

ANO
2019

TAMIREZ KARNIKOWSKI

SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E
REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS URBANOS BASEADA
NA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA



UDESC

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Diante da falta de gerenciamento de pavimentos urbanos na maioria dos municípios brasileiros, este trabalho objetiva aplicar o processo de Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) para a seleção de estratégias de manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos, buscando a melhor alocação dos recursos financeiros. O trabalho foi desenvolvido através de um estudo de caso realizado em duas vias da cidade de Joinville, no Estado de Santa Catarina. Com base no levantamento das condições funcionais e estruturais dos pavimentos analisados foi possível propor diferentes cenários de atividades de manutenção e reabilitação durante um período de 20 anos a fim de analisar o custo do ciclo de vida das diferentes técnicas.

Orientador: Edgar Odebrecht

Joinville, 2019

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE
MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO
DE PAVIMENTOS URBANOS
BASEADA NA ANÁLISE DO CUSTO
DO CICLO DE VIDA**

TAMIREZ KARNIKOWSKI

JOINVILLE, 2019

TAMIRES KARNIKOWSKI

SELEÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE
PAVIMENTOS URBANOS BASEADA NA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE
VIDA

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Mestra, no
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Edgar Odebrecht

JOINVILLE

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Karnikowski, Tamires

Seleção de estratégias de manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos baseada na análise do custo do ciclo de vida / Tamires Karnikowski. -- 2019.

92 p.

Orientador: Edgar Odebrecht

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2019.

1. Análise do custo do ciclo de vida. 2. Pavimentos. 3. Manutenção. 4. Reabilitação. 5. Sistema de gerência de pavimentos. I. Odebrecht, Edgar. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III.

Título.

Seleção de Estratégias de Manutenção e Reabilitação de Pavimentos Urbanos
Baseada na Análise do Custo do Ciclo de Vida

por

Tamires Karnikowski

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL

Área de concentração em "Engenharia Urbana e da Construção Civil"
e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.


Banca Examinadora:



Prof. Dr. Edgar Odebrecht
CCT/UDESC (Orientador/Presidente)

por videoconferência

Profa. Dra. Ana Paula Furlan
USP - São Carlos/SP



Prof. Dr. Romualdo Theophanes de
França Júnior
CCT/UDESC

Joinville, SC, 23 de setembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar durante esta jornada.

Ao meu companheiro, Marcelo, por todo o incentivo e por nunca me deixar desistir. À minha família, que mesmo longe, sempre me apoiou.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgar Odebrecht, pela acolhida, paciência e orientação, és um exemplo de profissional.

À CAPES pela bolsa concedida durante o primeiro ano do mestrado.

Às professoras Dra. Ana Paula Furlan e Dra. Fernanda Stafford pelas excelentes contribuições desde o exame de qualificação.

À Secretaria de Infraestrutura Urbana de Joinville, em especial ao colega Paulo, por todo o suporte prestado e fornecimento de dados e materiais. À Azimute Engenharia por disponibilizar os dados de projeto.

E a todos os demais envolvidos e que torceram pelo sucesso deste trabalho.

RESUMO

Com o passar dos anos, submetidas aos efeitos do tráfego e das intempéries, as vias pavimentadas degradam, reduzindo sua capacidade de suportar as solicitações de tráfego e, assim, comprometem a segurança dos usuários. A falta de conservação da malha viária urbana, na maioria das vezes, está relacionada ao insuficiente volume de recursos financeiros disponíveis e pela falta de sistemas de gestão dos pavimentos urbanos. Diante da falta de gerenciamento de pavimentos urbanos na maioria dos municípios brasileiros, este trabalho objetiva aplicar o processo de Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) para a seleção de estratégias para manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos, buscando a melhor alocação dos recursos financeiros. O trabalho foi desenvolvido através de um estudo de caso realizado em duas vias da cidade de Joinville, no Estado de Santa Catarina, as vias escolhidas para o estudo foram a Rua Piratuba e Avenida Santos Dumont. Realizou-se o levantamento e análise das condições funcionais dos pavimentos através do índice de condição do pavimento, e das condições estruturais com dados coletados com viga Benkelman. Após, foram propostos cenários referentes às estratégias de manutenção e/ou reabilitação das vias urbanas com base em uma árvore de decisão desenvolvida a partir do levantamento das condições dos pavimentos e das técnicas comumente utilizadas pelo município. Foram estimados os custos referentes aos cenários propostos e então calculados os custos do ciclo de vida para as vias urbanas avaliadas através do valor presente líquido. Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que é imprescindível a estruturação de um banco de dados para o município, só se pode ter um sistema de gerência de pavimentos urbanos (SGPU) efetivo a partir da constante coleta de dados. A árvore de decisão se mostrou uma boa opção para otimizar o processo de seleção de estratégias de manutenção e reabilitação (M&R). A análise econômica apresentou bons resultados como ferramenta para auxiliar na tomada de decisão das atividades de M&R, mas não deve ser utilizada sozinha. A utilização de um SGPU e suas ferramentas contribui para uma adequada aplicação de recursos financeiros em obras de infraestrutura viária.

Palavras-chave: Análise do custo do ciclo de vida. Pavimentos. Manutenção. Reabilitação. Sistema de gerência de pavimentos.

ABSTRACT

Over the years, subjected to the effects of traffic and weather, paved roads degrade, reducing their ability to withstand traffic requests and thus compromising user safety. The lack of conservation of the urban road network is mostly related to the insufficient volume of available financial resources and the lack of urban pavement management systems. Given the lack of urban pavement management in most Brazilian municipalities, this paper aims to apply the Life Cycle Cost Analysis (LCCA) process for the selection of strategies for maintenance and rehabilitation of urban pavements, seeking the best allocation of financial resources. The work was developed through a case study carried out in two streets of Joinville, Santa Catarina State, the chosen roads for the study were Piratuba Street and Santos Dumont Avenue. The functional conditions of the pavements were surveyed and analyzed through the pavement condition index and the structural conditions with data collected with Benkelman beam. After that, scenarios were proposed regarding the maintenance and/or rehabilitation strategies of urban roads based on a decision tree developed from the survey of pavement conditions and maintenance techniques commonly used by the municipality. Costs for the proposed scenarios were estimated and then life-cycle costs for urban roads were assessed using the net present value. Based on the results it can be stated that it is essential to structure a database for the municipality, and an effective urban pavement management system can only be established based on constant data collection. The decision tree has proven to be a good option for optimizing the maintenance and rehabilitation (M&R) strategy selection process. The economic analysis showed good results as a tool to assist in decision-making of M&R activities, but should not be used alone. The use of a pavement management system for urban roads and its tools contributes to an adequate application of financial resources in road infrastructure works.

Keywords: Life cycle cost analysis. Pavement. Maintenance. Rehabilitation. Pavement management system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido	20
Figura 2 - Escala do Índice de Condição do Pavimento - ICP	22
Figura 3 - Curva tempo de exposição ao tráfego x N	27
Figura 4 - Esquema de tratamentos superficiais	33
Figura 5 - Diagrama de custos ao longo do tempo.....	43
Figura 6 - Método do valor presente líquido	44
Figura 7 - Método do Custo anual uniforme equivalente	45
Figura 8 - Localização da cidade de Joinville	47
Figura 9 - Etapas do trabalho	48
Figura 10 - Localização Rua Piratuba	50
Figura 11 - Rua Piratuba	50
Figura 12 – Estrutura do pavimento da Rua Piratuba	50
Figura 13 - Localização Avenida Santos Dumont.....	51
Figura 14 - Avenida Santos Dumont	52
Figura 15 - Estrutura do pavimento da Av. Santos Dumont	52
Figura 16 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.....	54
Figura 17 - Tipos de defeitos encontrados na Rua Piratuba	55
Figura 18 - Tipos de defeitos encontrados na Av. Santos Dumont	56
Figura 19 – Árvore de decisão para vias de Joinville	62
Figura 20 - Estrutura para reconstrução da Rua Piratuba	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das causas dos defeitos e principais atividades de M&R	34
Quadro 2 - Critérios para avaliação estrutural	65
Quadro 3 - Cenários propostos para a Av. Santos Dumont	67
Quadro 4 - Cenários propostos para a Rua Piratuba	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de correção sazonal.....	25
Tabela 2 - Índice da condição do pavimento da Rua Piratuba em Maio/2019	57
Tabela 3 - Índice da condição do pavimento da Av. Santos Dumont em Maio/2019.....	58
Tabela 4 - Deflexões Rua Piratuba (10^{-2} mm)	58
Tabela 5 - Deflexões Av. Santos Dumont (10^{-2} mm)	59
Tabela 6 - Variáveis calculadas Rua Piratuba.....	59
Tabela 7 - Variáveis calculadas Avenida Santos Dumont	60
Tabela 8 - Raios de curvatura das bacias deflectométricas das vias analisadas	66
Tabela 9 - Custos das atividades de manutenção/reabilitação da Av. Santos Dumont	70
Tabela 10 - Custos das atividades de manutenção/reabilitação da Rua Piratuba	70
Tabela 11 - Fator de desconto para o valor presente.....	71
Tabela 12 - Valor presente líquido para os cenários da Av. Santos Dumont	72
Tabela 13 - Valor presente líquido para os cenários da Rua Piratuba	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – *American Society for Testing and Materials*
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CNT – Confederação Nacional do Transporte
DERs – Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUAC – Custo Anual Uniforme Igual
FHWA – *Federal Highway Administration*
FWD – *Falling Weight Deflectometer*
ICP – Índice de Condição do Pavimento
ICR – Índice de Conforto ao Rolamento
LCCA – *Life Cycle Costs Analysis* ou Análise do Custo do Ciclo de Vida
LVC – Levantamento Visual Contínuo
M&R – Manutenção e Reabilitação
N – Número de solicitações do eixo padrão
PMF – Pré-misturado à frio
PMQ – Pré-misturado à quente
SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura Urbana
SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPU – Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SICRO – Sistema de Custos Rodoviários
TIR – Taxa Interna de Retorno
TSD – Tratamento Superficial Duplo
TSS – Tratamento Superficial Simples
TST – Tratamento Superficial Triplo
VDM – Volume Diário Médio
VPL – Valor Presente Líquido
VSA – Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	15
2 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	17
2.1 NÍVEL DE REDE E DE PROJETO	17
2.2 DESEMPENHO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS	18
2.2.1 Avaliação da condição do pavimento	19
2.2.2 Modelos de desempenho	22
3 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS	28
3.1 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS.....	29
3.1.1 Remendos.....	30
3.1.2 Reparo de painelas	30
3.1.3 Reparo de trincamento de fadiga	30
3.1.4 Reperfilagem	31
3.1.5 Selagem de trincas	31
3.1.6 Capa selante.....	31
3.1.7 Camada porosa de atrito	33
3.1.8 Micro revestimento asfáltico.....	33
3.1.9 Reconstrução	34
3.2 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO.....	34
4 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.....	39
4.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	41
4.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	41
4.3 CUSTOS DOS USUÁRIOS.....	41
4.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO.....	42

4.4.1 Valor presente líquido	43
4.4.2 Custo anual uniforme equivalente	44
4.4.3 Taxa interna de retorno	45
5 METODOLOGIA	47
5.1 ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS URBANAS AVALIADAS	48
5.1.1 Rua Piratuba.....	49
5.1.2 Avenida Santos Dumont.....	51
5.2 ETAPA 2 – LEVANTAMENTO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	53
5.3 ETAPA 3 – PROPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS - TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	60
5.4 ETAPA 4 - COMPOSIÇÃO DE PREÇOS DAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	69
5.5 ETAPA 5 - AVALIAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA	71
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
6.1 AVENIDA SANTOS DUMONT	73
6.2 RUA PIRATUBA	74
7 CONCLUSÕES.....	77
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS.....	79
APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS DOS CENÁRIOS	84
ANEXO A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS UTILIZADAS (SICRO)	86

1 INTRODUÇÃO

Importante componente da infraestrutura brasileira, a malha rodoviária e urbana vem recebendo cada vez menos investimentos. Durante o século XX, muitas cidades brasileiras estiveram em pleno crescimento econômico, o que, consequentemente, implicou em investimento em infraestrutura. Nesse período a questão era a construção de novas rodovias e pouco se falava na conservação da infraestrutura implantada.

Com o passar dos anos, submetidas aos efeitos do tráfego e das intempéries, as vias pavimentadas degradam, reduzindo sua capacidade de suportar as solicitações de tráfego e deixando a utilização destas estruturas menos segura, confortável e econômica aos usuários. Com este cenário, fica evidente a necessidade da conservação deste patrimônio.

Ao analisar a série histórica de dados da CNT percebe-se que a qualidade e o crescimento da malha rodoviária não acompanham a demanda de infraestrutura para o escoamento da produção nem para o deslocamento de pessoas. A frota de veículos aumentou 194,1%, de 2001 para 2016, mas as rodovias continuam com graves problemas de qualidade, comprometendo a segurança. No ano de 2016, mais da metade dos trechos avaliados pela CNT apresentaram problemas. Do total da malha, 1,7 milhão de km, apenas 12,2% (210.618,8 km) tem pavimento.

O mesmo comportamento vem sendo observado nos municípios brasileiros, a malha viária urbana tem apresentado alta taxa de deterioração. Segundo Shoji (2000), o maior desafio enfrentado pela maioria das prefeituras municipais brasileiras está relacionado aos volumes dos recursos financeiros disponíveis que, na maioria das vezes, são insuficientes para manter a rede em condição acima do nível mínimo de aceitação pelos usuários.

O fato de não se dispor de recursos suficientes para a manutenção da malha rodoviária explica-se pela cultura erroneamente formada ao longo dos governos, negligenciando-se a real necessidade de intervenções nas estruturas de pavimento, executando a manutenção paliativa sempre que possível (SANTOS, 2011).

A falta de um sistema adequado de gerência de pavimentos é nítida diante dos dados. Os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) representam uma ferramenta do administrador para decidir a forma mais eficiente de aplicação dos

recursos públicos ou privados disponíveis para preservar os pavimentos em uma condição aceitável para os usuários ao menor custo (YSHIBA, 2003).

Para Zerbini (1999) a gerência de pavimentos urbanos é uma ferramenta capaz de reduzir a dimensão do problema da falta de recursos, comum a quase todos os setores da administração pública municipal, pois visa otimizar as atividades de pavimentação, dando o máximo retorno possível para os recursos disponíveis e melhorando a eficiência dos organismos viários municipais.

1.1 JUSTIFICATIVA

As alternativas de manutenção e reabilitação de pavimentos submetidas à análise do custo do ciclo de vida tendem a auxiliar gestores públicos na tomada de decisão quanto ao sistema de gerência de pavimentos das cidades, optando pela solução que oferecer o melhor custo-benefício levando em consideração a vida útil do pavimento.

Segundo Zerbini (1999) em muitas cidades as decisões são tomadas como respostas às necessidades emergentes, às pressões políticas ou à completa deterioração de algumas vias. No processo de gestão de pavimentos, sempre deve surgir a necessidade de comparar a estrutura, a manutenção e a reabilitação de diferentes pavimentos para chegar à solução mais desejável, seja ela econômica e ou estrutural.

De acordo com Zanchetta (2017), a maioria das prefeituras municipais brasileiras considera apenas as operações de tapa-buracos e recapeamentos como procedimento de conservação da sua malha pavimentada, opções que resultam em pavimentos de alto custo para a sociedade e que muitas vezes apresentam defeitos em excesso em sua superfície.

Novos materiais tem surgido nos últimos anos, e com a introdução de novos componentes nas soluções de pavimentação, os custos de construção, manutenção e reabilitação do pavimento devem ser constantemente avaliados juntamente com o desempenho desses novos materiais. É essencial que as agências rodoviárias utilizem ferramentas e abordagens que facilitem a tomada de decisões apropriadas, aplicando pesquisas econômicas e de operações como a Análise do Custo de Ciclo de Vida (LCCA) para alcançar investimentos economicamente razoáveis a longo prazo. LCCA é um método baseado em princípios de análise econômica, melhora a

estimativa da viabilidade econômica total a longo prazo de diferentes opções de investimento (BABASHAMSI *et al.*, 2016).

Como a Análise do Custo do Ciclo de Vida é uma ferramenta do Sistema de Gerência de Pavimentos, a aplicação desse conceito busca melhorar os níveis de eficiência nas tomadas de decisão quanto à seleção de estratégias de pavimentação, manutenção e reabilitação com o objetivo de alocar melhor os recursos financeiros.

O LCCA fornece um meio para que os gestores da área de transportes considerem a capacidade de aplicação de projetos alternativos além dos custos iniciais de implantação. Além disso, a documentação da LCCA, bem como a própria análise, podem ser usadas para demonstrar o comprometimento dos gestores com a boa administração e para tornar o processo analítico mais transparente e eficiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicação do processo de análise do custo do ciclo de vida para a seleção de estratégias para manutenção e reabilitação de pavimentos urbanos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Levantamento das condições funcionais dos pavimentos analisados;
- b) definição das atividades de manutenção e reabilitação mais adequadas para o pavimento;
- c) estimar o custo do ciclo de vida das técnicas de manutenção e reabilitação aplicadas.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está dividido em sete capítulos que abordam temas relevantes para discussão conforme o objetivo proposto. O capítulo 1 introduz ao assunto da dissertação de forma concisa e explicita os objetivos e a motivação para o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 2 apresenta fundamentação teórica sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos e sua divisão em nível de projeto e nível de rede. Aborda também o

desempenho das estruturas dos pavimentos através da avaliação funcional e estrutural.

O capítulo 3 refere-se às atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos, apresenta diferentes técnicas de manutenção e reabilitação além de resumir as causas dos defeitos nos pavimentos e qual a atividade de M&R recomendada.

A análise do custo do ciclo de vida é apresentada no capítulo 4, bem como os custos que envolvem um pavimento durante o ciclo de vida. Também são apresentados os diferentes métodos de avaliação econômica aplicáveis.

A metodologia do trabalho é apresentada no capítulo 5, o qual compreende um estudo de caso e é dividido em cinco etapas principais: caracterização das vias urbanas avaliadas, levantamento das condições dos pavimentos, proposição de cenários, estimativa de custos e aplicação da metodologia de análise do custo do ciclo de vida. Neste capítulo também são gerados alguns resultados e realizadas algumas análises a fim de aplicar os passos seguintes da metodologia e atingir o objetivo geral do trabalho.

No capítulo 6 são apresentados os resultados e discussões do procedimento proposto. As conclusões do trabalho, comentários e recomendações para trabalhos futuros são apresentados no capítulo 7. No Apêndice A encontram-se as composições de custo dos cenários desenvolvidas com base nas composições do SICRO apresentadas no Anexo A.

2 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Segundo o DNIT (2011), um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) tem como componentes o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos, devendo interagir mutuamente. O SGP é submetido à fatores externos que influenciam na sua gestão, são eles os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema - características de projeto, execução, planejamento, atividades de manutenção e reabilitação - e as diretrizes políticas e administrativas.

“O objetivo principal de um Sistema de Gerência de Pavimentos é alcançar a melhor aplicação para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico” (DNIT, 2011).

Segundo Yshiba (2003) os sistemas de gerência de pavimentos tiveram origem na década de 60, desenvolvidos a partir do conceito de desempenho de pavimentos estabelecido pela AASHO Road Test e estudos no Canadá. Hudson, Haas e Perdigo (1979) estabelecem que as funções básicas de um SGP são:

a) melhorar a eficiência nas tomadas de decisão quanto à seleção e priorização de atividades de manutenção e reabilitação, fornecer informação sobre as consequências das decisões tomadas, facilitar a coordenação de atividades dentro da organização e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização;

b) auxiliar as autoridades rodoviárias a encontrar estratégias ótimas para a manutenção da condição do pavimento em um nível aceitável, durante um período de tempo, com um custo mínimo.

Um sistema de gerência de pavimentos deve ser capaz de comparar, priorizar e alocar recursos do programa de manutenção e reabilitação para as seções da malha viária, considerar estratégias alternativas, basear as decisões em atributos quantificados (critérios e restrições orçamentárias), melhorar a gestão utilizando a realimentação de informações e considerar as consequências das decisões tomadas.

2.1 NÍVEL DE REDE E DE PROJETO

O Sistema de Gerência de Pavimentos em nível de rede caracteriza-se por estudar uma grande área ou malha viária, onde estão situadas muitas rodovias. Assim, em se tratando de coleta e análise de dados, predomina a quantidade sobre

o detalhe, ou seja, busca-se o conhecimento da malha como um todo, de forma a possibilitar a adequada priorização dos recursos disponíveis (DNIT, 2011).

Segundo Yshiba (2003) algumas das características de um sistema em nível de rede são identificar os projetos candidatos para manutenção e reabilitação considerando a taxa de deterioração, tipo de defeito; priorizar os projetos em função de características de desempenho, tráfego, custos dos usuários e outros fatores locais, determinar as necessidades orçamentárias de curto e longo prazo dos organismos rodoviários; dar suporte às reivindicações por recursos e avaliar a condição atual do sistema e prever a condição futura em diferentes cenários de aplicação de recursos.

No Sistema de Gerência de Pavimentos em nível de projeto, observa-se mais detalhadamente um determinado trecho pavimentado. Os dados são coletados de forma mais aprofundada, com estudos de estrutura das camadas do pavimento, determinando, sempre que possível, as causas do aparecimento de defeitos e as consequências que estes poderão induzir em camadas adjacentes, procurando avaliar e selecionar o tipo de execução do serviço de manutenção e reabilitação (DNIT, 2011).

Yshiba (2003) cita alguns exemplos de atividades em nível de projeto: diagnóstico dos problemas de cada seção do pavimento, através de avaliações funcionais da capacidade de suporte e do coeficiente de atrito do pneu-pavimento; quantificação dos custos das diferentes alternativas de intervenção; avaliação dos benefícios associados às melhorias da condição do pavimento e do prolongamento da vida do pavimento em serviço; objetos estruturais dos pavimentos considerando a resistência do subleito, o número de solicitações equivalente do eixo padrão, especificações de materiais, efeitos climáticos e projeto de reabilitação ou de reconstrução.

