

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIA, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LOISE EDUARDA BALDISSERA

**APERFEIÇOAMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL DE REGISTRO DE
DEFEITOS DE PAVIMENTOS**

PONTA GROSSA

2022

LOISE EDUARDA BALDISSERA

**APERFEIÇOAMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL DE REGISTRO DE
DEFEITOS DE PAVIMENTOS**

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador (a): Profa. Dra. Lilian Tais de Gouveia.

PONTA GROSSA

2022

LOISE EDUARDA BALDISSERA

**APERFEIÇOAMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL DE REGISTRO DE
DEFEITOS DE PAVIMENTOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Lilian Tais de Gouveia

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.^a MSc. Gabriela Legramanti

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Joel Larocca Junior

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa, 17 de março de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais Maria Gorete e Valmeri pelo apoio durante a graduação.

A toda minha família e amigos pelo apoio e incentivo.

A minha professora e orientadora, Dra. Lilian Taís de Gouveia, por todo apoio e conhecimento compartilhado.

E a todos que influenciaram de modo direto ou indireto no meu trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o intuito de aperfeiçoar e ampliar a base de dados de defeitos em pavimentos asfálticos no âmbito urbano e incrementar o *software* para WEB LabPavi quanto à sugestão de atividades de manutenção e restauração de defeitos. Para isso, foram coletadas imagens de defeitos de pavimentos, capturadas por uma máquina fotográfica digital, contendo os defeitos mais recorrentes nas cidades de Ivaí – PR, Irati – PR e Prudentópolis – PR. Com objetivo de classificar os defeitos obtidos em imagens digitais e sugerir atividades de manutenção e restauração para correção dos defeitos, de maneira sistemática, foram desenvolvidas duas árvores de decisão, uma para classificação de defeitos e outra para auxílio na tomada de decisão quanto às atividades de manutenção e restauração. No banco de dados inseriu-se os nomes de defeitos, registrou-se procedimentos utilizados nos ramos da árvore de decisão e seus respectivos detalhamentos. Os detalhamentos dos demais procedimentos foram atualizados, assim como foram registradas novas atividades de manutenção e restauração para cada defeito e severidade presentes nos ramos da árvore de decisão, além da inclusão de 324 novas imagens obtidas *in loco*. As imagens digitais foram cadastradas de acordo com o tipo de defeito, grau de severidade e atividades recomendadas de manutenção e restauração, utilizando o *software* LabPavi que pode ser acessado em <http://lcad.deinfo.uepg.br/labpavi>.

Palavras-chave: base de dados, defeitos de pavimentos, atividades de manutenção, restauração, árvore de decisão, *software* LabPavi.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de árvore de decisão para trincas por fadiga do revestimento ..	15
Figura 2 – Trinca isolada transversal	17
Figura 3 – Trinca isolada longitudinal.....	18
Figura 4 – Trinca de retração térmica	19
Figura 5 – Trinca interligada tipo jacaré	20
Figura 6 – Trinca interligada tipo bloco	21
Figura 7 – Afundamento plástico de trilha de roda	22
Figura 8 – Afundamento por consolidação em trilha rodas	23
Figura 9 – Ondulação.....	24
Figura 10 – Escorregamento.....	25
Figura 11 – Exsudação	26
Figura 12 – Desgaste	27
Figura 13 – Panela	28
Figura 14 – Remendo bem executado	29
Figura 15 – Remendo mal executado	29
Figura 16 – Seleção do segmento comprometido.....	32
Figura 17 – Fresagem do pavimento.....	32
Figura 18 – Aplicação da pintura de ligação	33
Figura 19 – Compactação da mistura asfáltica	33
Figura 20 – Acabamento final e sinalização horizontal	34
Figura 21 – Execução de reperfilagem PR - 323.....	35
Figura 22 – Abertura de trinca para selagem e limpeza.....	36
Figura 23 – Aplicação do produto selante	36
Figura 24 – Aplicação de cal para proteção caso se utilize uma nova camada de revestimento asfáltico.....	37
Figura 25 – Revestimento após selagem de trincas.....	37
Figura 26 – Aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana	38
Figura 27 – Aplicação de lama asfáltica	39
Figura 28 – Aplicação de microrrevestimento	40
Figura 29 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia.....	40
Figura 30 – Ilustração do tratamento superficial simples	41
Figura 31 – Ilustração do tratamento superficial duplo.....	41

Figura 32 – Ilustração do tratamento superficial triplo	41
Figura 33 – Textura superficial de um pavimento com camada porosa de atrito	43
Figura 34 – Execução da pintura de ligação	51
Figura 35 – Aplicação do geotêxtil	51
Figura 36 – Compressão para a aderência à pintura de ligação	52
Figura 37 – Impregnação com emulsão asfáltica	52
Figura 38 – Espalhamento de pedrisco impregnado com ligante asfáltico.....	53
Figura 39 – Execução da camada de recapeamento	53
Figura 40 – Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões.....	54
Figura 41 – Posicionamento de camada de interrupção de trincas.....	55
Figura 42 – Sistema de gerência de pavimentos	56
Figura 43 – Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto	57
Figura 44 - Mapa de localização com Paraná e os municípios identificados	60
Figura 45 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Ivaí	61
Figura 46 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Irati	61
Figura 47 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Prudentópolis	62
Figura 48 – Fotografia Digital com presença de fator de escala	62
Figura 49 - Fotografia método 360° - Ângulo 01	63
Figura 50 - Fotografia método 360° - Ângulo 02	63
Figura 51 - Fotografia método 360° - Ângulo 03	64
Figura 52 - Fotografia método 360° - Ângulo 04	64
Figura 53 – Página de apresentação	65
Figura 54 – Página para <i>login</i>	66
Figura 55 – Página inicial	66
Figura 56 – Página para adicionar e editar os defeitos	67
Figura 57 – Página para adicionar e editar os procedimentos	68
Figura 58 – Página de atividades de manutenção destinadas para cada defeito e severidade.....	69
Figura 59 – Página para adicionar as amostras	70
Figura 60 – Resumo das fendas – Codificação e Classificação.....	71
Figura 61 – Resumo dos outros defeitos – Codificação e Classificação	71

Figura 62 – Árvore de decisão para classificação dos defeitos.....	74
Figura 63 – Ramo da árvore de decisão para trincas transversais	76
Figura 64 – Ramo da árvore de decisão para trincas longitudinais.....	77
Figura 65 – Ramo da árvore de decisão para trincas em bloco	78
Figura 66 – Ramo da árvore de decisão para trincas couro de jacaré	79
Figura 67 – Ramo da árvore de decisão para afundamento plástico local e na trilha de rodas	80
Figura 68 – Ramo da árvore de decisão para afundamento por consolidação local e na trilha de rodas.....	80
Figura 69 – Ramo da árvore de decisão para ondulação/corrugação.....	81
Figura 70 – Ramo da árvore de decisão para escorregamento	81
Figura 71 – Ramo da árvore de decisão para exsudação.....	82
Figura 72 – Ramo da árvore de decisão para desgaste.....	83
Figura 73 – Ramo da árvore de decisão para panela/buraco	84
Figura 74 – Ramo da árvore de decisão para remendo	84
Figura 75 – Fotografia digital com presença de fator de escala para classificação...85	
Figura 76 – Registro do escorregamento nos defeitos.....	86
Figura 77 – Registro de procedimento e detalhamento da camada porosa de atrito	87
Figura 78 – Registro da atividade de manutenção capa selante para a trinca transversal de baixa severidade.....	88
Figura 79 – Cadastro da amostra de panela/buraco de severidade alta	89
Figura 80 – Aba de alteração de informações e localização da panela/ buraco de severidade alta	90
Figura 81 – QR Code de acesso ao <i>software</i> LabPavi.....	91

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
1.1.	OBJETIVOS	12
1.1.1.	Objetivo Geral	12
1.1.2.	Objetivos Específicos	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1.	MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO	13
2.1.1.	Método da Matriz	13
2.1.2.	Método do Custo de Ciclo de Vida	13
2.1.3.	Método de Otimização	14
2.1.4.	Árvores de Decisão	14
2.2.	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E SUAS ORIGENS	15
2.2.1.	Fendas	16
2.2.1.1.	Fissuras.....	16
2.2.1.2.	Trincas	16
2.2.2.	Afundamento	21
2.2.2.1.	Afundamento Plástico	21
2.2.2.2.	Afundamento por Consolidação	22
2.2.3.	Ondulação ou Corrugação	23
2.2.4.	Escorregamento	24
2.2.5.	Exsudação	25
2.2.6.	Desgaste	26
2.2.7.	Panela ou Buraco.....	27
2.2.8.	Remendo.....	28

2.3.	TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	29
2.3.1.	Conservação Rotineira.....	30
2.3.1.1.	Remendo.....	30
2.3.1.2.	Reperfilagem.....	34
2.3.1.3.	Selagem de Trincas	35
2.3.2.	Conservação Periódica	37
2.3.2.1.	Lama Asfáltica.....	38
2.3.2.2.	Microrrevestimento.....	39
2.3.2.3.	Tratamento Superficial	40
2.3.2.4.	Capa Selante	42
2.3.2.5.	Camada Porosa de Atrito	42
2.3.2.6.	Areia-Asfalto a Quente.....	43
2.3.2.7.	Recapeamento Esbelto com Mistura Densa	43
2.3.3.	Restauração ou Reabilitação	44
2.3.3.1.	Fresagem	44
2.3.3.2.	Reciclagem	45
2.3.3.3.	Recapeamento Estrutural.....	48
2.3.3.4.	Reconstrução	48
2.4.	COMBINAÇÕES DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	49
2.4.1.	Técnicas de Restauração de Pavimentos com Problemas Funcionais	49
2.4.2.	Técnicas de Contenção de Trincamento por Reflexão.....	50
2.4.2.1.	Emprego de Geossintéticos	50
2.4.2.2.	Camadas Intermediárias de Alívio de Tensões.....	54
2.4.2.3.	Camadas de Dissipação de Trincas.....	54

2.4.2.4.	Espessura de Recapeamento Aumentada.....	55
2.4.2.5.	Emprego de Revestimentos Asfálticos com Ligantes Modificados .	55
2.5.	SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP).....	56
3.	MÉTODO	60
4.	RESULTADO E ANÁLISE DE RESULTADOS	73
4.1.	ELABORAÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO	73
4.2.	CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS	85
4.3.	BASE DE DADOS	86
5.	CONCLUSÃO	92
5.1.	TRABALHOS FUTUROS	93
	REFERÊNCIAS.....	94

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O pavimento é um revestimento construído sobre uma superfície de terraplenagem, chamado de subleito, e dotado de diversas camadas, destinadas a resistir aos esforços provenientes do tráfego e intempéries. O pavimento proporciona a trafegabilidade da via, bem como o conforto e a segurança aos usuários (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 9).

Com o passar do tempo o pavimento asfáltico se deteriora e surgem defeitos na superfície, que podem ser identificados visualmente e classificados conforme a Norma DNIT 005/2003. Dessa forma, é necessário determinar quais as atividades de manutenção e reabilitação mais viáveis para cada defeito e severidade. Entretanto, erros ou inadequações construtivas, de projeto, na seleção, na dosagem, na produção de materiais e nas alternativas de conservação e manutenção reduzem a vida de projeto, acarretando no surgimento precoce de defeitos nos pavimentos asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 414).

Para o usuário, o estado da superfície é um dos pontos mais importantes, visto que, as irregularidades e defeitos da via afetam diretamente o conforto e a segurança, além de elevar o custo operacional do transporte (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 403).

No Brasil existe uma carência na gerência de pavimentos, conseqüentemente, a falta de intervenções ou manutenções no pavimento realizadas sem um ponto de vista técnico, ocasionam restaurações dispendiosas (ROCHA; FERREIRA; BORBA, 2017, p. 199).

Pensando nisso, esse trabalho tem como objetivo ampliar e aperfeiçoar o banco de dados do *software* LabPavi, o qual contém a classificação dos defeitos em pavimentos asfálticos urbanos, sua classificação quanto ao tipo, grau de severidade e sugestões de manutenção e reabilitação adequadas, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão em relação às atividades de manutenção ou reabilitação a serem realizadas nos pavimentos com defeitos e irregularidades, para melhorar sua trafegabilidade, bem como o conforto e a segurança do usuário.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é aperfeiçoar e ampliar o banco de dados do *software* LabPavi, melhorando a tomada de decisão que auxilia na escolha de atividades de manutenção e reabilitação, com base na classificação de defeitos em pavimentos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Revisão bibliográfica sobre métodos e ferramentas de auxílio na tomada de decisão na seleção de atividades de manutenção e restauração de pavimentos;
- Levantar as atividades de manutenção ou restauração utilizadas para cada defeito e severidade;
- Incrementar o *software* LabPavi quanto à sugestão de atividades de manutenção e restauração de defeitos;
- Alimentar a base de dados do *software* LabPavi com imagens digitais de defeitos de pavimentos, contendo sua classificação e sugestão de atividades de manutenção ou reabilitação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho abordam-se temas relevantes em reação os seus objetivos, os quais incluem-se os métodos de apoio a tomada de decisão, as manifestações patológicas e suas origens, as técnicas de manutenção e restauração de pavimentos asfálticos, as combinações de técnicas de manutenção e restauração de pavimentos asfálticos, o sistema de gerência de pavimentos e os *softwares* de gerência de pavimentos.

2.1. MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

A análise de pavimento consiste em determinar sua condição atual, onde verifica-se seu nível de degradação, previsão de condições futuras, realizadas através de modelos de desempenho, e suas prioridades de intervenção, onde é necessário elaborar um sistema de apoio à tomada de decisão (ALBUQUERQUE, 2007, p. 39).

Existem 4 métodos de avaliação que estabelecem as estratégias de manutenção e reabilitação: o método da matriz, o método do custo do ciclo de vida, o método da otimização e a árvore de decisão.

2.1.1. Método da Matriz

O método da matriz relaciona um defeito em particular a uma estratégia apropriada, não considerando o nível e severidade dos defeitos, nem o volume de tráfego da via. Por conta disso, esse método não leva em conta a real condição do pavimento nem suas solicitações (JOVER, 2017, p. 56).

2.1.2. Método do Custo de Ciclo de Vida

Esse método seleciona várias estratégias de manutenção e restauração baseados no custo do ciclo de vida do pavimento, formando uma combinação estratégica requerida em um período de análise (ALBUQUERQUE, 2007; JOVER, 2017).

Este é um método mais sofisticado, que necessita de um tempo maior de estudo, mais informações da via, como seus custos iniciais de construção ou restauração, a vida de projeto restante da estrutura inicial do pavimento, os custos futuros de manutenção e restauração, a previsão do momento ideal e do desempenho

das futuras manutenções e restaurações, a taxa de conforto econômico, a previsão do valor residual do pavimento no final do período de análise e os custos dos usuários, além de maiores investimentos financeiros (ALBUQUERQUE, 2007; JOVER, 2017).

2.1.3. Método de Otimização

O método de otimização vai confrontar o máximo de benefício ao usuário, o máximo do padrão e desempenho da rede e o mínimo de custos totais. Este é um modelo mais aprimorado que necessita de um alto investimento financeiro e informação sobre o pavimento, como análise do seu projeto, execução e seus custos de manutenção (ALBUQUERQUE, 2007; JOVER, 2017).

2.1.4. Árvores de Decisão

A árvore de decisão é utilizada para selecionar as atividades de manutenção e restauração de pavimento para um defeito específico, na qual variáveis importantes como sua degradação, tráfego e classes funcionais de rodovias, podem ser consideradas nessa seleção (ALBUQUERQUE, 2007, p. 50).

Esse método de classificação é utilizado com o principal objetivo de facilitar e padronizar as decisões a serem tomadas. Na sua elaboração estuda-se as necessidades atuais de intervenção em caráter corretivo ou preventivo, avaliando individualmente cada defeito (ALBUQUERQUE, 2007, p. 50).

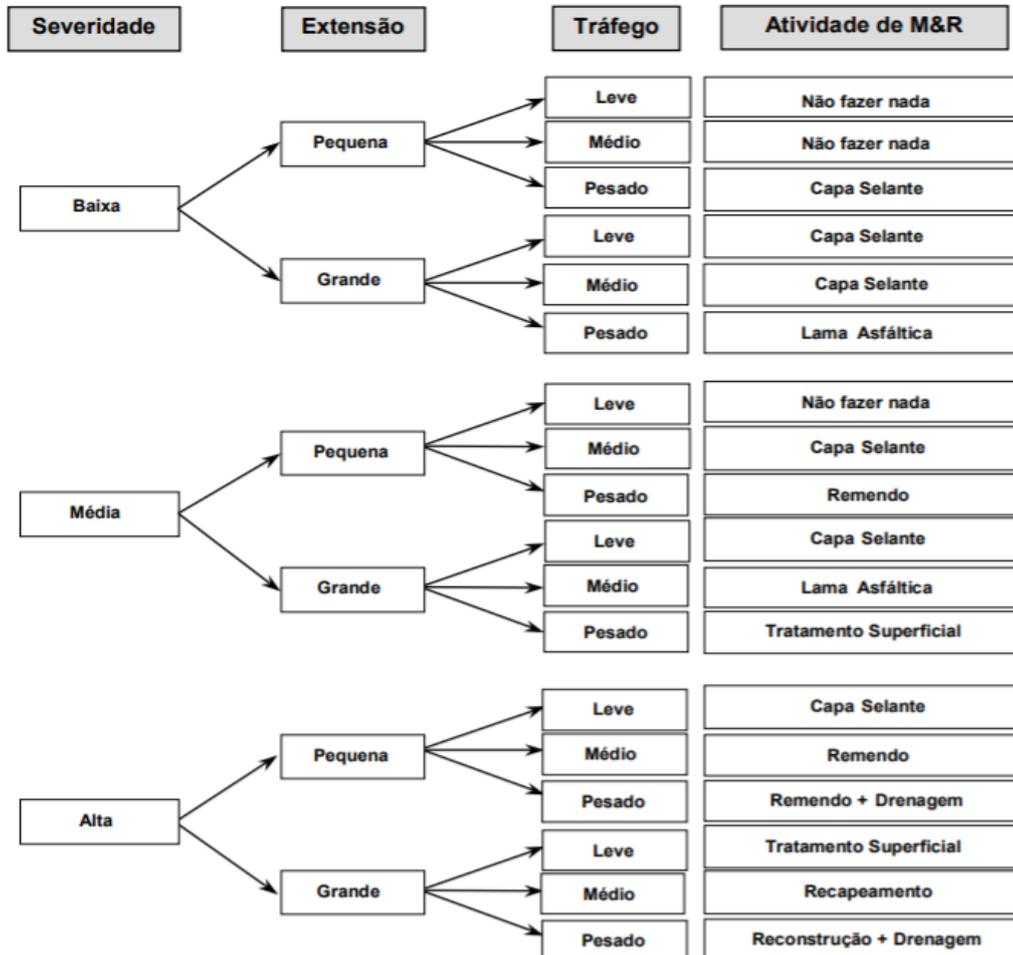
Para construir uma árvore de decisão deve-se selecionar um atributo para colocar no nó-raiz e fazer um ramo para cada possível especificação, dividindo-se em subconjuntos, e assim sucessivamente, até uma especificação final (SILVA *et al.*, 2008, p. 81).

