quanto aos materiais constitutivos da camada de revestimento. Os pavimentos flexíveis são pavimentos com revestimento constituído de ligantes asfálticos, os pavimentos rígidos são pavimentos que possuem cimento Portland em sua composição, e os semirrígidos são aqueles que possuem revestimento asfáltico e camadas de base estabilizadas com adição de cimento. Os pavimentos citados serão detalhados nos tópicos a seguir.

Figura 5 - Aplicação da interoperabilidade através da metodologia BIM na construção civil



2.2.1 Pavimentos flexíveis

Para o DNIT (2006), pavimento flexível é aquele que em todos os seus níveis e camadas suportam deformação elástica expressiva sob o carregamento sobreposto e, portanto, a carga se fraciona em parcelas aproximadamente correspondentes entre as camadas. São constituídos por camadas que não trabalham à tração, possuindo revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares.

O tipo de nomenclatura usada nos pavimentos flexíveis pode ser denominado de pavimentos asfálticos, pois suas deformações até um certo momento não se rompem. O dimensionamento é por tração e flexão, devido aos esforços que os veículos provocam, levando a deformações permanentes. O material usado neste tipo de pavimento é basicamente composto por concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) (BERNUCCI, 2010).

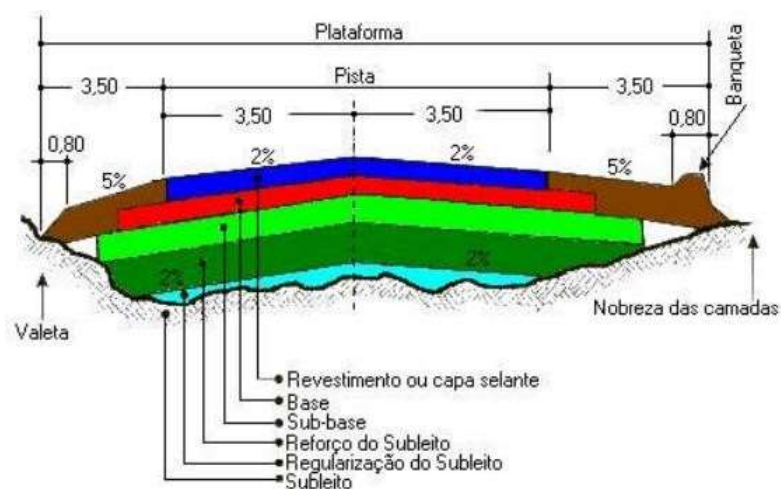
Segundo o DNIT (2006) o modo de execução do CAUQ é subdividido por partes, com a concordância da norma, sendo assim:

- Imprimação: um tipo de ligante consistido em asfalto diluído, CM-30 e CM-70 sobreposto por caminhões que possuem um tipo de bomba de regularização de pressões e um procedimento para aquecimento, depois de ser adensado por uma base e realizar uma espécie de varrição por uma vassoura mecânica. Este ligante tem que causar absorção na base em pelo menos 72 horas, a fim de causar efeito de impermeabilização no solo, por causa da infiltração desse material.

- Execução da pintura de ligação: A pintura de ligação deve ser realizada após no mínimo sete dias entre a operação da imprimação e da execução do revestimento; sendo as mais utilizadas a RR-1C e a RR-2C. O propósito da aplicabilidade é estimular as condições de aderência entre a base e o concreto asfáltico usinado a quente.
- Distribuição do concreto asfáltico usinado a quente: a distribuição do CAUQ é realizada sob a superfície quando já está feita a imprimação e a pintura, esse processo é executado com ajuda de caminhões basculantes ou vibro acabadoras.
- Compactação do concreto asfáltico usinado a quente: Após a realização da distribuição, inicia-se a compactação por bordos, e longitudinais, dando sequência aos caminhos dos eixos da pista. Com o final dela, o tráfego de veículos é aberto após a pista se resfriar.

A capacidade de suporte é em função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, sendo as de melhor qualidade localizadas mais próximas da carga aplicada, como ilustrado na Figura 6. No dimensionamento tradicional, são consideradas as características geotécnicas dos materiais a serem usados, e a definição da espessura das várias camadas depende do valor do CBR (Índice de Suporte Califórnia-ISC). CBR consiste em um ensaio normatizado de laboratório (NBR 9895) que delimita parâmetros que mensuram a capacidade de resistência do solo.

Figura 6 - Seção transversal típica de pavimento flexível.



Fonte: Fundamentos de pavimentação. (IBRACON, 2017)

2.2.1.1 Solos

Além do CBR, devem ser considerados os seguintes parâmetros, listados pelo DNIT (2006), que poderão influenciar no comportamento das futuras estruturas dos pavimentos:

- **Elasticidade:** característica que permite o solo recuperar seu formato original cessado o esforço atuante sobre ele. Como se trata de uma estrutura que não é perfeitamente elástica verifica-se apenas uma recuperação parcial. Para cargas de pequena duração, o solo apresenta recuperação quase completa, no entanto a repetição demasiada das cargas transientes acarretará danos por fadiga.
- **Compressibilidade:** Propriedade do solo de se deformar reduzindo o volume, sob uma força de compressão. Também define a velocidade de assentamento dos solos saturados, nos solos arenosos é um fenômeno rápido, a argilas o processo pode se prolongar por anos, logo deve ser dada atenção especial a aterros executados em camadas argilosas, pois os recalques podem ocorrer anos após a construção.
- **Permeabilidade:** Trata-se da propriedade que os solos apresentam de permitir a passagem do fluxo de água através da força da gravidade ou outra solicitação. Varia de acordo com quantidade de vazios, granulometria e estrutura do solo. Os solos arenosos são razoavelmente permeáveis, ao contrário das argilas cuja passagem de água é bastante dificultada.
- **Capilaridade:** Se traduz como a capacidade de absorção de água por meio da tensão superficial da água. É inversamente proporcional ao tamanho dos grãos no solo. Nos pedregulhos e areias é desprezível, enquanto a argilas a ascensão capilar pode chegar a ordem de metros.

2.2.1.2 Ligantes Asfálticos

Todos os ligantes asfálticos são constituídos de betume. Segundo Bernucci (2007), é uma combinação entre o elemento de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono.

Já o asfalto aplicado na pavimentação é conseguido pela destilação do petróleo e é um adesivo termo-visco-plástico, impermeável e pouco reativo (DNIT, 2006). No Brasil esse material viscoelástico a temperatura ambiente, semi-sólido a temperaturas baixas e líquido a altas temperaturas é intitulado de Concreto Asfáltico de Petróleo (CAP).

2.2.1.3 Agregados

Segundo a norma NBR 9935/2005 – Terminologia dos agregados, o conceito de agregado pode ser definido como material sem forma ou volume definido, inerte, de dimensões apropriadas para produção de argamassas e de concreto. Genericamente pode-se falar que agregados se trata de areias, pedregulhos e rochas minerais em seu modo natural ou beneficiadas por algum processo.

2.2.1.4 Métodos de Dimensionamentos

Na 1ª Conferência Internacional de Pavimentos Asfálticos em 1962, na Universidade de Michigan, iniciou-se o marco do desenvolvimento das metodologias de dimensionamento de pavimentos asfálticos conhecidas como mecanísticas ou mecanicistas. Considerando o pavimento estruturalmente com em múltiplas camadas, sujeitas a cargas de tráfego e clima.

Figura 7 - Fluxograma de um método mecanístico de dimensionamento de pavimentos asfálticos



Fonte: (Motta, 1991) (Fluxograma Original)

Um dos principais fatores necessários para análise do desempenho de um pavimento asfáltico pela metodologia ME no Brasil é o módulo de resiliência, isto é, um “módulo de elasticidade” que expressa a relação tensão-deformação dos materiais, obtidas em ensaios de carga repetida, sob condições normalizadas.

Já o DNIT traz o método de dimensionamento baseado no índice de grupo, no CBR e no estudo do tráfego da via (DNIT, 2006), este método foi usando para o dimensionamento de quase 100% das rodovias existentes hoje do Brasil.