2.2 DESEMPENHO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

Sabe-se que toda estrutura é projetada para atender determinadas solicitações de tráfego em determinado tempo de serviço. O pavimento se deteriora em função da sua utilização ou solicitações de tráfego, condições climáticas e da falta de atividades de manutenção e reabilitação causando alterações em seu nível de serventia.

2.2.1 Avaliação da condição do pavimento

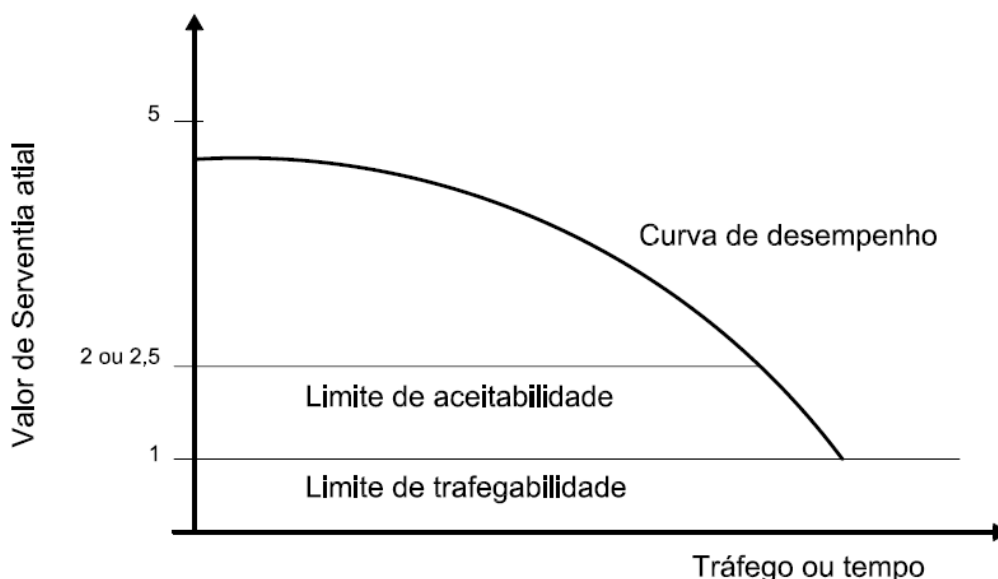
Segundo Causim (2001) o conhecimento da condição em que se encontra o pavimento é essencial para qualquer sistema de gerência de pavimentos, o monitoramento periódico dos pavimentos é de grande importância dentro do sistema, pois assim é possível identificar os defeitos em estágio inicial, conhecer as possíveis causas e auxiliar na determinação de técnicas de manutenção ou reabilitação a serem adotadas.

A quantificação da condição do pavimento é imprescindível para a priorização e seleção de projetos e estratégias de manutenção e reabilitação e para a previsão orçamentária e alocação de recursos (ZERBINI, 1999). Um pavimento pode ser avaliado de acordo com sua condição funcional, condição estrutural e condição operacional. A avaliação funcional de um pavimento está relacionada com a apreciação do estado de sua superfície e de como este estado influencia no conforto ao rolamento (DNIT, 2011).

Segundo Zanchetta (2017), a avaliação da superfície do pavimento pode ser subjetiva ou objetiva. A avaliação subjetiva foi concebida por Carey e Iric em 1960 e consiste em um método para avaliar o desempenho funcional do pavimento, chamado de Valor da Serventia Atual – VSA. O Valor da Serventia Atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5 (péssimo, ruim, regular, bom e excelente), dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento (DNIT, 2011).

Em geral, o valor de serventia atual é elevado logo após a construção do pavimento, pois exibe uma superfície suave e praticamente sem irregularidades, variando conforme a qualidade executiva e as alternativas de pavimentação selecionadas. O VSA do pavimento diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. A forma da curva de serventia com o tempo decorrido de utilização da via é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido



Fonte: DNIT (2011)

Na Figura 1 estão indicados dois limites: de aceitabilidade e de trafegabilidade. Segundo o DNIT (2011), para os usuários, há um limite de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento, abaixo do qual o nível de conforto passa a ser inaceitável, na prática, sempre que o Valor de Serventia Atual atinge este patamar, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada, de modo a repor o índice a um valor superior. No período em que o pavimento apresenta VSA acima deste valor, deve-se realizar manutenção preventiva periódica, de modo a prolongar o tempo em que o mesmo permanece em condição aceitável quanto ao rolamento. Caso não haja manutenção, ou esta seja inadequada, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação na qual se torna necessária sua reconstrução, elevando o nível de serventia novamente.

Já a avaliação objetiva depende da combinação de defeitos da superfície (trincas, afundamentos na trilha de roda e remendos) e irregularidade longitudinal. De acordo com Zanchetta (2017) na avaliação objetiva são considerados os defeitos mais importantes para a deterioração do pavimento, aos quais são atribuídos fatores de ponderação, registrando-se a extensão e a severidade de cada defeito. A extensão e a severidade de cada defeito são divididas em três níveis (baixa, média ou alta).

Segundo o DNIT (2011), o parâmetro mais relevante no desempenho funcional de um pavimento é a irregularidade longitudinal, a qual é conceituada

como o conjunto de desvios da superfície viária em relação a um plano de referência. Os desvios da superfície viária afetam a qualidade do rolamento, a dinâmica dos veículos e a ação dinâmica das cargas sobre a via.

A irregularidade é um fenômeno que pode decorrer de imperfeições no processo construtivo da via, assim como pode ser resultado de sua degradação, em função da ação do tráfego, do clima e de outros fatores, não sendo interpretada como um defeito de superfície, mas como um parâmetro que representa os efeitos que o conjunto de defeitos de um pavimento provoca (DNIT, 2011).

O procedimento mais adequado para quantificação dos defeitos de superfície segundo o DNIT (2011), tanto em nível gerencial quanto de projeto, é o Levantamento Visual Contínuo – LVC. Este inventário visual da superfície do pavimento deve registrar os tipos de defeitos da pista de rolamento estabelecidos na norma DNIT 006/2003 PRO.

O Índice de Condição do Pavimento - ICP ou *Pavement Condition Index - PCI* é um indicador numérico que classifica a superfície condição do pavimento. O ICP fornece uma medida da condição atual do pavimento com base nos defeitos observados na superfície do pavimento, o que também indica a integridade estrutural e a condição operacional da superfície (rugosidade e segurança localizadas) (ASTM, 2008). O monitoramento contínuo do ICP é utilizado para estabelecer a taxa de deterioração do pavimento, o que permite a identificação de necessidade de reabilitação.

Os defeitos considerados no ICP são: couro de jacaré, exsudação, fissuras em bloco, elevações/recalques, corrugação, afundamento localizado, fissuras de borda, fissuras por reflexão de juntas, desnível pavimento/acostamento, fissuras longitudinal e transversal, remendos, agregado polido, painéis, cruzamento ferroviário, afundamento de trilha de roda, escorregamento de massa, fissuras devido ao escorregamento de massa, inchamento e desgaste. O ICP relaciona o tipo de defeito, severidade e extensão, e resulta em uma escala de 0 (para pavimentos em péssimas condições) a 100 (para pavimentos em excelentes condições) representada na Figura 2.

Figura 2 - Escala do Índice de Condição do Pavimento - ICP

ICP	Condição
100	Excelente
85	Muito bom
70	Bom
55	Regular
40	Ruim
25	Muito ruim
10	Péssimo
0	

Fonte: ASTM (2008)

O desempenho estrutural dos pavimentos pode ser medido através de ensaios destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos são caracterizados pela coleta de amostras da estrutura do pavimento para análise das camadas constituintes. Já os ensaios não destrutivos tem como objetivo analisar o comportamento do pavimento quando este é submetido à um carregamento.

Segundo o DNIT (2011) os equipamentos utilizados em avaliações não destrutivas podem ser divididos em três categorias:

- Carregamento quase-estático – ensaio de placa de viga Benkelman;
- carregamento vibratório – *dynaflect*;
- carregamento por impacto – *falling weight deflectometer (FWD)*.

A condição operacional é analisada através de vários aspectos do pavimento, da sinalização, da demanda do usuário e do comportamento humano (DNIT, 2011). Podem ser citados como exemplo o atrito pneu-pavimento, hidroplanagem e avaliação da frota circulante.

2.2.2 Modelos de desempenho

Modelos de desempenho são ferramentas utilizadas para previsão da condição de uma seção de pavimento no tempo futuro, vitais para o planejamento de atividades de manutenção e reabilitação, para a estimativa de recursos necessários para a preservação do pavimento, para a análise das consequências de

determinada condição do pavimento sob diferentes cenários orçamentários e para a análise econômica dos custos que ocorrem durante o ciclo de vida do pavimento. Em resumo, sem modelos de previsão de desempenho não há gerência de pavimentos (HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI, 1994).

Os modelos de desempenho podem ser agrupados em quatro classes, conforme a classificação proposta por Haas, Hudson e Zaniewski (1994):

a) puramente mecanísticos: modelos baseados em parâmetros de respostas estruturais, tais como: tensão, deformação ou deflexão do pavimento;

b) empírico-mecanísticos: que utilizam respostas estruturais dos pavimentos (tensões, deformações e deflexões), mas que são relacionadas com a deterioração funcional ou estrutural através de equações de regressão;

c) empíricos ou de regressão: modelos em que as variáveis dependentes, relativas à deterioração funcional ou estrutural, são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como suporte do subleito, solicitações do tráfego, propriedades e espessuras das camadas do pavimento, fatores ambientais e suas interações;

d) subjetivo: modelos em que a experiência de engenheiros é formalizada através de processos de transição, como, por exemplo, o processo de Markov, que permite a obtenção de modelos de desempenho mesmo sem série histórica de dados.

Segundo Nascimento (2005) os modelos de desempenho devem reproduzir as condições locais, uma vez que cada região apresenta características distintas de tráfego, clima, capacidade de suporte do subleito, tipo de materiais empregados na construção, além de diferentes técnicas e controles construtivos.

Queiroz (1981) desenvolveu modelos de previsão de desempenho a partir de dados de campo obtidos de trechos da rede rodoviária dos Estados de Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais e São Paulo. Foram consideradas como variáveis dependentes para o desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho empíricos e mecanísticos: irregularidade longitudinal, trincamento e pequenos remendos e profundidade das trilhas de roda.

Os modelos empíricos ou de regressão desenvolvidos por Queiroz (1981), relacionam as variáveis dependentes (irregularidade longitudinal, trincas, deflexões), que caracterizam a deterioração estrutural ou funcional do pavimento, com uma ou mais variáveis independentes como o tráfego, estrutura do pavimento, idade e

condições climáticas. Os modelos de previsão da irregularidade longitudinal para pavimentos flexíveis foram desenvolvidos em função da idade do pavimento e do número equivalente de solicitações do eixo padrão, bem como do número estrutural corrigido e ou de medida de deflexão pela viga Benkelman.

Já os modelos empírico-mecanísticos de Queiroz (1981) para previsão da irregularidade longitudinal e do trincamento, correlacionam efeitos estruturais da caracterização das propriedades dos materiais do pavimento supondo um comportamento elástico linear, análises de estruturas de pavimento (cálculo de tensões, deformações específicas e deflexões) e comparam as respostas empírico-mecanísticas com as observações de campo.

Karan, Christison e Berdahl (1983) desenvolveram um modelo de deterioração através de regressão linear com dados históricos de mais de 25 anos de observação na Província de Alberta no Canadá. Para o modelo foram considerados vários fatores (irregularidade longitudinal, defeitos de superfície, tráfego etc.), mas somente a idade do pavimento e a vida remanescente tiveram efeito significativo sobre o Índice de Conforto ao Rolamento (ICR), variável dependente adotada na análise de regressão.

Marcon (1996) estabeleceu modelos de previsão com base nos dados levantados em 1990 da rede rodoviária do Estado de Santa Catarina (extensão de 2.500km). A análise das tendências de desempenho e as comparações com modelos existentes foram efetuadas através de gráficos relacionando a idade ou o número equivalente de solicitações do eixo padrão de 80 kN, calculado pelo método da AASHTO, às variáveis quociente de irregularidade, deflexões máximas médias, índice de gravidade global trincamento total e profundidade média das trilhas de roda.

Yshiba (2003) desenvolveu modelos estatísticos que representam os efeitos dos fatores idade, tráfego e número estrutural sobre o desempenho de pavimentos, quantificados tanto em termos de irregularidade longitudinal, como em termos estruturais (deflexão). Para o desenvolvimento dos modelos foram utilizados dados históricos de avaliações da condição da malha rodoviária do Estado do Paraná, realizadas em 1995 e 1998. As seções inventariadas foram agrupadas em uma matriz fatorial, com o objetivo de identificar os fatores e interações que possuam efeito significativo sobre os parâmetros de desempenho dos pavimentos. O

estabelecimento das equações de regressão se deu através de análise de variância (ANOVA).

Na norma rodoviária DNER-PRO 011/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis estão estabelecidos os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes, apontando as causas de suas deficiências e fornecendo elementos para o cálculo da vida restante ou do reforço necessário para um novo número de solicitações de eixos equivalente ao eixo padrão durante o período considerado.

O modelo de desempenho do DNER-PRO 011/79 leva em consideração as medidas de deflexão de projeto e medidas de deflexão admissíveis do pavimento. A deflexão corrigida ou deflexão de projeto (D_p) é calculada pela equação 1. Os valores do fator de correção sazonal são obtidos através da Tabela 1.

$$D_p = D_c \times F_s \quad (1)$$

Onde:

D_p = deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto, em 0,01mm;

D_c = deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico;

F_s = fator de correção sazonal.

Tabela 1 - Fator de correção sazonal

Natureza do subleito	Fator de correção sazonal - F_s	
	Estação seca	Estação chuvosa
Arenoso e permeável	1,10 – 1,30	1,00
Argiloso e sensível à umidade	1,20 – 1,40	1,00

Fonte: DNER (1979)

Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor (D_{adm}), denominado deflexão admissível. O valor da deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N de solicitações do eixo padrão. Para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível em 0,01mm é dado pela equação 2.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (2)$$

Quando a deflexão de projeto de um determinado pavimento está abaixo da deflexão admissível, para um determinado valor de N correspondente ao tráfego já suportado pelo pavimento existente, sendo o raio de curvatura $R \geq 100$ m, este fato indica que o pavimento em estudo ainda não atingiu a fase de fadiga e possui, portanto, um período de vida restante (DNER, 1979). O raio de curvatura pode ser calculado através da equação 3.

$$R = \frac{6250}{2(D_o - D_{25})} \quad (3)$$

Onde:

R = raio de curvatura em metros;

D_o = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

D_{25} = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimos de milímetro.

O tempo de vida restante pode ser estimado determinando-se a que valor de N corresponde a deflexão de projeto (D_p), conhecendo-se o número de solicitações correspondentes às cargas por eixos suportadas pelo pavimento desde a sua abertura ao tráfego até a data de avaliação (N_s) e o número de solicitações indicadas no Gráfico de Deflexões Admissíveis em correspondente à deflexão característica de projeto chamado N_t . O cálculo do tempo de vida restante do pavimento está representado na equação 4.

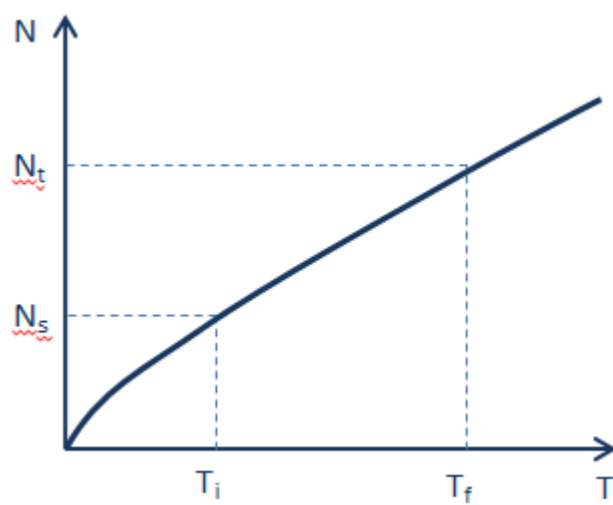
$$N_r = N_t - N_s \quad (4)$$

Onde:

N_r = número de solicitações correspondentes às cargas por eixo a serem suportadas pelo pavimento desde a data da avaliação até o final do período de vida restante do pavimento.

Conhecendo-se a curva de variação do número N acumulado, em função do tempo de exposição do pavimento ao tráfego, é possível estimar o tempo de vida restante deste pavimento (DNER, 1979). Para isto basta determinar na curva (tempo de exposição ao tráfego x N) os tempos T_i , correspondentes a N_s , e o tempo T_f , correspondente a N_t , ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Curva tempo de exposição ao tráfego x N



Fonte: adaptado de DNER (1979)

3 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

A redução progressiva da qualidade inicial do pavimento começa a ocorrer logo após a sua construção, quando sofre a ação de agentes atmosféricos e mais tarde com as solicitações do tráfego. São vários os fatores que contribuem e interferem diretamente na degradação de um pavimento. Segundo Lima (2007), o domínio da conservação da qualidade dos pavimentos passará a constituir a atividade mais importante, tendo em conta a relação entre o estado da rede e a qualidade do serviço oferecido ao usuário.

Para Shoji (2000), o principal desafio enfrentado pela maioria das prefeituras municipais brasileiras está relacionado ao volume de recursos financeiros disponíveis que, na maioria das vezes, são insuficientes para manter a rede pavimentada em condições acima do nível mínimo de aceitação pelos seus usuários. Ainda, sabe-se que, em geral, as decisões com relação à manutenção dos pavimentos são tomadas conforme a necessidade de serviço produzido, não sendo adotado nenhum critério técnico que considere a qualidade dos mesmos. Desta forma, segundo essa política de “fazer mais”, os pavimentos têm sido subdimensionados e, conseqüentemente, não vêm suportando o aumento do volume de tráfego, resultando em pavimentos inaceitáveis.

Atualmente, acontece a adaptação de procedimentos de avaliação e identificação de técnicas de manutenção recomendados por órgãos rodoviários como os DERs (Departamentos de Estradas e Rodagem Estaduais) e DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), para situações que acontecem no âmbito municipal (SCARANTO e GONÇALVES, 2008). Balbo (1997) ressalta a importância da utilização da elaboração de projetos de manutenção compatíveis com a situação urbana e que permitam encaminhar soluções adequadas às necessidades estruturais do pavimento.

Segundo Baria (2015), o objetivo da manutenção e da gestão da manutenção é o de maximizar a disponibilidade de um dado sistema com custos mínimos, reduzindo a probabilidade de um equipamento ou sistema apresentar falha. A gestão da manutenção pode, a partir de uma visão holística, ser descrita como a gestão dos recursos de manutenção disponíveis, ou seja, recursos humanos, financeiros, materiais, e informações, para garantir uma saída desejada em termos de alta

integridade dos ativos. A gestão também inclui o gerenciamento de entradas inesperadas, bem como saídas indesejáveis.

Para Lamptey, Labi e Li (2008), a manutenção preventiva é cada vez mais adotada por agências rodoviárias. Esta prática baseia-se na premissa de que uma estrada ativa não deve ser deixada deteriorar até o ponto de ser feita uma reabilitação, é necessário e benéfico que sejam aplicadas manutenções preventivas durante este período. No momento atual, o planejamento de manutenção preventiva e o apoio à decisão são questões críticas, pois as agências têm de lidar com limitações de financiamento, maiores cargas de tráfego, maior expectativa pela qualidade das vias e o envelhecimento da infraestrutura.

Na atualidade, as agências rodoviárias estão se movendo cada vez mais para o uso de conceitos de ciclo de vida no planejamento e no orçamento de seus investimentos em pavimentos, e também estão lidando com a integração de programas de manutenção nos seus sistemas de gestão de pavimentos. Consistente com essas questões é a manutenção preventiva, que envolve a aplicação de manutenção antes do início da deterioração significativa. A manutenção preventiva, que merece ganhar atenção entre os gestores de pavimentos, aumenta potencialmente o desempenho do pavimento, a vida de serviço e se mostra muito promissora na redução dos custos da infraestrutura rodoviária ao longo do tempo (LABI e SINHA, 2005).

3.1 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

A manutenção de pavimentos consiste em um conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia do pavimento e a adaptar a rodovia às condições de tráfego atual e futuro, prolongando seu período de vida (DER/SP, 2006a).

Fernandes, Oda e Zerbini (1999) dividem as estratégias de intervenção em ações de manutenção corretiva, manutenção preventiva, ação postergada, reforço e reconstrução:

- a) Manutenção Corretiva: remendos superficiais, reparos localizados, impermeabilização de trincas e outras ações de baixo custo unitário;
- b) Manutenção preventiva: atividades de manutenção corretiva, rejuvenescimento da capa asfáltica e recapeamentos delgados;
- c) Ação postergada: apenas a execução de remendos inadiáveis;

d) Reforço: atividades de manutenção de rotina e preventiva, recapeamento estrutural e reciclagem;

e) Reconstrução: remoção e substituição de toda a estrutura do pavimento, melhoria ou instalação de drenagem e melhoramento de traçado, de segurança e de capacidade de tráfego.

3.1.1 Remendos

A execução de remendos é necessária para reparar certos tipos de defeitos em revestimentos asfálticos. Os remendos são geralmente realizados por meio da colocação ou preenchimento com misturas betuminosa à quente ou à frio, em buracos produzidos naturalmente pela deterioração ou em escavações preparadas antecipadamente pelos trabalhadores. O remendo é complementado pela compactação apropriada, selagem dos bordos e limpeza (DNIT, 2006b).