Para Gomes (2002 *apud* SILVA *et al.*, 2008, p. 81) as etapas da técnica para o auxílio da tomada de decisão são definidas como: I) definição do tema; II) definição do objetivo, metas e submetas; III) construção da árvore de decisão; IV) revisão da árvore de decisão; V) encerramento.

A árvore de decisão garante uma maior flexibilidade sobre os mecanismos tradicionais na medida em que as decisões são definidas. Nas árvores, uma série de eventos podem ser mapeados ao longo dos diversos ramos, envolvendo várias

decisões de sequenciamento (SILVA *et al.*, 2008, p. 81). A Figura 1 é um exemplo de árvore de decisão para trincas por fadiga do revestimento.

Figura 1 – Exemplo de árvore de decisão para trincas por fadiga do revestimento



Fonte: FERNANDES JR., ODA e ZERBINI (1999)

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E SUAS ORIGENS

Nesta seção apresenta-se as principais manifestações patológicas segundo a norma DNIT 005/2003, seguidas de suas origens. Dentre essas manifestações incluem-se:

- Fenda (classificada como fissura ou trinca);
- Afundamento (classificado como afundamento plástico e afundamento por consolidação);
- Ondulação ou Corrugação;
- Escorregamento;

- Exsudação;
- Desgaste;
- Panela ou Buraco;
- Remendo.

Entender isso leva a sua correta classificação, para posteriormente determinar qual atividade de manutenção ou restauração ideal para seu tipo e severidade.

2.2.1. Fendas

As fendas são caracterizadas como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento que acarrete a abertura de menor ou de maior porte, podendo se manifestar como fissuras ou trincas (DNIT, 2003, p. 2).

As fendas são um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas dependendo da tipologia e da gravidade (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 415).

De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (2006a), as fendas são ocasionadas pelo tráfego atuante, onde ocorre o ciclo de carregamento e alívio de tensões de tração na fibra interior do revestimento, pela mudança diária de temperatura, com a contração do revestimento e pela reflexão no revestimento de trincas em base cimentadas existentes.

2.2.1.1. Fissuras

As fissuras são aberturas na superfície asfáltica perceptíveis a olho nu apenas a uma distância inferior a 1,5 m, com extensão inferior a 30 cm, que ainda não acarretam problemas funcionais ao revestimento, não sendo consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2003).

2.2.1.2. Trincas

A trinca é uma abertura na superfície do pavimento facilmente visível e com abertura superior à da fissura. As trincas facilitam a entrada de água pelo meio da camada superficial do pavimento, causando instabilidade nas demais camadas do pavimento (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2003).

As trincas podem ser classificadas como isolada ou interligada, a trinca isolada é subdividida em trinca transversal, trinca longitudinal e trinca de retração e a trinca interligada pode ser do tipo bloco ou couro de jacaré (DNIT, 2003, p. 2).

De acordo com SHRP (1993 *apud* FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 6) a severidade das trincas isoladas é baixa, quando sua abertura média é inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições; média, quando sua abertura média está entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa; e alta, quando sua abertura média é superior a 19 mm ou com abertura média inferior a 19 mm, mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média e alta.

- Trinca Transversal

A trinca transversal apresenta direção ortogonal ao eixo da via e quando possuem até 100 centímetros são denominadas curtas e quando possuem uma extensão superior a 100 centímetros são denominadas longas (DNIT, 2003, p. 2).

Essa trinca está associada à contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas. O ingresso de águas e a ação do tráfego aceleram o processo de deterioração da mesma (DNIT, 2005b; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999). A Figura 2, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra uma trinca isolada transversal.

Figura 2 – Trinca isolada transversal



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

- Trinca Longitudinal

A trinca longitudinal apresenta direção paralela ao eixo da via, quando possuem até 100 centímetros são denominadas curtas e quando possuem uma extensão superior a 100 centímetros são denominadas longas (DNIT, 2003, p. 2).

Essa trinca está associada a falhas executivas, envelhecimento do ligante asfáltico, recalques diferenciais e podem surgir junto à trilha de roda ou como falha de juntas longitudinais de diferentes frentes de compactação. O ingresso de águas e a ação do tráfego aceleram o processo de deterioração da mesma (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2005b). A Figura 3, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra uma trinca isolada longitudinal.

Figura 3 – Trinca isolada longitudinal



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

- Trinca de Retração

A trinca isolada de retração é atribuída aos fenômenos de retração térmica. Esse tipo de trinca pode estar associado à trinca transversal ou longitudinal fora das trilhas de roda (DNIT, 2003; MACHADO, 2013). A Figura 4 ilustra uma trinca de retração térmica causada por baixas temperaturas.

Figura 4 – Trinca de retração térmica



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

- Trinca Couro de Jacaré

A trinca interligada do tipo couro de jacaré ou por fadiga é um conjunto de trincas interligadas sem direções, semelhante à aparência do couro de jacaré. Esse defeito ocorre quando o pavimento, submetido às repetidas aplicações de cargas, devido à ação do tráfego e chega ao limite de sua capacidade de resistir à tração e, as condições ambientais podem acelerar o início e a propagação das trincas (DNIT, 2003, 2005b).

Outros fatores que também aceleraram a propagação do defeito é quando o pavimento é submetido a cargas superiores ao seu dimensionamento ou quando sua execução não foi acompanhada de um controle de qualidade adequado (DNIT, 2003; MACHADO, 2013).

Esse tipo de trincamento inicia na face inferior do revestimento ou da base estabilizada, onde ocorrem as maiores tensões de tração geradas pela ação do tráfego. A partir da face inferior do revestimento, as trincas começam a se propagar para a superfície, formando as trincas couro de jacaré (DNIT, 2005b, p. 378). A Figura 5, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra uma trinca interligada tipo couro de jacaré.

Figura 5 – Trinca interligada tipo jacaré



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

- Trinca em Bloco

A trinca em bloco é identificada pela configuração de blocos, com lados bem definidos, em formato aproximadamente retangular, formando blocos de vários tamanhos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas. À medida que os blocos se deterioram, sofrem uma redução nas suas dimensões (DNIT, 2003, 2005b).

Esse defeito pode ser causado por contrações na mistura asfáltica, em função da alternância térmicas nas camadas superficiais ou resultante da variação no teor de umidade nas camadas inferiores. A verificação desse defeito, geralmente, evidencia que o ligante asfáltico perdeu consideravelmente sua característica elástica (DNIT, 2003, 2005b; MACHADO, 2013). A Figura 6, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra uma trinca interligada tipo bloco.

Figura 6 – Trinca interligada tipo bloco



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.2. Afundamento

O afundamento é a deformação permanente caracterizada pela depressão do pavimento, ou seja, uma superfície cujo nível é mais baixo que a superfície ao seu redor. Esse defeito pode ser acompanhado, ou não, de solevamento lateral e pode ocorrer em qualquer região do revestimento (DNIT, 2003, 2005b).

O afundamento é classificado como afundamento plástico ou afundamento de consolidação.

2.2.2.1. Afundamento Plástico

O afundamento plástico é caracterizado por uma depressão da superfície do pavimento acompanhada de uma elevação lateral ou solevamento lateral, causado pela distorção e movimentação das partículas envolvidas no processo de ruptura plástica (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2003, 2005b).

Segundo Bernucci *et al.* (2010) o afundamento é causado pela falha na dosagem da mistura asfáltica, com o excesso de ligante asfáltico, e falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para carga solicitante.

Quando o afundamento possui até 6 metros de extensão são denominados de plástico local, e quando superiores a 6 metros são denominados de plástico da

trilha de roda (DNIT, 2003, p. 3). A Figura 7, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra um afundamento de trilha de roda.

Figura 7 – Afundamento plástico de trilha de roda



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.2.2. Afundamento por Consolidação

O afundamento de consolidação existe pelo fato de a consolidação diferencial ocorrer em camadas do pavimento e/ou do subleito. Até certos limites os afundamentos são toleráveis, porém, quando as deformações formam flechas expressivas, a estrutura estará pondo em risco a segurança dos usuários (DNIT, 2003, 2005b).

As causas do afundamento por consolidação podem estar relacionadas a compactação insuficiente de uma ou mais camadas durante a construção e enfraquecimento de uma ou mais camadas devido a infiltração de água (DNIT, 2005b, p. 380).

Quando o afundamento tem até 6 metros de extensão são chamados de consolidação local; quando maiores que 6 metros são chamados de consolidação na trilha de roda (DNIT, 2003, p. 3). A Figura 8 ilustra esse defeito.

Figura 8 – Afundamento por consolidação em trilha rodas



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.2.3. Ondulação ou Corrugação

Defeitos são denominados como ondulação ou corrugação quando há deformação caracterizada por ondulações transversais permanentes e plásticas na superfície do revestimento (DNIT, 2003; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999).

Esse defeito apresenta-se normalmente em regiões de aceleração ou de frenagem dos veículos e podem ocorrer em qualquer região da superfície, porém com maior gravidade nas trilhas de rodas (DNIT, 2005b; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999).

De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (2006a), a ondulação ou corrugação pode ser causada pela instabilidade da mistura betuminosa da camada de revestimento e/ou a base de um pavimento, pelo excesso de umidade das camadas subjacentes, pela contaminação da mistura asfáltica, pela retenção de água na mistura asfáltica e por falhas de imprimação da base. A Figura 9, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra esse defeito.

Figura 9 – Ondulação



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.4. Escorregamento

O escorregamento é caracterizado pelo deslocamento do revestimento em relação às demais camadas do pavimento, com o surgimento de fendas do tipo meia-lua (DNIT, 2003, p. 3).

Esse defeito é caracterizado inicialmente por trincas em forma de meia-lua ocorrentes nos locais de aplicação do esforços de tração das cargas de roda e, com o tempo, surge o escorregamento do revestimento ou capa asfáltica, promovendo a exposição das camadas inferiores do pavimento (DNIT, 2005b, p. 382).

De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (2006a), o escorregamento pode ser causado pela ligação inadequada entre o revestimento e a camada sobre a qual ele se apoia, a falta de inércia do revestimento asfáltico em virtude de sua reduzida espessura e pela fluência plástica do revestimento em temperaturas elevadas. A Figura 10 ilustra o escorregamento do revestimento.

Figura 10 – Escorregamento



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.2.5. Exsudação

A exsudação é definida pelo excesso de ligante betuminoso exposto na superfície do pavimento, ocasionado pela migração do ligante através do revestimento e se caracteriza por manchas de várias dimensões (DNIT, 2003, 2005b).

A exsudação pode ocorrer pela inadequada dosagem da mistura asfáltica, o que acarreta ao excessivo teor de ligante e/ou baixo nível de vazios na mistura (DNIT, 2006a; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999).

De acordo com SHRP (1993, *apud* FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 7) a severidade desse defeito é considerada baixa quando existe uma mudança de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto; média quando há perda de textura superficial; e alta, quando houver aparência brilhante, marcas de pneus evidentes em tempo quente. A Figura 11, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra a exsudação em um pavimento.

Figura 11 – Exsudação



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.6. Desgaste

Desgaste é considerado pela Norma DNIT (2003) como o arrancamento progressivo do agregado do revestimento sendo caracterizado por uma superfície áspera, provocado por esforços tangenciais oriundos do tráfego.

Este pode ser ocasionado pela falta de ligante na mistura asfáltica, redução da ligação existente entre o agregado e o ligante, devido à oxidação do ligante e pela ação combinada dos intemperes e do tráfego, pela perda da coesão entre o ligante e o agregado, causada pela presença de sujeira no momento da construção, pela execução da obra em más condições meteorológicas, pela presença de água no interior do revestimento e pela deficiência de ligante localizada nos serviços por penetração (DNIT, 2006a, p. 67).

De acordo com SHRP (1993, *apud* FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 7) a severidade desse defeito é baixa no início do desgaste, quando ocorre a perda do agregado miúdo; média, quando a textura superficial se torna áspera, com perda de agregado miúdos e de alguns graúdos; e alta, quando a textura superficial se torna muito áspera, com perda de agregado graúdo. A Figura 12, retirada da Norma DNIT

005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra um pavimento com desgaste.

Figura 12 – Desgaste



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.7. Panela ou Buraco

Panela ou buraco é definido como uma cavidade que se forma no revestimento podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, resultante da desintegração localizada, sob ação do tráfego e em presença de água. A fragmentação é causada por trinca por fadiga ou desgaste, que com a ação do tráfego causa a remoção localizada de parte do revestimento (DNIT, 2003; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999).

As principais causas das painelas são a falha estrutural, resultante de um revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores, segregação da mistura, pela falta de ligante asfáltico em pontos localizados e problemas construtivos de drenagem. Também pode ocorrer por falta de aderência entre as camadas sobrepostas, causando deslocamento (FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999; MACHADO, 2013).

De acordo com SHRP (1993, *apud* FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 7) a severidade desse defeito é baixa quando a cavidade apresenta profundidade inferior a 25 mm; média, quando a cavidade apresenta profundidade entre 25 mm e

50 mm; e alta; quando a cavidade tem profundidade superior a 50 mm. A Figura 13, retirada da Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos Pavimentos Asfálticos Flexíveis, ilustra esse defeito.

Figura 13 – Panela



Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

2.2.8. Remendo

O remendo é um reparo permanente no caso de problemas localizados, onde ocorre a substituição de revestimento da superfície e/ou até mesmo de camadas inferiores do pavimento, apresentando uma forma retangular (DNIT, 2003, p. 3).

Os remendos são denominados defeitos no momento em que provocam desconforto. De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT (2006a), defeitos no remendo são causados principalmente pela solicitação intensa do tráfego, pelo emprego de materiais de má qualidade, por problemas construtivos e pela agressividade das condições ambientais.

A Figura 14 e a Figura 15 ilustram um remendo bem executado e um remendo mal executado respectivamente.

Figura 14 – Remendo bem executado



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 15 – Remendo mal executado



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.3. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

As técnicas de manutenção e restauração são definidas e retratadas pelas atividades de conservação, com objetivo de preservar as características técnicas e físico-operacionais do pavimento, fazendo com que ele desempenhe, de maneira satisfatória, o seu papel durante sua via útil, a qual foi projetada (DNIT, 2006a, p. 205).

As atividades de conservação não devem ser consideradas como um recurso temporário e sim como um investimento aplicado na infraestrutura rodoviária e na garantia contra uma restauração dispendiosa (DNIT, 2006a, p. 205).

Dentre essas atividades, tem-se a conservação rotineira e a conservação periódica, que tratam estritamente das atividades de conservação ordinária (DNIT, 2005b, p. 304). Outra atividade de caráter periódico é a restauração, porém não se inclui no escopo ordinário dos serviços de conservação (DNIT, 2005b, p. 105).

2.3.1. Conservação Rotineira

A conservação rotineira compreende um conjunto de atividades que tem como objetivo reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento da via (DNIT, 2005b, p. 304). Na conservação rotineira inclui-se as atividades de remendo, reperfilagem e selagem de trincas.

2.3.1.1. Remendo

Os remendos constituem o método de reparo mais utilizado na manutenção de rodovias e ruas, pois essa atividade é utilizada para reparar panelas ou buracos, trincamento por fadiga e regularização prévia da superfície em revestimentos asfálticos flexíveis (DNIT, 2006a; FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999).

Os remendos podem ser classificados como superficiais e profundos. Os remendos superficiais atingem a camada de revestimento e evitam a penetração da umidade no pavimento. Já os remendos profundos, que são utilizados para reparos permanentes, podem atingir mais camadas do pavimento até mesmo a substituição do subleito (DNIT, 2005b, p. 321).

Para a execução de remendo profundos segundo o CDT (2015) podem ser realizados os seguintes procedimentos:

- Enquadramento do reparo dentro de um polígono regular (retângulo ou quadrado);
- Remover todo o material solto nas laterais e fundo. Recomendável o uso de mini fresadora para a execução dos remendos;
- Verificar se os bordos estão com material firme, com adequado comportamento;

- Cortar os bordos com serra circular, na camada firme. Se usada a fresadora não é necessário o uso de serra na direção do corte.
- Limpar completamente a seção. Se usar uma mini fresadora, usar a vassoura mecânica para agilizar a execução da limpeza;
- Usar jatos de ar comprimido na limpeza final da seção. Verificar se há “desplacamento”, ou “solas” no fundo do buraco com a aplicação do ar comprimido. Se houver retirar todo o material que está solto;
- Executar uma pintura de ligação no fundo e bordos. A pintura deve remontar no pavimento antigo mais ou menos 3 centímetros. Os bordos devem estar bem pintados para não permitir a entrada de água pela junta;
- Colocar uma guia de cada lado da seção, no sentido longitudinal. Este guia tem que ter a espessura da mistura a quente com empolamento, antes da compactação. Como a mistura não é espalhada por vibroacabadora e sim manualmente, considerar um empolamento de 30% da espessura compactada;
- Espalhar rapidamente a massa quente em toda a largura da seção. Pode ser utilizada a caçamba da mini fresadora para agilizar o espalhamento.
- Espalhar a mistura em toda a largura da seção e ir puxando o excesso conforme se vai sarrafeando;
- Sarrafear a mistura com uma cantoneira;
- O espalhamento e sarrafeamento não devem exceder 15 minutos;
- Compactar a mesma com rolo vibratório leve, ou placa vibratória.

A Figura 16, a Figura 17, a Figura 18, a Figura 19 e a Figura 20 exemplificam a aplicação da técnica de remendo.

Figura 16 – Seleção do segmento comprometido



Fonte: CDT (2015)

Figura 17 – Fresagem do pavimento



Fonte: CDT (2015)

Figura 18 – Aplicação da pintura de ligação



Fonte: CDT (2015)

Figura 19 – Compactação da mistura asfáltica



Fonte: CDT (2015)

Figura 20 – Acabamento final e sinalização horizontal



Fonte: CDT (2015)

2.3.1.2. Reperfilagem

A reperfilagem resume-se na aplicação de uma fina camada de mistura asfáltica e/ou remendos localizados, em áreas irregulares. Esta técnica pode ser aplicada para corrigir deformações e melhorar o conforto de rolamento (DNIT, 2005b, p. 323).