No que tange os pavimentos flexíveis, um dos fatores que influenciam o dimensionamento, é o tráfego que solicitará determinada via durante sua vida útil (10 anos). E com ação cíclica do tráfego durante um longo período (carregamento e descarregamento) sobre o pavimento ocorre um dano causado pelo efeito acumulativo. Mesmo de pequena magnitude (passagem das cargas) mas o efeito cíclico deste dano é que determina a resistência de vida à fadiga dos pavimentos. No Brasil, o fator preponderante que leva os pavimentos ao final de sua vida útil é este efeito acumulado. Desta forma, é observado a importância de saber o quanto a via será solicitada durante sua vida útil.

No método de dimensionamento do pavimento (apresentado na seção Projetos de Pavimentação) o tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão. Este número de solicitações é conhecido como número “N”.

O eixo padrão rodoviário brasileiro é um eixo simples de rodas duplas e que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 toneladas (80 kN). Neste eixo a superfície de contato dos pneus com o pavimento é representada por uma área circular de 10,8 cm de raio e tensão de contato de 5,6 kgf/cm².

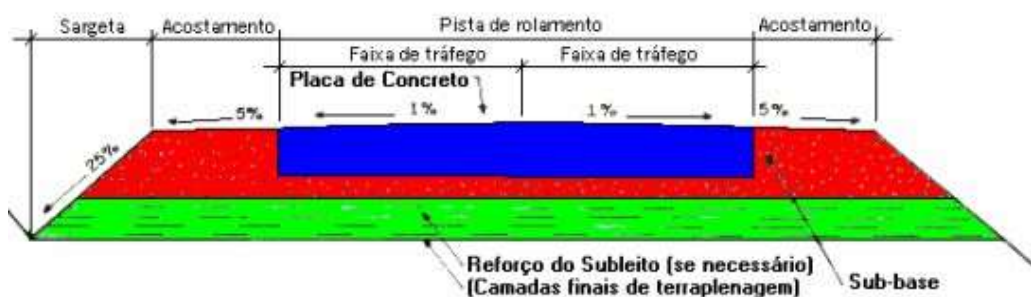
No Brasil, são utilizados dois processos para o cálculo do número “N”: USACE – U. S. Army Corps of Engineers, conhecido como CE – Corpo de Engenheiros (foram reproduzidos no Método de Pavimentos Flexíveis do DNER – Engenheiro Murillo Lopes de Souza) e - AASHTO - American Association Standard Highway and Transportation Officials (foram reproduzidos no Procedimento DNER-PRO 159-85 e HDM).

O “Número “N” foi calculado em intervalos de um ano, seguindo-se o critério do USACE e AASHTO até um horizonte de 10 anos para o pavimento flexível. E para o pavimento rígido dimensionado 20 anos.

2.2.2 Pavimentos rígidos

Segundo a ABCP, os pavimentos rígidos são constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base. A determinação da espessura é conseguida a partir da resistência à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas aplicadas. São pouco deformáveis com uma vida útil maior. O dimensionamento do pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito, enquanto no pavimento rígido é dado pela resistência do próprio pavimento. A Figura 8 ilustra a seção característica de um pavimento rígido.

Figura 8 - Seção transversal típica de pavimento rígido



Fonte: Fundamentos de pavimentação. (ABCP, 2017)

2.2.2.1 Métodos de Dimensionamentos

A metodologia da PCA (Portland Cement Association) dimensiona o pavimento limitando o consumo à fadiga e à degradação por erosão durante a vida útil, contudo, não leva em conta, nos seus cálculos, as cargas ambientais, conhecidas como tensões devidas a diferenciais térmicos na placa, fator que possui impacto bastante relevante em regiões de clima tropical. Esses diferenciais térmicos foram estudados por Rodolfo e Balbo (2002), utilizando modelagem de elementos finitos com auxílio computacional.

O método da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) baseia-se em critérios de desempenho obtidos em pistas experimentais, realizados no estado de Illinois. O índice de serventia, baseado em coeficientes estruturais, é o fator que indica se a serventia será a desejada para o tempo de

vida útil estabelecido no projeto de pavimento.

Até o começo de 2004, o método da PMSP (Prefeitura Municipal de São Paulo) ainda utilizava o modelo de ruptura por fadiga da PCA 1984 por não haver estudos realizados sobre o assunto em território nacional. Essa realidade mudou depois que Cervo (2004) publicou em sua tese o primeiro modelo de resistência à fadiga desenvolvido no Brasil, o que tornou a PMSP 2004 um método de dimensionamento de pavimentos de concreto genuinamente brasileiro.

2.2.2.2 Concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland é o material utilizado na construção das placas que compõem o pavimento rígido. Deve possuir como características principais, além das preconizadas pelas consagradas normas de estrutura em concreto gerais, conforme o DNIT (2005): resistência característica a flexão da ordem de 4,5 MPa ou nos casos de pavimentos armados deve possuir resistência a compressão axial em torno de 30 MPa.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Metodologia

3.1.1 Local de Estudo

O local do estudo foi a extensão da Avenida Litorânea em São Luís, trecho que se inicia da Avenida São Carlos até o Rio Pimenta, na qual possui uma extensão de 1.900 metros.

Segundo dados do Departamento Estadual de Trânsito do Maranhão (Detran), nos últimos 20 anos, a quantidade de veículos (incluindo carros, motos, side-cars, caminhões, entre outros) rodando na capital aumentou 558,93%. Em 1988, 31.422 automóveis estavam emplacados na cidade. No ano de 2016, esse número saltou para 207.051 veículos. Somente para se ter uma ideia do aumento da quantidade de veículos, em 1989, foram emplacados, em média na capital, 30 automóveis por dia ou aproximadamente 940 por mês. Hoje, a média de veículos emplacados diariamente chega a 48 veículos ou 1.453 por mês.

Conforme os dados do Detran, o crescimento exponencial do número de

veículos rodando em São Luís e na Área Metropolitana, é um fenômeno exclusivo dos últimos quatro anos, período em que, justamente, não houve nenhuma grande obra de intervenção no trânsito da capital. Entre o ano de 1991 e 2004, foram emplacados, em média, 5.908 veículos. Já entre 2004 e 2007, a média anual de automóveis emplacados na cidade praticamente dobrou. Entre 2004 e 2007, essa média anual passou a ser de 11.403 veículos. Ano passado, inclusive, foi batido o recorde histórico de veículos emplacados. Foram aproximadamente 20 mil automóveis novos que ganharam as ruas (MOB, 2016).

Ainda segundo o levantamento, entre 2000 e 2007, a população de São Luís, conforme o IBGE, passou de 870.028 habitantes para 975.515, um crescimento de 12,12% em sete anos. Já a quantidade de carros nas ruas, aumentou de 125.102 unidades, em 2000, para aproximadamente 203 mil, conforme estimativas do Detran, um incremento aproximado de 60%. Ou seja, o crescimento percentual da frota circulante de São Luís e Área Metropolitana foi seis vezes maior que o de habitantes (MOB, 2016).

Tanto veículo assim nas ruas provoca, logicamente, vários engarrafamentos na cidade. Pontos que há menos de cinco anos eram considerados uma alternativa de tráfego, hoje sofrem problemas de congestionamentos até em horários não considerados de pico. Entre os principais, estão a avenida dos Holandeses, a avenida Marechal Castelo Branco, a avenida Jerônimo de Albuquerque, o retorno da Forquilha e, até mesmo, a avenida dos Africanos.

Portanto, é necessário que a área metropolitana de São Luís esteja preparada com uma eficiente infraestrutura viária para atender o crescimento da demanda de pessoas e veículos.

A execução da obra como um todo compreenderá dois segmentos: Avenida dos Holandeses e Litorânea. A obra contempla a implantação de um sistema de transporte de média capacidade, com operação regulada por sistema de planejamento, gestão e controle operacional inteligente, circulando em faixa exclusiva ou segregada, estações de embarque em nível e pagamento antecipado nas estações.