3.1.2 Reparo de panelas

Segundo o DNIT (2006b), os buracos ou panelas são rupturas estruturais localizadas, que iniciam-se numa região que está mais enfraquecida do que o seu entorno. Os buracos que ocorrem nos pavimentos de concreto asfáltico representam a restauração pontual do pavimento e afetam diretamente a segurança do tráfego. Não sendo reparados, rapidamente conduzirão à ruína dos trechos adjacentes, vindo a comprometer ainda mais seriamente a rodovia.

3.1.3 Reparo de trincamento de fadiga

Os pavimentos flexíveis podem desenvolver trincas de fadiga ou couro de jacaré quando são estruturalmente inadequados para as cargas de tráfego que estão sujeitos. Estes pavimentos requerem melhoria estrutural, frequentemente através de camadas asfálticas adicionais (reforço ou recapeamento espesso). Entretanto, se as áreas mais defeituosas não foram apropriadamente reparadas, o recapeamento pode deteriorar-se mais rapidamente nos locais com trincas de fadiga. A correção prévia destes locais pode ser chamada de “reconstrução localizada” (DNIT, 2006b).

3.1.4 Reperfilagem

A reperfilagem ou reparos localizados consiste na aplicação de uma fina camada de mistura e/ou remendos localizados (em áreas mais irregulares), que não requerem preparos prévios no pavimento. Pode ser aplicada para corrigir as deformações e melhorar o conforto ao rolamento. Quando for executado um recapeamento e que deve ser apropriadamente compactado, as áreas com deformações devem ser reparadas e/ou niveladas par que o equipamento de compactação aplique um esforço de compactação uniforme em toda a largura do pavimento (DNIT, 2006b).

3.1.5 Selagem de trincas

Conforme especificações do DNIT (2006b), a selagem de trincas consiste no enchimento de trincas e fissuras do revestimento com materiais como cimentos asfálticos, asfaltos diluídos, emulsões ou selantes especiais, para impedir a penetração de água nas camadas inferiores. A selagem de trincas em pavimentos flexíveis é uma atividade de conservação rotineira que é executada pela maioria dos órgãos rodoviários. Em muitos casos, a vida útil dos pavimentos flexíveis pode ser estendida pela selagem adequada das trincas que surgem no pavimento.

3.1.6 Capa selante

Segundo o DNIT (2006b), a capa selante é um serviço executado por penetração invertida, envolvendo uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado miúdo. Sua execução tem por finalidade principal o incremento das condições de impermeabilização da camada a ser tratada. A capa selante influencia a macrotextura dos revestimentos, melhorando as condições de segurança. É aplicada sobre tratamentos superficiais, macadames asfálticos, pré-misturados de textura aberta e misturas densas desgastadas pela ação do tráfego e das intempéries.

As capas selantes podem ser do tipo:

- Selo asfáltico impermeabilizante (“fog seal”): leve aplicação de emulsão asfáltica de cura lenta, diluída em água e sem agregado mineral, usada para rejuvenescer revestimentos asfálticos oxidados e para selar trincas com pequena abertura e vazios superficiais (FERNANDES JR., ODA e Zerbini, 1999);

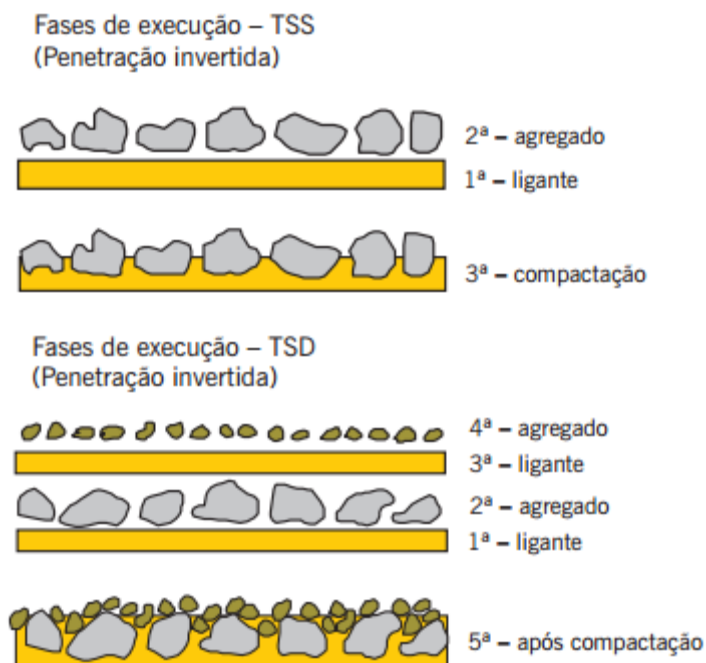
- Lama asfáltica: conforme o DNIT (2006b) “a lama asfáltica é a mistura asfáltica resultante da associação, em consistência fluida, de agregados ou mistura de agregados miúdos, material de enchimento (“filler”), água e emulsão asfáltica”. Segundo Bernucci *et al.* (2006):

A lama asfáltica tem sua aplicação principal em manutenção de pavimentos, especialmente nos revestimentos com desgaste superficial e pequeno grau de trincamento, sendo nesse caso um elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento. Aplica-se especialmente em ruas e vias secundárias. Eventualmente ainda é usada em granulometria mais grossa para repor a condição de atrito superficial e resistência à aquaplanagem. Outro uso é como capa selante aplicada sobre tratamentos superficiais envelhecidos. No entanto, não corrige irregularidades acentuadas nem aumenta a capacidade estrutural, embora a impermeabilização da superfície possa promover em algumas situações a diminuição das deflexões devido ao impedimento ou redução de penetração de água nas camadas subjacentes ao revestimento (BERNUCCI *et al.*, 2006, p. 185).

- Tratamento Superficial: segundo o DER/SP (2006b), “tratamento superficial é a camada de revestimento do pavimento constituída por uma ou mais aplicações de ligante asfáltico, modificado ou não por polímero e uma ou mais aplicações sucessivas e alternadas de agregado mineral”. Consiste na aplicação do ligante asfáltico sobre a base, seguida de distribuição de agregado, e sua compactação. Devido à sua pequena espessura, o tratamento superficial não aumenta substancialmente a resistência estrutural do pavimento e não corrige irregularidades (longitudinais ou transversais) da pista caso seja aplicado em superfície com esses defeitos (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com o número de camadas sucessivas de ligantes e agregados, podem ser: tratamento superficial simples ou simplesmente TSS, que é o tratamento superficial constituído por apenas uma aplicação de ligante asfáltico e uma aplicação de agregado mineral; tratamento superficial duplo ou TSD que é o tratamento superficial formado por duas aplicações de ligante asfáltico e duas aplicações de agregado mineral, sucessivas e alternadas; e tratamento superficial triplo ou TST é o tratamento superficial onde há aplicação de três camadas de ligante asfáltico e três aplicações de agregado mineral, sucessivas e alternadas (DER/SP, 2006b). A Figura 4 ilustra esquematicamente a execução dos revestimentos.

Figura 4 - Esquema de tratamentos superficiais



Fonte: Bernucci *et al.* (2006)

3.1.7 Camada porosa de atrito

Uma camada porosa de atrito consiste em uma mistura asfáltica a quente ou a frio que é caracterizada por um grande percentual de agregados de mesmo tamanho, o que garante um elevado teor de vazios na mistura (15% a 25%). Sua principal vantagem é prover uma superfície mais aderente, que minimiza a hidroplanagem. Embora o emprego desta técnica conduza a excelentes resultados sob o ponto de vista de aderência e da redução da película de água superficial, normalmente quando projetada a partir de ligantes convencionais, estas camadas apresentam envelhecimento e deterioração por abrasão, maior do que as misturas densas (DNIT, 2006b).

3.1.8 Micro revestimento asfáltico

Esta é uma técnica que pode ser considerada uma evolução das lamas asfálticas, pois usa o mesmo princípio e concepção, porém utiliza emulsões modificadas como polímero para aumentar a sua vida útil. O micro revestimento é uma mistura a frio processada em usina móvel especial, de agregados minerais, fíler, água e emulsão com polímero, e eventualmente adição de fibras (ABNT, 2003).

Para Bernucci *et al.* (2006) há vantagens em se aplicar o micro revestimento com emulsão asfáltica de ruptura controlada modificada por polímero. A emulsão é preparada de tal forma que permita sua mistura aos agregados como se fosse lenta e em seguida sua ruptura torna-se rápida para permitir a liberação do tráfego em pouco tempo, por exemplo, duas horas. É utilizado em recuperação funcional de pavimentos deteriorados, capa selante, revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego e em camada intermediária anti-reflexão de trincas em projetos de reforço estrutural.

3.1.9 Reconstrução

A reconstrução é necessária quando o pavimento não é reabilitado a tempo e começa a deteriorar-se rapidamente. A estrutura pode ser reconstruída tanto com materiais novos quanto com materiais reciclados.

3.2 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Segundo Fernandes Jr., Oda e Zerbini (1999) existem diferenças entre as atividades de manutenção e as atividades de reabilitação de pavimentos, a manutenção tem por objetivo preservar ou manter o período de projeto do pavimento, aumentando pouco o nível de serventia, mas evitando a deterioração precoce, enquanto a reabilitação tem o propósito de prolongar a vida em serviço do pavimento, elevando o nível de serventia próximo ao valor máximo e criando condições para um novo ciclo de deterioração.

O Quadro 1 apresenta um resumo das causas dos defeitos encontrados nos pavimentos e as principais atividades de manutenção e reabilitação recomendadas.

Quadro 1 - Resumo das causas dos defeitos e principais atividades de M&R

Defeito	Causas dos defeitos	Atividades de M&R
Trincas por fadiga do revestimento	Problema estrutural (espessuras inadequadas); Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas.	Manutenção: remendos (reparo permanente, no caso de problemas localizados) ou tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários); Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural, no caso de áreas extensas);

Quadro 1 - Resumo das causas dos defeitos e principais atividades de M&R (continuação)

Defeito	Causas dos defeitos	Atividades de M&R
Trincas por fadiga do revestimento		Reconstrução: novos materiais ou reciclados. OBS: geralmente associadas à saturação do subleito, sub-base ou base, as trincas por fadiga podem exigir a remoção do material saturado e a instalação de drenagem.
Trincas em bloco	Contração de origem térmica (revestimento formado por misturas asfálticas com agregados finos e alto teor de asfalto com baixa penetração) ou de variação do teor de umidade (camadas inferiores), ou ainda em razão do envelhecimento (perda de elasticidade do revestimento causada por oxidação em virtude de tempo de mistura muito longo, temperatura de mistura elevada ou período de armazenamento muito longo); Contração de bases tratadas com cimento ou utilização de solos tropicais.	Manutenção: aplicação de selante (emulsão asfáltica seguida por tratamento superficial, lama asfáltica ou recapeamento delgado); Reabilitação: reciclagem ou recapeamento (nos estágios avançados).
Trincas nos bordos	Compactação insuficiente; Drenagem deficiente.	Selante para evitar a entrada de água e consequentemente enfraquecimento estrutural.
Trincas longitudinais	Má execução de juntas longitudinais de separação entre duas faixas de tráfego (menor densidade e menor resistência à tração); Contração do revestimento.	Manutenção: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas; trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas e receber aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia sobre o selante; Reabilitação: trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso

Quadro 1 - Resumo das causas dos defeitos e principais atividades de M&R (continuação)

Defeito	Causas dos defeitos	Atividades de M&R
Trincas longitudinais		de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina.
Trincas por reflexão	Movimentação de placas rígidas subjacentes (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos).	Manutenção: remendos e tratamento superficial ou lama asfáltica (reparos temporários); Reabilitação: recapeamento.
Trincas transversais	Contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas.	Selante para evitar entrada de água e consequente enfraquecimento estrutural.
Panelas	Falha estrutural (revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores); Segregação da mistura (falta de ligante asfáltico em pontos localizados); Problema construtivo (drenagem inadequada).	Manutenção: remendos (reparo permanente); Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural) após a execução dos remendos; OBS: as atividades de M&R devem, sempre, serem precedidas de instalação de drenagem.
Deformação permanente	Dimensionamento inadequado; Dosagem da mistura; Compactação inadequada e posterior consolidação pelas cargas do tráfego; Cisalhamento causado por enfraquecimento em razão de infiltração de água.	Reabilitação: reciclagem, recapeamento delgado ou recapeamento espesso. Reconstrução: novos materiais ou reciclados.
Corrugação	Falha estrutural; Dosagem da mistura; Problema construtivo.	Manutenção: remendos; Reabilitação: reciclagem; recapeamento delgado ou recapeamento espesso; Reconstrução: novos materiais ou reciclados.
Exsudação	Excesso de ligante betuminoso; Baixo índice de vazios da mistura asfáltica; Compactação pelo tráfego.	Manutenção: tratamento superficial ou aplicação de areia quente, que deve ser imediatamente compactada e varrida após o resfriamento;

Quadro 1 - Resumo das causas dos defeitos e principais atividades de M&R (continuação)

Defeito	Causas dos defeitos	Atividades de M&R
Exsudação		Reabilitação: reciclagem.
Agregados polidos	Ação abrasiva do tráfego, que elimina as asperezas e angularidade das partículas; Seleção dos materiais.	Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica; Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado; Reconstrução: novos materiais ou reciclados.
Desgaste	Dosagem da mistura (falta de ligante); Problema construtivo (superaquecimento da mistura; falta de compactação; que resulta em envelhecimento precoce; agregados sujos, úmidos ou com pequena resistência à abrasão; segregação: com a ausência de agregados miúdos, há apenas poucos pontos de ligante entre partículas da matriz de agregados graúdos, facilitando a oxidação); Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão; Abertura ao tráfego antes de o ligante aderir ao agregado; Execução sob condições meteorológicas desfavoráveis.	Manutenção: capa selante (reparo temporário), tratamento superficial ou lama asfáltica; Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado.
Desnível (degrau) entre pista e acostamento	Erosão do acostamento; Consolidação do acostamento.	Recomposição do acostamento.
Bombeamento	Existência de água nos vazios sob o revestimento; Pressão exercida pelas cargas do tráfego.	Drenagem.

Fonte: Fernandes Jr; Oda e Zerbini (1999)

Os trabalhos desenvolvidos por Fernandes Jr., Oda e Zerbini (1999), Oliveira (2013), Zanchetta (2017) e Lopes, Eller e Fernandes Jr (2017), sugerem a tomada

de decisão das estratégias de manutenção e reabilitação a partir de árvores de decisão que tem como dados de entrada o ICP, idade do pavimento e volume diário médio – VDM.

As árvores de decisão são ferramentas que representam graficamente as alternativas disponíveis geradas a partir de uma decisão inicial. A árvore de decisão colabora com o gestor, para que este adote a solução adequada para a manutenção e reabilitação do pavimento em cada trecho da via (OLIVEIRA, 2013).

4 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA

A aplicação de princípios econômicos ao projeto de transportes, incluindo pavimentos rodoviários, ocorre basicamente a dois níveis: no primeiro nível, encontram-se as decisões da gestão requeridas para determinar a possibilidade e a viabilidade de uma alternativa; no segundo nível, escolhe-se economicamente a melhor alternativa para o projeto. A maior diferença na avaliação econômica entre estes dois níveis de gestão de pavimentos consiste na importância do detalhe ou na informação requerida.

O objetivo da avaliação econômica de pavimentos é o de apoiar a tomada de decisão quanto à escolha das alternativas de construção, e conservação, mais rentáveis, quanto ao custo e benefício, face às determinadas condições técnicas e econômicas.

Segundo Walls e Smith (1998), a análise do custo do ciclo de vida (*Life Cycle Costs Analysis – LCCA*) é uma ferramenta de análise econômica de engenharia útil para comparar as alternativas e implementação de diferentes projetos com um mesmo objetivo final. Considerando todos os custos, agência e usuário, incorridos durante a vida útil de um pavimento, este processo analítico ajuda os gestores a selecionar a opção de menor custo.

A análise do custo do ciclo de vida é uma técnica de avaliação aplicável para a consideração de certas decisões de investimento em infraestrutura de transportes. Especificamente, quando tiver sido decidido que um projeto será implementado, a LCCA ajudará a determinar a melhor maneira - a mais barata - de realizar o projeto. A abordagem LCCA permite a comparação de custo total de diferentes alternativas de projeto, contabilizando todos os custos relevantes que ocorrem ao longo da vida de uma alternativa, não apenas os custos iniciais (FHWA, 2002).

Conforme Santos (2011), a técnica da análise do custo do ciclo de vida consiste basicamente na determinação dos custos ao longo do ciclo de vida de um pavimento, sendo determinados 3 custos principais: custos de implantação, custos de manutenção e reabilitação e custos dos usuários.

O modelo LCCA avalia os valores monetários de processos e fluxos associados a um produto ou sistema. Por exemplo, modelos LCCA avaliam apenas os custos internos, tais como custos de construção e custos de manutenção, isto também pode ter em conta os custos sociais, também chamados de custos dos

usuários, tais como os custos de utilização que são incorridos por motoristas que são atrasados ou tráfego relacionado com a construção ou incluindo custos de danos ambientais associados a eventos de construção (ZHANG; KEOLEIAN e LEPECH, 2008).

Ao selecionar uma determinada estrutura de pavimento, é importante entender o desempenho esperado deste pavimento e os custos para todo o seu ciclo de vida. Os custos e o valor global devem ser determinados durante muitos anos para considerar efetivamente as diferentes opções em termos de tipo de pavimento, durabilidade e futura reabilitação. Em um LCCA típico, duas ou mais alternativas de estrutura de pavimento, estão disponíveis para um projeto de pavimento inicial. Com base nos projetos iniciais do pavimento, a manutenção e reabilitação esperadas durante a vida de projeto são então determinados e incorporados em um único custo, ajustado pela inflação, para comparar as diferentes opções de forma justa e consistente (HOLT; SULLIVAN e HEIN, 2011).

Para Sgavioli *et al.* (2015), o LCCA constitui um somatório de estimativas de custo, desde a concepção até a perda de serventia do pavimento, por meio de um estudo analítico e de uma estimativa do total de custos envolvidos durante a vida da estrutura analisada. O objetivo de uma análise de LCCA é escolher a melhor aproximação de uma série de alternativas para que o menor custo de longo prazo seja atingido.

Santos e Ferreira (2013), afirmam que a minimização do custo do ciclo de vida do pavimento melhorará a sustentabilidade das rodovias do país através da entrega de pavimentos que duram mais tempo e reduzem os custos dos usuários que de algum modo podem ser prejudicados quando uma rodovia se encontra em más condições de trafegabilidade. Os autores propuseram algoritmos para a escolha de pavimentos com base no custo do ciclo de vida invés dos custos iniciais mais baixos.

Em resumo, o processo do LCCA começa com o desenvolvimento de alternativas para atingir os objetivos estruturais e de desempenho de um projeto. O analista então define o cronograma de atividades iniciais e futuras envolvidas na implementação de cada alternativa de projeto e em seguida, os custos dessas atividades são estimados. As melhores práticas de LCCA exigem incluir não apenas despesas diretas da agência (por exemplo, atividades de construção ou manutenção), mas também os custos para os usuários.

FHWA (2002) diz que é importante ressaltar que a opção de menor valor no LCCA pode não ser necessariamente implementada quando outras considerações, como risco, orçamentos disponíveis e preocupações políticas e ambientais são levadas em consideração. LCCA fornece informações críticas para o processo geral de tomada de decisão, mas não a resposta final.

4.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Os custos de implantação referem-se ao investimento inicial com a implantação do pavimento novo. Na análise de estratégias alternativas de conservação de pavimentos, em princípio, não é necessário considerar esta componente de custos. Envolve os custos de projeto e todos a este relacionados, incluindo custos de obtenção de dados, tais como os referentes à caracterização do tráfego atual e futuro. (SANTOS, 2011).

4.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Os custos de manutenção e reabilitação referem-se a todas as ações implementadas ao longo da vida do pavimento, com o objetivo de manter o pavimento acima de um determinado nível de qualidade, ou manter a qualidade do pavimento com um determinado nível limite de degradação.

Segundo Babashamsi *et al.* (2016) as estratégias de manutenção preventiva parecem ser muito mais rentáveis em comparação com as estratégias convencionais de manutenção. É difícil determinar os custos de manutenção porque geralmente existe uma ausência de registros de manutenção eficiente e a diferenciação entre as ações de manutenção não pode ser alcançada. Consequentemente, são necessárias ferramentas para ajudar os usuários a definir os efeitos da manutenção. Em comparação com os custos iniciais de construção e reabilitação, o custo de manutenção de um LCCA tem efeito limitado.

4.3 CUSTOS DOS USUÁRIOS

À medida que as agências de transporte são cada vez mais vistas como provedores de mobilidade para o público, o tempo de viagem, os custos dos veículos e os impactos de segurança se tornam mais importantes para as decisões de investimento. Embora os custos dos usuários não sejam suportados diretamente

pela agência, eles afetam os clientes da agência e as percepções dos clientes sobre o desempenho da agência (FHWA, 2002).

A malha viária está envelhecendo e as agências estão concentrando-se na manutenção e reabilitação da infraestrutura existente. Para a execução das atividades de manutenção e reabilitação, muitas vias são parcial ou totalmente interditadas, ocasionando no aumento do tempo de viagem, troca de rota, atraso dos usuários, aumentos dos custos operacionais dos veículos, acidentes. Preocupadas com os usuários, as agências passaram a procurar a estimar os custos de seus usuários.