Segundo o DER-SP (2013) os serviços de reperfilagem consistem:

- Antes da aplicação da camada de reperfilagem deverão ser efetuados todos os reparos das áreas e pontos danificados ou com problemas estruturais (reparos superficiais e profundos, correção de bordas, etc.);
- Fazer pintura de ligação na superfície da área a ser reperfilada com emulsão asfáltica modificada por polímero;
- Aplicar sobre a superfície uma camada de revestimento asfáltico (CBUQ) na espessura de 2,0cm;
- Dependendo da classe da rodovia, recomenda-se a aplicação de uma camada de Microrrevestimento Asfáltico a Frio, sobre a superfície reperfilada (maior aderência).

A Figura 21 retrata a execução de reperfilagem na PR – 323.

Figura 21 – Execução de reperfilagem PR - 323



Fonte: RECUPERAÇÃO de trecho da PR-323 beneficia 550 mil pessoas. **Agência de notícias do paraná**, Curitiba, 22 de ago. 2019. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=103406>. Acesso em: 19 de setembro de 2021.

2.3.1.3. Selagem de Trincas

A selagem das trincas consiste no preenchimento de trincas e fissuras com cimento asfáltico, asfalto diluído, emulsão ou selantes especiais, impedindo a penetração da água nas demais camadas e controlando extensão e/ou severidade do defeito existente (DNIT, 2005b, p. 324).

Esse serviço é denominado como atividade de conservação rotineira e em muitos casos, a vida útil dos pavimentos pode ser estendida pela selagem adequada das trincas que surgem no pavimento (DNIT, 2006a, p. 212). Para sua execução, a superfície a ser selada deverá estar limpa, seca e livre de fragmentos. Para isso, efetua-se uma limpeza enérgica da trinca mediante a pressão de ar comprimido, se necessário, utiliza-se escovação mecânica. A largura da limpeza e secagem deve ultrapassar 2 cm da largura de selagem (CDT, 2016, p. 4).

Após a limpeza, é necessário reparar as trincas, com largura entre 4mm e 20mm, cujas paredes laterais não estejam em boas condições para a realização da selagem (DNIT, 2006a, p. 214).

Assim que reparadas, as trincas são preenchidas. O enchimento das trincas baseia-se na colocação de uma capa delgada de cimento asfáltico, asfalto diluído ou emulsão, que cubra a trinca, aderindo-se na superfície adjacente (DNIT, 2006a, p. 214). A Figura 22, a Figura 23, a Figura 24 e a Figura 25 exemplificam a aplicação da técnica de selagem de trincas.

Figura 22 – Abertura de trinca para selagem e limpeza



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 23 – Aplicação do produto selante



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 24 – Aplicação de cal para proteção caso se utilize uma nova camada de revestimento asfáltico



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 25 – Revestimento após selagem de trincas



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.3.2. Conservação Periódica

A conservação periódica compreende um conjunto de operações realizadas para evitar o surgimento ou o agravamento de defeitos. As técnicas de conservação

periódica não podem ser consideradas propriamente como melhoramentos estruturais (DNIT, 2006a, p. 219).

As atividades de conservação periódica incluem lama asfáltica, microrrevestimento, tratamento superficial, capa selante, camada porosa de atrito, areia-asfalto a quente e recapeamento asfáltico delgado ou esbelto com mistura densa.

2.3.2.1. Lama Asfáltica

A lama asfáltica é a mistura asfáltica composta por agregados miúdos, material de enchimento fíler, água e emulsão asfáltica, uniformemente misturadas e espalhadas no pavimento à temperatura ambiente (BERNUCCI *et al.*, 2010; DNIT, 2006a).

A consistência fluida e a graduação fina dos agregados permitem que a mistura seja aplicada em espessuras finas. Esse serviço é utilizado para o rejuvenescimento de revestimentos envelhecidos e/ou fissurados (DNIT, 2006a, p. 218). A Figura 26 e a Figura 27 são exemplos da aplicação de lama asfáltica em vias urbanas.

Figura 26 – Aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 27 – Aplicação de lama asfáltica



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.3.2.2. Microrrevestimento

O microrrevestimento asfáltico é uma técnica similar à lama asfáltica, pois utilizam o mesmo princípio e concepção, contudo, o microrrevestimento pode ser considerado uma evolução das lamas asfálticas devido a utilização de polímeros em suas emulsões, o que aumenta sua vida útil e melhora algumas características físicas importantes da mistura (BERNUCCI *et al.*, 2010; CERQUEIRA, 2020).

O microrrevestimento é uma mistura processada a frio, em uma usina móvel especial, com agregados minerais, fíler, água, emulsão com polímeros e ocasionalmente fibras. A emulsão deve apresentar ruptura controlada, catiônica do tipo RC1C-E, conforme a Norma DNIT (2010). Esse tipo de emulsão possui uma excelente coesão interna, flexibilidade, reduz o envelhecimento da mistura, apresenta uma ótima durabilidade a exposição dos efeitos do clima e solicitações de tráfego (CERQUEIRA, 2020, p. 26).

Essa técnica pode ser empregada como camada impermeabilizante, protegendo as camadas inferiores da entrada de água, regularizadora em casos onde depressões não são acentuadas, camada antiderrapante e rejuvenescedora (CERQUEIRA, 2020, p. 28). A Figura 28 e a Figura 29 são exemplos de aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovias de tráfego pesado.

Figura 28 – Aplicação de microrrevestimento



Fonte: A autora (2021)

Figura 29 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia



Fonte: A autora (2021)

2.3.2.3. Tratamento Superficial

O tratamento superficial pode ser do tipo simples, duplo e triplo. Este é um revestimento de pequena espessura, executado através do espalhamento de ligante betuminoso e agregado, em operação simples ou múltiplas (DNIT, 2006b, p. 98).

A execução do tratamento superficial se inicia pela aplicação do ligante, que é coberto por uma camada de agregado, o ligante penetra nos vazios dos agregados de baixo para cima, o que classifica a chamada penetração invertida. Sua espessura final é de 5 a 20mm (PEREIRA, 2013, p. 13).

O tratamento superficial simples, executado em operação simples é denominado capa selante (DNIT, 2006b, p. 98). A Figura 30 é uma ilustração desse tratamento.

Figura 30 – Ilustração do tratamento superficial simples



Fonte: PEREIRA (2013)

O tratamento superficial duplo consiste em duas aplicações de ligante, alternado por duas camadas de agregado, onde o agregado da segunda camada possui uma granulometria menor, com função de preencher os vazios deixados pela camada anterior (PEREIRA, 2013, p. 17). A Figura 31 ilustra esse tratamento.

Figura 31 – Ilustração do tratamento superficial duplo



Fonte: PEREIRA (2013)

O tratamento superficial triplo consiste em três aplicações de ligante alternadas por três camadas de agregado e a compactação ocorre a cada camada de ligante e agregado (PEREIRA, 2013, p. 17). A Figura 32 ilustra esse tratamento.

Figura 32 – Ilustração do tratamento superficial triplo



Fonte: PEREIRA (2013)

2.3.2.4. Capa Selante

A capa selante é um serviço realizado por penetração invertida, envolvendo a aplicação de ligante asfáltico e a aplicação de agregado miúdo. Esse serviço tem por finalidade o incremento das condições de impermeabilização da camada a ser tratada (DNIT, 2006a, p. 217).

Essa atividade é utilizada para melhorar a macrotextura do revestimento e as condições de segurança e pode ser aplicada sobre tratamentos superficiais, macadames asfálticos, pré-misturados de textura aberta e misturas densas desgastadas (DNIT, 2006a, p. 217).

Para a execução do serviço, geralmente é empregado a emulsão asfáltica catiônica com cobertura por agregado miúdo, podendo ser areia, pedrisco ou pó de pedra. Quando não se aplica a cobertura por agregado, usa-se a denominação de “pintura de impermeabilização” ou “pintura de neblina” (DNIT, 2006a, p. 217).

2.3.2.5. Camada Porosa de Atrito

Segundo o DER-SP (2006a) a camada porosa de atrito é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, composto de agregado graduado, cimento asfáltico modificado por polímero e, se necessário, material de enchimento, fíler, sendo espalhada e compactada a quente.

Essa técnica é excelente para a aderência pneu/pavimento e redução da película de água superficial da rodovia, todavia, quando projetadas com ligante convencional, as misturas apresentam envelhecimento e deterioração por abração, superiores às misturas densas, portanto, deve ser utilizado ligante modificado por polímero (DNIT, 2006a, p. 222). A Figura 33 ilustra a textura de uma camada porosa de atrito.

Figura 33 – Textura superficial de um pavimento com camada porosa de atrito



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.3.2.6. Areia-Asfalto a Quente

A areia-asfalto a quente, segundo a Norma DNIT (2005a), é uma mistura executada a quente, em uma usina apropriada, com características específicas, composta de areia (material miúdo), material de enchimento (fíler) se necessário, e cimento asfáltico, essa mistura é espalhada e compactada a quente.

Essa técnica consiste na aplicação de uma capa de mistura asfáltica para corrigir os defeitos na superfície de rolamento, também pode ser empregada como revestimento, base ou reforço do pavimento (DNIT, 2005a, p. 3).

Segundo Bernucci *et al.* (2010), só deve ser utilizado este tipo de mistura onde não existem agregados pétreos graúdos, devido ao elevado gasto com ligante e resistência à deformação menos elevada em relação às misturas com agregados graúdos.

2.3.2.7. Recapeamento Esbelto com Mistura Densa

O recapeamento esbelto com mistura densa é utilizado para corrigir muitas deficiências no pavimento, como afundamentos e desgastes mais severos, os quais não podem ser corrigidos com selagens (DNIT, 2005b, p. 330).

Muitos defeitos podem ser parcialmente ou totalmente corrigidos através do recapeamento, mas sua necessidade deve ser determinada após uma avaliação global dos defeitos (DNIT, 2005b, p. 331).

Alguns exemplos de defeitos corrigidos são: o polimento da superfície nas trilhas de roda, pequenas irregularidades longitudinais do pavimento, inadequada declividade transversal e defeitos relacionados com as condições ambientais, tais como trincamento em bloco, desagregação e intemperismo (DNIT, 2005b, p. 330–331).

O recapeamento esbelto varia de 2,5 cm a 5,0 cm e deve promover uma superfície impermeável, resistente ao escorregamento e à abrasão do tráfego (DNIT, 2005b, p. 330). Para a execução dessa atividade, a preparação do pavimento é de extrema importância. Uma vez que a camada não se destina a promover acréscimos estruturais, devem ser corrigidos os locais mais enfraquecidos, através de medidas previamente efetuadas com: reparos localizados, reperfilamento, limpeza e pintura de ligação, eventuais alargamentos ou melhorias na geometria da rodovia, melhoria da drenagem e controle das trincas de reflexão (DNIT, 2005b, p. 331).

2.3.3. Restauração ou Reabilitação

A restauração tem como finalidade conferir ao pavimento existente um novo aporte estrutural, a fim de torná-lo apto a cumprir um novo ciclo de vida. A sua consecução demanda de um projeto de engenharia (DNIT, 2005b, p. 105).

Dentre as atividades de reabilitação mais utilizadas inclui-se a fresagem, a reciclagem, o recapeamento estrutural (espesso) e a reconstrução.

2.3.3.1. Fresagem

A fresagem é um corte ou desbaste da superfície asfáltica, de uma ou mais camadas do pavimento, por um processo realizado a quente ou a frio, que pode ser parte de um processo de reciclagem de pavimento asfáltico (BONFIN, 2007, p. 20).

A fresagem do pavimento a frio é realizada em temperatura ambiente, onde ocorre a quebra de partes dos agregados na profundidade de corte e, conseqüentemente, ocorre alteração da curva granulométrica da mistura do revestimento (BONFIN, 2007, p. 19).

Já a fresagem a quente, utilizada como parte do processo de reciclagem *in situ* a quente, o revestimento é pré-aquecido e, nessa situação, a fresagem é similar, mas sem alteração granulométrica do material, apenas a desagregação do mesmo (BONFIN, 2007, p. 20).

A fresagem pode ser classificada quanto a espessura de corte como sendo superficial, rasa e profunda.

- Fresagem Superficial

Essa fresagem é destinada apenas para correção de defeitos existentes na superfície do pavimento, podendo ser dispensado o posterior recapeamento da pista, se a mesma permitir o rolamento de forma segura (BONFIN, 2007, p. 21).

A maior parte das operações de fresagem melhoram a macrotextura e a microtextura do revestimento, favorecendo a resistência à terraplanagem (BONFIN, 2007, p. 20).

- Fresagem Rasa

Esse tipo de fresagem normalmente atinge as camadas superiores do pavimento, podendo chegar à camada de ligação. Esse tipo de intervenção na maioria dos serviços, tem uma profundidade média de 5 cm. Essa atividade é utilizada para correção de defeitos funcionais e em remendos superficiais, principalmente em vias urbanas (BONFIN, 2007, p. 22).

- Fresagem Profunda

A fresagem profunda é aquela em que o corte atinge níveis além da camada de revestimento, podendo atingir a base até a sub-base do pavimento. Este é um procedimento utilizado geralmente em intervenções de aspecto estrutural, seja por recomposição da estrutura ou até mesmo por reciclagem e incorporação do revestimento à base (BONFIN, 2007, p. 23).

2.3.3.2. Reciclagem

A reciclagem consiste no reaproveitamento de camadas betuminosas deterioradas, as quais através de processos específicos, são devidamente recuperadas (DNIT, 2005b, p. 346).

Essa técnica apresenta-se como uma solução para muitos problemas e oferece inúmeras vantagens em relação a utilização convencional de materiais virgens, entretanto, para adotar a reciclagem de uma camada asfáltica é necessário obter amostras do pavimento existente e efetuar análises para definir as proporções e características dos materiais a serem reaproveitados (DNIT, 2006a, p. 175).

A reciclagem do pavimento envolve a execução da fresagem, que consiste na remoção da camada betuminosa, para obtenção de uma superfície perfeita para execução de uma nova capa/pavimento (DNIT, 2005b, p. 346).

O material removido, passa a ser um produto reciclado, e essa reutilização dos ligantes asfálticos consistem em outra vantagem importante proporcionada pela reciclagem. Com a reutilização do asfalto envelhecido pode ser reduzida a quantidade de asfalto novo para restauração do pavimento (DNIT, 2006a, p. 175).

Essa técnica permite que as condições da pista sejam mantidas ou modificadas com facilidade, podendo também atuar em apenas uma faixa deteriorada, no caso de faixas múltiplas, evitando estender o recapeamento a toda largura da pista (DNIT, 2006a, p. 175).

Em função de sua execução, a reciclagem pode ser classificada em:

- Reciclagem a Quente

A reciclagem a quente é um processo, onde parte ou toda a estrutura do revestimento é removida e reduzida a dimensões apropriadas para ser misturada a quente em uma usina estacionária ou no local. Esse processo pode incluir a adição de novos agregados, cimento asfáltico e agente rejuvenescedor, para que o produto final atenda as especificações de misturas asfáltica a quente destinadas às camadas de base, *binder* ou de rolamento (DNIT, 2005b, 2006a).

A reciclagem a quente no local ou *in situ* é um processo de correção de defeitos de superfície através da fresagem do revestimento asfáltico antigo, mistura com agente rejuvenescedor, agregado virgem, material ou mistura asfáltica, e posteriormente é realizada a distribuição da mistura reciclada sobre o pavimento, sem remover do local o material a ser reciclado (DNIT, 2006a, p. 182).

Já a reciclagem a quente em usinas estacionárias segundo DNIT (2006a), é um processo no qual todo, ou parte do revestimento é removido, geralmente através

de fresagem a frio, e posteriormente o fresado é transportado e recuperado em usina de asfalto.

- Reciclagem a Frio

A reciclagem a frio é um processo, onde parte ou toda a estrutura do revestimento é removida e reduzida a dimensões apropriadas para ser misturada a frio em uma usina estacionária ou no local. Esse processo pode incluir a adição de mais material betuminoso (emulsão asfáltica), agregados, agente rejuvenescedor e estabilizantes químicos. Essa mistura final poderá ser usada como camada de base, que deverá ser revestida com um tratamento superficial ou mistura asfáltica (DNIT, 2006a, p. 191).

A reciclagem a frio com adição de material betuminoso, consiste na mistura do revestimento e da base pulverizados no local, com adição de material betuminoso, para produzir uma base estabilizada com betume (DNIT, 2006a, p. 191).

A técnica que utiliza a reciclagem a frio com adição de material betuminoso, é reciclagem de pavimento asfáltico *in situ* com emulsão especificada pelo DER-SP (2006). Essa técnica é o processo de restauração de pavimento com reaproveitamento total ou parcial do revestimento existente, eventualmente incorporação parcial da base granular, adição de emulsão asfáltica, água, e quando necessário, de agregados e fíler (DER-SP, 2006b, p. 4).

Segundo a especificação do DER-SP (2006b), a mistura final pode ser utilizada como camada de ligação, *binder*, ou como revestimento. Neste último caso recomenda-se aplicar um tratamento de superfície, devido ao elevado volume de vazios da mistura reciclada.

A reciclagem a frio com adição de estabilizante químico, consiste na pulverização e mistura na pista da camada de revestimento, da base e do subleito ou de qualquer combinação entre essas, com a adição de estabilizantes químicos (cal, cimento ou cinzas volantes), para produzir uma base estabilizada quimicamente (DNIT, 2006a, p. 192).

Uma técnica que utiliza a reciclagem a frio com adição de estabilizante químico, é reciclagem *in situ* a frio com espuma de asfalto especificada pelo DER-SP (2006). Essa técnica é o processo de restauração de pavimento executado no local,

com reaproveitamento total ou parcial do revestimento existente, normalmente com incorporação de parte ou de toda base existente (DER-SP, 2006c, p. 4).

A reciclagem *in situ* a frio com espuma de asfalto, segundo a especificação do DER-SP (2006c), consiste na incorporação de cimento Portland ou cal, cimento asfáltico na forma de espuma e, adição de água, e incorporação, quando necessário de agregados, espalhamento e compactação da mistura resultante, obtendo-se desta forma uma nova base do pavimento, isto é, uma base reciclada.

Conforme a especificação do DER-SP (2006c), a espuma de asfalto é o estado temporário do cimento asfáltico de petróleo, obtido a partir da injeção de mistura de ar sob pressão e pequenas quantidades de água sobre o cimento asfáltico aquecido em temperatura adequada. Esta injeção ocasiona o aumento da área superficial e a redução da viscosidade do asfalto, o que promove sua forte expansão volumétrica.

2.3.3.3. Recapeamento Estrutural

Segundo o manual de reabilitação de pavimentos do DNIT (2006a), o recapeamento é uma modalidade de intervenção, definida em projeto de Engenharia específico à restauração do pavimento e/ou reabilitação do pavimento, que consiste na adequada sobreposição ao pavimento existente, de uma ou mais camadas constituídas de mistura betuminosa. Essa sobreposição proporciona ao pavimento existente adequado suporte estrutural e um novo ciclo de vida.