O modelo proposto para inclui:

- Adequações na infraestrutura viária que permitam maior fluidez do trânsito englobando a execução de obras de arte especiais, o funcionamento das estações e obras complementares, como a adequação da sinalização viária e da geometria de vias existentes;
- Implantação de estações de transferência para embarque e desembarque de passageiros no mesmo nível da porta de acesso dos ônibus, ofertando aos

usuários conforto e rapidez;

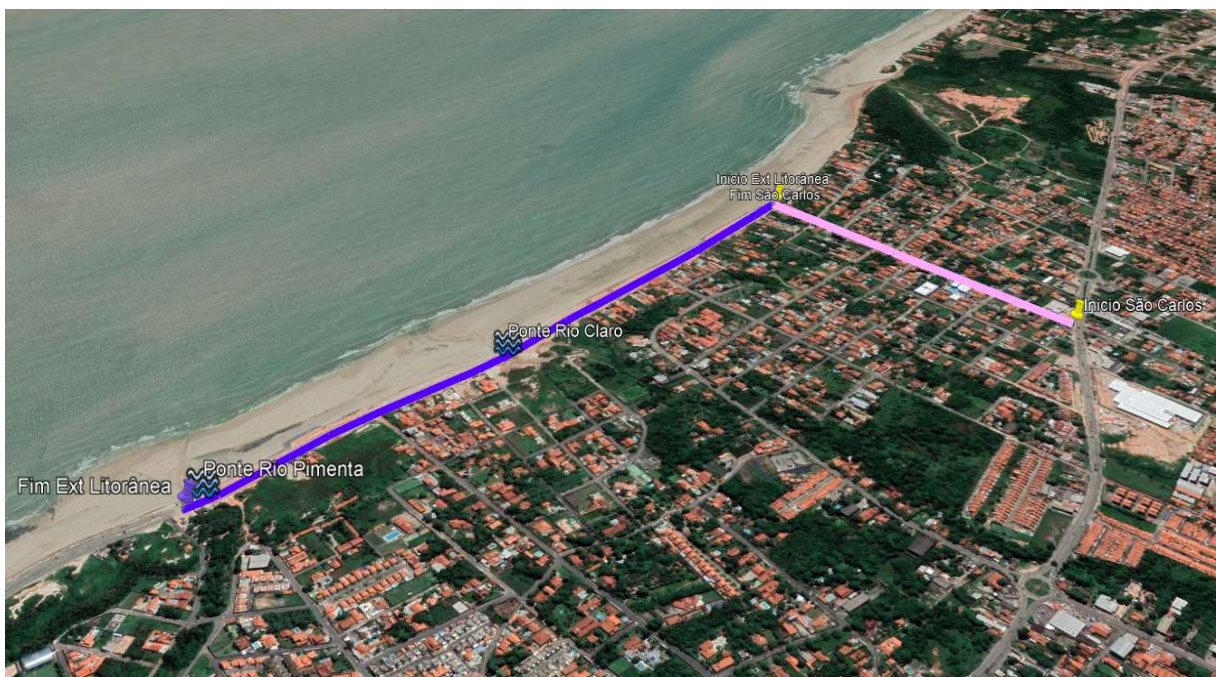
- Urbanização de todos os trechos no entorno do corredor, de forma a complementar a rede integrada do Sistema de Transporte Público Coletivo, incluindo sinalização urbana, iluminação e construção de calçadas e ciclovias, proporcionando estímulo à transferência dos usuários entre modais.

Os principais objetivos alcançados pela adequação da Avenida dos Holandeses e Litorânea serão:

- Melhorias da trafegabilidade entre os municípios da Região Metropolitana de São Luís;
- Prover comodidade aos usuários de transporte público coletivo;
- Assegurar a utilização de transporte cicloviário com as devidas medidas de segurança;
- Revitalização urbana da Região Metropolitana de São Luís.

Para alcançar tais objetivos foram propostas várias soluções técnicas como faixas exclusivas para transporte coletivo, intervenções paisagísticas, previsão de alocação de mobiliário urbano, reformulação das interseções com as vias secundárias, implantação de semáforo e soluções para a segurança na travessia de pedestres e usuários portadores de deficiência física, em obediência à legislação pertinente.

Figura 9 – Avenida São Carlo e Extensão da Avenida Litorânea



Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

A extensão da Avenida Litorânea, possui 5 faixas, canteiro central e passeio. Apresentando largura média de 31,80 m de corpo estradal. Dentre as 5 faixas, 01 é destinada exclusivamente ao BRT, dando mais agilidade ao sistema de transporte público, integrando o sistema binário, sendo Av. Litorânea um sentido e Avenida Holandeses outro sentido. O Trecho também contempla duas obras de artes especiais, ou seja, duas pontes (Rio Claro e Rio Pimenta) cada uma com o vão de 20 metros.

3.1.2 Avenida São Carlos – 0,878 Km

A caixa da Av. São Carlos terá 18,20 m (Quadro 01) e será constituída por um passeio no lado direito da avenida, ciclovia, canteiro segregador, faixa destacada de BRT, duas (2) faixas de tráfego no mesmo sentido, e passeio no lado esquerdo, com extensão de 0,878 Km até o encontro com o novo trecho a ser construído para extensão da Avenida Litorânea.

3.1.3 Avenida Litorânea (Extensão) – 1,81 Km

A caixa do trecho da extensão da Av. Litorânea terá largura de 31,80 m e será constituída por um passeio no lado direito da avenida, ciclovia, canteiro segregador da faixa do BRT, faixa do BRT, passeio de circulação, estacionamento em diagonal, quatro (04) faixas de tráfego, sendo 2 faixas sentido Holandeses e 2 faixas sentido Litorânea e passeio no lado esquerdo da avenida, com extensão de 1,81 Km.

Este trecho se inicia no encontro com a Av. São Carlos e cruzará as avenidas transversais Rio Claro, a OAE Nr. 01 (Ponte sobre o Rio Claro), Rua Des. Costa Fernandes, Rua D, Rua São Geraldo, Rua das Cegonhas e termina com a OAE Nr. 02 (Ponte sobre o Rio Pimenta).

Figura 10 – Projeto Implantado Extensão da Avenida Litorânea (Pavimento Rígido e Flexível)



Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Figura 11 – Projeto Implantado Extensão da Avenida Litorânea (Pavimento Rígido e Flexível)



Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

3.1.4 Coleta de Dados

As pesquisas de tráfego foram realizadas em dias considerados de “tráfego normal”, ou seja, dias em que não são observados eventos que influenciem na variação do tráfego diário da via, tais como finais de semana, acidentes, feriados, festividades, passeatas e outros.

A contagem foi realizada pela MOB em 22 postos, durante 03 (três) dias, 09, 12 e 13 de março de 2018, sexta-feira, segunda-feira e terça-feira, respectivamente, em um período de 16 horas de 06:00 às 20:00 horas.

Essa contagem volumétrica classificatória e direcional de tráfego objetivou a medição, classificada por tipo de veículo, do volume de tráfego em cada movimento observado nos postos pesquisado, permitindo a estimativa do volume médio diário de tráfego anual das vias, ou seja, estimando o número médio de veículos que utilizam determinada via, bem como sua composição (veículo de passeio, ônibus, caminhão leve, caminhão médio, caminhão pesado e articulado).

Os postos de pesquisa foram localizados nos cruzamentos existentes na via, considerando todos os movimentos possíveis dos veículos que a utilizam, conforme Figura abaixo.

Figura 12 – Estudo de Tráfego Geral



Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Os resultados das contagens realizadas estão resumidos a seguir nas Tabelas 1 (Anexo) sentido Sul - Norte e Tabela 2 (Anexo) sentido Norte - Sul para a Avenida dos Holandeses e Tabelas 3 (Anexo) sentido Sul – Norte e Tabela 4 (Anexo) sentido Norte – Sul, para a Avenida Litorânea que é nosso objeto de estudo, abrangendo o período compreendido entre 06:00 e 20:00.