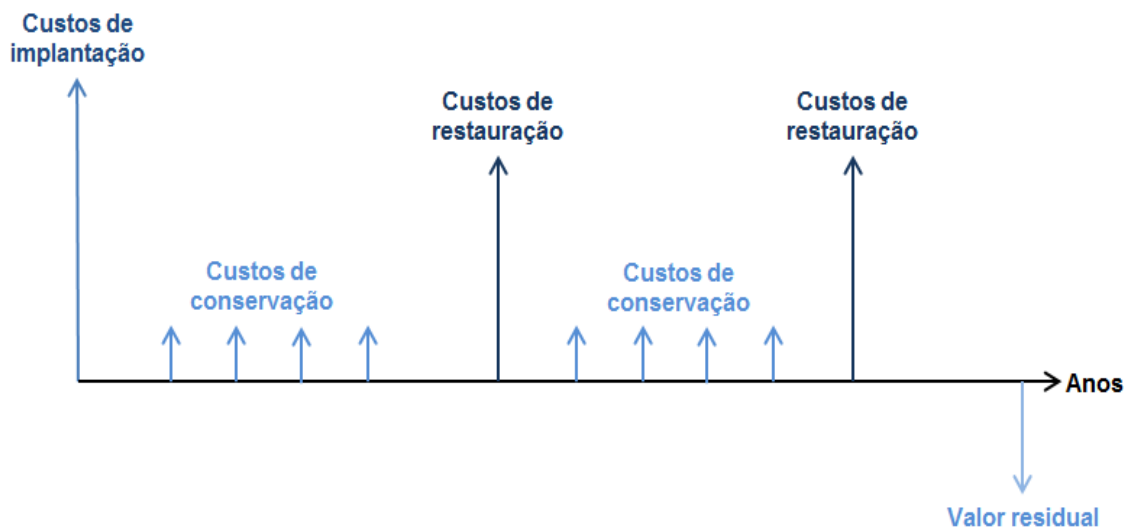
Os custos do usuário são os custos incorridos pelos usuários da rodovia em que viajam. Os custos dos usuários são uma agregação de três componentes de custo separadas: custos operacionais do veículo (COP), custos de atraso do usuário e custos de colisão.

4.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Para entender o LCCA é importante ter conhecimento do conceito do valor do dinheiro no tempo. Uma determinada quantia de dinheiro recebida hoje tem um valor maior do que o mesmo valor recebido em uma data posterior. Uma maneira de entender esse conceito é que os fundos recebidos hoje podem ser investidos e imediatamente começar a gerar juros. O valor do dinheiro no tempo é importante para o LCCA porque os custos incluídos na análise são incorridos em vários pontos ao longo do tempo. A Figura 5 apresenta um diagrama custos onde estão representados todos os custos de investimentos realizados durante a vida do pavimento, incluindo os custos de implantação de um pavimento novo e sua manutenção até o fim da vida útil.

Os métodos mais conhecidos são os do valor presente líquido, valor anual líquido, custo anual, relação custo-benefício e taxa interna de retorno, sendo que todos podem ser considerados derivações do método do valor presente líquido. A FHWA (2002) recomenda a abordagem de valor presente líquido (VPL), mas a abordagem de custo anual uniforme igual (EUAC) também é comumente usada, sendo qualquer um dos métodos adequado como medida do custo do ciclo de vida.

Figura 5 - Diagrama de custos ao longo do tempo



Fonte: a autora (2019)

4.4.1 Valor presente líquido

O método do Valor Presente Líquido é caracterizado pela transferência de todos os benefícios e custos, previstos e estimados para ocorrer ao longo do horizonte de projeto, para o instante presente, descontada a taxa mínima de atratividade (SANTOS, 2011). O valor presente líquido está representado matematicamente na equação 5 e ilustrado na Figura 6.

$$VPL = \text{Custo Inicial} + \sum_{k=1}^N \text{Custos de Manutenção}_k \left[\frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right] \quad (5)$$

Onde:

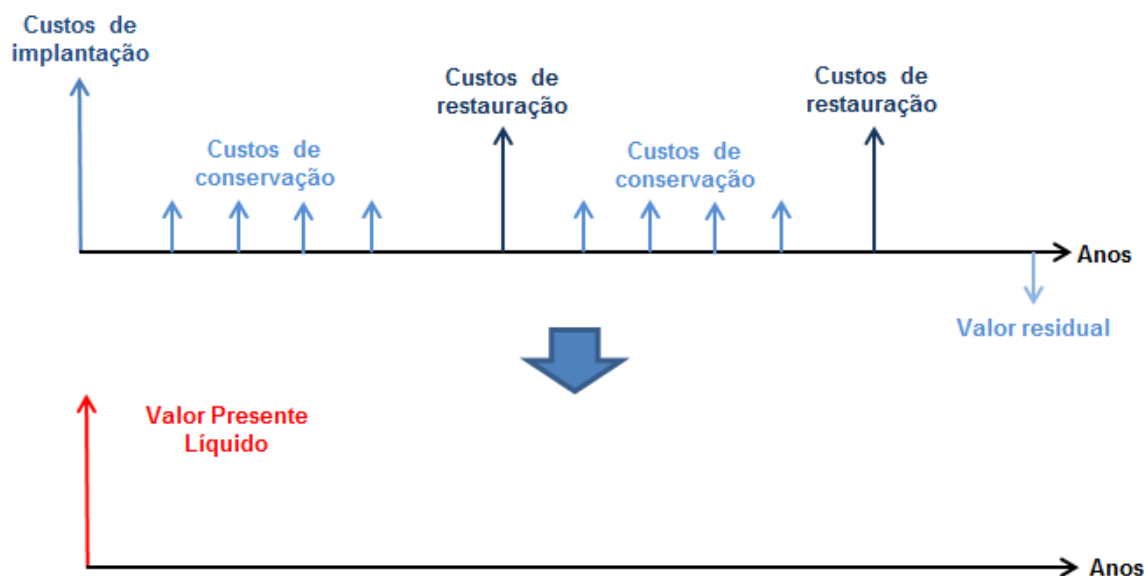
i = taxa de desconto

n = anos de despesas

Na avaliação de um projeto individual, pode-se afirmar que:

- a) se $VPL > 0$, o projeto será viável;
- b) se $VPL = 0$, o projeto será indiferente;
- c) se $VPL < 0$, o projeto será inviável.

Figura 6 - Método do valor presente líquido



Fonte: a autora (2019)

Santos (2011), afirma que quando se efetua a comparação entre alternativas, inicialmente deve ser avaliada a viabilidade de cada alternativa, utilizando as regras de decisão fundamentadas no VPL. Assumindo que mais de uma alternativa inicialmente aceitável permaneça após o cálculo dos valores presentes líquidos individuais, podem ser usadas para selecionar a melhor alternativa entre as demais, as regras de decisão fundamentadas no VPL:

- a) Selecionar a alternativa que maximiza o valor presente líquido; e
- b) se duas ou mais alternativas têm o mesmo VPL, os projetos são igualmente aceitáveis para o analista.

4.4.2 Custo anual uniforme equivalente

Os Custos Anuais Uniformes Equivalentes (EUAC) representam o valor atual líquido de todos os custos descontados de uma alternativa como se eles ocorressem uniformemente durante todo o período de análise (WALLS e SMITH, 1998). O EUAC é um indicador particularmente útil quando os orçamentos são estabelecidos anualmente. Para determinar o EUAC deve-se primeiro determinar o VPL e após aplicar a equação 6. A Figura 7 ilustra o método do custo anual uniforme equivalente.

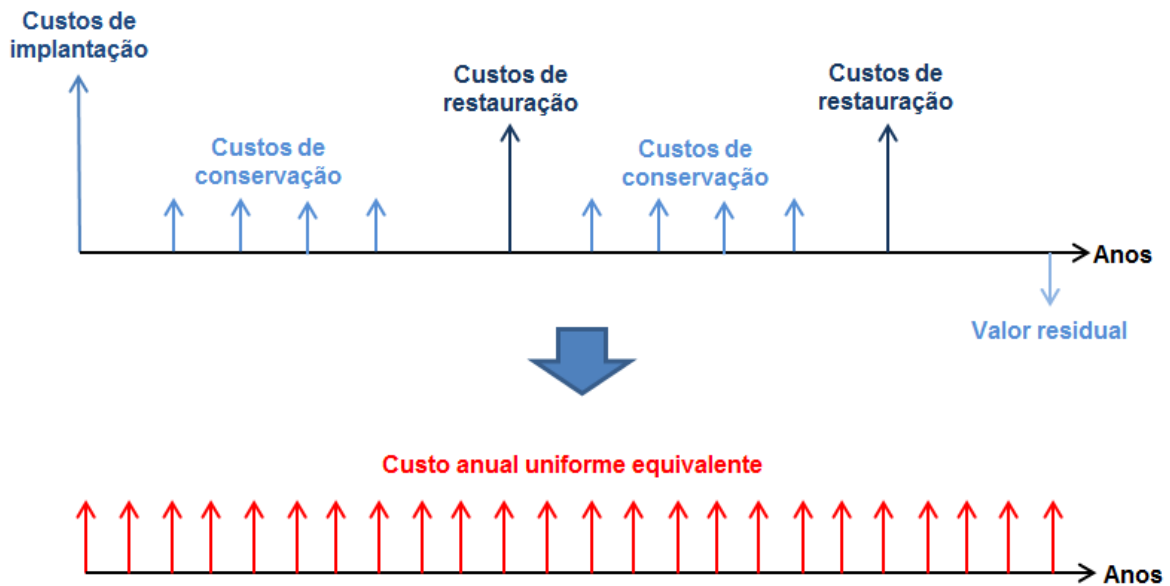
$$EUAC = NPV \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (6)$$

Onde:

i = taxa de desconto

n = número de anos no futuro

Figura 7 - Método do Custo anual uniforme equivalente



Fonte: a autora (2019)

4.4.3 Taxa interna de retorno

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) visa determinar a taxa de juro para a qual módulo do valor presente dos benefícios torna-se igual ao módulo do valor presente dos custos, podendo ser expressa pela equação 7 (SANTOS, 2011).

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_{x,t}}{(1+i_x)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_{x,t}}{(1+i_x)^t} \quad (7)$$

Para Santos (2011) a condição de viabilidade para um projeto, segundo este critério, é que a taxa interna de retorno i_x não seja inferior à taxa mínima de atratividade. O método da taxa interna de retorno não encerra a questão da aceitação ou rejeição de um projeto, uma vez que por si só não fornece os elementos necessários à tomada de decisão, dada a necessidade de se fazer comparação com uma base, que é taxa mínima de atratividade, podendo resultar em

escolha incorretas, principalmente quando da comparação de projetos de diferentes níveis de investimento.

5 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, a análise do custo do ciclo de vida de pavimentos urbanos, para posterior seleção das melhores estratégias de manutenção e reabilitação, foi efetuada a partir do desenvolvimento de um estudo de caso, onde foram avaliados projetos reais de pavimentação.

O estudo de caso foi desenvolvido na cidade de Joinville, no norte do Estado de Santa Catarina, Brasil, a qual está localizada a 180 km de Florianópolis. A localização geográfica de Joinville está representada na Figura 8. Segundo a Prefeitura Municipal de Joinville (2018), a cidade apresenta uma área de 1124,1 km², sendo 210,4 km² de área correspondente ao perímetro urbano, e população estimada de 577.077 habitantes. Joinville é a maior cidade catarinense, responsável por cerca de 20% das exportações catarinenses, é também polo industrial da região Sul, com volume de receitas geradas aos cofres públicos inferior apenas as capitais Porto Alegre (RS) e Curitiba (PR). A cidade concentra grande parte da atividade econômica na indústria com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico.

Figura 8 - Localização da cidade de Joinville



Fonte: Google Earth (2018)

O desenvolvimento do estudo de caso foi dividido em cinco etapas principais, sendo elas:

- Etapa 1: seleção e caracterização das vias urbanas avaliadas;
- Etapa 2: Levantamento das condições funcionais e estruturais dos pavimentos através do Índice de Condição do Pavimento e medidas de deflexão da viga Benkelman.
- Etapa 3: Proposição dos cenários referentes as estratégias de manutenção e/ou reabilitação das vias urbanas com base nos resultados da etapa 2.
- Etapa 4: Estimativa dos custos referentes aos cenários selecionados na etapa 3.
- Etapa 5: Cálculos dos custos do ciclo de vida das vias urbanas avaliadas através da metodologia LCCA. Nesta etapa são analisadas as melhores técnicas de manutenção e reabilitação levando em consideração o menor custo.

A Figura 9 representa as etapas do desenvolvimento do estudo de caso.

Figura 9 - Etapas do trabalho



Fonte: a autora (2019)

5.1 ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS URBANAS AVALIADAS

O sistema viário de Joinville considera três tipos de classificação funcional: vias arteriais, coletoras e locais. Os pavimentos asfálticos das vias escolhidas para o desenvolvimento do estudo de caso são do tipo flexível. Conforme Bernucci *et al.* (2006), os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito (quando necessário), constituídas por

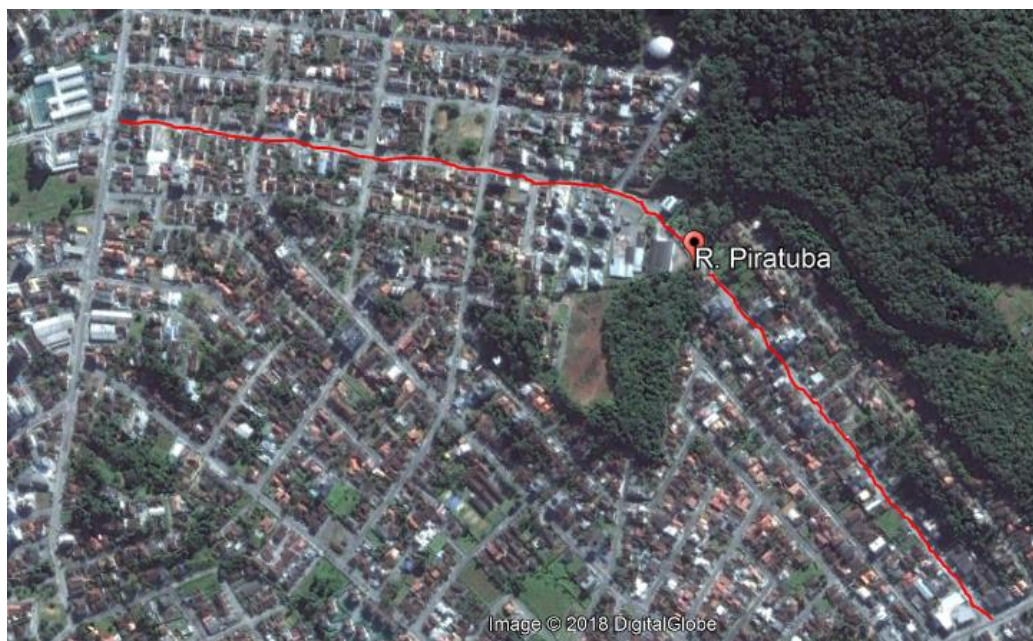
materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das camadas, e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas.

As vias urbanas selecionadas para o desenvolvimento do estudo de caso foram: Rua Piratuba, via coletora localizada na região norte da cidade, e Avenida Santos Dumont, via arterial também localizada na região norte da cidade. Juntas, as vias correspondem a 1,06% da malha viária com pavimentação asfáltica na cidade, visto que, segundo a Prefeitura Municipal de Joinville (2018), a malha viária total da cidade possui 1827,621 km de extensão, sendo 915,403 km constituídos por pavimentação asfáltica. Optou-se por selecionar as referidas vias pois se tratavam de pavimentos com estruturas diferentes, tráfegos distintos e possuíam dados de projeto e da condição estrutural disponíveis.

5.1.1 Rua Piratuba

A Rua Piratuba está localizada no Bairro Bom Retiro, Figura 10, possui extensão aproximada de 1,7 km, largura de 10 m subdividida em duas faixas de tráfego e uma faixa com 2,5 m de ciclofaixa, está representada na Figura 11. Apresenta um pavimento com 2 anos de operação a partir de uma atividade de recape sobre paralelepípedos realizado no ano de 2017, constituído por uma camada de 0,07 m de espessura de Pré Misturado à Quente (PMQ) e por uma última camada de 0,035 m de espessura de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), representado na Figura 12. A rua Piratuba foi dimensionada para um número “N” igual a 5×10^6 e um período de projeto de 10 anos, de acordo com a Secretaria de Infraestrutura Urbana de Joinville.

Figura 10 - Localização Rua Piratuba



Fonte: Google Earth (2018)

Figura 11 - Rua Piratuba



Fonte: a autora (2019)

Figura 12 – Estrutura do pavimento da Rua Piratuba

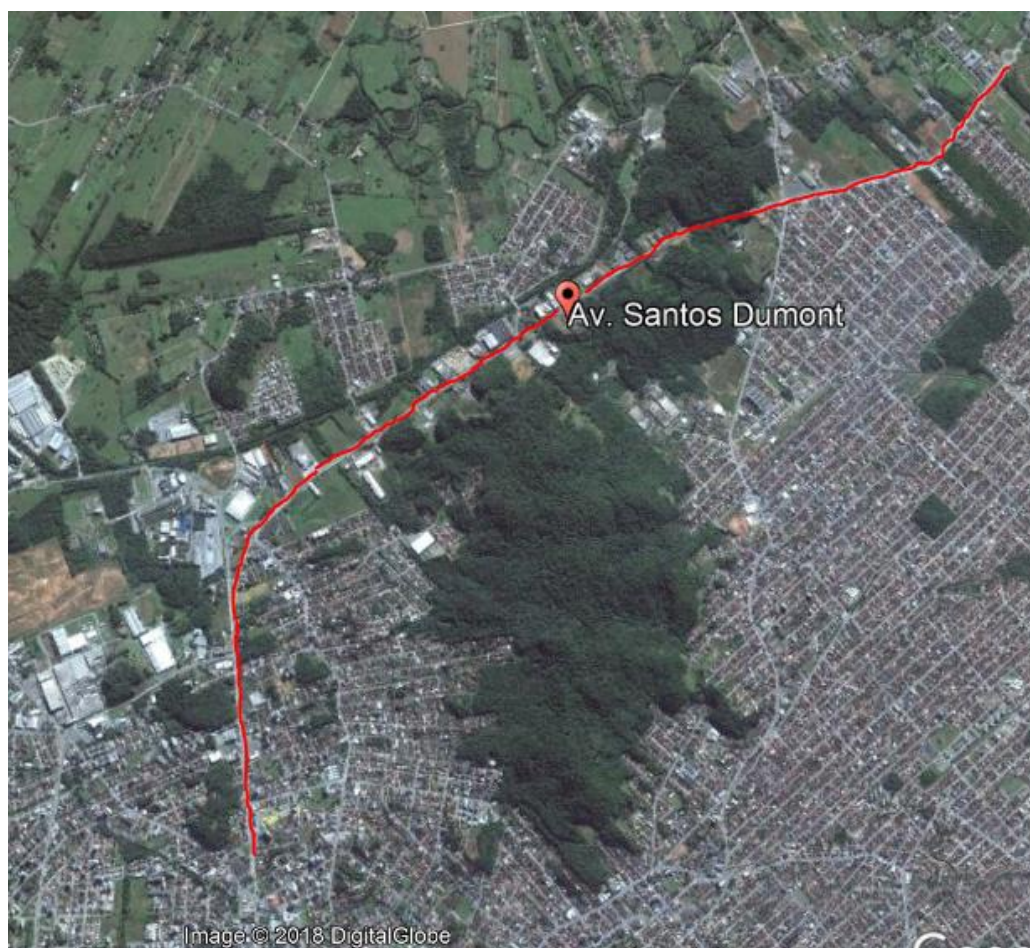
CBUQ – 3,5 cm	Camada de rolamento
PMQ – 7 cm	Camada de ligação
Paralelepípedo (camada existente)	Base

Fonte: a autora (2019)

5.1.2 Avenida Santos Dumont

A Avenida Santos Dumont está localizada entre os bairros Santo Antônio, Zona Industrial Norte e Aventureiro, a Figura 13 ilustra a localização da Avenida Santos Dumont, a qual possui uma extensão de aproximadamente 8 km e está representada na Figura 14. Apresenta um pavimento novo, dimensionado para um número “N” correspondente a 7×10^6 , composto por camada de subleito do terreno existente, reforço de pedra pulmão com fechamento em brita (30 cm), sub-base de macadame seco (20 cm), base de brita graduada (15 cm), camada de ligação de concreto betuminoso usinado à quente (05 cm) e camada de rolamento de concreto betuminoso usinado à quente (05 cm). No trecho do viaduto a estrutura do pavimento é a mesma com exceção do subleito que é arenoso servindo como terra-armada, a composição das estruturas podem ser visualizadas na Figura 15.