2.3.3.4. Reconstrução

A reconstrução consiste em remover parcial ou total a estrutura do pavimento, podendo eventualmente atingir o subleito, e na posterior execução adequada de novas camadas estruturais, formando assim um pavimento apto a exercer um novo ciclo de vida (DNIT, 2006a, p. 33).

A reconstrução parcial é a modalidade em que a espessura do pavimento a ser removida e substituída se limita a uma profundidade que não atinge a espessura total do pavimento (DNIT, 2006a, p. 34).

E a reconstrução total do pavimento é a modalidade em que é removida e substituída toda a espessura do pavimento, podendo atingir o subleito (DNIT, 2006a, p. 34).

2.4. COMBINAÇÕES DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Quando não há problemas estruturais, a restauração é utilizada para a correção de defeitos funcionais superficiais, onde são empregadas combinações de técnicas de restauração de pavimentos com problemas funcionais, antecedidos ou não por uma remoção de parte do revestimento antigo por fresagem (BERNUCCI et al., 2010, p. 466).

2.4.1. Técnicas de Restauração de Pavimentos com Problemas Funcionais

Segundo Bernucci *et al.* (2010) as combinações de técnicas geralmente utilizadas para restauração são:

- Reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito;
- Microrrevestimento asfáltico + camada porosa de atrito. Nesse caso o microrrevestimento tem função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar o revestimento antigo;
- Remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + microrrevestimento. Essa combinação é realizada quando a superfície antiga apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego;
- Remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + tratamento superficial simples + microrrevestimento a frio. Essa combinação é realizada quando a superfície antiga apresenta grau elevado de trincamento e a superfície nova necessita de melhor condição de rolamento, proporcionada pelo microrrevestimento, e de liberação da pista com menor arrancamento de agregados possível;
- Remoção por fresagem + reperfilagem com concreto asfáltico tipo massa fina + camada porosa de atrito. Essa combinação é realizada quando a superfície

apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação e existe necessidade de boa aderência e escoamento superficial;

- Remoção por fresagem + microrrevestimento asfáltico + camada porosa de atrito. Essa combinação é realizada quando a superfície apresenta grau elevado de trincamento e/ou desagregação. Nessa combinação o microrrevestimento tem a função de reduzir a reflexão de trincas e impermeabilizar a camada antiga, e a camada porosa de atrito a de aderência e escoamento superficial.

2.4.2. Técnicas de Contenção de Trincamento por Reflexão

As técnicas de contenção de trincamento por reflexão são utilizadas com o intuito de desviar, dissipar, conter as trincas ou retardar sua evolução. Dentre essas técnicas incluem-se o emprego de geossintéticos, camada intermediária de alívio de tensão, camada de dissipação de trincas, espessura de recapeamento aumentada e emprego de revestimentos asfálticos com ligantes modificados.

2.4.2.1. Emprego de Geossintéticos

Os geossintéticos atuam de duas maneiras: desviando as trincas ou convertendo as trincas em microfissuras ao se propagarem. Quando os geotêxteis são utilizados com ligante asfáltico na interface entre o revestimento antigo deteriorado e um recapeamento, tem-se uma taxa maior de ligante asfáltico nesta interface do que na obtida pela pintura de ligação. Essa utilização do geotêxtil faz com que ocorra um retardo na reflexão das trincas. Também ocorre uma manutenção da estanqueidade do revestimento, protegendo as demais camadas da ação das águas pluviais. Não é tão eficaz na presença de grandes movimentos verticais ou horizontais, e é mais eficiente em regiões de clima ameno (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 469). A Figura 34, a Figura 35, a Figura 36, a Figura 37, a Figura 38 e a Figura 39 são exemplos de execução de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico.

Figura 34 – Execução da pintura de ligação



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 35 – Aplicação do geotêxtil



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 36 – Compressão para a aderência à pintura de ligação



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 37 – Impregnação com emulsão asfáltica



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 38 – Espalhamento de pedrisco impregnado com ligante asfáltico



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Figura 39 – Execução da camada de recapeamento



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

Quando são utilizadas as geogrelhas, a reflexão das trincas se dá através da formação de microfissuras de baixa severidade com progressão lenta, podendo ainda essa formação ser interrompida se houver descontinuidade do processo de dissipar energia na extremidade das microfissuras (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 471).

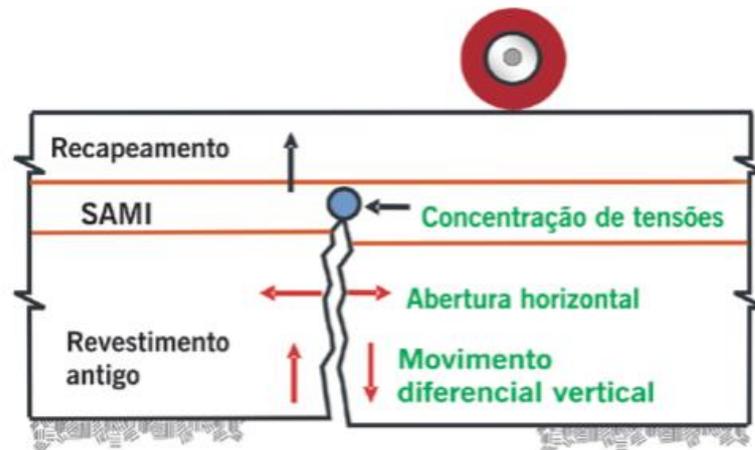
2.4.2.2. Camadas Intermediárias de Alívio de Tensões

Segundo Bernucci *et al.* (2010), às camadas intermediárias de alívio de tensões são camadas executadas na superfície de um revestimento antigo deteriorado e sobre a qual será executado um recapeamento asfáltico, conforme a Figura 40.

Essas camadas intermediárias, podem ser feitas de microrrevestimentos asfálticos, tratamentos superficiais por penetração com ligantes asfálticos modificados por borracha de pneus ou por polímeros, ou até mesmo, de misturas asfálticas com elevado teor de asfalto modificado por polímero em camadas delgadas (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 472).

Essa técnica age dissipando movimentos e tensões em juntas e trincas de baixa a média severidade, em função das características de recuperação elástica do ligante asfáltico empregado (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 472).

Figura 40 – Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões



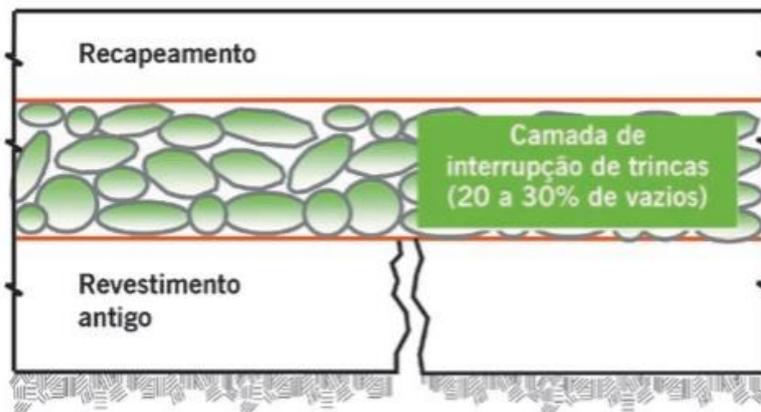
Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.4.2.3. Camadas de Dissipação de Trincas

Segundo Bernucci *et al.* (2010), as camadas de dissipação de trincas são camadas granulares com poucos finos e agregados com diâmetro máximo de 75mm, com uma granulometria aberta e podem ser misturadas com baixo teor de ligante asfáltico. São executadas sobre o revestimento antigo deteriorado, em espessuras mínimas de 100mm, e sobre ela é executada uma camada de recapeamento asfáltico.

Essa camada propicia um elevado volume de vazios, que efetivamente interrompem a propagação das trincas, mesmo aquelas sujeitas a grandes movimentos (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 472). A Figura 41 mostra esquematicamente sua posição.

Figura 41 – Posicionamento de camada de interrupção de trincas



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010)

2.4.2.4. Espessura de Recapeamento Aumentada

Segundo Bernucci *et al.* (2010), a espessura do recapeamento aumentada não previne a ocorrência de trincas por reflexão, no entanto, reduz a velocidade de propagação das trincas refletidas e sua severidade, por limitar os esforços de flexão e cisalhamento ante carga e também por limitar a variação de temperatura na camada de revestimento.

2.4.2.5. Emprego de Revestimentos Asfálticos com Ligantes Modificados

Segundo Bernucci *et al.* (2010), podem ser desenvolvidas misturas asfálticas com borracha moída de pneus ou ligantes modificados por polímeros, que apresentem baixa rigidez, visando baixa absorção de tensões e dessa forma, retardando a evolução das trincas de reflexão.

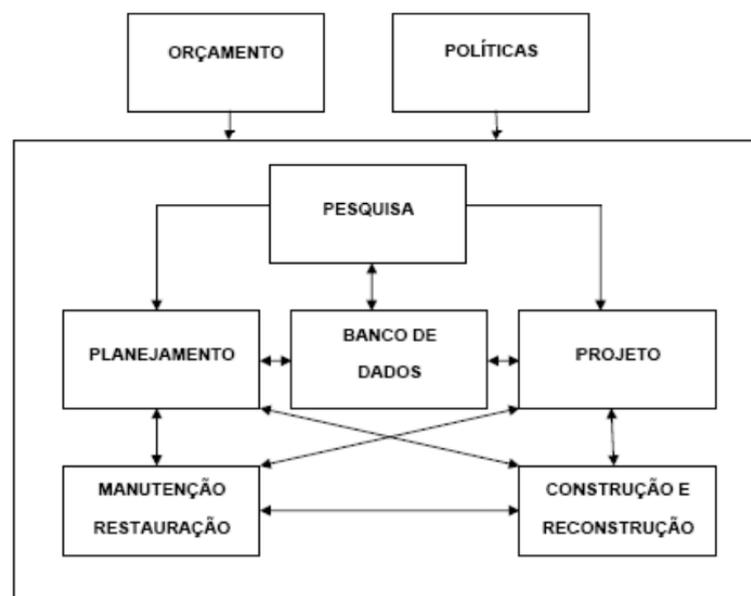
É possível também, executar uma fina camada de nivelamento com ligante modificado, para dissipação parcial de trincas e, logo após, aplicar um novo revestimento com ligante modificado (BERNUCCI *et al.*, 2010, p. 473).

2.5. SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)

Segundo o manual de gerência de pavimentos do DNIT (2011) a gerência de pavimentos consiste em uma importante ferramenta de administração, com objetivo de determinar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis em intervenções, para atender as necessidades dos usuários em um plano estratégico que garante o melhor custo e o melhor benefício.

O Sistema de Gerência de Pavimentos tem como componentes, que precisam interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos (DNIT, 2011, p. 35). A Figura 42, retirada do manual de gerência de pavimento do DNIT, ilustra como se estrutura um Sistema de Gerência de Pavimentos.

Figura 42 – Sistema de gerência de pavimentos



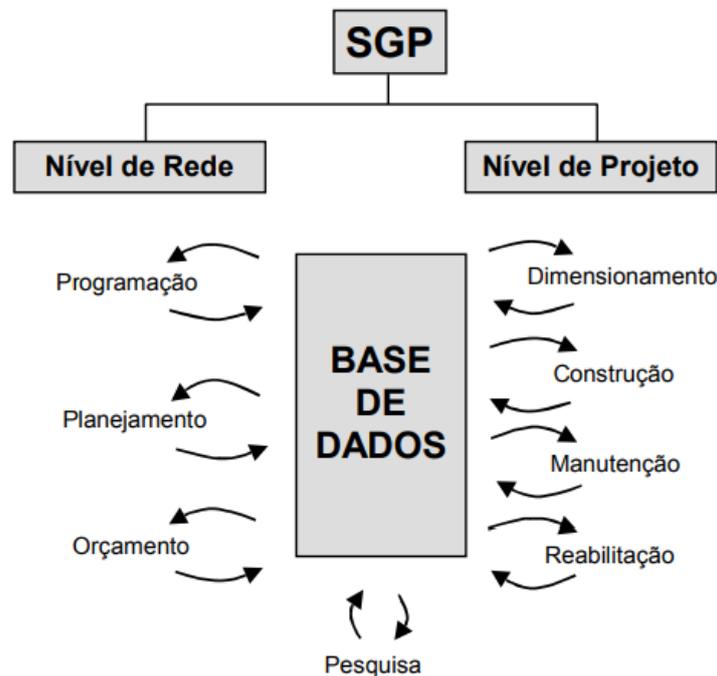
Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2011)

Para o pavimento a conservação e restauração são essenciais para a sua preservação, e qualquer interrupção ou redução na intensidade ou na frequência dos serviços necessários à manutenção implica em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos cada vez mais vultosos para sua recuperação (DNIT, 2011, p. 36).

O objetivo principal de um Sistema de Gerência de Pavimentos é obter a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e proporcionar um transporte seguro, compatível e econômico (DNIT, 2011, p. 36).

As atividades da gerência de pavimento e os componentes do sistema geralmente são caracterizados em dois níveis: nível de rede e nível de projeto. A Figura 43 é um fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto (FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 13).

Figura 43 – Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos em nível de rede e projeto



Fonte: HAAS *et al.* (1994) *apud* FERNANDES JR., ODA e ZERBINI (1999)

A gerência de pavimentos em nível de rede lida com informações resumidas de toda malha viária, que são utilizadas principalmente para a tomada de decisões administrativas, como o planejamento, a programação e o orçamento (FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 13).

Segundo Fernandes Jr., Oda e Zerbini (1999) algumas das principais características ou aplicações de um sistema de gerência em nível de rede são: a identificação de projetos candidatos para intervenções; a priorização dos projetos considerando as características de desempenho, tráfego, custo aos usuários e outros fatores locais; a geração de necessidades de orçamento da agência a curto e longo prazo; e a análise de estratégias de intervenção, com avaliação da condição atual do sistema e previsão da condição futura, em função dos recursos aplicados em cada alternativa.

A gerência de pavimentos em nível de projeto envolve o dimensionamento, a construção, a manutenção e a reabilitação. Esse nível lida com informações técnicas detalhadas, relacionadas a seções específicas do pavimento, com o diagnóstico detalhado dos defeitos, causas prováveis e métodos corretivos (FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 1999, p. 13).

Segundo Fernandes Jr., Oda e Zerbini (1999) alguns exemplos de atividades de um sistema de gerência em nível de projeto são: a seleção das atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução, com base em critérios estabelecidos pelos níveis mais elevados da gerência; a realimentação da base de dados com relação ao desempenho do pavimento, fornecendo dados para as atividades de projeto, construção e manutenção; e a definição dos parâmetros principais de projeto, tais como: resistência do subleito, número de solicitações do eixo padrão e especificações para os materiais.

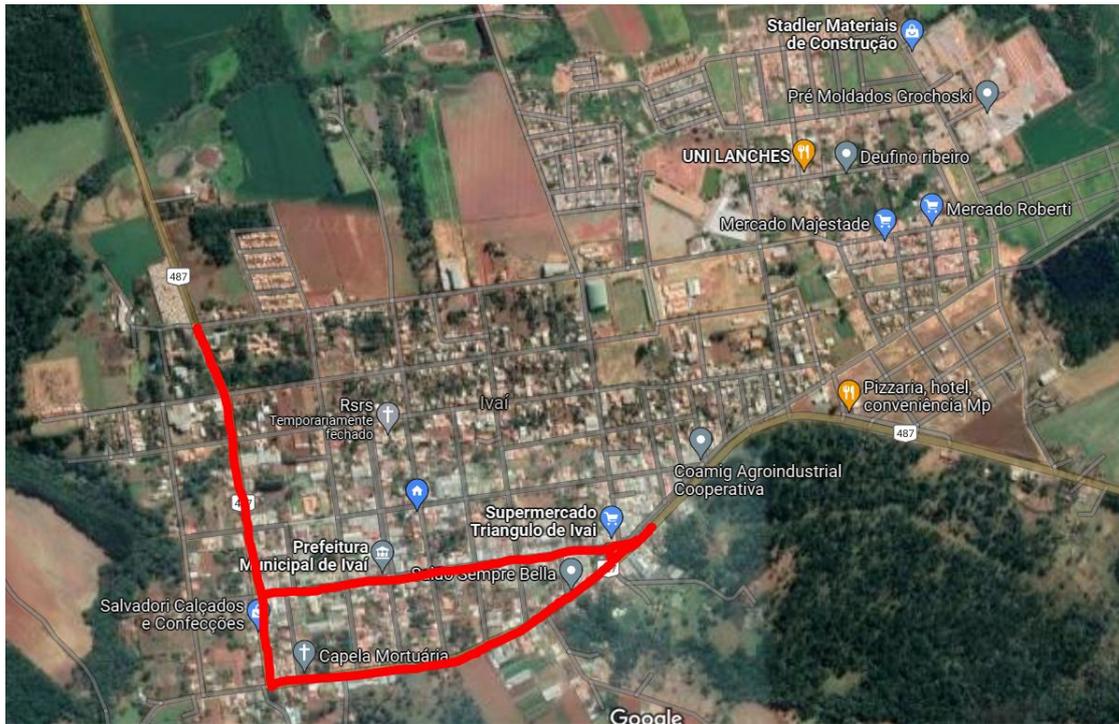
Os *softwares* de gerência de pavimentos em nível de rede têm como principal objetivo ser uma ferramenta utilizada para auxiliar na tomada de decisão do SGP, mais especificamente para priorizar e definir as atividades de manutenção e restauração dos pavimentos (FERNANDES, 2017, p. 79).

Esses *softwares* visam também atender cidades de pequeno e médio porte, onde há uma ausência de informações a respeito dos pavimentos, falta de um plano de investimentos e de um banco de dados a respeito dos custos de manutenção, baixos investimentos no SGP, e a impossibilidade de aquisição de equipamentos de maior valor, onde a escolha pelo método de intervenção tende para o que utiliza menos recursos na análise dos pavimentos (JOVER, 2017, p. 48).