Para embasamento do presente estudo foi feito uma análise dos relatórios de estudo de tráfego e “Número N” que embasaram a escolha do projeto já fornecido pela empresa e as diretrizes que nortearam a escolha de cada tipo de pavimentação aplicada.

Por meio dos estudos de tráfego é possível conhecer o número de veículos que circula por uma via em um determinado período, suas velocidades, suas ações mútuas, os locais onde seus condutores desejam estacioná-los, os locais onde se concentram os acidentes de trânsito, etc. Permitem a determinação quantitativa da capacidade das vias e, em consequência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto (DNIT IPR-723).

O número “N”, necessário ao dimensionamento do pavimento flexível de uma rodovia, 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, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento. (DNIT 2006).

3.1.5 Análise dos Dados

Para embasamento do presente estudo foi feito um estudo de tráfego do sistema viário composto pela Avenida Litorânea foi baseado nos dados coletados na pesquisa de Contagem Volumétrica Classificatória e Direcional disponibilizados pela MOB, que teve como objetivo levantar o tráfego médio diário (TMD), bem como a sua composição.

A pesquisa de tráfego consistiu em identificar a demanda atual de transporte que utiliza o sistema viário em estudo, sob o ponto de vista de sua distribuição espacial através contagem volumétrica-classificatória.

Esses estudos de tráfego embasaram os projetos executivos e custo final da obra, onde foram analisados os orçamentos juntamente com o projeto executivo, resultando na estimativa e comparação de custos, que levaram a escolha de cada tipo de pavimento, além do custo-benefício envolvido.

3.1.6 Aspectos Éticos

A MOB e a JCA Empreendimentos autorizaram a uso dos dados inerentes ao projeto executivo da extensão da Avenida Litorânea.

3.2 Projeto de pavimentação flexível

O dimensionamento do pavimento foi efetuado seguindo-se a orientação geral do “Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis” do DNER (1996), cujas características básicas são:

3.2.1 Volume Médio Diário de Tráfego VMDA

De acordo com o estudo de tráfego que estão em anexo (Anexo 01), constatou o Volume Médio Diário de Tráfego de acordo com a norma

Tabela 1 - Características dos materiais pavimentação flexível

Camada	ISC	Expansão	IG	LL	IP	Faixa Gran.
Sub-leito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$	—	—	—	—
Reforço	$2\% \leq ISC_{ref.} \leq 20\%$	$\leq 1\%$	—	—	—	—
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$	0	-	-	A, B, C, D (2) ou E e F (1)
Base	$\geq 60\%$ (1) ou $\geq 80\%$ (2)	$0,5 \leq \%$	—	$\leq 25\%$ ou EA > 30%	$\leq 6\%$ ou EA > 30%—	A, B, C, D (2) ou E e F (1)
Observações: (1) Para $N < 5,00E+6$; (2) Para $N > 5,00E+6$ Os materiais lateríticos deverão ser objeto de especificações particulares.						

Fonte: MOB (2016)

3.2.2 Estruturas propostas em projeto

Estrutura proposta de pavimento flexível entre as Estacas: 42+00 m à 137+0,00 m, perfazendo um total de 1.900 metros, que corresponde a extensão da Avenida Litorânea.

Tabela 2 – Camadas de Projeto do Pavimento Flexível

Concreto Betuminoso Usinado a Quente – Faixa III. $Mr_{\text{médio}} \geq 7096 \text{ MPa}$	5,00 cm
Imprimadura Ligante	
Impermeabilizante	
Base em Solo Estabilizada Granulometricamente. $Mr_{\text{médio}} \geq 531,56 \text{ MPa}$	20,00 cm
Sub-base Estabilizada Granulometricamente. $Mr_{\text{médio}} \geq 531,56 \text{ MPa}$	20,00 cm
Selo de Material Laterítico Estabilizado Granulometricamente. $Mr_{\text{médio}} \geq 531,56 \text{ MPa}$.	20,00 cm

Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

3.2.3 Projeto de pavimentação rígida

O projeto apresenta inicialmente as premissas de tráfego adotadas para o dimensionamento das placas de concreto simples com barras de transferência pelo método da Portland Cement Association - PCA/84 baseado no relatório de projetos fornecido pela JCA Empreendimentos (PITTA, 1988).

No segundo momento, apresenta as principais características técnicas dos concretos a serem utilizados e processos construtivos relacionados a construção do pavimento de concreto com equipamentos de pequeno porte.

Na sequência, apresentamos as premissas de cálculo adotadas para o pavimento de concreto simples, com simulações de seções variadas de placa e sub-base em função das características do tráfego, considerando para realização do referido dimensionamento: índice suporte califórnia (ISC), Tráfego (fornecido pela JCA Empreendimentos) e características do concreto de cimento Portland.

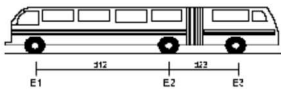
Por fim, apresentamos detalhamento e projetos dos principais elementos constituintes do pavimento de concreto como: Juntas e Barras de transferência, além dos aparatos de apoio necessários para execução do pavimento de concreto.

3.2.4 Estudo de Tráfego

Os estudos de tráfego foram desenvolvidos de acordo com as instruções de serviço para estudos de tráfego em rodovias do manual de diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários do DNIT/IPR - 727/2006. As cargas máximas definidas pela Lei da Balança e pelos demais dispositivos legais (em especial, as Resoluções do Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN nº 258, de 30/11/2007 e 301, de 18/12/2008), através da Resolução

nº 104 de 21/12/99, o CONTRAN alterou a tolerância para o excesso de peso por eixo de 5% para 7,5%.

Tabela 3 – Trem tipo usado no projeto

	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
---	---	----------	---	------

Fonte: Contran (2021)

A Tabela 3 apresenta resumo do tráfego onde consideramos as cargas legais dos eixos simples de 6,45 e 10,75 tf. Simulamos também um dimensionamento considerando um eixo Tandem duplo de 14,51 tf para caso de uso excepcional de ônibus trucado. Todavia, foi considerado como balizador para este dimensionamento, um veículo tipo padrão articulado em torno de 18,0 metros de comprimento, com capacidade de 160 passageiros, com taxa prevista de crescimento em 3% ao ano e período de projeto de 20 anos.

3.2.5 Características da obra

Para o pavimento de concreto simples com barras de transferência a recomendação será o lançamento de uma camada de sub-base em concreto rolado com 10 cm de espessura, sobre uma camada de brita graduada simples (BGS) também com 10 cm de espessura. A placa de concreto simples com 23 cm de espessura cujas dimensões das placas são informadas nos projetos fornecidos pela JCA Empreendimentos.

Importante ressaltar que a execução das camadas que compõem o pavimento deverá respeitar a declividade transversal do pavimento que poderá ser realizado com o concreto rolado.

3.2.6 Premissas de cálculo

O método utilizado para o dimensionamento do pavimento de concreto a ser empregado na Avenida Litorânea, considerando a solicitação de tráfego apresentada, foi o da Portland Cement Association - PCA-84, publicado no Estudo Técnico ET-97 da Associação

Brasileira de Cimento Portland - ABCP. A análise do método concentra-se nas tensões de tração por flexão (fadiga) e deformações verticais (erosão).

Os dados considerados para o dimensionamento pelo Método da PCA-84 foram:

- CBR do Subleito7 %
- Sub-base de concreto rolado com resistência à compressão f_{ck} aos 7 dias = 5 MPa...10 cm
- Coeficiente de recalque no topo do sistema140 Mpa/m
- Placa de concreto simples com resistência de tração na flexão $f_{ctMk}=4,50$ Mpa23 cm
- Dimensões da placa de concreto3,50 x 5,00 m
- Juntas transversais a cada 5,0 m com barras de transferência Aço CA-25 com $\varnothing=32$ mm lisa a cada 30 cm e comprimento de 50 cm.
- Juntas longitudinais com barras de ligação aço CA-50 com $\varnothing=10$ mm corrugada a cada 70 cm e comprimento de 80 cm.
- As barras de ligação e de transferência deverão estar posicionadas na linha neutra das placas (metade da espessura).