Figura 13 - Localização Avenida Santos Dumont



Fonte: Google Earth (2018)

Figura 14 - Avenida Santos Dumont



Fonte: a autora (2019)

Figura 15 - Estrutura do pavimento da Av. Santos Dumont

CAUQ – 5 cm	Camada de rolamento
CAUQ – 5 cm	Camada de ligação
Brita graduada – 15 cm CBR > 80%	Base
Macadame Seco – 20 cm CBR > 20%	Sub-base
Pedra Pulmão com fechamento em brita – 30 cm CBR ≥ 20%	Reforço
CBR ≥ 15%	Subleito existente
a) Estrutura do pavimento	
CAUQ – 5 cm	Camada de rolamento
CAUQ – 5 cm	Camada de ligação
Brita graduada – 15 cm CBR ≥ 80%	Base
Macadame Seco – 20 cm CBR ≥ 20%	Sub-base
Pedra Pulmão com fechamento em brita – 30 cm CBR ≥ 10%	Reforço
CBR ≥ 4%	Subleito / terra armada
b) Estrutura do pavimento no trecho do viaduto	

Fonte: a autora (2019)

5.2 ETAPA 2 – LEVANTAMENTO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS

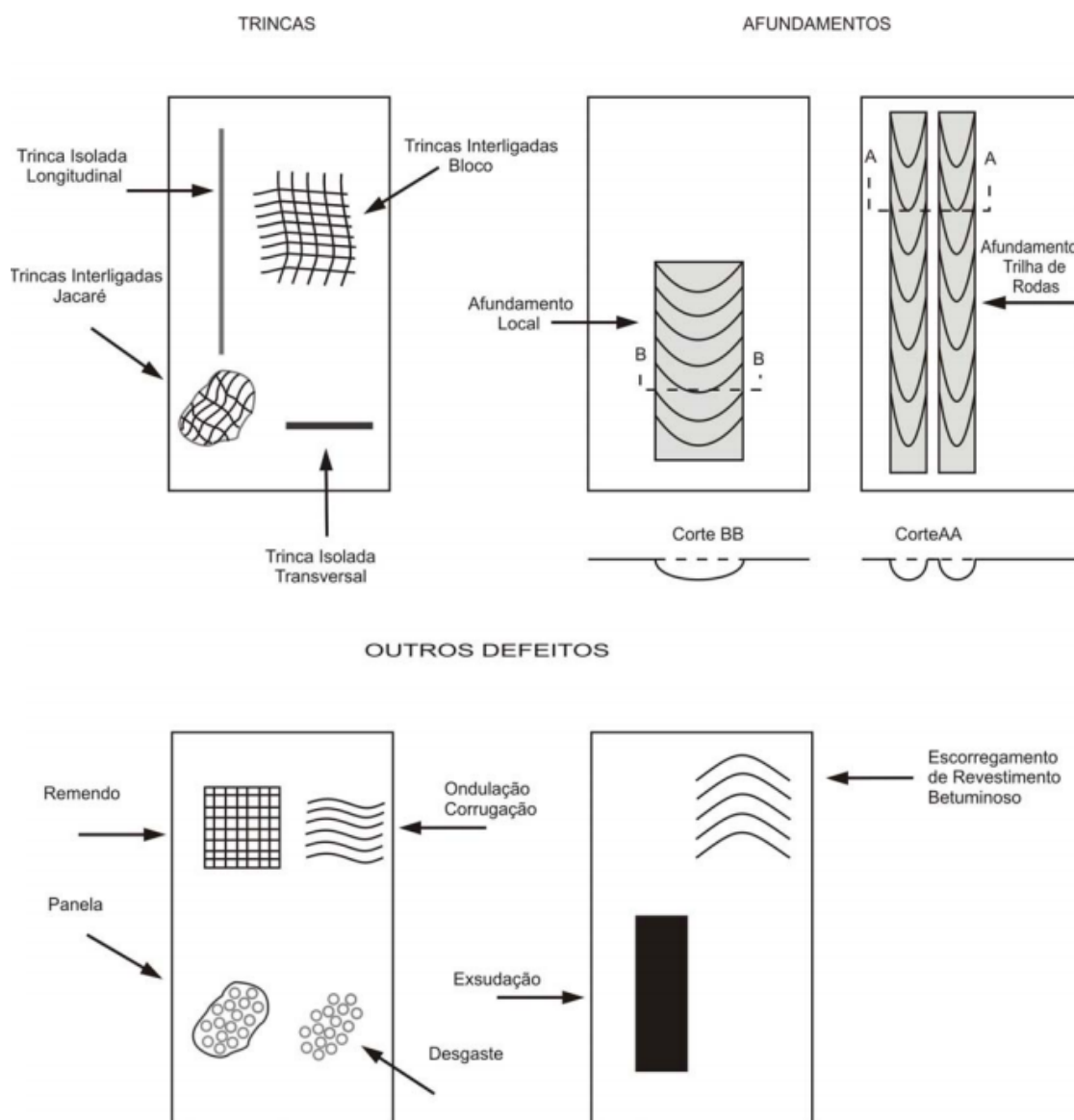
Após a seleção das vias, foi realizado um levantamento de defeitos da superfície dos pavimentos a fim de contar e classificar a ocorrência de defeitos aparentes. A classificação dos tipos de defeitos foi realizada de acordo com a terminologia da norma DNIT 005/2003 – TER, a qual tem sua representação esquemática na Figura 16.

Os procedimentos normativos DNIT 006/2003 – PRO “Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos”, DNIT 007/2003 – PRO “Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos”, DNIT 008/2003 – PRO “Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos” e DNIT 009/2003 – PRO “Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos” estabelecem metodologias para a avaliação da superfície dos pavimentos rodoviários.

Existem algumas diferenças entre os pavimentos urbanos e os rodoviários, como por exemplo, a sua extensão, comprimento dos segmentos de pista e velocidade de operação dos veículos, portanto, nem todos os procedimentos desenvolvidos para rodovias se aplicam com êxito no meio urbano. Segundo Zanchetta (2017), para a realidade da maioria das prefeituras municipais brasileiras, a avaliação de campo para obtenção de um Índice de Condição do Pavimento – ICP pode ser realizada por caminhamento, com uma equipe de avaliadores treinados, com base na identificação de defeitos de superfície do pavimento e registro do tipo, severidade e extensão.

Dado que as vias analisadas são de curta extensão comparadas às rodovias, optou-se por não dividir o pavimento em segmentos de pista homogêneos, pois realizar o levantamento por amostragem poderia induzir a erros, uma vez que um defeito é encontrado ou não na amostra entende-se que este comportamento está presente em toda a seção. Portanto, optou-se por fazer a análise por caminhamento ao longo de toda a extensão das vias, sem ser necessário segmentá-las.

Figura 16 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos



Fonte: DNIT (2003a)

Além da terminologia DNIT 005/2003 – TER, o inventário de defeitos da superfície baseou-se no procedimento ASTM D 6433 07 para identificar o ICP.

Na avaliação do ICP os defeitos são classificados conforme a severidade, em baixa, média e alta e a extensão. São definidos os valores dedutíveis de cada defeito através das curvas de valor dedutível da ASTM D 6433 07, após somam-se todos estes valores e então são subtraídos de cem para obter o valor do ICP. Para o cálculo do ICP com um volume maior de dados, pode-se utilizar a equação 8.

$$ICP = 100 - \sum D_i x S_i \quad (8)$$

Onde:

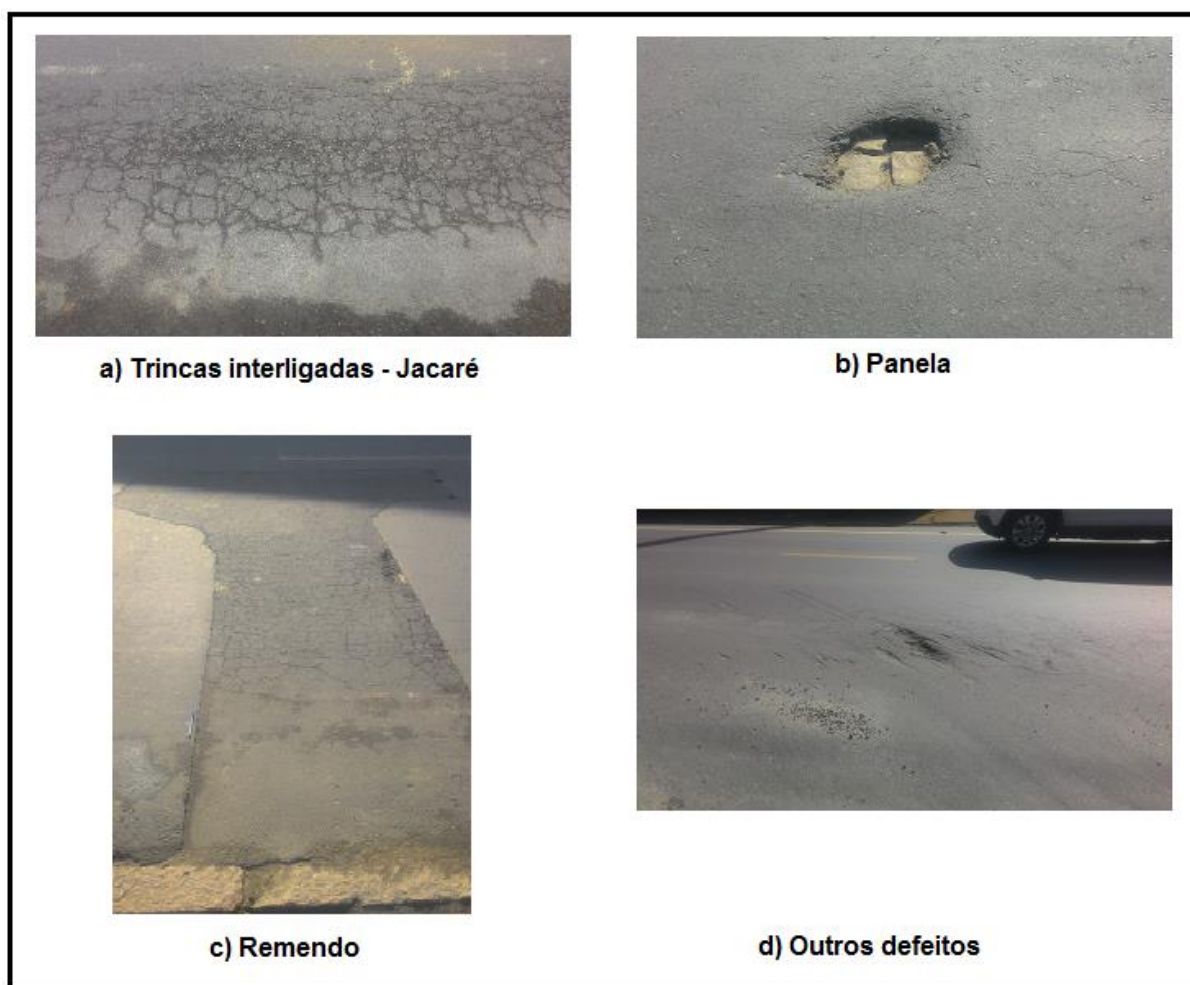
D_{ij} é a extensão da deterioração i , com o nível de severidade j ;

S_{ij} é o fator de ponderação deterioração i com nível de severidade j .

Os defeitos encontrados foram, em sua maioria, trincas interligadas tipo jacaré e remendos, os demais defeitos como trincas isoladas, trincas interligadas tipo bloco, placas e desgaste também foram encontrados, mas com menor ocorrência. Foi identificada grande ocorrência de trincas interligadas tipo jacaré nas proximidades dos semáforos.

A Figura 17 e Figura 18 ilustram os defeitos encontrados nas vias analisadas.

Figura 17 - Tipos de defeitos encontrados na Rua Piratuba



Fonte: a autora (2019)

Figura 18 - Tipos de defeitos encontrados na Av. Santos Dumont



Fonte: a autora (2019)

Ao implantarem benfeitorias e reparos nas redes de saneamento, as companhias responsáveis executam remendos para reestabelecer as condições da via, estes também foram contabilizados no levantamento. O número de ocorrência dos tipos de defeitos identificados em cada via, suas extensões, severidades, densidade, valores de dedução e seu ICP encontram-se na Tabela 2 e Tabela 3. Não foram analisados defeitos de afundamento.

Tabela 2 - Índice da condição do pavimento da Rua Piratuba em Maio/2019

		Quantidade	Extensão	Densidade %	Dedução	
Trincas interligadas- Bloco (m ²)	Severidade	Alta	-	-	-	
		Média	-	-	-	
		Baixa	1	0,3	0,01	0
Trincas interligadas – Jacaré (m ²)	Severidade	Alta	6	20,4	1,2	31
		Média	12	4,06	0,23	10
		Baixa	9	2,76	0,16	4
Remendos (m ²)	Severidade	Alta	5	16,05	0,94	9
		Média	30	98,9	5,81	24
		Baixa	8	21,75	1,28	2
Painéis (unidade)	Severidade	Alta	-	-	-	-
		Média	1	-	0,004	0
		Baixa	-	-	-	-
Total dedução = 80						
Valor dedução corrigido = 42						
ICP = 58						

Fonte: a autora (2019)

Como complemento à análise da condição das vias utilizou-se os dados de medidas de deflexões obtidos com a viga Benkelman provenientes da dissertação de mestrado de Rodrigues (2018), desenvolvida no mesmo programa de pós-graduação deste trabalho. As deflexões foram medidas nas duas ruas selecionadas seguindo o método de ensaio proposto na norma rodoviária DNER-ME 024/94, sendo a viga previamente aferida conforme o procedimento normativo DNER-PRO 175/94.

As leituras foram realizadas a uma distância de 0,90 metros do meio fio, nos pontos 0 cm, 12,5 cm, 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm, 150 cm e 300 cm, sendo realizados dez ensaios de viga Benkelman na rua Piratuba e 8 ensaios na Avenida Santos Dumont.

A Rua Piratuba tem suas deflexões apresentadas na Tabela 4, onde demonstra valores altos de deflexão mesmo se tratando de um pavimento com um recape executado há pouco tempo. Os dados deflectométricos da Avenida Santos Dumont estão contidos na Tabela 5, o pavimento apresentou um bom comportamento estrutural pois foram obtidos baixos valores de deflexão nos trechos

analisados, este bom comportamento é resultado de um pavimento com pouco tempo de operação.

Tabela 3 - Índice da condição do pavimento da Av. Santos Dumont em Maio/2019

		Quantidade	Extensão	Densidade %	Dedução	
Trincas isoladas (metro linear)	Severidade	Alta	-	-	-	
		Média	-	-	-	
		Baixa	3	7	0,08	0
Trincas interligadas – Jacaré (m²)	Severidade	Alta	1	3,6	0,04	2
		Média	3	5	0,06	2
		Baixa	5	1,5	0,01	2
Remendos (m²)	Severidade	Alta	-	-	-	-
		Média	5	21	0,26	5
		Baixa	9	36,9	0,46	1
Desgaste (m²)	Severidade	Alta	-	-	-	-
		Média	4	26	0,32	2
		Baixa	3	9,5	0,11	0
Total dedução = 14						
Valor dedução corrigido = 14						
ICP = 86						

Fonte: a autora (2019)

Tabela 4 - Deflexões Rua Piratuba (10⁻²mm)

	D0	D12,5	D25	D50	D75	D100	D125	D150	D300
Viga 01	65	62	55	38	25	17	11	07	01
Viga 02	57	54	41	24	16	09	07	05	00
Viga 03	39	37	32	19	11	07	05	04	00
Viga 04	53	50	41	27	20	15	11	09	01
Viga 05	37	37	29	19	16	11	08	07	01
Viga 06	67	67	52	26	20	16	13	09	01
Viga 07	51	47	37	27	22	16	12	07	01
Viga 08	80	79	61	38	24	15	09	05	00
Viga 09	67	61	52	37	25	17	08	05	00
Viga 10	78	75	60	36	17	12	10	05	00

Fonte: Rodrigues (2018)

Tabela 5 - Deflexões Av. Santos Dumont (10^{-2} mm)

	D0	D12,5	D25	D50	D75	D100	D125	D150	D300
Viga 01	11	07	05	02	01	01	01	00	00
Viga 02	24	22	10	05	02	02	01	00	00
Viga 06	20	19	12	05	03	03	02	02	00
Viga A	09	09	08	05	04	05	04	04	00
Viga B	12	12	09	05	05	04	04	03	00
Viga C	12	08	06	04	04	02	02	02	00
Viga D	11	10	05	04	04	04	02	01	00
Viga E	12	11	08	04	03	02	03	02	00

Fonte: Rodrigues (2018)

De acordo com Bernucci *et. al* (2006) a ordem de grandeza das deflexões dos pavimentos asfálticos varia muito com as características da estrutura, o tipo de revestimento, o nível de trincamento, as condições climáticas etc., mas como valor típico pode-se indicar de 30 a 50 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de concreto asfáltico e base granular em boa condição estrutural, e da ordem de 80 ($\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de tratamento superficial.

A partir das deflexões obtidas em campo por Rodrigues (2018), foi possível calcular as variáveis apresentadas na Tabela 6 e Tabela 7. Para o cálculo da deflexão característica corrigida ou de projeto (D_p), equação 1 do item 2.2.2, foi utilizado um fator de correção sazonal $F_s = 1,20$. A deflexão admissível (D_{adm}) foi calculada através da equação 2 do item 2.2.2.

Tabela 6 - Variáveis calculadas Rua Piratuba

Média aritmética das deflexões D0 (D)	59,4 $\times 10^{-2}$ mm
Desvio padrão das deflexões D0 (σ)	14,7 $\times 10^{-2}$ mm
Deflexão característica conforme D0 (D_c)	74 $\times 10^{-2}$ mm
Deflexão projeto conforme D0 (D_p)	88,9 $\times 10^{-2}$ mm
N correspondente à D_p (N_t)	1,06 $\times 10^6$
Deflexão admissível (D_{adm}) para $N = 5 \times 10^6$	67,8 $\times 10^{-2}$ mm

Fonte: a autora (2019)

Analisando os resultados das variáveis calculadas, o que chama a atenção são os valores de deflexão característica e de projeto da Rua Piratuba que são mais altos que a deflexão admissível, indicando baixa capacidade estrutural do pavimento. Já a Avenida Santos Dumont apresenta bom comportamento estrutural.

Tabela 7 - Variáveis calculadas Avenida Santos Dumont

Média aritmética das deflexões D0 (D)	$14 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Desvio padrão das deflexões D0 (σ)	$5,2 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Deflexão característica conforme D0 (D_c)	$19 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Deflexão de projeto conforme D0 (D_p)	$22,9 \times 10^{-2} \text{ mm}$
N correspondente à D_p (N_t)	$2,36 \times 10^9$
Deflexão admissível (D_{adm}) para $N = 7 \times 10^6$	$63,86 \times 10^{-2} \text{ mm}$

Fonte: a autora (2019)

5.3 ETAPA 3 – PROPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS - TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Para a correta tomada de decisão em relação às técnicas de manutenção e reabilitação a serem selecionadas para intervenção em uma via urbana, é necessário que sejam feitos comparativos de custos entre as diferentes técnicas. Como o objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação econômica de diferentes técnicas de manutenção e reabilitação é imprescindível a criação de cenários.

Para a elaboração de cenários é interessante identificar diferenças visíveis entre cada um deles e, que reflitam estratégias consistentemente distintas as quais permitam comparar abordagens agressivas, como corrigir parcialmente as deficiências por medidas paliativas, e abordagens conservadoras, como promover reconstruções inclusive em segmentos em condições intermediárias de desempenho (SILVA, 2017).

As principais informações para a definição dos cenários são os dados referentes à condição dos pavimentos (defeitos de superfície e dados deflectométricos), as técnicas de manutenção e reabilitação, os números “N” de cada via e suas respectivas idades.

Além das características relacionadas ao desempenho do pavimento, levou-se em consideração para a proposição de cenários, as estruturas tipicamente empregadas na execução de pavimentos em Joinville. Para tal, fez-se necessário o contato com engenheiros da Unidade de Pavimentação da Secretaria de Infraestrutura Urbana - SEINFRA do município com o objetivo de entender como é feita a seleção das técnicas de pavimentação.

As atividades de pavimentação estão diretamente relacionadas ao volume de recursos financeiros disponibilizados pelo governo, na maioria das vezes insuficientes para manter a rede viária em boas condições de trafegabilidade. Muitas decisões são tomadas conforme surge a demanda, como, por exemplo, ações de tapa-buracos, que atuam de forma paliativa não resolvendo a causa-raiz do problema. As principais atividades de manutenção e reabilitação utilizadas pelo município são a execução de remendos e tapa-buracos, recapes de PMQ, recapes de CBUQ e recapes de PMQ+CBUQ (em alguns casos, executa-se uma camada de PMQ e passado um período de 5 a 8 anos, executa-se a camada de CBUQ).

A partir dos tipos de defeitos encontrados nas superfícies analisadas, das atividades realizadas pelo município, das atividades sugeridas no Quadro 1 e com base nos trabalhos de Oliveira (2013) e Zanchetta (2017), foram propostas as seguintes atividades de manutenção e reabilitação:

1. NF – Nada a fazer;
2. MP – Manutenção preventiva (lama asfáltica, micro revestimento);
3. MC – Manutenção corretiva (pré-misturados a quente ou a frio, recape CBUQ, tratamento superficial, fresagem e recomposição do revestimento);
4. RF – Reforço (fresagem e recomposição com revestimento novo ou reciclado);
5. RC – Reconstrução (demolição da estrutura do pavimento com reconstrução da base e novo revestimento asfáltico).

Para determinar a atividade de manutenção ou reabilitação mais indicada para cada pavimento, optou-se por desenvolver uma árvore de decisão a partir do índice de condição do pavimento, idade do pavimento e volume diário médio.

A árvore de decisão desenvolvida para as vias de Joinville, Figura 19, divide o ICP em cinco intervalos, de 100 a 91 – condição “Muito bom” item 1; de 90 a 71 – condição “Bom” item 2; de 70 a 51 – condição “Regular” item 3; de 50 a 31 – condição “Ruim” item 4 e de 30 a 0 – condição “Péssimo” item 5.

O dado de entrada referente à idade do pavimento foi dividido em 1 – “Muito Novo”, que refere-se a um pavimento recém executado com no máximo dois anos; 2 – “Novo”, refere-se a um pavimento com idade entre 2 e 5 anos; 3 – “Regular”, idade entre 5 e 10 anos; 4 – “Velho”, idade entre 10 e 15 anos e 5 – “Muito Velho”, com pavimento executado há mais 15 anos.

Já o VDM foi subdividido em 1 – “Muito baixo”, até 100 veículos por dia; 2 – “Baixo”, entre 100 e 500 veículos por dia; 3 – “Regular”, entre 500 e 5000 veículos por dia; 4 – “Alto”, entre 5000 e 15000 veículos por dia e 5 – “Muito Alto”, com tráfego acima de 15000 veículos por dia.