O software LabPavi foi desenvolvido pelo Professor Dr. Luciano José Senger, cientista da computação e pesquisador de Computação e pela Professora Dra. Lilian Tais de Gouveia, engenheira civil e pesquisadora da área de Transportes, para atender cidades de pequeno porte que não tenham possibilidade de aquisição de equipamentos e softwares de valor elevado em relação à arrecadação do município e sem corpo técnico especializado na área de Pavimentação e/ou Gerência de Pavimentos. O objetivo do software é manter um banco de dados com imagens de defeitos e informações técnicas, além de sugestão de técnicas adequadas de

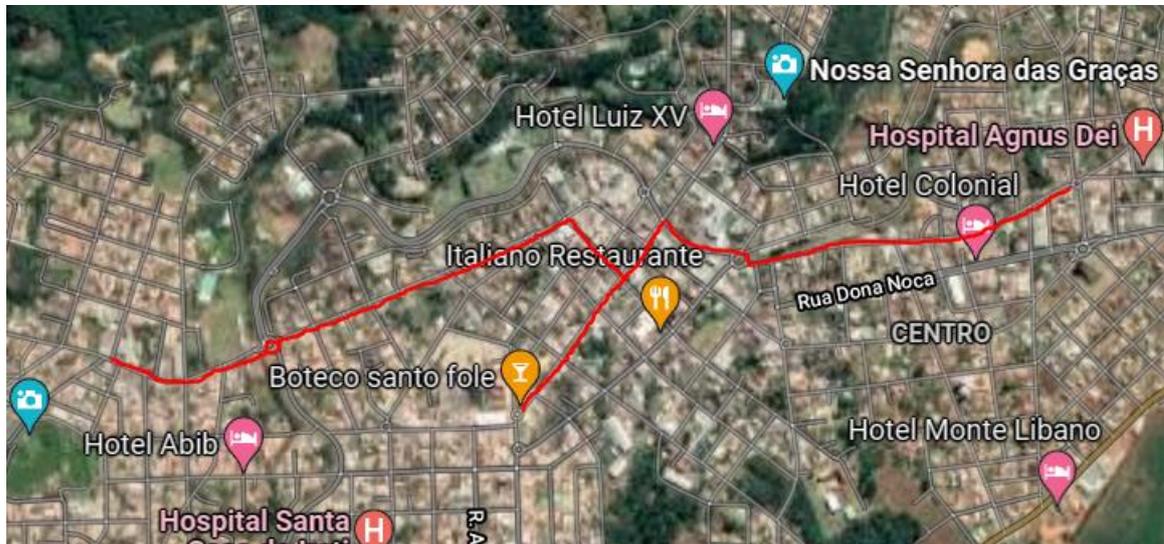
manutenção e ou restauração para reparar cada tipo de defeito, considerando sua severidade. Mais detalhes sobre a utilização do software são encontrados a seguir.

Figura 45 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Ivai



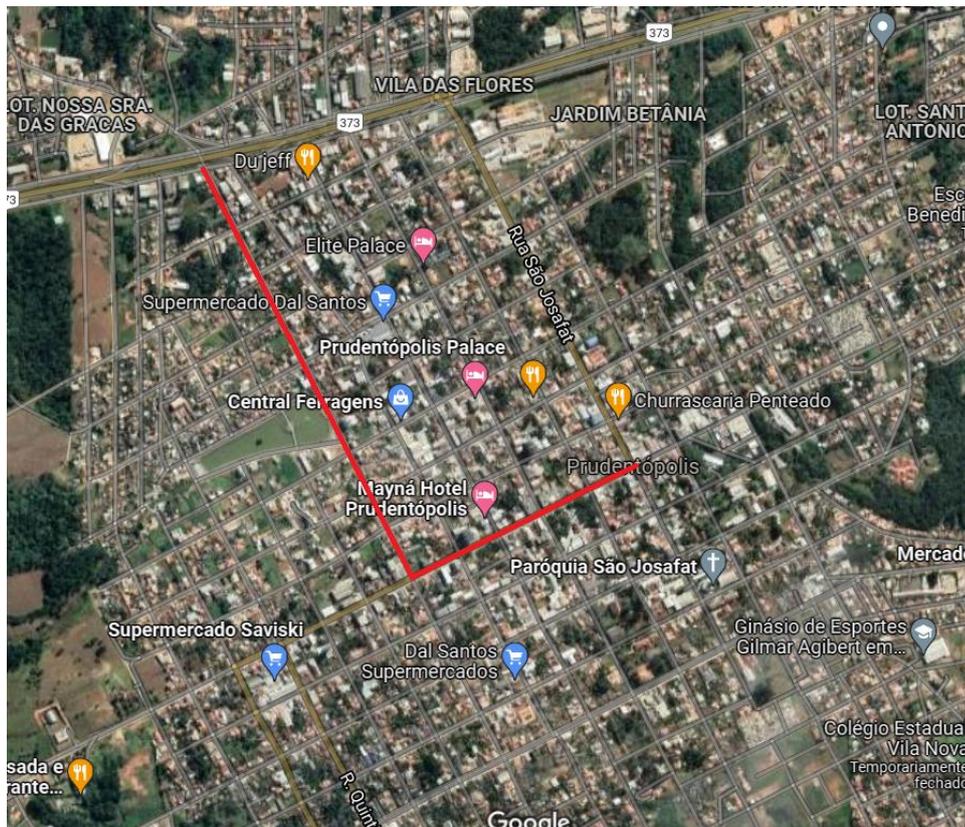
Fonte: A autora, via Google Maps (2022)

Figura 46 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Irati



Fonte: A autora, via Google Maps (2022)

Figura 47 - Mapa de imagem de satélite identificando os trechos exatos no município de Prudentópolis



Fonte: A autora, via Google Maps (2022)

As imagens dos defeitos foram obtidas utilizando o método 360° como Assad e Sato (2021), no qual se fotografa diversos ângulos dos defeitos, sem um objeto de escala, para a inclusão das imagens na base de dados, assim como imagens com um fator de escala. A Figura 48, ilustra uma fotografia digital com o fator de escala, e a Figura 49, a Figura 50, a Figura 51 e a Figura 52 ilustram fotografias no método 360°.

Figura 48 – Fotografia Digital com presença de fator de escala



Fonte: A autora (2021)

Figura 49 - Fotografia método 360° - Ângulo 01



Fonte: A autora (2021)

Figura 50 - Fotografia método 360° - Ângulo 02



Fonte: A autora (2021)

Figura 51 - Fotografia método 360° - Ângulo 03



Fonte: A autora (2021)

Figura 52 - Fotografia método 360° - Ângulo 04



Fonte: A autora (2021)

Com o objetivo de classificar o defeito obtido em imagem digital, de maneira sistemática, foi desenvolvida uma árvore de decisão para classificação de defeitos. O método da árvore de decisão foi selecionado por atender às necessidades de facilitar e de padronizar as decisões a serem tomadas, também pelo fato de utilizar variáveis importantes para a tomada de decisão e não necessitar de um alto investimento.

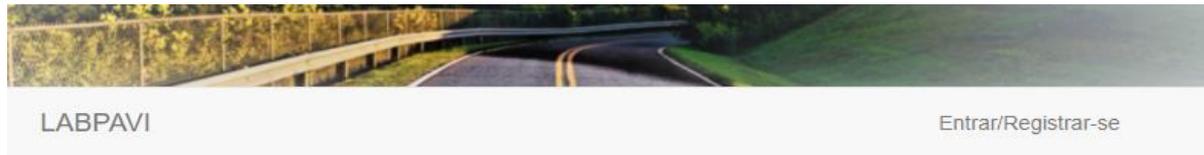
Em seguida, objetivando promover sugestões de atividades de manutenção e restauração, com base na classificação de defeitos, realizou-se uma revisão bibliográfica dos métodos que auxiliam na tomada de decisão quanto à escolha das atividades de manutenção ou restauração. Foi realizada também uma revisão da literatura das principais e mais utilizadas atividades de manutenção e restauração de pavimentos na atualidade.

De posse de todas essas informações, a base de dados foi acessada em <http://lcad.deinfo.uepg.br/labpavi>, onde há uma página de apresentação, que pode ser observada pela Figura 53, na mesma é possível entrar na página para *login* através de seu acesso rápido, a qual é representada pela Figura 54.

Figura 53 – Página de apresentação



Fonte: A autora (2021)

Figura 54 – Página para *login*

Entrar

Usuário

Senha

Lembre-me

[Entrar](#)

Novo Usuário? [Quero me registrar!](#)

Fonte: A autora (2021)

Após realizar o *login*, obtém-se o acesso a página inicial do *software*, que é representada pela Figura 55.

Figura 55 – Página inicial

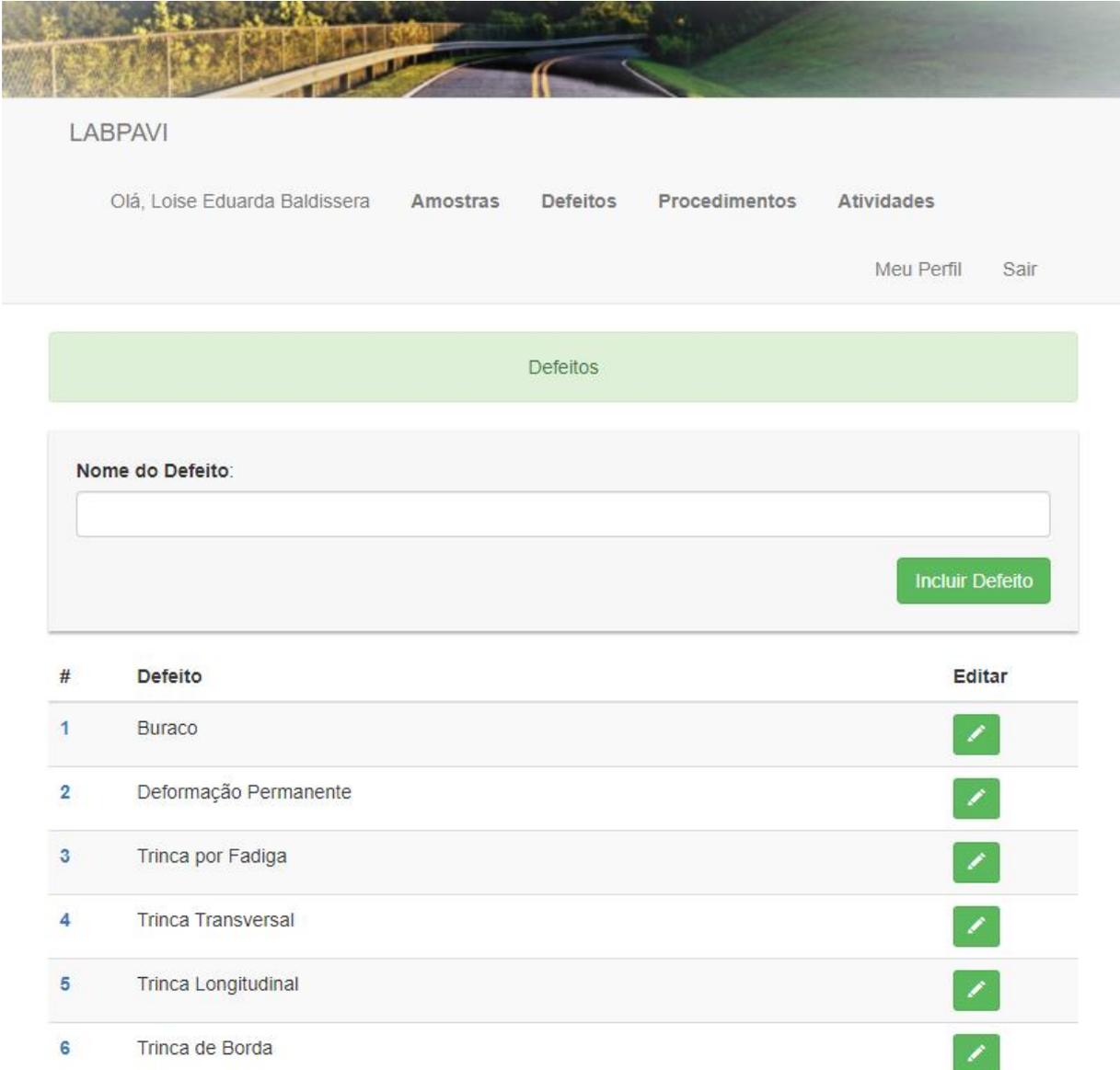


Laboratório de Computação de Alto Desempenho (LCAD)

Fonte: A autora (2021)

Na base de dados inicialmente inseriu-se os nomes de defeitos, a qual é realizada na aba de defeitos representada pela Figura 56.

Figura 56 – Página para adicionar e editar os defeitos



LABPAVI

Olá, Loise Eduarda Baldissera **Amostras** **Defeitos** **Procedimentos** **Atividades**

Meu Perfil Sair

Defeitos

Nome do Defeito:

Incluir Defeito

#	Defeito	Editar
1	Buraco	
2	Deformação Permanente	
3	Trinca por Fadiga	
4	Trinca Transversal	
5	Trinca Longitudinal	
6	Trinca de Borda	

Fonte: A autora (2021)

Em sequência, registrou-se os procedimentos que foram utilizados nos ramos da árvore de decisão desenvolvidos e seus respectivos detalhamentos, utilizando a aba de procedimentos representada pela Figura 57. Atualizou-se também os detalhamentos dos demais procedimentos.

Figura 57 – Página para adicionar e editar os procedimentos

LABPAVI

Olá, Loise Eduarda Baldissera **Amostras** **Defeitos** **Procedimentos** **Atividades**

Meu Perfil Sair

Procedimentos

Nome do Procedimento:

Detalhamento:

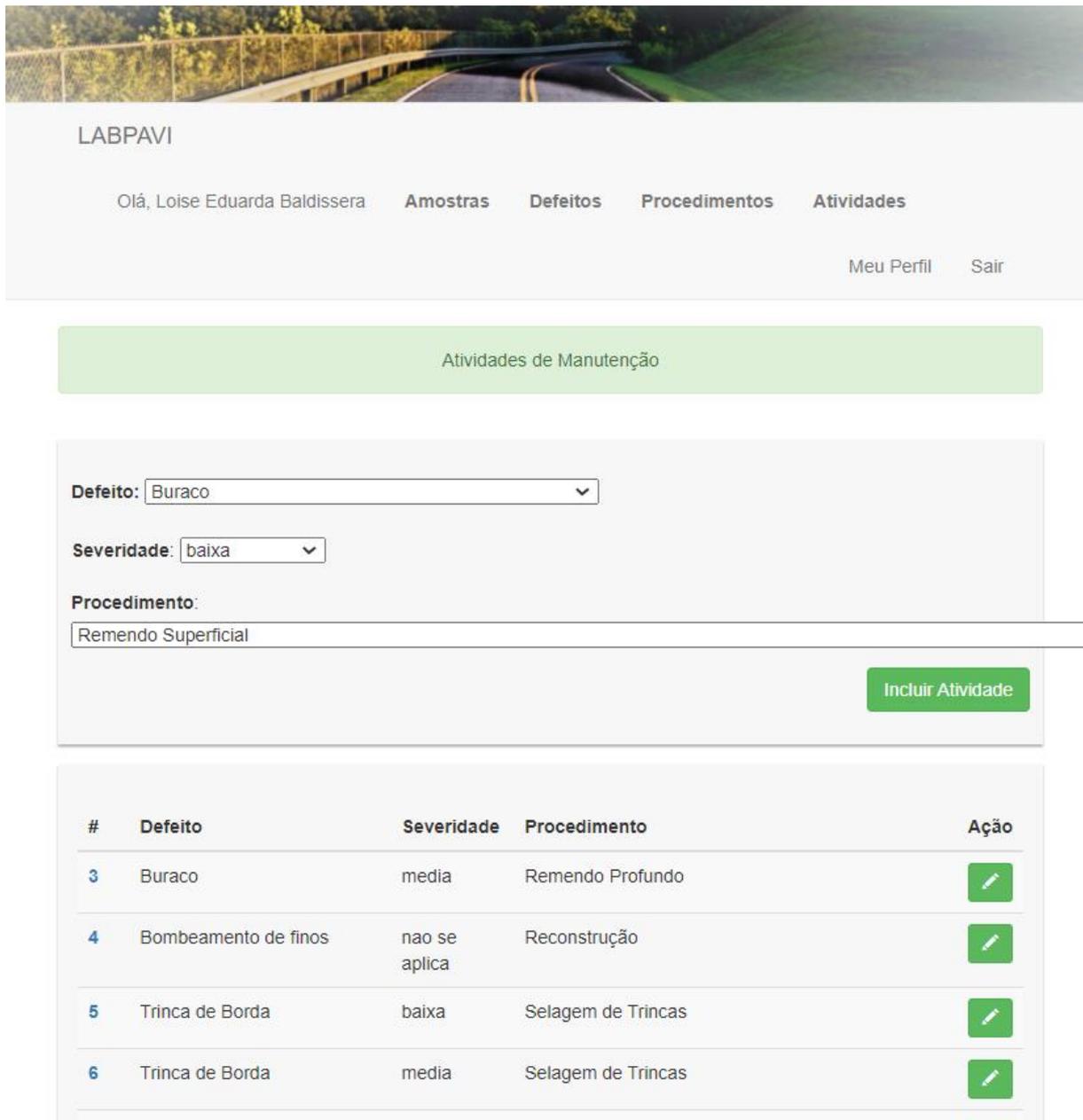
Incluir Procedimento

#	Procedimento	Editar
1	Remendo Superficial	
3	Remendo Profundo	
4	Lama Asfáltica	
5	Selagem de Trincas	
6	Tratamento Superficial	

Fonte: A autora (2021)

No *software* também foram incluídas/atualizadas atividades de manutenção e restauração adequadas para restauro de cada defeito, com auxílio do método da árvore de decisão para tomada de decisão, utilizando a aba de atividades observada na Figura 58.