3.2.7 Estruturas propostas em projeto

Após do dimensionamento, chegou-se a seguinte configuração de camadas.

Tabela 4 – Camadas de Projeto do Pavimento Rígido

Concreto de Cimento Portland - $f_{ctm} \geq 4,5 \text{ MPa}$	23,00cm
Concreto Compactado a Rolo - $f_{ctm} \geq 1,5 \text{ MPa}$	10,00cm

Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

3.3 Resultados

Verificando e analisando os dados fornecidos pela empresa JCA Empreendimentos, resultou-se na estimativa de custo de aplicação do pavimento flexível, conforme Tabela 5, e pavimento rígido, conforme Tabela 6.

Tabela 5 – Configuração final das camadas de projeto do pavimento flexível

CAMADA	ESPESSURA (CM)	MATERIAIS	R\$	UND
Revestimento	5	CBUQ - Faixa III	483,00	m3
Imprimação	-	CM-30		
Impermeabilizante	-	RR-2C		
Base em Solo Estabilizada	20	Cascalho ISC 80%	500,00	m3
Sub-base Estabilizada	20	Cascalho ISC 20%		
Selo de Material Laterítico	20	Solo ISC 10%		
Camada final de terraplenagem	45	Solo ISC 8%		
Corpo de Aterro	Variável	Solo ISC 2%		
Execução da Obra, incluindo mão de Obra e Equipamentos			-	m3
Total por metro cúbico			983,00	m3

Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Tabela 6 – Configuração final das camadas de projeto do pavimento rígido

CAMADA	ESPESSURA (CM)	MATERIAIS	R\$	UND
Revestimento	23	Concreto de Cimento Portland - $f_{ctm} \geq 4,5 \text{ MPa}$	385,00	m3
Impermeabilizante	-	RR-2C		
Base	10	Concreto Compactado a Rolo - - $f_{ctm} \geq 1,5 \text{ MPa}$	315,00	m3
Sub-base	10	Bica Corrida/BGS (Mistura)	24,00	m3
Camada final de terraplenagem	45	Solo ISC 8%	180,00	m3
Corpo de Aterro	Variável	Solo ISC 2%		
Execução da Obra, incluindo mão de Obra e Equipamentos			200,00	m3
Total por metro cúbico			1.104	m3

Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Após conclusão dos projetos e posterior implantação em campo, chegou-se aos seguintes resultados abaixo em termos de custos, para isso foi uma equiparação em metros

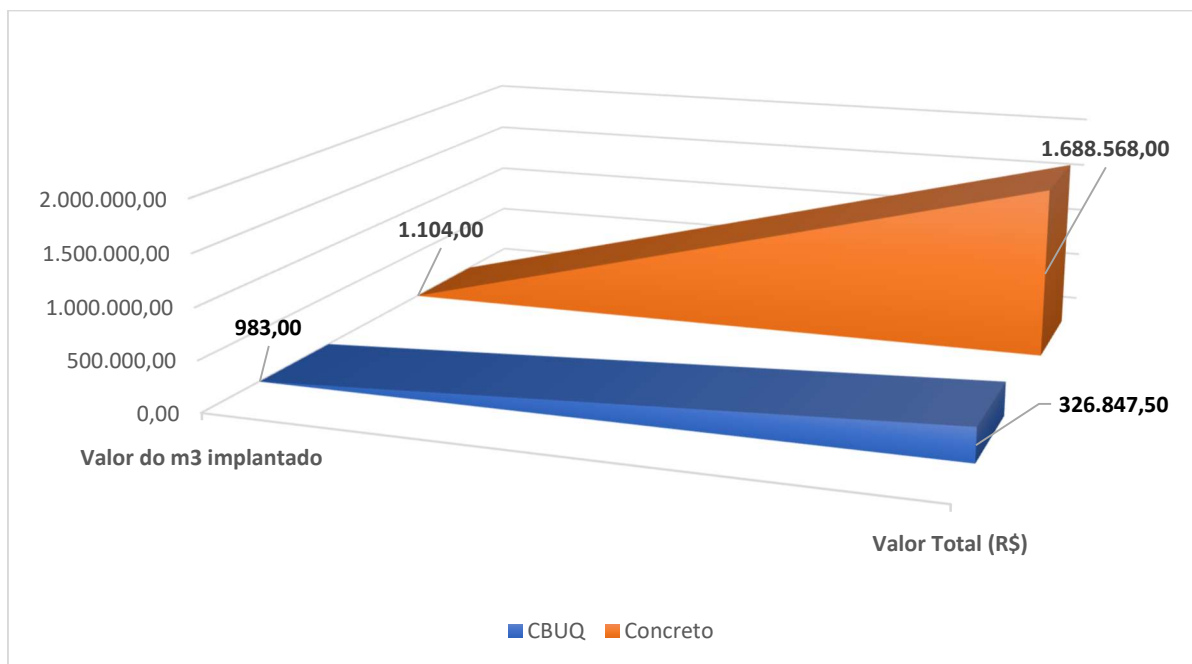
cúbicos, usamos um comprimento padrão de 1.900 metros que é o total da extensão da Avenida Litorânea (trecho da Avenida São Carlos até a Ponte do Rio Pimenta) e uma largura padrão de 3,50m para ambos os tipos de pavimentos.

Tabela 7 – Comparação entre os projetos, espessura, extensão e custos.

Revestimento	Espessura (m)	Largura (m)	Extensão (m)	Quantidade (m3)	Valor do m3 implantado	Valor Total (R\$)	# %
CBUQ	0,05	3,5	1900	332,5	983,00	326.847,50	517%
Concreto	0,23	3,5	1900	1529,5	1.104,00	1.688.568,00	

Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Gráfico 1 – Comparação entre os projetos, espessura, extensão e custos.



Fonte: JCA Empreendimentos (2021)

Para aplicação de 1.900m de pavimento rígido chegou-se no valor de R\$ 1.688.568 reais, enquanto para aplicar o pavimento flexível, chegou-se no valor de R\$ 326.847,50 reais, a diferença em porcentagem chega a 517%.

3.3.1 Custos econômicos de outras referências

Os custos econômicos consistem no gerenciamento de mão de obra, tráfego dos veículos, equipamentos utilizados e vários tipos de despesas dos custos diretos e indiretos. Essa mão-de-obra é formada por engenheiros, técnicos administrativos e por pessoas que executam os demais serviços gerais (DNIT, 2017).

Ainda de acordo com o DNIT (2017), os custos referentes a implantação de pavimentos flexíveis, cuja pistas com tamanhos de 3,6 metros e com 2,5 metros de acostamento, de material de concreto asfáltico usinado a quente de 10 centímetros de espessura, obtém um valor estimado de R\$ 3.159.000,00 por km. Nos casos de pavimentos rígidos, o custo para a implantação, cujas pistas com tamanhos de 3,6 metros e com 2,5 metros de acostamento, com os revestimentos feitos de pavimentos de concreto simples, e 18 centímetros de espessura, é de aproximadamente R\$ 5.430.000,00 por km.

Diante do exposto, utilizando os dados apresentados pela DNIT, a comparação dos custos entre a pavimentação rígida em relação a pavimentação flexível é em média 71% mais cara.

3.4 Vantagens e desvantagens de cada tipo de pavimentação

Tabela 8 - Comparativos dos Pavimentos – Rígido x Flexível

PAVIMENTOS RÍGIDOS	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
Estruturas mais delgadas de pavimento.	Estruturas mais espessas (requer maior escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas.
Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis).	É fortemente afetado pelos produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis).
Maior distância de visibilidade horizontal, proporcionando maior segurança.	A visibilidade é bastante reduzida durante a noite ou em condições climáticas adversas.
Pequena necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículos sem interrupções.	Necessário que se façam várias manutenções e recuperações, com prejuízos ao tráfego e custos elevados.
Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade.	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação (30 vezes mais durável).
Vida útil mínima de 20 anos.	Vida útil máxima de 10 anos (com manutenção).