Para as estratégias de manutenção e reabilitação foram utilizadas as descritas anteriormente, 1 – Nada a fazer; 2 – Manutenção preventiva; 3 – Manutenção Corretiva; 4 – Reforço e 5 – Reconstrução.

Figura 19 – Árvore de decisão para vias de Joinville

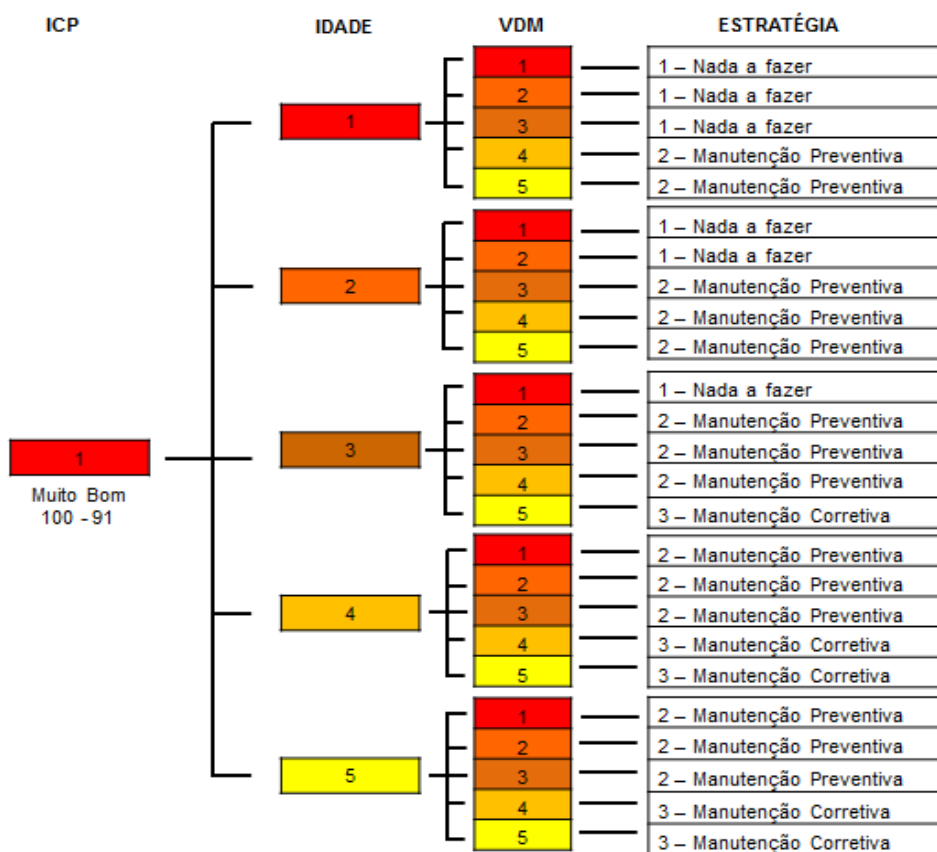


Figura 19 - Árvore de decisão para vias de Joinville (continuação)

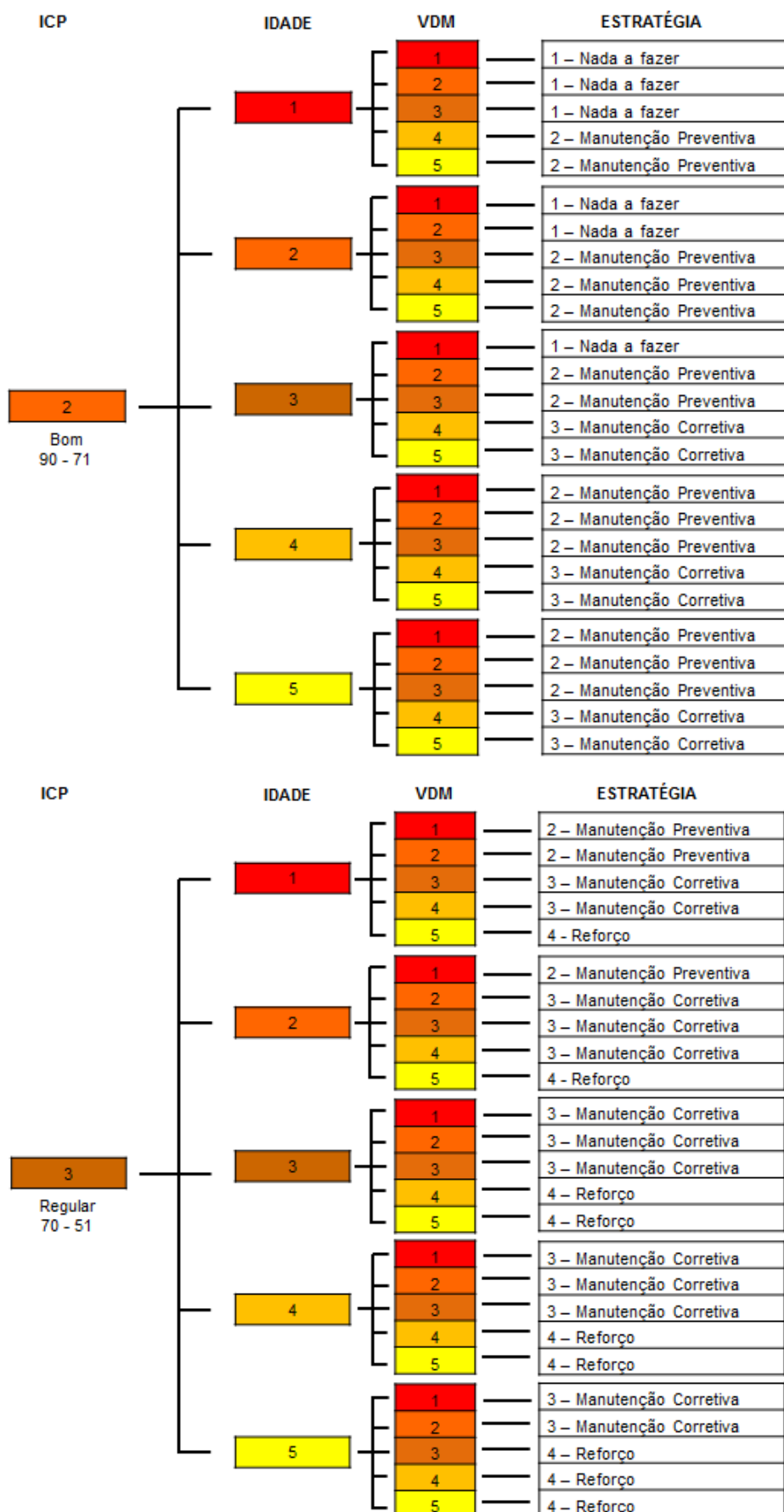
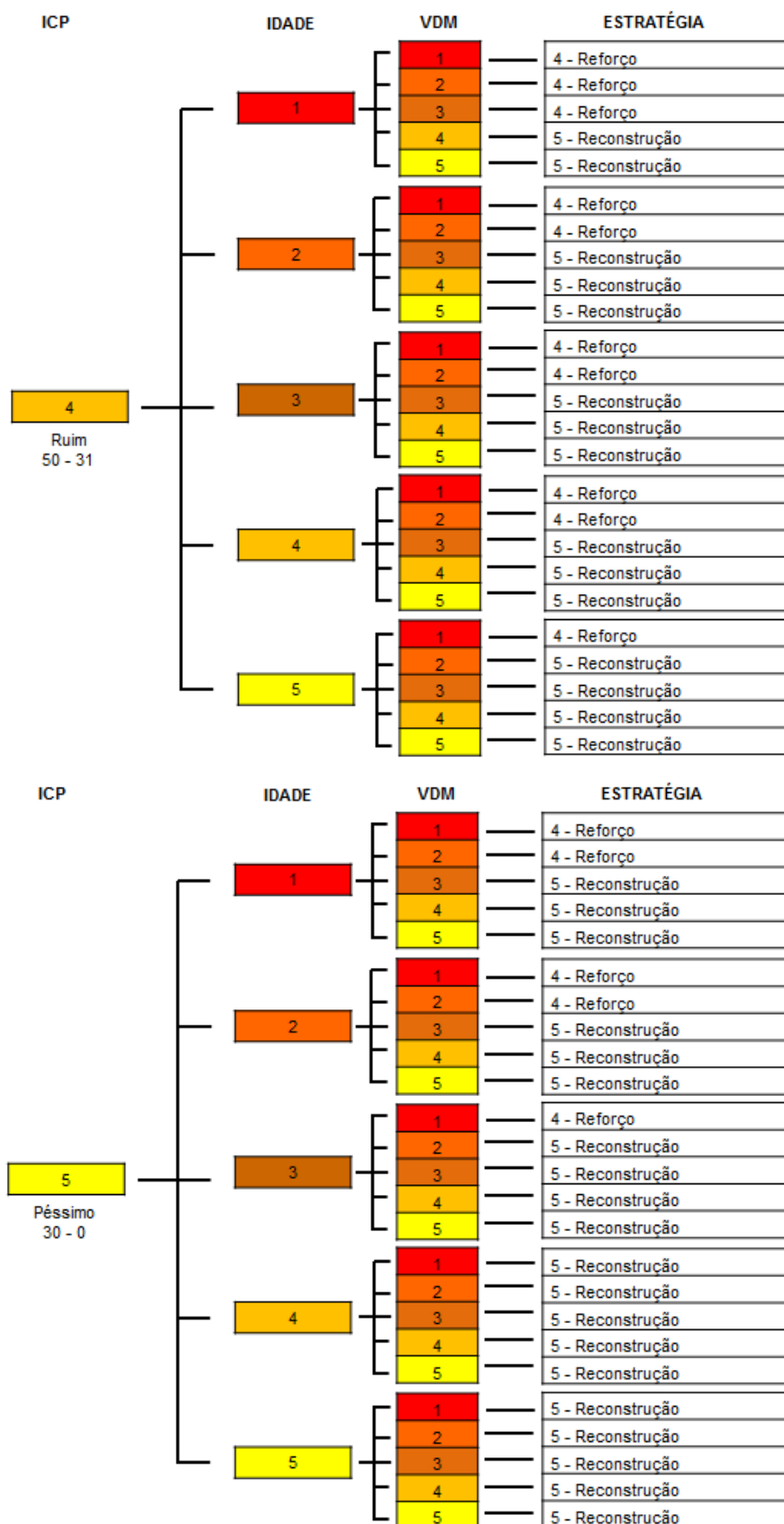


Figura 19 - Árvore de decisão para vias de Joinville (continuação)



Fonte: a autora (2019)

Como complemento, também foi utilizado como referência para a proposição dos cenários o Quadro 2, contido no procedimento do DNER-PRO 011/79, onde são relacionados os dados deflectométricos obtidos em campo D_p e a deflexão admissível D_{adm} com as medidas corretivas (atividade de manutenção e reabilitação) conforme a sua qualidade estrutural. Os raios de curvatura das bacias deflectométricas das vias para a aplicação dos critérios para avaliação estrutural encontram-se na Tabela 8.

Quadro 2 - Critérios para avaliação estrutural

Hipótese	Dados deflectométricos obtidos	Qualidade estrutural	Medidas corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	Boa	Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	Reforço ou reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	Regular para má	Reforço ou reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	Má	Reforço ou reconstrução
V	-	Má O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas.	Reconstrução

Fonte: DNER (1979)

Ao analisar os valores dos raios de curvatura e dos dados deflectométricos e aplicar os critérios do Quadro 2, hipótese II, a Rua Piratuba apresenta uma qualidade estrutural regular, indicando a necessidade de uma atividade de reforço. Quando utilizada a árvore de decisão com os valores de entrada ICP igual a 58, idade 2 anos e VDM regular (entre 500 e 5.000), é obtido como resultado a necessidade de aplicação de uma técnica de manutenção corretiva. Neste caso, quando a árvore de decisão que tem como base o ICP indica manutenção corretiva e os critérios de avaliação estrutural indicam reforço, recomenda-se aderir a pior situação, portanto, o reforço.

Tabela 8 - Raios de curvatura das bacias deflectométricas das vias analisadas

Raio de curvatura (m)			
Estaca	Av. Santos Dumont	Estaca	Rua Piratuba
est. 01	568,18	est. 01	297,62
est. 02	223,21	est. 02	201,61
est. 06	367,64	est. 03	416,67
est. A	2083,33	est. 04	271,74
est. B	1250	est. 05	367,65
est. C	520,83	est. 06	208,33
est. D	568,18	est. 07	223,21
est. E	781,25	est. 08	160,26
		est. 09	208,33
		est. 10	173,61

Fonte: a autora (2019)

Aplicando os mesmos critérios com os dados de entrada da Avenida Santos Dumont, ICP 86, idade 1 ano e VDM regular (entre 500 e 5.000), apresenta tanto boa qualidade estrutural quanto funcional, correspondendo a estratégia “1 – Nada a fazer” ou apenas correções de superfície.

O período de análise da Avenida Santos Dumont começa no ano de 2018, ano de sua implantação, e termina no ano de 2038. A partir dos dados referentes às condições do pavimento, pode-se verificar que o pavimento apresenta um ótimo comportamento estrutural e boas condições de superfície, condições esperadas de um pavimento com pouco tempo de utilização e com uma estrutura adequadamente dimensionada, o que indica que não é necessária uma atividade de intervenção logo no início do seu período de vida útil.

O Quadro 3 descreve as atividades de manutenção selecionadas em três cenários distintos para a Avenida Santos Dumont. O cenário 1 sugere a realização de fresagem de 5 cm do revestimento betuminoso juntamente com a recomposição da capa de rolamento com 5 cm de CBUQ após 10 anos de sua implantação (ano 2028) e uma atividade de recape de 4 cm de CBUQ após 18 anos (ano 2036) de sua abertura ao tráfego, ambas as técnicas são comumente empregadas nas vias do município. No cenário 2 estão propostas atividades com um intervalo de tempo mais conservador, como um micro-revestimento após 6 anos (ano 2024) de tráfego na via e uma intervenção composta por fresagem de 5 cm do revestimento betuminoso e

recomposição de CBUQ reciclado com 5 cm de espessura, 13 anos após a sua implantação (ano 2031).

Já o cenário 3 propõe uma capa selante como manutenção preventiva após 4 anos de operação (ano 2022), fresagem de 5 cm revestimento seguido da execução de 5 cm de Pré-misturado à frio no décimo primeiro ano de operação (ano 2029) e uma atividade de reforço composta por 5 cm de CBUQ no ano de 2036.

Quadro 3 – Cenários propostos para a Av. Santos Dumont

	Ano	Atividade
Cenário 1	0 (2018)	Implantação
	10 (2028)	Fresagem + Recomposição revestimento
	18 (2036)	Recape
Cenário 2	0 (2018)	Implantação
	6 (2024)	Micro-revestimento
	13 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento reciclado
Cenário 3	0 (2018)	Implantação
	4 (2022)	Capa selante
	11 (2029)	Fresagem + PMF
	18 (2036)	Reforço CBUQ

Fonte: a autora (2019)

No caso da Rua Piratuba o período de análise de inicia no ano de 2017, ano em que foi executado um recape sobre paralelepípedos, e se estende até o ano de 2037. Apesar de apresentar um recape executado há pouco tempo, tanto as condições funcionais quanto estruturais apontam um baixo desempenho da estrutura, que possui uma deflexão de projeto maior que a deflexão admissível e apresenta pelo menos um defeito de superfície a cada 24 metros aproximadamente.

Foram propostos quatro cenários para a Rua Piratuba, os quais estão descritos no Quadro 4. O cenário 1 inicia com a atividade de reforço de 5 cm de CBUQ, sugerida após a análise das condições atuais do pavimento, no segundo ano de operação (2019). Ainda compõe o cenário 1, uma atividade de manutenção com lama asfáltica no oitavo ano (ano 2025) e fresagem e recomposição do revestimento com 5 cm de CBUQ do décimo quarto ano de operação (ano 2031).

O cenário 2 sugere uma reconstrução total do pavimento após 7 anos de operação (ano 2024) com uma estrutura adequadamente dimensionada conforme o “Método de projeto de pavimentos flexíveis” de Souza (1981), composta por sub-

base, base e revestimento de CBUQ, ilustrada na Figura 20, e a execução de lama asfáltica após 15 anos de operação (ano 2032). No cenário 3 são propostos um tratamento superficial duplo com após 6 anos da implantação (ano 2023), tornando o revestimento atual em base, e a execução de fresagem de 5 cm do revestimento betuminoso acompanhada da recomposição do revestimento com uma camada de 5 cm pré-misturado à frio e uma camada de 4 cm de CBUQ após 13 anos de operação (ano 2030).

Como complemento à análise, foi proposto um quarto cenário considerando uma alternativa de implantação diferente da executada na via. O cenário 4 propõe uma estrutura de implantação igual à estrutura dimensionada para a reconstrução da via, Figura 20, no ano 0 (ano 2017), manutenção corretiva composta por fresagem de 5 cm do revestimento e recomposição com 5 cm de CBUQ após 10 anos de operação (2027), e uma atividade de reforço com 5 cm de CBUQ após 18 anos de operação (ano 2035).

Quadro 4 – Cenários propostos para a Rua Piratuba

	Ano	Atividade
Cenário 1	0 (2017)	Implantação
	2 (2019)	Reforço - CBUQ
	8 (2025)	Lama asfáltica
	14 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento
Cenário 2	0 (2017)	Implantação
	7 (2024)	Reconstrução
	15 (2032)	Lama asfáltica
Cenário 3	0 (2017)	Implantação
	6 (2023)	Tratamento superficial duplo
	13 (2030)	Fresagem + Recomposição revestimento
Cenário 4	0 (2017)	Implantação = Estrutura Figura 20
	10 (2027)	Fresagem 5 cm + Recomposição revestimento 5 cm
	18 (2035)	Reforço - CBUQ

Fonte: a autora (2019)

Figura 20 - Estrutura para reconstrução da Rua Piratuba

Revestimento	CBUQ – 7,5 cm
Base	Brita Graduada – 15 cm CBR>80%
Sub-base	Macadame seco – 15 cm CBR>20%
Subleito	CBR>15%

Fonte: a autora (2019)

5.4 ETAPA 4 - COMPOSIÇÃO DE PREÇOS DAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Os custos de cada atividade de manutenção e/ou reabilitação definidas no Quadro 3 e Quadro 4 foram estimados utilizando o Sistema de Custos Rodoviários – SICRO, o qual foi desenvolvido pelo DNIT através do Manual de Custos Rodoviários. O SICRO é utilizado como valor referencial tanto para insumos quanto para serviços a serem considerados nos orçamentos de obras rodoviárias, é composto por uma metodologia de formação de preços que considera a variação regional dos valores, seja pela disponibilidade dos insumos, distância de centros de produção ou fatores econômicos.

Neste trabalho foram consideradas as composições de preço publicadas no SICRO 2 para o Estado de Santa Catarina com a data-base de novembro/2016. As composições de preço do SICRO incluem os custos de mão-de-obra, custo horário de equipamentos, custos de materiais e transporte de materiais. No Anexo A podem ser consultadas as composições utilizadas.

Dado que as composições utilizadas tem a data-base de novembro/2016 os preços devem ser atualizados para o ano de execução previsto para cada atividade de manutenção conforme a inflação. Segundo o Banco Central do Brasil (2019) a inflação é o aumento dos preços de bens e serviços, implicando na diminuição do poder de compra da moeda. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, a inflação no ano de 2016 ficou em 6,29%; 2,95% no ano de 2017 e 3,75% no ano de 2018. A meta para a inflação dos próximos anos, definida pelo Conselho Monetário Nacional, é em torno de 4%, portanto, foi adotada uma inflação de 4% ao ano para a atualização dos preços neste trabalho.

Foram levantados apenas os custos de manutenção e reabilitação dos pavimentos, nestes não foram considerados os custos de transporte de materiais de jazida ou de usina até o local da obra. Também não são contemplados os custos

dos usuários. Para os custos de implantação, foram fixados os reais valores empregados na construção das vias, os quais foram obtidos através da consulta em editais de licitação, portal da transparência do município e estado e demais publicações dos órgãos públicos. Os custos estimados para as atividades de manutenção e reabilitação da Av. Santos Dumont e Rua Piratuba podem ser vistos na Tabela 9 e Tabela 10 respectivamente.

Tabela 9 - Custos das atividades de manutenção/reabilitação da Av. Santos Dumont

	Ano	Atividade	Custo R\$
Cenário 1	0 (2018)	Implantação	78.800.000
	10 (2028)	Fresagem + Recomposição revestimento	3.650.050,92
	18 (2036)	Recape	2.108.408,66
Cenário 2	0 (2018)	Implantação	78.800.000
	6 (2024)	Micro-revestimento	684.342,31
	13 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento reciclado	3.958.582,36
Cenário 3	0 (2018)	Implantação	78.800.000
	4 (2022)	Capa selante	160.333,25
	11 (2029)	Fresagem + PMF	3.204.175,97
	18 (2036)	Reforço CBUQ	2.618.344,58

Fonte: a autora (2019)

Tabela 10 - Custos das atividades de manutenção/reabilitação da Rua Piratuba

	Ano	Atividade	Custo R\$
Cenário 1	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15
	2 (2019)	Reforço - CBUQ	169.268,12
	8 (2025)	Lama asfáltica	56.411,51
	14 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento	517.028,03
Cenário 2	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15
	7 (2024)	Reconstrução	1.627.762,34
	15 (2032)	Lama asfáltica	74.233,71
Cenário 3	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15
	6 (2023)	Tratamento superficial duplo	92.796,36
	13 (2030)	Fresagem + Recomposição revestimento	619.654,75
Cenário 4	0 (2017)	Implantação = Estrutura Figura 20	1.252.592,61
	10 (2027)	Fresagem 5 cm + Recomposição revestimento 5 cm	441.957,73
	18 (2035)	Reforço - CBUQ	317.036,02

Fonte: a autora (2019)

As atividades de rotina executadas pela Prefeitura como as ações de tapaburacos e remendos superficiais não foram consideradas no levantamento de custos pois visam apenas garantir a segurança do tráfego e não alteram a vida de serviço do pavimento.