Figura 58 – Página de atividades de manutenção destinadas para cada defeito e severidade



LABPAVI

Olá, Loise Eduarda Baldissera **Amostras** **Defeitos** **Procedimentos** **Atividades**

Meu Perfil Sair

Atividades de Manutenção

Defeito:

Severidade:

Procedimento:

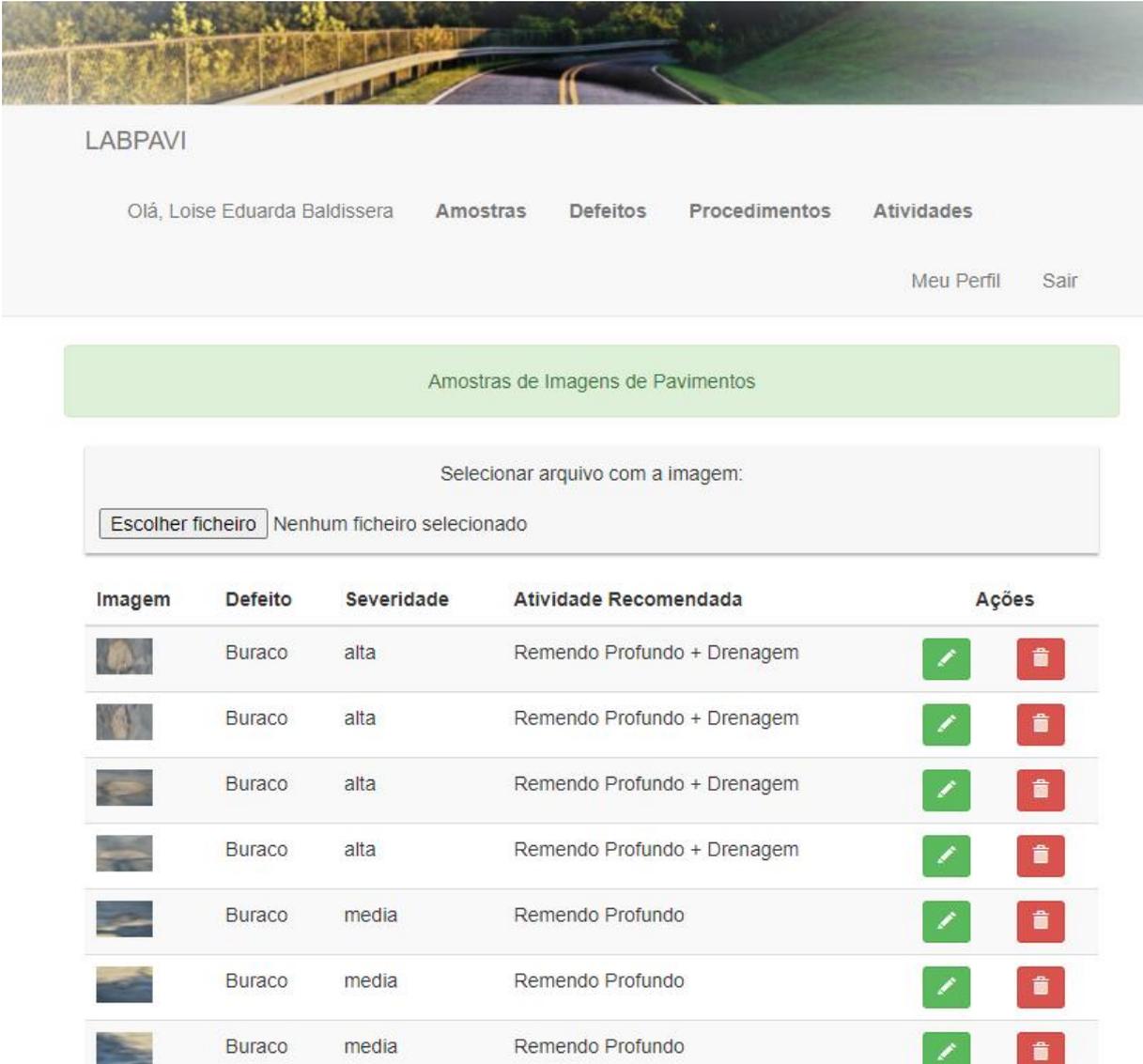
Incluir Atividade

#	Defeito	Severidade	Procedimento	Ação
3	Buraco	media	Remendo Profundo	
4	Bombeamento de finos	nao se aplica	Reconstrução	
5	Trinca de Borda	baixa	Selagem de Trincas	
6	Trinca de Borda	media	Selagem de Trincas	

Fonte: A autora (2021)

Após a inclusão de todos os defeitos, procedimentos e atividades de manutenção e reabilitação que careciam, iniciou-se o registro das imagens dos defeitos obtidas *in loco*, através da aba amostras observada pela Figura 59.

Figura 59 – Página para adicionar as amostras



LABPAVI

Olá, Loise Eduarda Baldissera **Amostras** Defeitos Procedimentos Atividades

Meu Perfil Sair

Amostras de Imagens de Pavimentos

Selecionar arquivo com a imagem:

Escolher ficheiro Nenhum ficheiro selecionado

Imagem	Defeito	Severidade	Atividade Recomendada	Ações	
	Buraco	alta	Remendo Profundo + Drenagem		
	Buraco	alta	Remendo Profundo + Drenagem		
	Buraco	alta	Remendo Profundo + Drenagem		
	Buraco	alta	Remendo Profundo + Drenagem		
	Buraco	media	Remendo Profundo		
	Buraco	media	Remendo Profundo		
	Buraco	media	Remendo Profundo		

Fonte: A autora (2021)

Árvores de decisão foram utilizadas em duas etapas, a primeira para classificação do defeito quanto ao tipo e a segunda etapa foi utilizada para classificação do defeito quanto a severidade e para tomada de decisão quanto às atividades de manutenção ou reabilitação. Para a elaboração das árvores de decisão utilizou-se o *software Lucidchart*.

As árvores de decisão foram estruturadas conforme uma sequência de análise sistemática, dividida em parâmetros, com finalidade de diferenciar as diversas características existentes dentro de cada grupo de defeitos (ASSAD; SATO, 2021, p. 59).

A elaboração da primeira árvore de decisão, para classificação do defeito quanto ao tipo, foi realizada com embasamento teórico da Norma DNIT 005/2003 – TER. Os parâmetros avaliados para a primeira árvore de decisão foram: característica geral, característica visual, característica visual específica e descrição do defeito (ASSAD; SATO, 2021, p. 59). A classificação seguiu conforme o resumo dos defeitos apresentados pela Figura 60 e pela Figura 61.

Figura 60 – Resumo das fendas – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

Figura 61 – Resumo dos outros defeitos – Codificação e Classificação

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			Remendo Superficial	RS
			Remendo Profundo	RP

Fonte: DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003)

A elaboração da segunda árvore de decisão para a tomada de decisão quando as atividades de manutenção e reabilitação se procedeu com base nas árvores já desenvolvidas por Assad e Sato (2021), com embasamento na fundamentação teórica desenvolvida, principalmente em Bernucci *et al.* (2010), DNIT (2005b), DNIT (2006a), Jover (2017) e nas árvores de decisão de Fernandes Jr., Oda e Zerbini (1999).

Os parâmetros para a segunda árvore de decisão foram: descrição do defeito, grau de severidade, classificação do defeito, extensão e atividades de manutenção e reabilitação. Destaca-se que alguns ramos da árvore elaborada não incluem todos os parâmetros, visto que, alguns defeitos não são classificados quanto ao grau de severidade e extensão (ASSAD; SATO, 2021, p. 59).

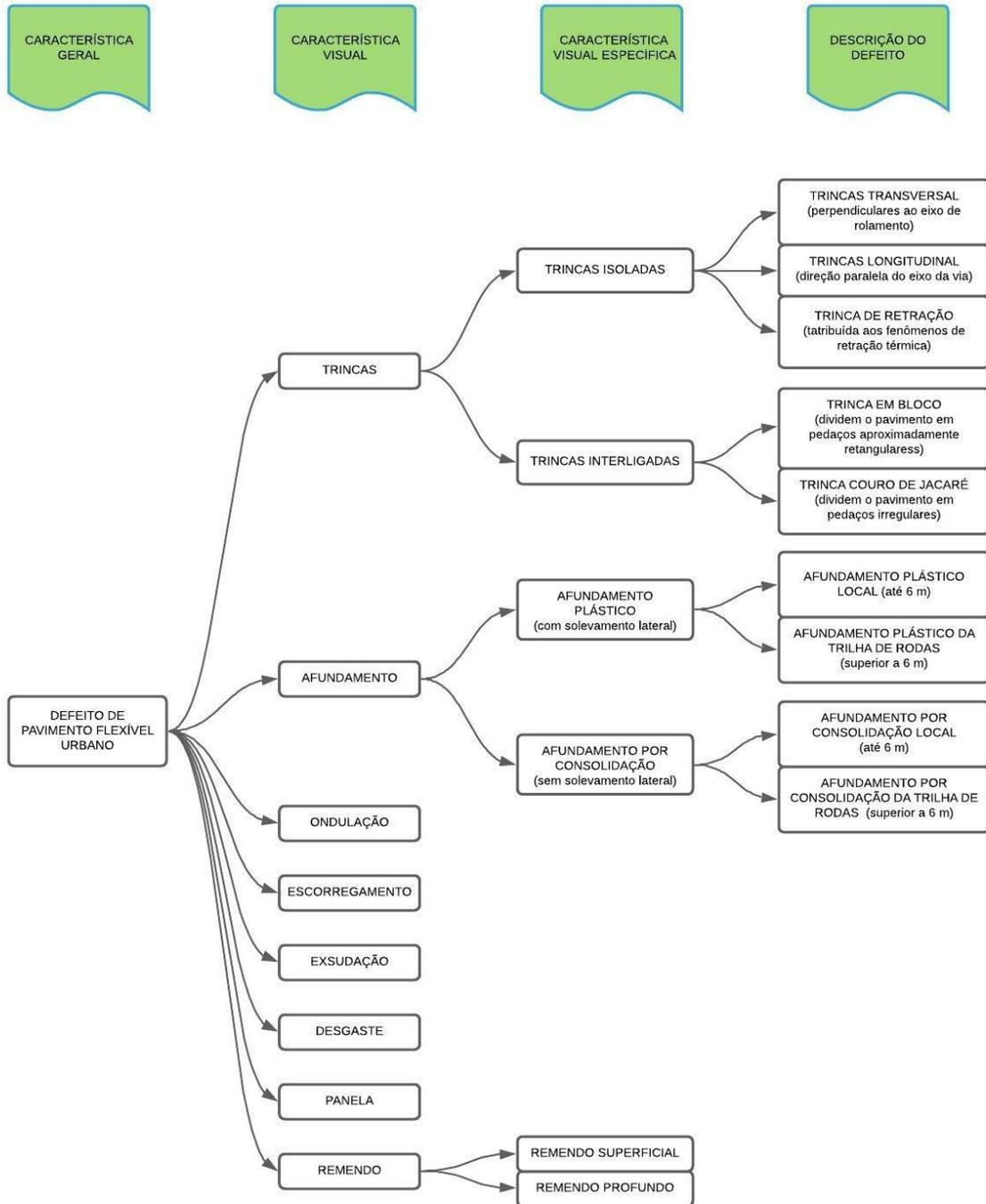
4. RESULTADO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Juntamente com a coleta das imagens de defeito de pavimentos asfálticos em campo, deu-se início a elaboração da árvore de decisão.

4.1. ELABORAÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO

A primeira etapa da árvore de decisão, utilizada para classificação dos defeitos quanto ao tipo, foi elaborada a partir do resumo dos defeitos presente na Norma DNIT 005/2003 – TER. A Figura 62 ilustra a árvore de decisão desenvolvida.

Figura 62 – Árvore de decisão para classificação dos defeitos



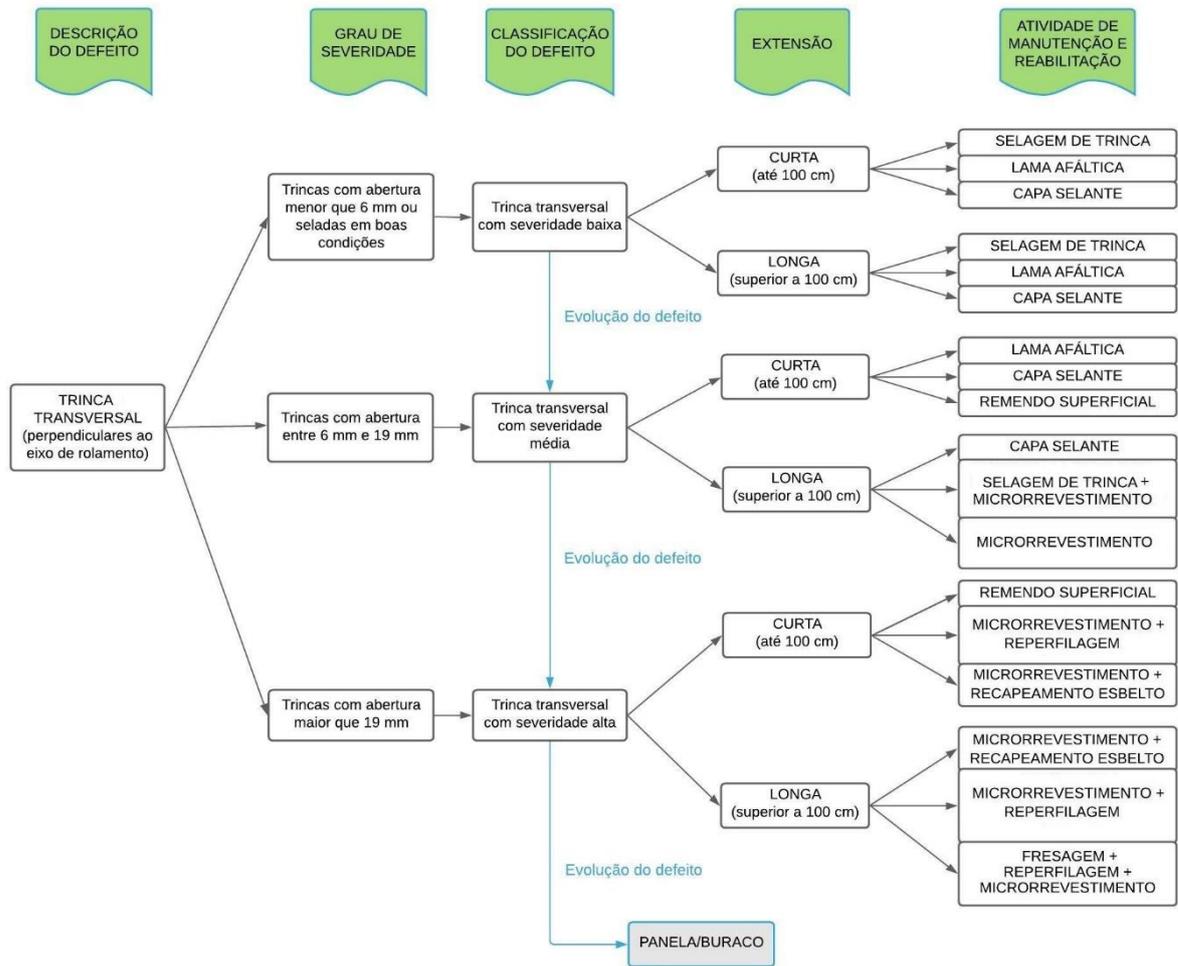
Fonte: A autora (2021)

Para a segunda etapa da árvore de decisão, utilizada para a tomada de decisão quando as atividades de manutenção e reabilitação, foram acrescentadas/atualizadas atividades de manutenção e reabilitação nos ramos da árvore de decisão desenvolvidos por Assad e Sato (2021).

O ramo da árvore de decisão mais extenso é o de trincas, pois elas possuem a maior quantidade de características que diferenciam elas entre si. Visto isso, elas foram subdivididas em 4 ramos, o ramo das trincas transversais, o ramo das trincas longitudinais, o ramo das trincas em bloco e o ramo das trincas couro de jacaré ou trinca por fadiga (ASSAD; SATO, 2021, p. 78).

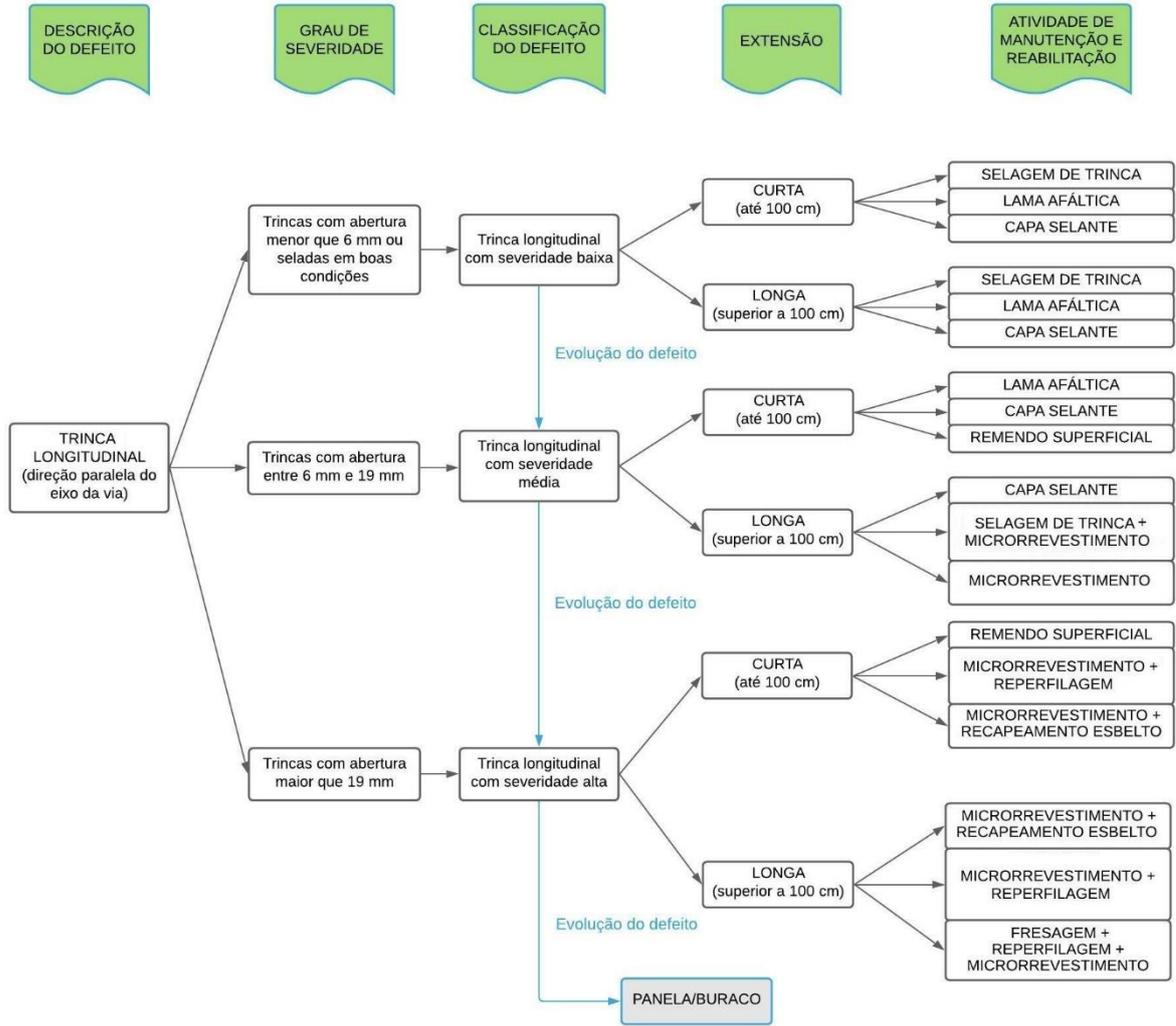
Para a elaboração dos ramos da árvore de decisão para trincas foi utilizada a característica variável que é o grau de severidade, onde são consideradas de severidade baixa quando sua abertura média é inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições; média, quando sua abertura média está entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa; e alta, quando sua abertura média é superior a 19 mm ou com abertura média inferior a 19 mm, mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média e alta, e sua extensão, considerada curta até 100 cm e longa superior a 100 cm. Sendo assim, a Figura 63, a Figura 64, a Figura 65 e a Figura 66 ilustram os ramos das trincas.