Fonte: ibracon.org.br (adaptada).

O Departamento de Estradas do Estado da Califórnia ainda determina um prazo mínimo de 20 a 40 anos para novas construções ou reestruturações, obedecendo os níveis do tráfego que a rodovia estará sujeita (MELLO; FARIAS; PREUSSLER, 2016).

No Brasil, como foi o caso da extensão da Avenida Litorânea, os pavimentos rígidos de concreto normalmente são dimensionados para vida útil de 20 anos, enquanto os pavimentos flexíveis para 10 anos, isso quando bem executado e com manutenções periódicas.

Os pavimentos flexíveis requerem maiores quantidades de manutenções, possui superfície mais lisa quando submetida a água e menor índice de reflexão de luz. Não obstante, o pavimento flexível estudos exaustivos e sua tecnologia consolidada no meio técnico e científico, o que garante uma adequada execução.

Já os pavimentos rígidos exigem uma quantidade menor de intervenções de manutenção, ajuda na refletância de luz, ou seja, no período noturno colabora na iluminação das vias e fornecendo ainda boa aderência entre o pneu e a estrutura da via. Porém, os pavimentos rígidos exigem um elevado controle de execução para garantir de sua característica principal, que é a durabilidade. Esse tipo de pavimentação faz muito sentido para se implantar em um corredor exclusivo para transporte de carga ou passageiros, devido à grande demanda, gerando muita abrasão no pavimento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou caracterizar os dois tipos de pavimento, flexível e rígido, analisando suas vantagens e desvantagens, comparando a metodologia e o custos empregados no projeto e na execução dos dois tipos de pavimento.

Portanto a escolha da metodologia de dimensionamento do pavimento, está ligado as características regionais, no que tange ao clima, materiais e equipamentos disponíveis, mão-de-obra, controle geométrico e traçado da pista, solicitações na qual serão impostas e principalmente custo.

Com base nos resultados alcançados ficou evidente que a pavimentação rígida apresenta em custo muito elevando quando comparado a pavimentação flexível, pois além dos insumos serão mais caros, requer mão de obras mais especializadas, alguns equipamentos não são encontrados em São Luís, outros podem ser adaptados da pavimentação flexível.

O comparativo entre os dois pavimentos não sugere, evidentemente em adotar a simples substituição dos pavimentos betuminosos pelos de rígidos, deixando de lado estudos desenvolvidos durante muitos anos, permitimos tão somente apresentar as opções para a escolha do pavimento que mais se adequa a necessidade.

Por sua vez, o Estado possui seu limite orçamentário e diretrizes para investimentos em infraestrutura, ou seja, é analisada a sua capacidade de desembolso para tal empreendimento, isso também foi levado em consideração na escolha dos pavimentos nas faixas de tráfego na obra de extensão da Avenida Litorânea.

Como foi evidenciado no trabalho, o custo de investimento do pavimento rígido é muito superior ao do pavimento flexível, porém, analisando-se o custo-benefício, volume de volume de tráfego, vida útil dos pavimentos e estimativa de custo, chegou-se conclusão que foi a melhor escolha para a faixa exclusiva do BRT, uma vez que as solicitações deste veículo agredem muito o pavimento. Já para as vias destinadas para o tráfego urbano optaram-se por pavimento flexível, devido a menor solicitação do pavimento, melhor custo-benefício para o tipo de veículo e menor investimento.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 7207: **Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982, 3p.

AASHTO (1986) – **Guide for Design of Pavement Structures** — 1986. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

AASHTO (1990) **Guidelines for Pavement Management Systems** – 1990. American Association State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

AASHTO (1994) **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets** – 1994. American Association State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto**. ET-14. 1998. São Paulo. 1998.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **O concreto pavimentando os caminhos a formação de um novo país**. São Paulo. 2009.

ALBERNAZ, C. A. V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia da deflexão**. Dissertação (Mestrado) ± Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ANTAS, Paulo Mendes et al. **ESTRA: PROJETO GEOMÉTRICO E DE TERRAPLANAGEM**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 261 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR-12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR-6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 6457**: Amostra de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9935. Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7207**: terminologia

e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ALMEIDA, D. P. **Solução do Projeto de Pavimento Rígido. Estudo de Caso: Corredor de Ônibus do Binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Santa Catarina. 2015.

ARAÚJO, M. A. et al. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto).** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/metodos-de-pavimentacao>>. Acesso em: Acesso em 20 de setembro de 2020.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto.** 1ª Reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

Brasil. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro, 1998.

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária.** 2. Ed. Rio de Janeiro, 2005.

Brasil. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de restauração rodoviária.** 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica - formação básica para engenheiros.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2006. 495 p.

BITTENCOURT, E.R. **Caminhos e estradas na geografia dos transportes.** Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958.

DNER, 1996, **Manual de Pavimentação.** 2ª ed., Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes.

FARIA, Eloir de O. **História dos transportes terrestres no mundo.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.transitocomvida.ufrj.br/download/Hist%C3%B3ria%20dos%20transportes%20terrestres.pdf>>. Acesso em 31 de outubro de 2020.

BRASIL. Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes. Brasil: Ministério dos Transportes, 1965

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Imprinta, 2010.

CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimento de Concreto: Reduzindo o Custo Social**. São Paulo, 2007. Disponível em: < http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf >. Acesso em 29 de março de 2021.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Transporte Rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, CNT, 2017. Disponível em: < <http://www.cnt.org.br/Estudo/transporte-rodoviario-pavimento> >. Acesso em 31 de abril de 2021.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias indica que 57% dos trechos apresentam problemas** Brasília, CNT, 2018. Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-rodovias-2018-indica-57-trechos-apresentam-problemas> >. Acesso em 26 de maio de 2021.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Planilha: **Custos Médios Gerenciais 2017**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/copy_of_custo-medio-gerencial >. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2017.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Diretrizes Básicas para Elaboração De Estudos E Projetos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010..

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT, IPR-723. **Manual de estudos de tráfego**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT. **Manual de Projeto de Interseções**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias , Rio de Janeiro, 2005.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Manual de Pavimentos Rígidos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2004.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificações de serviço – Norma DNIT 031/2006–ES**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte DNIT. **Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes** – Especificações de serviço – Norma DNIT 049/2013–ES. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2013.

EMPREENDIMENTOS, JCA. **Projetos da Avenida Litorânea e Documentação Técnica**. DVD. Acesso em 13 de outubro de 2020.

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade da Amazônia, Belém, 2011. Disponível em: < <http://livrozilla.com/doc/794724/estudo-comparativo-entre-a-pavimentacao-flexivel>>. Acesso em 13 de março de 2021.

Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes, **GEIPOT**, Decreto nº 57.003, de 11 de outubro de 1965. Disponível em: ,http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D57003.ht>. Acesso em 13 de outubro de 2020.

HALLACK, Abdo. **Competitividade do Pavimento de Concreto**. Seminário de Pavimentos Urbanos, 2008. Disponível em: < http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/2008_competitividade_pav_concreto_abdo_hallack.pdf>. Acesso em 31 de abril de 2021.

JÚNIOR, Fernando Augusto. **Manual de Pavimentação Urbana**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992

MACIEL, Anderson Brum. **Dossiê Técnico–Pavimentos Intertravados**. Santa Rosa: SENAI Virgílio Lunardi, 2007.

MASCARENHAS NETO, J.D. **Methodo para construir as estradas em Portugal**. 1790. Edição fac-similada, impressa em 1985 a partir do original do Arquivo-Biblioteca do ex-Ministério das Obras Públicas.

MEAN, Angélica; ANANIAS, Renata; OLIVEIRA, Viviane. **Pavimentação Rígida**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011. Disponível em: < <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2154.pdf>>. Acesso em 02 de maio de 2021.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ, 1997.