5.5 ETAPA 5 - AVALIAÇÃO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA

Para a etapa de avaliação do custo do ciclo de vida foi aplicada a formulação do método do Valor Presente Líquido, descrito na equação 5 do item 3.4.1 deste trabalho, após ter os custos de todas as atividades de manutenção e/ou reabilitação propostas nos cenários estimados.

Diante da incerteza associada à evolução das condições econômicas ao longo do período de análise, a taxa de desconto (i) adotada foi de 4%, sendo que os valores recomendados por Walls e Smith (1998) para a análise de pavimentos rodoviários estão entre 3% e 5%, com o objetivo de atualizar os gastos futuros do período analisado. Os valores referentes à taxa de desconto estão representados na Tabela 11 e também podem ser calculados através da equação 9. O período de análise é de 20 anos para ambas as ruas.

$$\frac{1}{(1+i)^n} \quad (9)$$

Onde:

i = taxa de desconto

n = ano da intervenção

Tabela 11 - Fator de desconto para o valor presente

Fator de desconto				Fator de desconto			
Ano	3%	4%	5%	Ano	3%	4%	5%
1	0,9709	0,9615	0,9524	21	0,5375	0,4388	0,3589
2	0,9426	0,9246	0,9070	22	0,5219	0,4220	0,3418
3	0,9151	0,8890	0,8638	23	0,5067	0,4057	0,3256
4	0,8885	0,8548	0,8227	24	0,4919	0,3901	0,3101
5	0,8626	0,8219	0,7835	25	0,4776	0,3751	0,2953
6	0,8375	0,7903	0,7462	26	0,4637	0,3607	0,2812
7	0,8131	0,7599	0,7107	27	0,4502	0,346	0,2678
8	0,7894	0,7307	0,6768	28	0,4371	0,3335	0,2551
9	0,7664	0,7026	0,6446	29	0,4243	0,3207	0,2429

Tabela 11 - Fator de desconto para o valor presente (continuação)

10	0,7441	0,6756	0,6139	30	0,4120	0,3083	0,2314
11	0,7224	0,6496	0,5847	31	0,4000	0,2965	0,2204
12	0,7014	0,6246	0,5568	32	0,3883	0,2851	0,2099
13	0,6810	0,6006	0,5303	33	0,3770	0,2741	0,1999
14	0,6611	0,5775	0,5051	34	0,3660	0,2636	0,1904
15	0,6419	0,5553	0,4810	35	0,3554	0,2534	0,1813
16	0,6232	0,5339	0,4581	36	0,3450	0,2437	0,1727
17	0,6050	0,5134	0,4363	37	0,3350	0,2343	0,1644
18	0,5874	0,4936	0,4155	38	0,3252	0,2253	0,1566
19	0,5703	0,4746	0,3957	39	0,3158	0,2166	0,1491
20	0,5537	0,4564	0,3769	40	0,3066	0,2083	0,1420

Fonte: Walls e Smith (1998)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a análise do custo do ciclo de vida das atividades de manutenção e reabilitação propostas para a Rua Piratuba e Avenida Santos Dumont.

6.1 AVENIDA SANTOS DUMONT

Através do método do valor presente líquido foi possível determinar o custo atual do ciclo de manutenções durante os 20 anos de análise da vida do pavimento dos três cenários propostos. Em uma análise inicial dos resultados apresentados na Tabela 12, pode-se verificar que a proposta de cenário número 2 da Av. Santos Dumont apresenta um VPL menor que os demais cenários.

Tabela 12 - Valor presente líquido para os cenários da Av. Santos Dumont

	Ano	Atividade	Custo R\$	Fator de desconto	VPL R\$
Cenário 1	0 (2018)	Implantação	78.800.000	1	78.800.000
	10 (2028)	Fresagem + Recomposição revestimento	3.650.050,92	0,6756	2.465.974
	18 (2036)	Recape	2.108.408,66	0,4936	1.040.711
		VPL Total			82.306.685
Cenário 2	0 (2018)	Implantação	78.800.000	1	78.800.000
	6 (2024)	Micro revestimento	684.342,31	0,7903	540.835,7
	13 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento reciclado	3.958.582,36	0,6006	2.377.252
		VPL Total			81.718.360
Cenário 3	0 (2018)	Implantação	78.800.000	1	78.800.000
	4 (2022)	Capa selante	160.333,25	0,85448	137.052,9
	11 (2029)	Fresagem + PMF	3.204.175,97	0,6496	2.081.433
	18 (2036)	Reforço CBUQ	2.618.344,58	0,4936	1.292.415
		VPL Total			82.310.900

Fonte: a autora (2019)

Quando analisados os intervalos de tempo entre as atividades de manutenção o cenário 2 vai perdendo a sua vantagem quanto ao VPL menor, isto porque ao final do período de análise o pavimento ainda apresenta um valor residual, ou seja, quanto o pavimento ainda vale ou por quanto tempo ainda pode ser utilizado. No cenário 2, a última atividade de manutenção proposta é no décimo terceiro ano de operação enquanto nos cenários 1 e 3, a última intervenção é proposta no décimo

oitavo ano de operação, significando que nestes cenários o pavimento terá uma vida de serviço remanescente maior.

No caso da Avenida Santos Dumont, os três cenários propostos tem valores do custo do ciclo de vida muito próximos, dificultando a escolha do cenário ideal. Neste caso, faz-se importante aliar à LCCA um modelo de desempenho para o pavimento, pois o que fará a diferença é o nível de desempenho que o pavimento apresentará.

Apesar de apresentar o custo do ciclo de vida mais elevado dentre as opções analisadas, o cenário 3 apresenta um comportamento mais conservador, com mais intervenções objetivando manter um nível de desempenho no pavimento.

6.2 RUA PIRATUBA

No caso da Rua Piratuba, os cenários apresentados tem soluções muito distintas umas das outras, por isso os resultados do valor presente líquido das atividades de manutenção e reabilitação dos 20 anos analisados que foram apresentados na Tabela 13 possuem maior variância.

O cenário 1 é mais conservador, objetivando melhorar a condição atual do pavimento com uma atividade de reforço logo no início da análise. Este cenário conta com uma atividade de M&R a mais, quando comparado com os outros cenários, e conta com um intervalo de tempo mais curto entre as atividades propostas. Também ressalta-se que no final dos 20 anos de análise o pavimento apresentará um valor residual mais baixo, visto que a última intervenção é feita 6 anos antes do fim do período analisado.

O cenário 2 é, inicialmente, agressivo, pois após conhecidas as condições atuais do pavimento, deixa que o mesmo se degrade até propor uma reconstrução. Esta atividade de reconstrução do pavimento é que faz com que o VPL seja o mais alto entre os cenários.

Pode-se destacar o cenário 3 como o mais próximo da realidade do município, que busca soluções mais baratas, rápidas e que elevem o nível de serventia do pavimento, mesmo que não atinja um nível de excelência e apresente um período de vida útil menor.

Tabela 13 - Valor presente líquido para os cenários da Rua Piratuba

	Ano	Atividade	Custo R\$	Fator de desconto	VPL R\$
Cenário 1	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15	1	1.159.660,15
	2 (2019)	Reforço - CBUQ	169.268,12	0,9246	156.505,3
	8 (2025)	Lama asfáltica	56.411,51	0,7307	41.219,9
	14 (2031)	Fresagem + Recomposição revestimento	517.028,03	0,5775	298.583,7
	VPL Total				1.655.969
Cenário 2	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15	1	1.159.660,15
	7 (2024)	Reconstrução	1.627.762,34	0,7599	1.236.937
	15 (2032)	Lama asfáltica	74.233,71	0,5553	41.221,98
	VPL Total				2.437.819
Cenário 3	0 (2017)	Implantação	1.159.660,15	1	1.159.660,15
	6 (2023)	Tratamento superficial duplo	92.796,36	0,7903	73.336,97
	13 (2030)	Fresagem + Recomposição revestimento	619.654,75	0,6006	372.164,6
	VPL Total				1.605.162
Cenário 4	0 (2017)	Implantação = Estrutura Figura	1.252.592,61	1	1.252.592,61
	10 (2027)	Fresagem 5 cm + Recomposição revestimento 5 cm	441.957,73	0,6756	298.586,6
	18 (2035)	Reforço - CBUQ	317.036,02	0,4936	156.489
	VPL Total				1.707.668

Fonte: a autora (2019)

Para efeito comparativo, no cenário 4 foi proposta uma técnica de implantação diferente da solução existente, uma estrutura igual a representada na Figura. A atividade proposta tem um custo de implantação mais elevado comparado à estrutura implantada, pois apresenta uma estrutura mais robusta e adequadamente dimensionada. Com as atividades de manutenção e reabilitação propostas neste cenário, o pavimento chegará ao fim da análise de 20 anos com um bom índice de serventia.

Analisando o cenário 4, percebeu-se que quando uma atividade de implantação diferente é incluída na avaliação, as possibilidades de criar o cenário mais adequado para a via são ampliadas. Portanto, para maior eficiência no processo de tomada de decisão, recomenda-se utilizar a ferramenta de análise do custo do ciclo de vida, sempre que possível, incluindo as alternativas de implantação.

A diferença nos valores de uma mesma atividade, proposta em anos diferentes, é justificada pela inflação, a qual refere-se a um aumento contínuo dos preços em uma economia.

Ao compararmos os valores do custo do ciclo de vida de todos os cenários, a alternativa que chama mais atenção por sua possível aplicação, é o cenário 1. Esta alternativa não é a de valor mais baixo, mas chama a atenção por tentar manter o pavimento em boas condições de serviço, com intervalos menores e mais atividades de M&R, sem ter um alto custo.

Quando avaliadas as diferentes estratégias de implantação propostas, o cenário 4 seria uma boa opção para possível execução, apesar de apresentar um custo de implantação mais elevado que a solução de recape sobre paralelepípedos, sua vida de serviço seria maior. Salienta-se que, em alguns casos, quando adotada uma solução de implantação com uma estrutura de pavimento mais robusta para atender a condições mais agressivas, esta pode apresentar um custo inicial mais elevado para sua execução, no entanto, a longo prazo representará uma alternativa mais econômica, podendo reduzir o número de atividades de manutenção.

7 CONCLUSÕES

A análise do custo do ciclo de vida é uma ferramenta de fundamental importância para a tomada de decisões dentro de um sistema de gerência de pavimentos. O objetivo principal desse trabalho foi analisar os custos das atividades de manutenção e reabilitação durante o ciclo de vida do pavimento, a partir das condições atuais do pavimento, a fim de auxiliar os profissionais a selecionar, de forma mais assertiva, alternativas que unifiquem economia e desempenho.

A partir do estudo de caso realizado foi possível verificar que a análise do custo do ciclo de vida considerando apenas as alternativas de manutenção e/ou reabilitação não tem um impacto orçamentário tão significativo quanto quando são incluídos os custos de implantação de uma via, portanto, além da manutenção, recomenda-se incluir, sempre que possível, diferentes alternativas de implantação na análise ainda em fase de projeto.

Analisar as condições funcionais e estruturais das vias evidenciou a importância de dimensionar e escolher corretamente as alternativas de pavimentação a serem aplicadas desde a sua implantação. O caso da Rua Piratuba ressalta os danos que a falta de um sistema de gerência de pavimentos pode causar, onde recursos financeiros são aplicados em uma solução simples e rápida de pavimentação, mas que se deteriorará rapidamente. Deficiências na implantação dos pavimentos certamente irão ocasionar aumento nos investimentos necessários durante o ciclo de vida dos mesmos.

É importante ressaltar que existem diferenças entre os pavimentos urbanos e rodoviários, portanto deve-se ficar atento se os procedimentos normativos, que geralmente são voltados às rodovias, se aplicam da mesma forma às cidades. Os pavimentos urbanos são expostos a um tráfego mais lento, apresentam segmentos de pista mais curtos e estão sujeitos à intervenções das companhias de água, esgoto e drenagem.

Um sistema de gerência de pavimentos não é eficiente sem um banco de dados bem estruturado. Apesar do acesso aos dados referentes aos projetos e implantação das vias, a falta de dados das condições anteriores dos pavimentos dificultou o desenvolvimento do trabalho e prejudicou a aplicação de modelos de previsão de desempenho, os quais se baseiam em um histórico do comportamento da estrutura. Também é importante mencionar que os dados referentes à condição

estrutural das vias foram coletados no ano de 2017, já os dados das condições funcionais tem como data-base o ano de 2019, portanto, não tem suas datas-bases equalizadas.

A utilização da ferramenta de árvore de decisão para o processo de avaliação da estratégia de manutenção e reabilitação mais adequada para cada via, com base nos dados da sua condição atual, se mostrou uma boa opção para otimizar o processo de seleção de estratégias de manutenção e reabilitação.

Por fim, pode-se assumir que é indispensável o desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos para a cidade de Joinville. Aliar diferentes ferramentas do SGP, como análise econômica e o desempenho dos pavimentos, contribui para que os recursos financeiros sejam aplicados sem desperdícios. Além disso, a utilização de um SGP fornece argumentos para angariar investimentos e financiamentos, justificando a aplicação dos recursos.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros, a criação de um banco de dados das vias pavimentadas de Joinville com novas avaliações funcionais e estruturais, juntamente com as realizadas neste trabalho e na dissertação de Rodrigues (2018). A partir do abastecimento do banco de dados será possível desenvolver modelos de previsão de desempenho e auxiliar no desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para o município, contribuindo na previsão dos investimentos com maior assertividade.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14948: microrrevestimentos asfálticos a frio modificados por polímero: materiais, execução e desempenho**. Rio de Janeiro, 2003.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **D 6433 07 – Standard practice for roads and parking lots pavement condition index surveys**. West Conshohocken, Pennsylvania, 2008.

BABASHAMSI, Peyman; YUSOF, Nur Izzi Md; CEYLAN, Halil; NOR, Nor Ghani Md; JENATABADI, Hashem Salarzadeh. Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 9, n. 4, Julho 2016, p. 241-254.

BALBO, J. T. **Restauração de pavimentos urbanos – Dificuldades e diretrizes para soluções**. In: Reunião Anual De Pavimentação, 8, 1997, São Carlos. Anais. Rio de Janeiro: ABPV, 1997.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **O que é inflação**. Brasília, 2019. Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/oqueinflacao>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

BARIA, Igor. **Sistema de gerência de pavimentos aplicado a via permanente metroferroviária auxiliado por um sistema de informações geográficas**. 2015. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jose Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras/ABEDA, 2006.

CAUSIM, Patrícia Bolsonaro. **Estudo de um sistema de gerência de pavimentos para cidades de pequeno e médio porte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

COSTA, Hugo Bernardo Campos Branquinho Matos da. **Análise de custos de ciclo de vida relativa a pavimentos rodoviários flexíveis**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

DER/SP - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto de restauração de pavimento**. São Paulo: DER/SP, 2006a.

DER/SP - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tratamentos superficiais**. São Paulo: DER/SP, 2006b.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. **Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis**. DNER-PRO 011/79. Rio de Janeiro, IPR, 1979.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. DNIT 005/2003 – TER. Rio de Janeiro, IPR, 2003a.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de custos rodoviários**. 3 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2003b.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2011.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006a.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006b.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **SICRO 2 – Sistema de custos rodoviários – RCTR0320**. Brasília. Data de referência de novembro de 2016.

FERNANDES JR., J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Gráfica EESC-USP, São Carlos, 1999.

FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Life-cycle cost analysis primer**. FHWA-IF-02-047, Washington, D.C., 2002.

FWA, Tien F.; SINHA, Kumares C. Pavement Performance and Life-Cycle Cost Analysis. **Journal of Transportation Engineering**, v. 117, Janeiro, 1991, p. 33-46.

HAAS, Ralph C. G.; HUDSON, W. Ronald; ZANIEWSKI, John P. **Modern Pavement Management**. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company. 1994.

HOLT, Anne; SULLIVAN, Sherry; HEIN, David K. **Life cycle cost analysis of municipal pavements in Southern and Eastern Ontario**. 2011 Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Edmonton, Alberta. 2011. p.22.

HUDSON, W. R.; HAAS, R.; PERDIGO, R. D. **Pavement management system development**. National Cooperative Highway Research Program Report 215, Transportation Research Board, 1979.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo: Séries históricas**. Brasília, 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em 15 de maio de 2019.

KARAN, M. A.; CHRISTISON, T. S.; BERDAHL, G. Development implementation of Alberta's pavement information and needs system. **Transportation Research Record**, n. 938, 1983.

KARIM, Hawzheen. **Road design for future maintenance-life cycle cost analysis for road barriers**. PhD Thesis. Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Highway and Railway Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2011.

KOPAC, Peter A. Making roads better and better: today, performance-related specifications for concrete pavements are a full-fledged reality, expected to lower project life-cycle costs. **Public Roads**, v.66, Julho-Agosto. 2002, p. 25.

LABI, Samuel; SINHA, Kumares C. Life-cycle evaluation of flexible pavement preventive maintenance. **Journal of Transportation Engineering**, v. 131, n. 10, Outubro, 2005, p. 744-751.

LAMPTEY, Geoffrey; LABI, Samuel; LI, Zongzhi. Decision support for optimal scheduling of highway pavement preventive maintenance within resurfacing cycle. **Decision Support Systems**, v.46, n.1, Dezembro 2008, p. 376–387.

LIMA, Josiane Palma. **Modelo de previsão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos**. 2007. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil com ênfase em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LOPES, Simone Becker. Eller, Amanda Oliveira Justino. Fernandes Júnior, José Leomar. Uso de modelagem dinâmica de sistemas conectada a um SIG para a gerência de pavimentos urbanos. **XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET**. Recife, 2017.

MARCON, Antônio Fortunato. **Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. 1996. 398 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Aeronáutica, São José dos Campos, 1996.

MELLO, Luiz Guilherme Rodrigues de; QUEIROZ, Cesar. Recentes investimentos em rodovias federais brasileiras. **Revista Pavimentação**, n. 46, Outubro-Dezembro 2017, p. 20-34.

NASCIMENTO, Deise Menezes. **Análise comparativa de modelos de previsão de desempenho de pavimentos flexíveis**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2005.

OLIVEIRA, Jemysson Jean de. **Experiência de implantação de sistema de gerência de pavimentos em cidade de médio porte - Estudo de caso: Anápolis – GO**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Joinville Cidade em Dados 2017**. Joinville: Prefeitura Municipal, 2017, 73p. Disponível em < <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/01/Joinville-Cidade-em-Dados-2017.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2018.

QUEIROZ, C. A. V. **Performance prediction models for pavement management in Brazil**. Dissertation for degree of Doctor of Philosophs. The University of Texas at Austin, Texas, 1981.

RODRIGUES, Paulo Roberto. **Medidas de deflexão em pavimentos asfálticos urbanos com o deflectômetro de peso leve**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SANTOS, Caio Rubens Gonçalves. **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística**. 2011. 295 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SANTOS, João; FERREIRA, Adelino. Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level. **International Journal of Pavement Engineering**, v.14, n.1, Janeiro 2013, p.71–84.

SCARANTO, Marcelo; GONÇALVES, Fernando Pugliero. Manutenção de pavimentos urbanos com revestimentos asfálticos. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.12, Outubro 2008. p.69-80.

SGAVIOLI, Fernando; BERNUCCI, Liedj; COSTA, Robson; MOTTA, Rosângela; MOURA, Edson. Análise do custo do ciclo de vida do lastro ferroviário na estrada de ferro Vitória Minas. **Transportes**, v.23, n.4, 2015, p.5-12.

SILVA, Amanda Helena Marcandali da. **Proposta de procedimento para análise de alternativas de manutenção em sistemas de gerência de pavimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. 205p.

SHOJI, Eunice Satie. **Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades de porte médio**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3 ed. Rio de Janeiro, IPR, 1981.

WALLS III, James; SMITH, Michael R. **Life-cycle costs analysis in pavement design – Interim Technical Bulletin**. FWHA-AS-98-079, Washington D.C.: Federal Highway Administration, 1998.

YSHIBA, José Kiyinha. **Modelos de desempenho de pavimentos: estudo de rodovias do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2003.

ZANCHETTA, Fábio. **Sistema de gerência de pavimentos urbanos: avaliação de campo, modelo de desempenho e análise econômica**. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2017.

ZERBINI, Luiz Francisco. **Desenvolvimento de modelos de desempenho para utilização em sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1999.

ZHANG, Han; KEOLEIAN, Gregory; LEPECH, Michael. An integrated life cycle assessment and life cycle analysis model for pavement overlay systems. **Life Cycle Civil Engineering**, 2008, Taylor & Francis Group, London. p.907-912.