Figura 63 – Ramo da árvore de decisão para trincas transversais



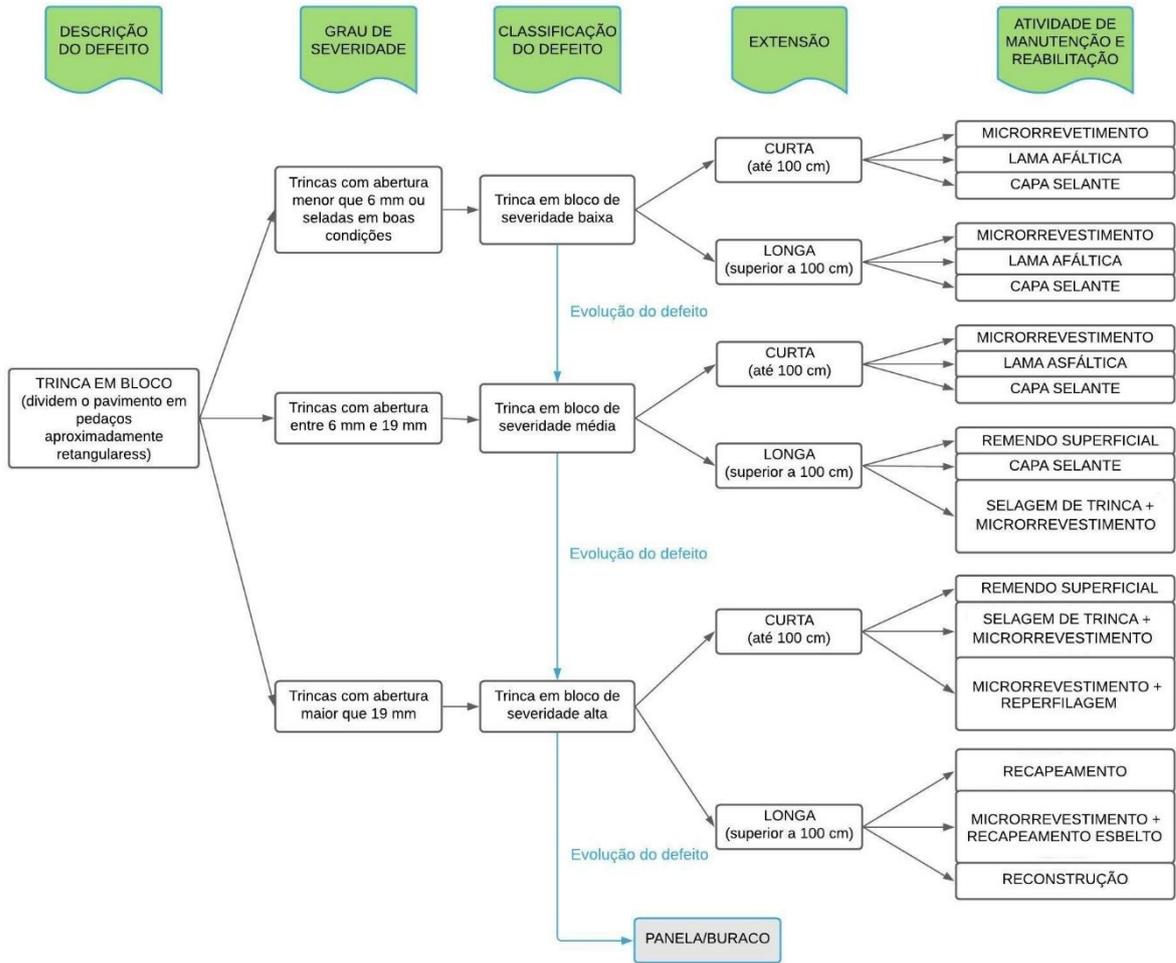
Fonte: A autora (2021)

Figura 64 – Ramo da árvore de decisão para trincas longitudinais



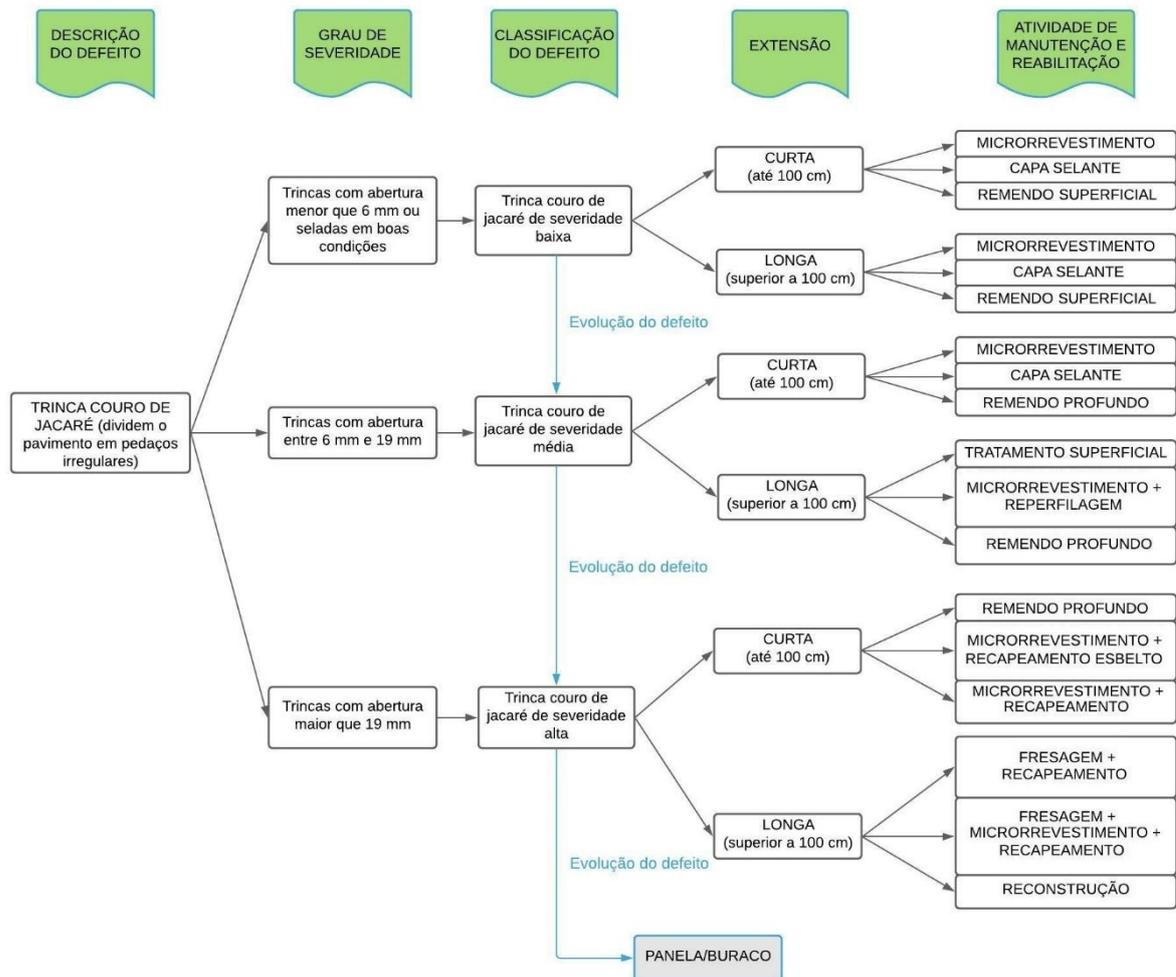
Fonte: A autora (2021)

Figura 65 – Ramo da árvore de decisão para trincas em bloco



Fonte: A autora (2021)

Figura 66 – Ramo da árvore de decisão para trincas couro de jacaré

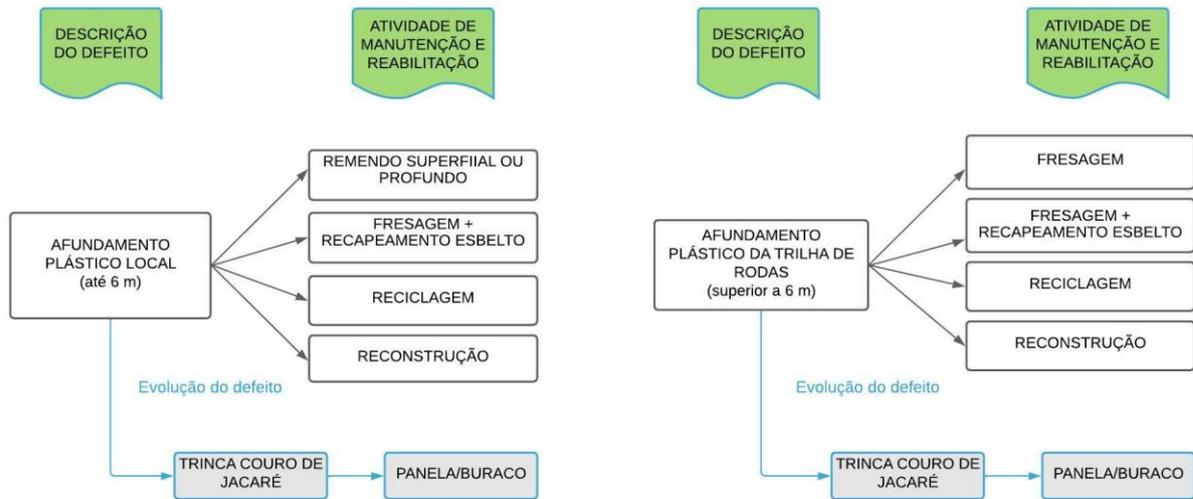


Fonte: A autora (2021)

O afundamento pode ocorrer de duas maneiras: afundamento plástico e afundamento por consolidação. A diferença visual entre ambos é a presença de solevamento lateral de mistura asfáltica que ocorre somente no afundamento plástico (ASSAD; SATO, 2021, p. 73).

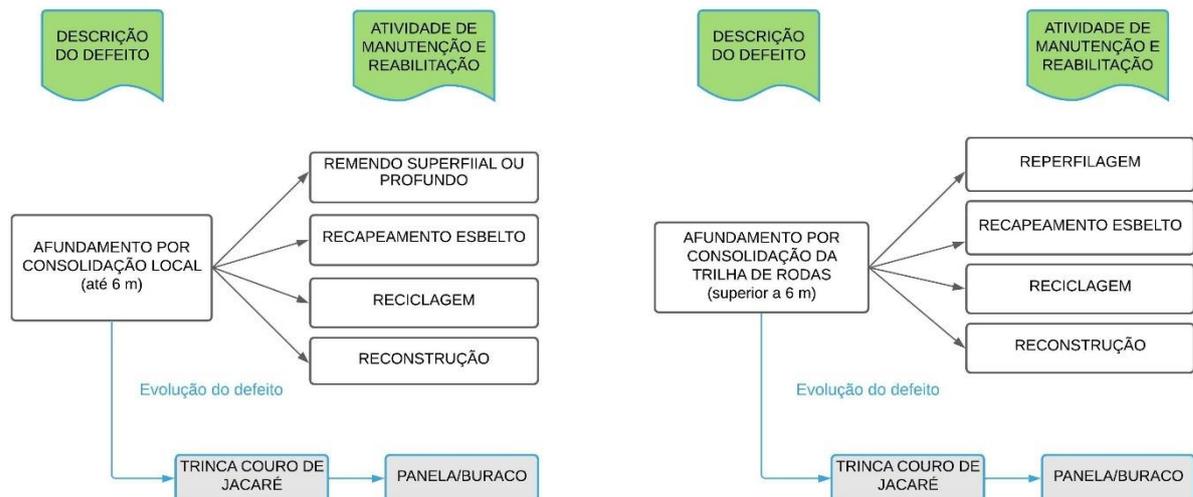
A elaboração do ramo do afundamento foi subdividida em 4 partes, uma para o afundamento plástico caracterizado como local, pois ocorre em uma extensão até 6 m, uma para o afundamento plástico na trilha de rodas, pois ocorre em uma extensão superior a 6 m, uma para o afundamento por consolidação caracterizado como local, pois ocorre em uma extensão até 6 m e uma para o afundamento por consolidação na trilha de rodas, pois ocorre em uma extensão superior a 6 m. A Figura 67 e a Figura 68 ilustram os ramos da árvore de decisão para o afundamento.

Figura 67 – Ramo da árvore de decisão para afundamento plástico local e na trilha de rodas



Fonte: A autora (2021)

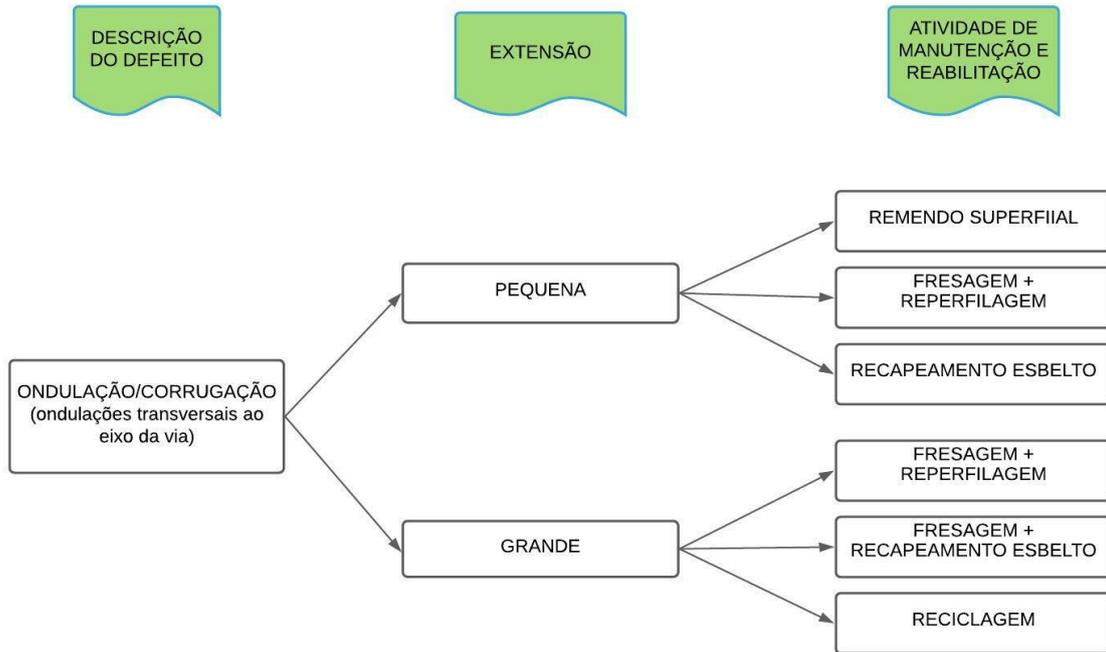
Figura 68 – Ramo da árvore de decisão para afundamento por consolidação local e na trilha de rodas



Fonte: A autora (2021)

A corrugação ou ondulação apresenta um conjunto de ondulações transversais permanentes conferindo a ela uma característica visual notável, tornando fácil a sua identificação (ASSAD; SATO, 2021, p. 79). A Figura 69 ilustra o ramo da árvore de decisão de corrugação.

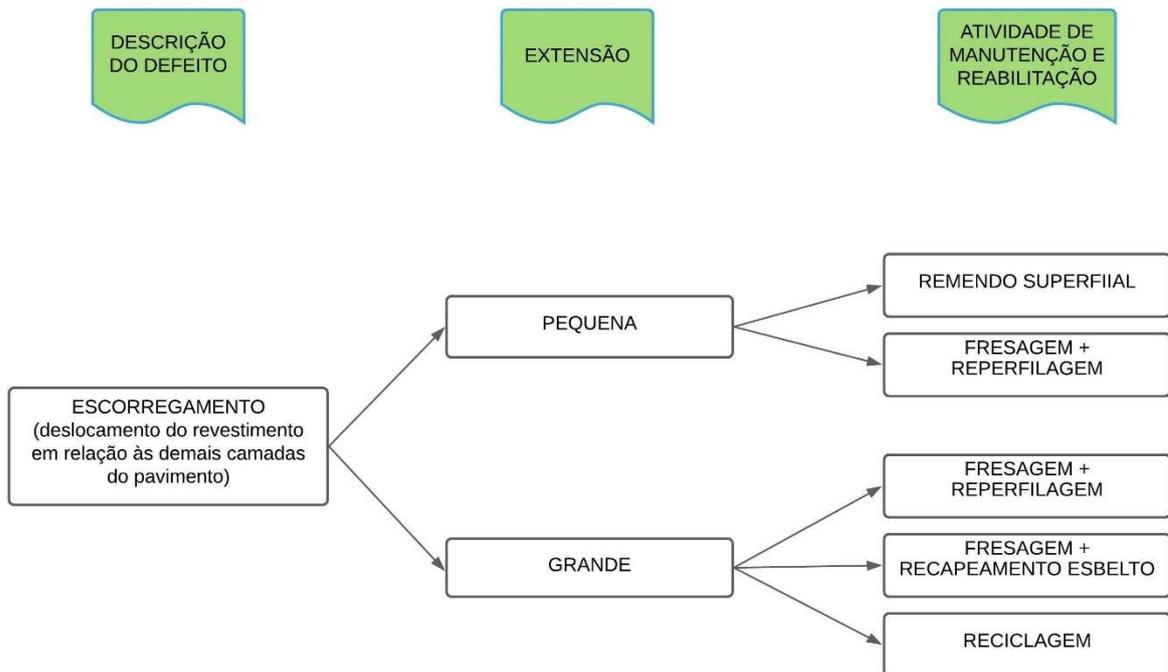
Figura 69 – Ramo da árvore de decisão para ondulação/corrugação



Fonte: A autora (2021)

O escorregamento apresenta um deslocamento do revestimento em relação às demais camadas do pavimento, com o surgimento de fendas do tipo meia-lua, o que também confere a este defeito uma característica visual notável. A Figura 70 ilustra o ramo da árvore de decisão de escorregamento.