MELLO, Luiz Guilherme Rodrigues de; FARIAS, Márcio Muniz de; PREUSSLER, Ernesto Simões; PREUSSLER Rodrigo. **Análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias**. Revista Transportes. Vol. 24, nº 4, 2016.

MELLO, José Carlos. **A Evolução do Transporte Rodoviário**. Apostila da [Escola](#) de Comando e Estado-Maior do Exército, 2004. Disponível em: < <https://docslide.com.br/documents/a-evolucao-do-transporte-rodoviario.html>>. Acesso em 14 de outubro de 2020.

MOB, Agência Estadual de Mobilidade Urbana e Serviços Públicos. **Termo de Referência**. Reestruturação Da Avenida Dos Holandeses e Litorânea, com a Implantação do BRT na

Região Metropolitana de São Luis-MA Etapa 01 – Lote 01 - Corredor Avenida Litorânea, 2016.

MOSCHETTI, Ricardo. **O Pavimento de Concreto é uma Realidade Nacional, Por quê?** Seminário Pavimento de Concreto, 2015. Disponível em: < http://viasconcretas.com.br/cms/wp-content/files_mf/pav_concreto_ricardo_moschetti.pdf >. Acesso em 30 de janeiro de 2021.

PITTA, Márcio Rocha. **Construção de Pavimentos de Concreto Simples**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

RIBAS, Leandro Carlos. **Custo-Benefício na Execução de Pavimentos Rígidos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: < <http://tcconline.utp.br/media/tcc/2017/10/CUSTO-BENEFICIO-NA-EXECUCAO-DE-PAVIMENTOS-RIGIDOS.pdf> >. Acesso em 16 de fevereiro de 2021.

PIGGOTT, Stuart. **Wagon, chariot and carriage: symbol and status in the history of transport**. New York: Thames and Hudson, 1992.

PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários e urbanos de concreto pelo método da PCA/84**. 3.ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

ROSTOVTZEF, M. História de Roma. 5 ed. Tradução de: Waltenir Dutra. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1983.

SANTANA, Professor Humberto Santana. **Manual de Pré-misturados a frio**, 1993

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2ª Edição. São Paulo; Editora Pini, 2007.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Volume I**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2008. 761 p.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação: Volume II**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2008. 671 p.

SILVA FILHO, Augusto Lins e. **Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR-408/PE**. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, Caruaru, 2011. Disponível em: < <http://repositorio.favip.edu.br:8080/bitstream/123456789/164/1/TCC+II++-+Augusto+rev.pdf> >. Acesso em 28 de maio de 2021.

USACE (1982) Technical Manual **TM 5-623: Pavement Maintenance Management** – 1982. U.S. Army Corps of Engineers, Headquarters, Department of the Army, Washington, DC, 171pág.

Resultado da análise

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **8,97%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet .

Suspeitas confirmadas: **4,05%**

Percentual do texto onde foi possível verificar a existência de trechos iguais nos endereços encontrados .

Texto analisado: **90,8%**

Percentual do texto efetivamente analisado (imagens, frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Endereços mais relevantes encontrados:

Endereço (URL)	Ocorrências	Semelhança
https://schutznetze24.de/Ladungssicherungsnetze/3-50-x-5-00-m:::30_303.html	06	0,44%
https://docplayer.com.br/7132694-Dissertacao-de-mestrado-dimensionamento-de-pavimento-asfaltico-comparacao-do-metodo-do-dner-com-um-metodo-mecanistico-empirico-aplicada-a-um-trecho.html	03	5,11%
https://www.meionorte.com/noticias/caos-impera-no-transito-de-sao-luis-capital-do-maranhao-43311	08	6,62%
https://1library.org/document/q2n81keq-universidade-faculdade-economia-administracao-contabilidade-profissional-administracao-controladoria.html	04	6,25%
https://docplayer.com.br/17384479-1-introducao-pavimento-definicao.html	02	5,56%
https://www.hawego.de/containerplane-200-g-m2-3-50-x-5-00-m-dunkelgruen-hu-7201-015	08	0,31%

ANEXO I - ESTUDO DE TRÁFEGO

Tabela 1 – Resultados das Pesquisas Volumétricas da Avenida dos Holandeses (Sentido Sul – Norte)

Avenida dos Holandeses - (Sentido Sul - Norte)						
Segmentos	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
1	11.758	184	83	64	8	5
2	8.903	801	1	0	0	0
3	6.791	52	37	28	4	2
4	17.377	361	108	83	10	6
5	14.223	282	155	120	15	9
6	47.752	545	249	192	24	14
7	20.459	443	128	98	12	7
8	19.448	274	208	160	20	12
9	20.984	390	278	214	27	16
10	19.752	794	330	254	32	19

Tabela 2 – Resultados das Pesquisas Volumétricas da Avenida dos Holandeses (Sentido Norte – Sul)

Avenida dos Holandeses - (Sentido Norte - Sul)						
Segmentos	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
1	35.992	717	356	274	34	21
2	25.941	216	222	171	21	13
3	11.777	101	99	76	9	6
4	23.635	399	131	101	13	8
5	28.714	372	183	140	18	11
6	14.158	1.078	285	219	27	16
7	18.502	306	197	151	19	11
8	23.324	569	306	235	29	18
9	21.834	604	340	261	33	20
10	13.810	358	276	212	27	16

Tabela 3 – Resultados das Pesquisas Volumétricas da Avenida Litorânea (Sentido Sul – Norte)

Avenida Litorânea - (Sentido Sul - Norte)						
Segmentos	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
1	6.501	2	32	24	3	2
2	15.762	165	134	103	13	8
3	16.357	160	120	93	12	7
4	10.603	12	182	140	18	11
5	11.254	81	117	90	11	7

Tabela 4 - Resultados das Pesquisas Volumétricas da Avenida Litorânea (Sentido Norte – Sul)

Avenida Litorânea - (Sentido Norte - Sul)						
Segmentos	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
1	1.632	1	7	5	1	0
2	16.284	122	139	107	13	8
3	15.104	112	168	129	16	10
4	3.262	54	11	8	1	1
5	21.834	724	340	261	33	20

Os modelos de tráfego utilizam normalmente para uma previsão para a situação futura, várias variáveis, como séries históricas, variáveis da população, emprego, renda, etc. Para a projeção do tráfego deste estudo, durante o período de projeto foi usada à taxa de crescimento de 3% ao ano, em decorrência da condição atual do sistema viário e da ocupação de baixa densidade na área de estudo.

As planilhas a seguir, mostram a projeção do tráfego da Avenida dos Holandeses e em consequência da Avenida Litorânea até o ano final do horizonte de projeto de 10 anos. Foi considerado para o Estudo de Tráfego o sentido do segmento com maior volume de tráfego.