APÊNDICE A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS DOS CENÁRIOS

Rua Piratuba – Nov/2016			
	Preço un.	Quant.	Total R\$
Reconstrução			
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento (t)	71,17	3264	232298,9
Pintura de ligação (m2)	0,23	34000	7820
Imprimação (m2)	0,33	34000	11220
Base de brita graduada (m3)	83,05	2550	211777,5
Sub-base macadame seco (m3)	72,75	2550	185512,5
Regularização do subleito (m2)	1,04	17000	17680
		TOTAL	666308,9
Manutenção Preventiva			
Lama asfáltica grossa (granulometrias III e IV) (m2)	2,31	17000	39270
		TOTAL	39270
Manutenção corretiva			
Tratamento superficial duplo c/cap BC (m2)	4,11	17000	69870
		TOTAL	69870
Manutenção corretiva / Reforço			
Fresagem contínua do revest. Betuminoso (m3) 5cm	152,64	850	129744
Pintura de ligação (m2)	0,23	34000	7820
Pré-misturado a frio (m3) 5cm	118,63	850	100835,5
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento (t) 4cm	71,17	1632	116149,4
		TOTAL	354548,9

Avenida Santos Dumont – Nov/2016			
	Preço un.	Quant.	Total R\$
Manutenção corretiva / Reforço			
Fresagem contínua do revest. Betuminoso (m3) 5cm	152,64	6750	1030320
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento (t) 5cm	71,17	16200	1152954
Imprimação (m2)	0,33	135000	44550
Pintura de ligação (m2)	0,23	135000	31050
		TOTAL	2258874
Manutenção corretiva			
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento (t) 5cm	71,17	12960	922363,2
Pintura de ligação (m2)	0,23	135000	31050
		TOTAL	953413,2
Manutenção preventiva			
Micro-revestimento a frio - Microflex - 2,5 cm (m2)	3,67	135000	495450
		TOTAL	495450
Manutenção corretiva / Reforço			
Fresagem contínua do revest. Betuminoso (m3) 5cm	152,64	6750	1030320
Pintura de ligação (m ²)	0,23	135000	31050
Imprimação (m ²)	0,33	135000	44550
CBUQ reciclado (t) 5cm	66,17	16200	1071954
		TOTAL	2177874

ANEXO A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS UTILIZADAS (SICRO)

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Restauração Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016						
5 S 02 540 01 - Conc. betumin.usinado a quente - capa de rolamento			Produção da Equipe : 75,00 t		(Valores em R\$)	
A - Equipamento	Quantidade	Utilização Operativa Improdutiva	Custo Operacional Operativo Improdutivo		Custo Horário	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,27 0,73	75,90 17,97		33,62	
E102 - Rolo Compactador - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,66 0,34	120,48 17,97		85,63	
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	2,00	0,32 0,68	143,79 17,97		116,48	
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,27 0,73	4,51 0,00		1,22	
E149 - Vibro-acabadora de Asfalto - sobre esteiras (82 kW)	1,00	0,89 0,11	151,27 19,51		136,78	
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	1,70	1,00 0,00	149,82 16,18		254,71	
Custo Horário de Equipamentos					628,44	
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora		Custo Horário		
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41		37,41		
T701 - Servente	8,00	11,90		95,20		
Custo Horário da Mão-de-Obra					132,61	
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)					20,57	
Custo Horário de Execução					781,62	
Custo Unitário de Execução					10,42	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 390 02 - Usinagem de CBUQ (capa de rolamento)	1,0000	t	46,49		46,49	
Custo Total das Atividades					46,49	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
M101 - Cimento asfáltico CAP 50/70	0,0550					
M905 - Filler	0,0280					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica	0,0800					
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	0,8370					
1 A 01 390 02 - Usinagem de CBUQ (capa de rolamento)	1,0000					
Custo Unitário Direto Total					56,91	
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)					15,20	
Preço Unitário Total					72,11	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Construção Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016						
2 S 02 400 00 - Pintura de ligação			Produção da Equipe : 1687,0 m2		(Valores em R\$)	
A - Equipamento	Quantidade	Utilização Operativa Improdutiva	Custo Operacional Operativo Improdutivo		Custo Horário	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,50 0,50	75,90 17,97		48,94	
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,50 0,50	4,51 0,00		2,26	
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00 0,00	19,62 0,00		39,25	
E111 - Equip. Distribuição de Asfalto - montado em caminhão (175 kW)	1,00	1,00 0,00	127,85 16,18		127,85	
Custo Horário de Equipamentos					216,30	
B - Mão-de-Obra	Quantidade			Salário-Hora	Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00			37,41	37,41	
T701 - Servente	3,00			11,90	35,70	
Custo Horário da Mão-de-Obra					73,11	
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)					11,34	
Custo Horário de Execução					300,75	
Custo Unitário de Execução					0,18	
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M104 - Emulsão asfáltica RR-1C	0,0004	t	0,00		0,00	
Custo Total do Material					0,00	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
M104 - Emulsão asfáltica RR-1C	0,0004					
Custo Unitário Direto Total					0,18	
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)					0,05	
Preço Unitário Total					0,23	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Conservação Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
3 S 02 300 00 - Imprimação				Produção da Equipe : 1125,0 m2		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,41	0,59	75,90	17,97	41,73
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,41	0,59	4,51	0,00	1,85
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00	0,00	19,82	0,00	39,25
E111 - Equip. Distribuição de Asfalto - montado em caminhão (175 kW)	1,00	1,00	0,00	127,85	16,18	127,85
Custo Horário de Equipamentos						210,88
B - Mão-de-Obra	Quantidade			Salário-Hora		Custo Horário
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00			37,41		37,41
T701 - Servente	3,00			11,90		35,70
Custo Horário da Mão-de-Obra						73,11
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)						15,00
Custo Horário de Execução						298,79
Custo Unitário de Execução						0,27
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M103 - Asfalto diluído CM-30	0,0012	t	0,00		0,00	
Custo Total do Material						0,00
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
M103 - Asfalto diluído CM-30	0,0012					
Custo Unitário Direto Total						0,27
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						0,07
Preço Unitário Total						0,34

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Restauração Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
5 S 02 230 00 - Base de brita graduada				Produção da Equipe : 121,00 m3		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E102 - Rolo Compactador - Tandem vibrat. autoprop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,81	0,19	120,48	17,97	101,01
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,83	0,17	143,79	17,97	122,41
E109 - Distribuidor de Agregados - autopropelido (103 kW)	1,00	0,98	0,02	167,40	20,97	164,48
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	3,90	1,00	0,00	149,82	16,18	584,33
E407 - Caminhão Tanque - 10.000 l (210 kW)	1,00	0,78	0,22	152,63	16,18	122,62
Custo Horário de Equipamentos						1.094,85
B - Mão-de-Obra	Quantidade			Salário-Hora		Custo Horário
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00			37,41		37,41
T701 - Servente	3,00			11,90		35,70
Custo Horário da Mão-de-Obra						73,11
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)						11,34
Custo Horário de Execução						1.179,30
Custo Unitário de Execução						9,75
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 395 01 - Usinagem de brita graduada	1,0000	m3	56,57		56,57	
Custo Total das Atividades						56,57
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
1 A 01 395 01 - Usinagem de brita graduada	2,4000					
Custo Unitário Direto Total						66,32
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						17,71
Preço Unitário Total						84,02

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Restauração Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016			Produção da Equipe : 760,00 m2		(Valores em R\$)	
5 S 02 110 00 - Regularização do subleito						
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E006 - Motoniveladora - (103 kW)	1,00	0,55	0,45	168,57	20,97	102,15
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,52	0,48	75,90	17,97	48,10
E013 - Rolo Compactador - pé de carneiro autop. 11,25t vibrat (82 kW)	1,00	1,00	0,00	118,61	17,97	118,61
E101 - Grade de Discos - GA 24 x 24	1,00	0,52	0,48	3,53	0,00	1,84
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,78	0,22	143,79	17,97	116,12
E407 - Caminhão Tanque - 10.000 l (210 kW)	1,00	0,98	0,02	152,63	16,18	149,91
Custo Horário de Equipamentos						536,73
B - Mão-de-Obra	Quantidade			Salário-Hora	Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00			37,41	37,41	
T701 - Servente	3,00			11,90	35,70	
Custo Horário da Mão-de-Obra						73,11
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)						11,34
Custo Horário de Execução						621,19
Custo Unitário de Execução						0,82
Custo Unitário Direto Total						0,82
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						0,22
Preço Unitário Total						1,04

Observações : Especificação de serviço: DNER-ES-299.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Restauração Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016			Produção da Equipe : 469,00 m2		(Valores em R\$)	
5 S 02 512 02 - Lama asfáltica grossa (granulometrias III e IV)						
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,15	0,85	75,90	17,97	26,87
E016 - Carregadeira de Pneus - 1,91 m3 (113 kW)	1,00	0,01	0,99	134,16	20,97	22,11
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,48	0,52	143,79	17,97	78,37
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,15	0,85	4,51	0,00	0,68
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00	0,00	19,62	0,00	39,25
E112 - Aquecedor de Fluido Térmico - (12 kW)	1,00	1,00	0,00	106,64	0,00	106,64
E122 - Equip. Distribuição Lama Asfáltica - montado em caminhão (210 kW)	1,00	1,00	0,00	196,24	16,18	196,25
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	0,01	1,00	0,00	149,82	16,18	1,50
E406 - Caminhão Tanque - 6.000 l (136 kW)	1,00	1,00	0,00	100,35	16,18	100,36
Custo Horário de Equipamentos						571,81
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora			Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41			37,41	
T701 - Servente	10,00	11,90			119,00	
Custo Horário da Mão-de-Obra					156,41	
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)					32,08	
Custo Horário de Execução					760,31	
Custo Unitário de Execução					1,62	
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M109 - Emulsão asfáltica RL-1C	0,0012	t	0,00		0,00	
M905 - Filler	0,2000	kg	0,13		0,03	
Custo Total do Material					0,03	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica	0,0013	m3	7,54		0,01	
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	0,0052	m3	32,65		0,17	
Custo Total das Atividades					0,18	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
M109 - Emulsão asfáltica RL-1C	0,0012					
M905 - Filler	0,0002					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica	0,0020					
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	0,0078					
Custo Unitário Direto Total					1,83	
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)					0,49	
Preço Unitário Total					2,31	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Construção Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
2 S 02 501 50 - Tratamento superficial duplo c/cap BC				Produção da Equipe : 337,00 m2		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,20	0,80	75,90	17,97	29,56
E016 - Carregadeira de Pneus - 1,91 m3 (113 kW)	1,00	0,07	0,93	134,16	20,97	28,90
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,31	0,69	143,79	17,97	56,98
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,20	0,80	4,51	0,00	0,90
E108 - Distribuidor de Agregados - rebocável	1,00	0,45	0,55	4,40	0,00	1,98
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00	0,00	19,62	0,00	39,25
E111 - Equip. Distribuição de Asfalto - montado em caminhão (175 kW)	1,00	1,00	0,00	127,85	16,18	127,85
E112 - Aquecedor de Fluido Térmico - (12 kW)	1,00	1,00	0,00	106,64	0,00	106,64
E403 - Caminhão Basculante - 6 m3 - 10,5 t (175 kW)	0,73	1,00	0,00	120,69	16,18	88,11
Custo Horário de Equipamentos						480,18
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora			Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41			37,41	
T701 - Servente	8,00	11,90			95,20	
Custo Horário da Mão-de-Obra					132,61	
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)					20,57	
Custo Horário de Execução					633,36	
Custo Unitário de Execução					1,88	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 00 717 00 - Brita Comercial	0,0247	m3	55,39		1,37	
Custo Total das Atividades					1,37	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
M101 - Cimento asfáltico CAP 50/70	0,0020					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
1 A 00 717 00 - Brita Comercial	0,0371					
Custo Unitário Direto Total					3,25	
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)					0,87	
Preço Unitário Total					4,11	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Restauração Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência				Santa Catarina		RCTR0320
5 S 02 990 11 - Fresagem contínua do revest. betuminoso				Produção da Equipe : 20,00 m3		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E127 - Fresadora a Frio - (410 kW)	1,00	1,00	0,00	1.218,15	19,51	1.218,16
E156 - Carregadeira de Pneus - c/ vassoura SPS 155 DA AGF (45 kW)	1,00	0,50	0,50	59,39	20,97	40,19
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	1,08	1,00	0,00	149,82	16,18	161,81
E406 - Caminhão Tanque - 6.000 l (136 kW)	1,00	0,24	0,76	100,35	16,18	36,38
Custo Horário de Equipamentos						1.458,54
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora				Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	1,00	26,79				26,80
T701 - Servente	8,00	11,90				95,20
Custo Horário da Mão-de-Obra						122,00
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)						25,02
Custo Horário de Execução						1.603,56
Custo Unitário de Execução						80,18
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M349 - Dente p/ fresadora W-1900	0,8800	un	23,41		20,60	
M350 - Porta dente p/ fresadora W-1900	0,0515	un	225,05		11,59	
M378 - Apoio do porta dente frezad. W 200	0,0085	un	953,19		8,10	
Custo Total do Material						40,29
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
M997 - Material Fresado	2,4000					
Custo Unitário Direto Total						120,47
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						32,17
Preço Unitário Total						152,64

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Restauração Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
5 S 02 530 00 - Pré-misturado a frio			Produção da Equipe : 22,00 m3			(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,19	0,81	75,90	17,97	28,99
E102 - Rolo Compactador - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,47	0,53	120,48	17,97	66,16
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,71	0,29	143,79	17,97	107,31
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,19	0,81	4,51	0,00	0,86
E149 - Vibro-acabadora de Asfalto - sobre esteiras (82 kW)	1,00	0,63	0,37	151,27	19,51	102,52
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	2,44	1,00	0,00	149,82	16,18	365,58
Custo Horário de Equipamentos						671,41
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora			Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41			37,41	
T701 - Servente	8,00	11,90			95,20	
Custo Horário da Mão-de-Obra					132,61	
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)					20,57	
Custo Horário de Execução					824,60	
Custo Unitário de Execução					37,48	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 397 02 - Usinagem de P.M.F.	1,0000	m3	56,15		56,15	
Custo Total das Atividades					56,15	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
M107 - Emulsão asfáltica RM-1C	0,1400					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
1 A 01 170 01 - Areia extraída com escavadeira hidráulica	0,2700					
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	1,8900					
1 A 01 397 02 - Usinagem de P.M.F.	2,3000					
Custo Unitário Direto Total					93,63	
Lucro e Despesas Indiretas (- 26,70 %)					25,00	
Preço Unitário Total					118,63	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Restauração Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
5 S 02 540 62 - CBUQ reciclado em usina fixa AC/BC				Produção da Equipe : 75,00 t		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,27	0,73	75,90	17,97	33,62
E102 - Rolo Compactador - Tanden vibrat. autoprop. 10,2 t (82 kW)	1,00	0,63	0,37	120,48	17,97	82,56
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,64	0,36	143,79	17,97	98,50
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,27	0,73	4,51	0,00	1,22
E149 - Vibro-acabadora de Asfalto - sobre esteiras (82 kW)	1,00	0,69	0,11	151,27	19,51	136,78
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	1,80	1,00	0,00	149,82	16,18	239,73
Custo Horário de Equipamentos						592,40
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora			Custo Horário	
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41			37,41	
T701 - Servente	8,00	11,90			95,20	
Custo Horário da Mão-de-Obra					132,61	
Adc.M.O. - Ferramentas: (15,51 %)					20,57	
Custo Horário de Execução					745,59	
Custo Unitário de Execução					9,94	
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 398 52 - Usinagem de CBUQ p/ reciclagem em usina fixa BC	1,0000	t	42,28		42,28	
Custo Total das Atividades					42,28	
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
M997 - Material Fresado	0,4910					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço				Custo Unitário	
1 A 00 717 00 - Brita Comercial	0,4890					
1 A 01 398 52 - Usinagem de CBUQ p/ reciclagem em usina fixa BC	1,0000					
Custo Unitário Direto Total					52,22	
Lucro e Despesas Indiretas (- 26,70 %)					13,94	
Preço Unitário Total					66,17	

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Restauração Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
5 S 02 511 04 - Micro-revestimento a frio - Microflex - 2,5 cm				Produção da Equipe : 360,00 m2		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,12	0,88	75,90	17,97	24,93
E016 - Carregadeira de Pneus - 1,91 m3 (113 kW)	1,00	0,08	0,92	134,16	20,97	30,03
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,37	0,63	143,79	17,97	64,53
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,12	0,88	4,51	0,00	0,54
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00	0,00	19,62	0,00	39,25
E161 - Equip. Distr. de L.A. Rupt. Contr. - acoplado a cavalo mecânico (254 kW)	1,00	1,00	0,00	309,31	17,72	309,32
E404 - Caminhão Basculante - 10 m3 - 15 t (210 kW)	0,07	1,00	0,00	149,82	16,18	10,49
E406 - Caminhão Tanque - 6.000 l (136 kW)	1,00	0,30	0,70	100,35	16,18	41,43
E409 - Caminhão Carroceria - fixa 9 t (136 kW)	1,00	0,30	0,70	95,62	16,18	40,01
Custo Horário de Equipamentos						560,53
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora				Custo Horário
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41				37,41
T701 - Servente	10,00	11,90				119,00
Custo Horário da Mão-de-Obra						156,41
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)						32,08
Custo Horário de Execução						749,02
Custo Unitário de Execução						2,08
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
M110 - Emulsão polim. p/ micro-rev. a frio	0,0048	t	0,00		0,00	
Custo Total do Material						0,00
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário		Custo Unitário	
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	0,0250	m3	32,66		0,82	
Custo Total das Atividades						0,82
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
M110 - Emulsão polim. p/ micro-rev. a frio	0,0048					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
1 A 01 200 01 - Brita produzida em central de britagem de 80 m3/h	0,0375					
Custo Unitário Direto Total						2,90
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						0,77
Preço Unitário Total						3,67

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				Conservação Rodoviária		SICRO2
Custo Unitário de Referência		Mês : Novembro / 2016		Santa Catarina		RCTR0320
3 S 02 900 00 - Remoção mecanizada de revestimento betuminoso				Produção da Equipe : 35,00 m3		(Valores em R\$)
A - Equipamento	Quantidade	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
E006 - Motoniveladora - (103 kW)	1,00	0,69	0,31	168,57	20,97	122,82
E016 - Carregadeira de Pneus - 1,91 m3 (113 kW)	1,00	1,00	0,00	134,16	20,97	134,16
E400 - Caminhão Basculante - 5 m3 - 8,8 t (136 kW)	0,50	1,00	0,00	89,93	16,18	44,97
Custo Horário de Equipamentos						301,95
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora				Custo Horário
T501 - Encarregado de turma	0,50	26,79				13,40
T701 - Servente	4,00	11,90				47,60
Custo Horário da Mão-de-Obra						61,00
Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)						12,51
Custo Horário de Execução						375,46
Custo Unitário de Execução						10,73
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço					Custo Unitário
M999 - Material retirado da pista	2,4000					
Custo Unitário Direto Total						10,73
Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)						2,86
Preço Unitário Total						13,59

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Restauração Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016			Produção da Equipe : 10,00 m2		(Valores em R\$)	
5 S 02 908 00 - Arrancamento e remoção de paralelepípedos						
A - Equipamento	Quantidade	Utilização	Custo Operacional		Custo Horário	
		Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo			
E409 - Caminhão Carroceria - fixa 9 t (136 kW)	1,00	1,00 0,00	95,62 16,18			95,62
			Custo Horário de Equipamentos			95,62
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora		Custo Horário		
T501 - Encarregado de turma	0,50	26,79		13,40		
T701 - Servente	8,00	11,90		95,20		
		Custo Horário da Mão-de-Obra		108,60		
		Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)		22,27		
		Custo Horário de Execução		226,49		
		Custo Unitário de Execução		22,65		
		Custo Unitário Direto Total		22,65		
		Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)		6,05		
		Preço Unitário Total		28,70		

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários			Conservação Rodoviária		SICRO2	
Custo Unitário de Referência			Santa Catarina		RCTR0320	
Mês : Novembro / 2016			Produção da Equipe : 2250,0 m2		(Valores em R\$)	
3 S 02 500 51 - Capa selante com areia AC						
A - Equipamento	Quantidade	Utilização	Custo Operacional		Custo Horário	
		Operativa Improdutiva	Operativo Improdutivo			
E007 - Trator Agrícola - (74 kW)	1,00	0,81 0,19	75,90 17,97			64,90
E016 - Carregadeira de Pneus - 1,91 m3 (113 kW)	1,00	0,14 0,86	134,16 20,97			36,82
E105 - Rolo Compactador - de pneus autoprop. 25 t (98 kW)	1,00	0,86 0,14	143,79 17,97			126,18
E107 - Vassoura Mecânica - rebocável	1,00	0,81 0,19	4,51 0,00			3,66
E108 - Distribuidor de Agregados - rebocável	1,00	0,54 0,46	4,40 0,00			2,38
E110 - Tanque de Estocagem de Asfalto - 30.000 l	2,00	1,00 0,00	19,62 0,00			39,25
E111 - Equip. Distribuição de Asfalto - montado em caminhão (175 kW)	1,00	1,00 0,00	127,85 16,18			127,85
E112 - Aquecedor de Fluido Térmico - (12 kW)	1,00	1,00 0,00	106,64 0,00			106,64
E400 - Caminhão Basculante - 5 m3 - 8,8 t (136 kW)	0,88	1,00 0,00	89,93 16,18			79,15
			Custo Horário de Equipamentos			586,83
B - Mão-de-Obra	Quantidade	Salário-Hora		Custo Horário		
T511 - Encarreg. de pavimentação	1,00	37,41		37,41		
T701 - Servente	8,00	11,90		95,20		
		Custo Horário da Mão-de-Obra		132,61		
		Adc.M.O. - Ferramentas: (20,51 %)		27,20		
		Custo Horário de Execução		746,65		
		Custo Unitário de Execução		0,33		
C - Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
M105 - Emulsão asfáltica RR-2C	0,0006	t	0,00	0,00		
			Custo Total do Material	0,00		
D - Atividades Auxiliares	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário		
1 A 00 716 00 - Areia comercial	0,0060	m3	66,83	0,40		
			Custo Total das Atividades	0,40		
E - Transporte de Materiais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
M105 - Emulsão asfáltica RR-2C	0,0006					
F - Transporte de Materiais Produzidos / Comerciais	Toneladas / Unidade de Serviço			Custo Unitário		
1 A 00 716 00 - Areia comercial	0,0090					
			Custo Unitário Direto Total	0,73		
			Lucro e Despesas Indiretas (26,70 %)	0,20		
			Preço Unitário Total	0,93		