Tabela 5 – Projeção do Tráfego Segmento 1 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	35.992	717	356	274	34	21
2019	37.072	739	367	282	36	22
2020	38.185	762	379	291	38	23
2021	39.331	785	391	300	40	24
2022	40.511	809	403	309	42	25
2023	41.727	834	416	319	44	26
2024	42.979	860	429	329	46	27

2025	44.269	886	442	339	48	28
2026	45.598	913	456	350	50	29
2027	46.966	941	470	361	52	30
2028	48.375	970	485	372	54	31
Média	41.910	838	418	321	44	26

Tabela 6 – Projeção do Tráfego Segmento 2 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	8.903	801	1	0	0	0
2019	9.170	826	1	1	1	1
2020	9.446	851	2	2	2	2
2021	9.730	877	3	3	3	3
2022	10.022	904	4	4	4	4
2023	10.323	932	5	5	5	5
2024	10.633	960	6	6	6	6
2025	10.952	989	7	7	7	7
2026	11.281	1.019	8	8	8	8
2027	11.620	1.050	9	9	9	9
2028	11.969	1.082	10	10	10	10
Média	10.368	936	5	5	5	5

Tabela 7 – Projeção do Tráfego Segmento 3 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	11.777	101	99	76	9	6
2019	12.131	105	102	79	10	6
2020	12.495	109	106	82	11	7
2021	12.870	113	110	85	12	8
2022	13.257	117	114	88	13	9
2023	13.655	121	118	91	14	10
2024	14.065	125	122	94	15	11
2025	14.487	129	126	97	16	12
2026	14.922	133	130	100	17	13
2027	15.370	137	134	103	18	14
2028	15.832	142	139	107	19	15
Média	13.715	121	118	91	14	10

Tabela 8 – Projeção do Tráfego Segmento 4 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
-----	-----------	--------	----------	--	--	--

		20	2C	3C	2S1	4C
2018	23.635	399	131	101	13	8
2019	24.345	412	135	104	13	8
2020	25.076	425	140	108	14	9
2021	25.829	438	145	112	15	10
2022	26.604	452	150	116	16	11
2023	27.403	466	155	120	17	12
2024	28.226	480	160	124	18	13
2025	29.073	495	165	128	19	14
2026	29.946	510	170	132	20	15
2027	30.845	526	176	136	21	16
2028	31.771	542	182	141	22	17
Média	27.523	468	155	120	17	12

Tabela 9 – Projeção do Tráfego Segmento 5 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	28.714	372	183	140	18	11
2019	29.576	384	189	145	19	11
2020	30.464	396	195	150	20	12
2021	31.378	408	201	155	21	13
2022	32.320	421	208	160	22	14
2023	33.290	434	215	165	23	15
2024	34.289	448	222	170	24	16
2025	35.318	462	229	176	25	17
2026	36.378	476	236	182	26	18
2027	37.470	491	244	188	27	19
2028	38.595	506	252	194	28	20
Média	33.436	436	216	166	23	15

Tabela 10 – Projeção do Tráfego Segmento 6 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	14.158	1.078	285	219	27	16
2019	14.584	1.111	294	226	29	17
2020	15.022	1.145	303	233	30	18
2021	15.473	1.180	313	240	31	19
2022	15.938	1.216	323	248	32	20
2023	16.417	1.253	333	256	33	21
2024	16.910	1.291	343	264	34	22

2025	17.418	1.330	354	272	36	23
2026	17.941	1.370	365	281	38	24
2027	18.480	1.412	376	290	40	25
2028	19.035	1.455	388	299	42	26
Média	16.489	1.258	334	257	34	21

Tabela 11 – Projeção do Tráfego Segmento 7 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	20.459	443	128	98	12	7
2019	21.073	457	132	102	13	8
2020	21.706	471	136	106	14	9
2021	22.358	486	141	110	15	10
2022	23.029	501	146	114	16	11
2023	23.720	517	151	118	17	12
2024	24.432	533	156	122	18	13
2025	25.165	549	161	126	19	14
2026	25.920	566	166	130	20	15
2027	26.698	583	171	134	21	16
2028	27.499	601	177	139	22	17
Média	23.824	519	151	118	17	12

Tabela 12 – Projeção do Tráfego Segmento 8 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	23.324	569	306	235	29	18
2019	24.025	586	315	243	31	19
2020	24.746	604	325	251	32	20
2021	25.489	623	335	259	33	21
2022	26.254	642	346	267	34	22
2023	27.042	662	357	276	36	23
2024	27.854	682	368	285	38	24
2025	28.690	703	380	294	40	25
2026	29.551	725	392	303	42	26
2027	30.438	747	404	313	44	27
2028	31.352	770	417	323	46	28
Média	27.160	665	359	277	37	23

Tabela 13 – Projeção do Tráfego Segmento 9 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
-----	-----------	--------	----------	--	--	--

		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	21.834	604	340	261	33	20
2019	22.489	622	351	270	34	21
2020	23.164	641	362	279	36	22
2021	23.859	661	373	288	38	23
2022	24.575	681	385	297	40	24
2023	25.313	702	397	306	42	25
2024	26.073	724	409	316	44	26
2025	26.856	746	422	326	46	27
2026	27.662	769	435	336	48	28
2027	28.492	793	449	347	50	29
2028	29.347	817	463	358	52	30
Média	25.424	705	399	308	42	25

Tabela 14 – Projeção do Tráfego Segmento 10 – Avenida dos Holandeses

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	19.752	794	330	254	32	19
2019	20.345	818	340	262	33	20
2020	20.956	843	351	270	34	21
2021	21.585	869	362	279	36	22
2022	22.233	896	373	288	38	23
2023	22.900	923	385	297	40	24
2024	23.587	951	397	306	42	25
2025	24.295	980	409	316	44	26
2026	25.024	1.010	422	326	46	27
2027	25.775	1.041	435	336	48	28
2028	26.549	1.073	449	347	50	29
Média	23.000	927	387	298	40	24

Tabela 15 – Projeção do Tráfego Segmento 1 – Avenida Litorânea

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	6.501	2	32	24	3	2
2019	6.697	3	33	26	4	2
2020	6.898	4	34	27	5	3
2021	7.105	5	36	28	6	4
2022	7.319	6	38	29	7	5
2023	7.539	7	40	30	8	6
2024	7.766	8	42	31	9	7

2025	7.999	9	44	32	10	8
2026	8.239	10	46	33	11	9
2027	8.487	11	48	34	12	10
2028	8.742	12	50	36	13	11
Média	7.572	7	40	30	8	6

Tabela 16 – Projeção do Tráfego Segmento 2 – Avenida Litorânea

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	15.762	165	134	103	13	8
2019	16.235	171	139	107	14	8
2020	16.723	177	144	111	15	9
2021	17.225	183	149	115	16	10
2022	17.742	189	154	119	17	11
2023	18.275	195	159	123	18	12
2024	18.824	201	164	127	19	13
2025	19.389	208	169	131	20	14
2026	19.971	215	175	135	21	15
2027	20.571	222	181	140	22	16
2028	21.189	229	187	145	23	17
Média	18.355	196	160	123	18	12

Tabela 17 – Projeção do Tráfego Segmento 3 – Avenida Litorânea

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C
2018	15.104	112	168	129	16	10
2019	15.557	116	173	133	17	10
2020	16.024	120	179	137	18	11
2021	16.505	124	185	142	19	12
2022	17.001	128	191	147	20	13
2023	17.512	132	197	152	21	14
2024	18.038	136	203	157	22	15
2025	18.580	141	210	162	23	16
2026	19.138	146	217	167	24	17
2027	19.713	151	224	173	25	18
2028	20.305	156	231	179	26	19
Média	17.589	133	198	153	21	14

Tabela 18 – Projeção do Tráfego Segmento 4 – Avenida Litorânea

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		20	2C	3C	2S1	4C

2018	10.603	12	182	140	18	11
2019	10.921	13	188	145	19	11
2020	11.249	14	194	150	20	12
2021	11.587	15	200	155	21	13
2022	11.935	16	206	160	22	14
2023	12.294	17	213	165	23	15
2024	12.663	18	220	170	24	16
2025	13.043	19	227	176	25	17
2026	13.435	20	234	182	26	18
2027	13.839	21	242	188	27	19
2028	14.255	22	250	194	28	20
Média	12.348	17	214	166	23	15

Tabela 19 – Projeção do Tráfego Segmento 5 – Avenida Litorânea

Ano	Automóvel	Ônibus	Caminhão			
		2O	2C	3C	2S1	4C
2018	21.834	724	340	261	33	20
2019	22.489	747	351	270	34	21
2020	23.164	770	362	279	36	22
2021	23.859	794	373	288	38	23
2022	24.575	818	385	297	40	24
2023	25.313	843	397	306	42	25
2024	26.073	869	409	316	44	26
2025	26.856	896	422	326	46	27
2026	27.662	923	435	336	48	28
2027	28.492	951	449	347	50	29
2028	29.347	980	463	358	52	30
Média	25.424	847	399	308	42	25