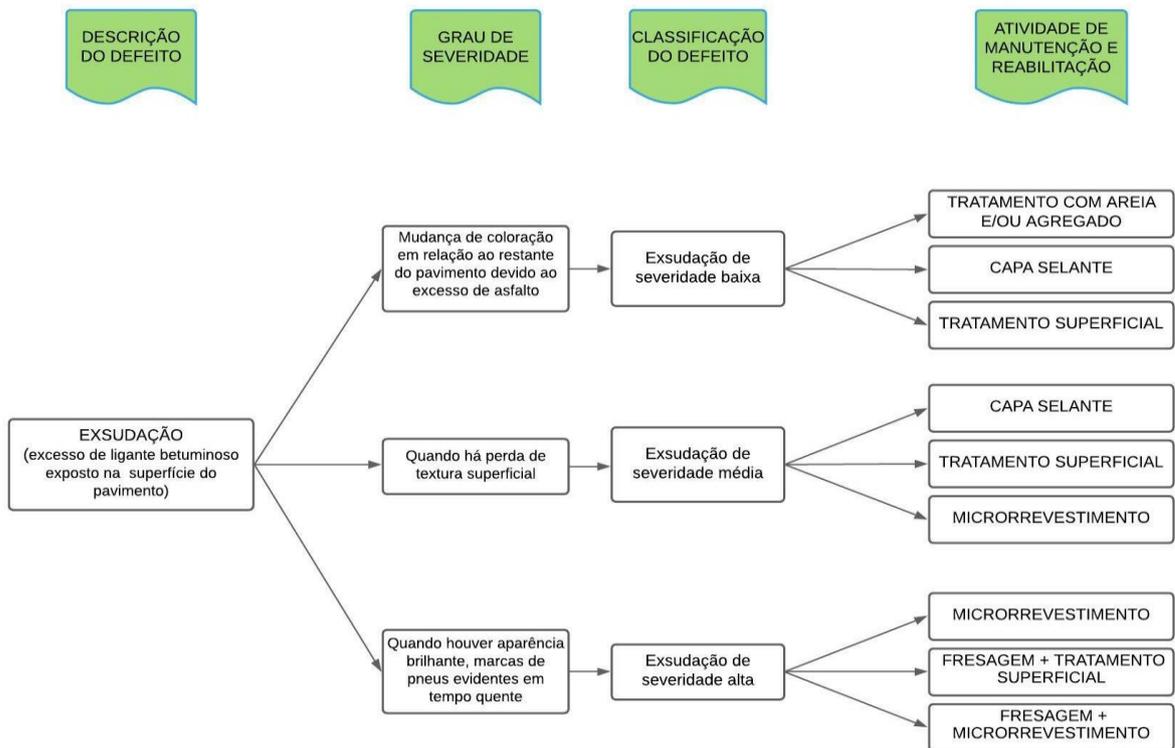
Figura 70 – Ramo da árvore de decisão para escorregamento



Fonte: A autora (2021)

Para a elaboração do ramo da árvore de decisão para exsudação foi utilizada a característica variável que é o grau de severidade, onde são consideradas de severidade baixa quando existe uma mudança de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto, severidade média quando há perda de textura superficial e severidade alta, quando houver aparência brilhante, marcas de pneus evidentes em tempo quente. A Figura 71 ilustra o ramo da árvore de decisão para exsudação.

Figura 71 – Ramo da árvore de decisão para exsudação



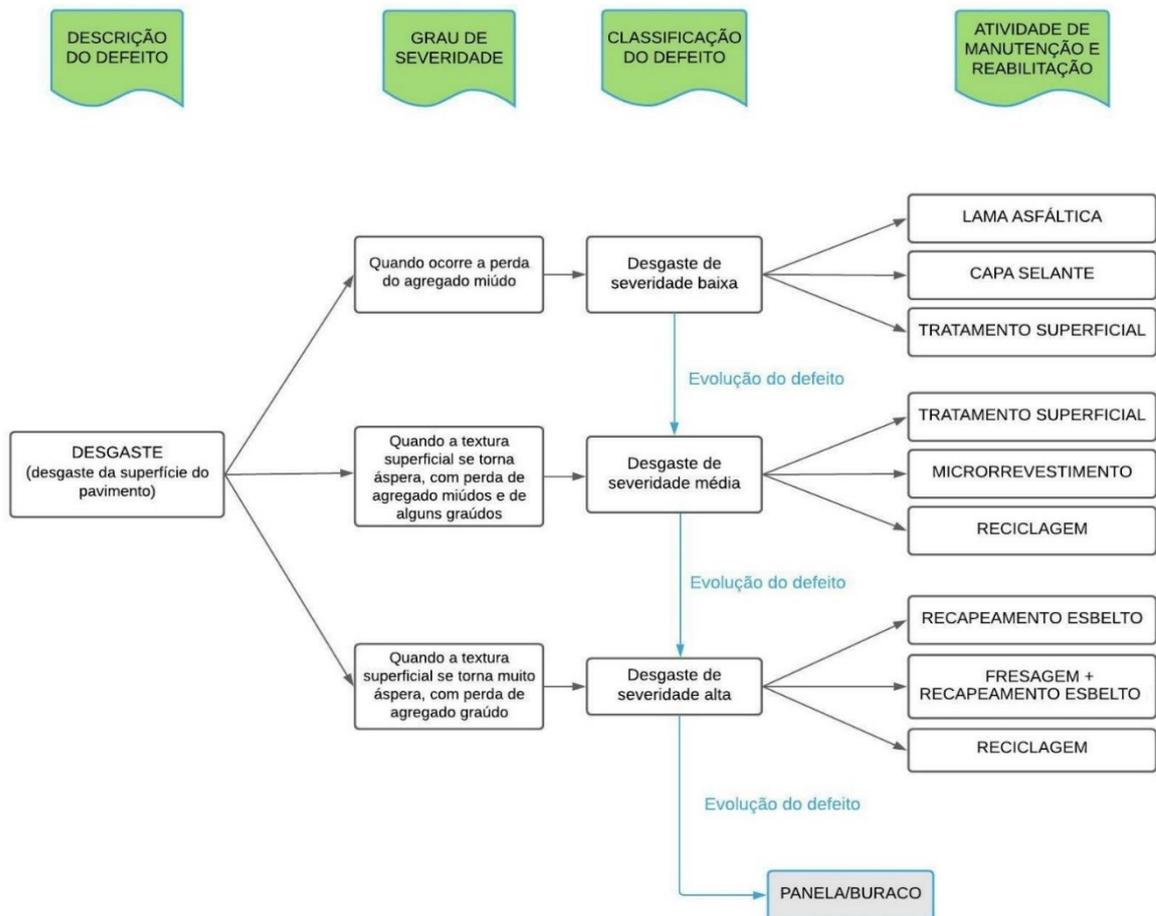
Fonte: A autora (2021)

O ramo da árvore de decisão para o desgaste superficial foi elaborado a partir dos três graus de severidade que ele possa ser encontrado, sendo de grau baixo quando ocorra perda de agregado miúdo, grau moderado quando a superfície se torna áspera e de grau elevado quando a superfície se torna muito áspera com perda de agregado graúdo.

Para garantir um tempo de vida útil para o pavimento afetado, as atividades de manutenção adequadas são a lama asfáltica, capa selante, tratamento superficial, microrrevestimento e se necessário uma reciclagem ou um recapeamento esbelto, dentre outras atividades de intervenção propostas. Caso não ocorra uma intervenção

após o diagnóstico do defeito em questão, o mesmo dará origem a panelas (ASSAD; SATO, 2021, p. 65). A Figura 72 ilustra o ramo da árvore de decisão para desgaste superficial.

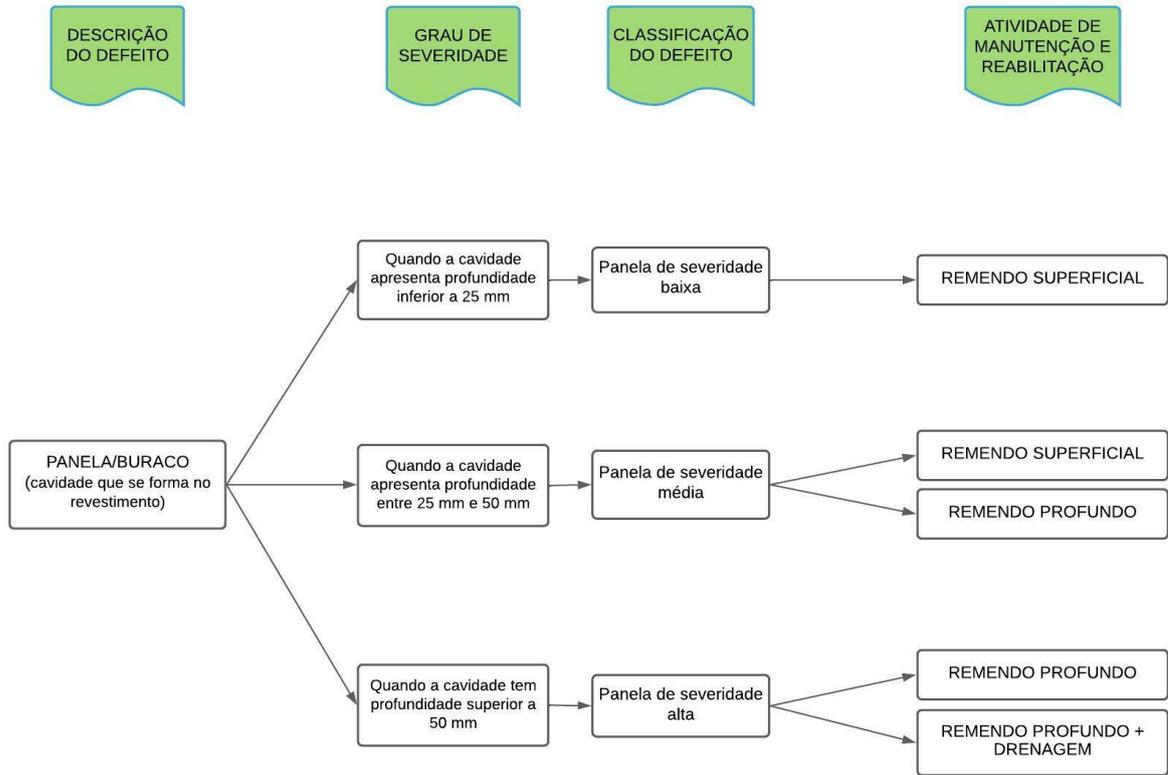
Figura 72 – Ramo da árvore de decisão para desgaste



Fonte: A autora (2021)

Para a elaboração do ramo da árvore de decisão para panela ou buraco foi utilizada a característica variável que é o grau de severidade. Para severidade baixa são consideradas cavidades com profundidade menor que 25 mm, entre 25 mm e 50 mm são classificados com severidade moderada e superior a 50 mm são classificados com severidade alta. As panelas são defeitos locais, desse modo, a atividade de manutenção recomendada para a correção dessa manifestação patológica são os remendos, que podem ser executados de forma superficial, profunda ou em conjunto com drenagem do local afetado quando este se apresentar com elevada severidade (ASSAD; SATO, 2021, p. 67). A Figura 73 ilustra o ramo da árvore de decisão para buracos.

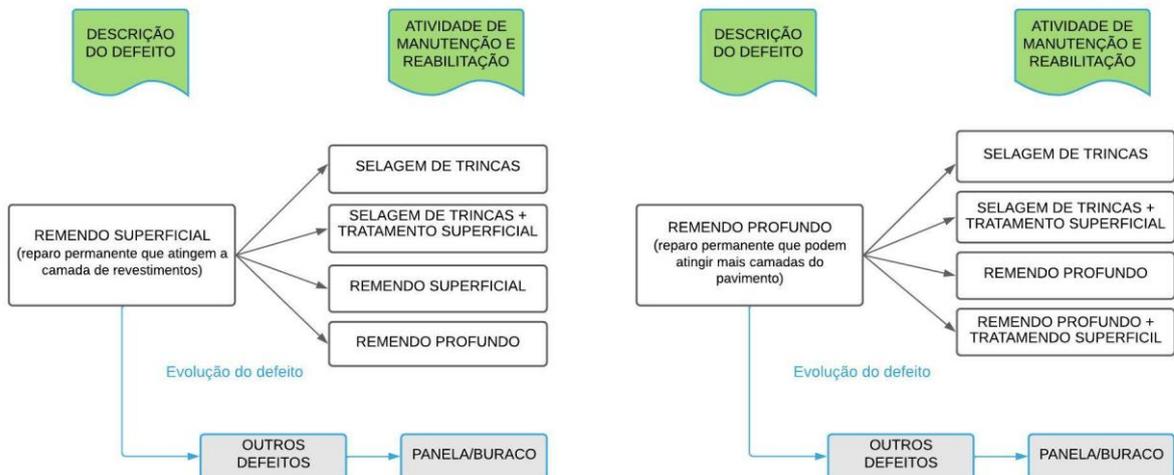
Figura 73 – Ramo da árvore de decisão para panela/buraco



Fonte: A autora (2021)

O remendo é considerado como um defeito de pavimento e deve-se analisar se o remendo está ou não em boas condições de uso. O remendo em más condições de uso poderá dar origem a outros defeitos podendo evoluir para buraco. A Figura 74 ilustra o ramo da árvore de decisão de remendo.

Figura 74 – Ramo da árvore de decisão para remendo



Fonte: A autora (2021)

As árvores de decisão desenvolvidas são fundamentais para a classificação dos defeitos e para a tomada de decisão quanto a atividades de manutenção e reabilitação de modo sistemático. A partir de sua elaboração, procedeu-se a classificação dos defeitos quanto ao tipo, grau de severidade e sugestões de manutenção e reabilitação adequadas, para sua inserção ao banco de dados.

4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS

Após a elaboração da árvore de decisão para a classificação dos defeitos quanto ao tipo e dos ramos da árvore de decisão para classificação quanto ao grau de severidade e sugestão de atividades de manutenção e reabilitação, iniciou-se a classificação dos defeitos registrados em campo. Para essa classificação utilizou-se a fotografia com fator de escala, como ilustrada pela Figura 75.

Figura 75 – Fotografia digital com presença de fator de escala para classificação



Fonte: A autora (2021)

Primeiramente classificou-se o defeito quanto ao seu tipo, como pode-se observar o defeito ilustrado pela Figura 75, o qual possui uma característica visual de trinca, uma característica visual específica de trincas interligadas e uma descrição de trinca couro de jacaré ou fadiga que dividem o pavimento em pedaços irregulares.

Em sequência, após determinar sua classificação quanto ao tipo, classifica-se o defeito quanto o grau de severidade. Observa-se que a trinca não possui abertura

inferior a 6 mm, nem abertura superior a 19 mm, conseqüentemente é uma trinca couro de jacaré de severidade média.

Posteriormente classifica-se o defeito quanto a sua extensão, a mesma pode ser classificada como curta, pois sua extensão não é superior a 100 cm.

Visto isso, conclui-se que a atividades de manutenção e reabilitação para esse defeito e severidade é o microrrevestimento, a capa selante ou o remendo profundo.

4.3. BASE DE DADOS

Os ramos da árvore de decisão e amostras de imagens foram cadastrados em uma base de dados de um *software* para WEB chamado LabPavi. O *software* LabPavi foi desenvolvido pelos Professores Dra. Lilian Tais de Gouveia e Dr. Luciano José Senger e implantado no Laboratório de Computação de Alto Desempenho da UEPG (LCAD) (ASSAD; SATO, 2021, p. 60).

Inicialmente inseriu-se os nomes de defeitos, como exemplificado na Figura 76, onde foi registrado o escorregamento na lista de defeitos. Ao todo foram acrescentados 5 defeitos, totalizando 19 defeitos cadastrados no banco de dados.

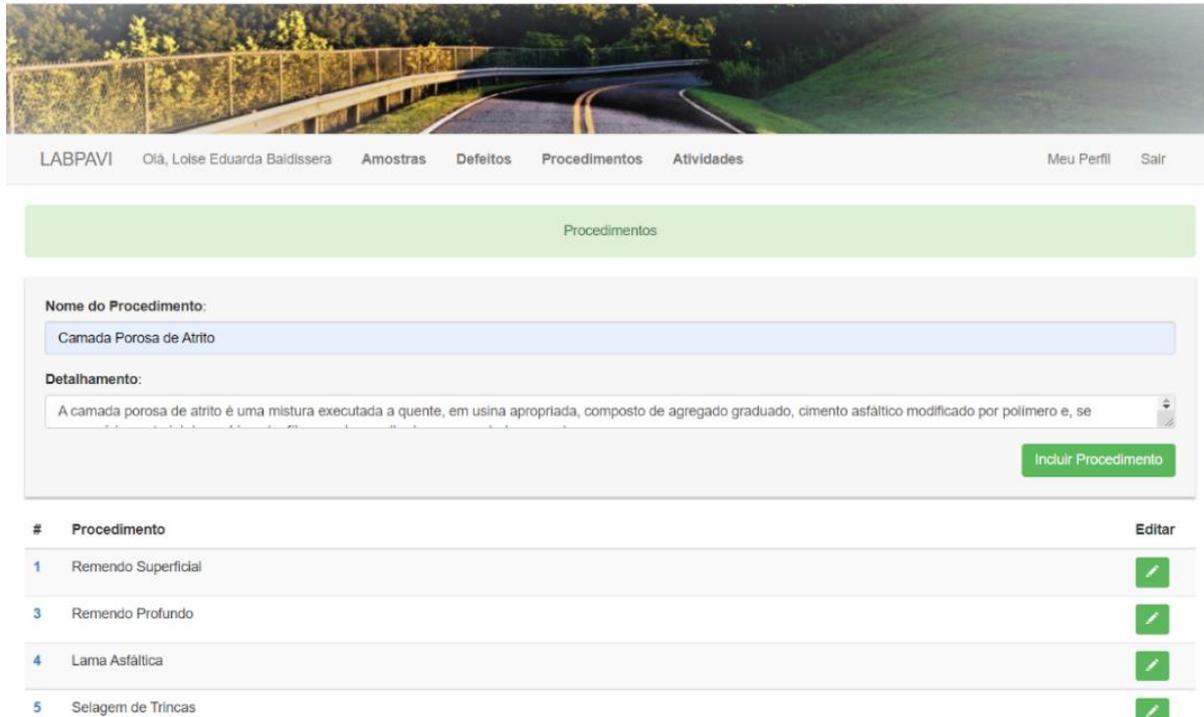
Figura 76 – Registro do escorregamento nos defeitos

#	Defeito	Editar
1	Buraco	
2	Deformação Permanente	
3	Trinca por Fadiga	
4	Trinca Transversal	
5	Trinca Longitudinal	

Fonte: A autora (2021)

A Figura 77 exemplifica o registro da atividade de camada porosa de atrito e seu detalhamento. No banco de dados foram acrescentados 14 procedimentos, totalizando 39.

Figura 77 – Registro de procedimento e detalhamento da camada porosa de atrito



#	Procedimento	Editar
1	Remendo Superficial	
3	Remendo Profundo	
4	Lama Asfáltica	
5	Selagem de Trincas	

Fonte: A autora (2021)

A Figura 78 exemplifica a adição da capa selante para trinca de baixa severidade. Foram acrescentadas 54 atividades, totalizando 139 atividades no banco de dados.

Figura 78 – Registro da atividade de manutenção capa selante para a trinca transversal de baixa severidade

LABPAVI Olá, Loise Eduarda Baldissera Amostras Defeitos Procedimentos Atividades Meu Perfil Sair

Atividades de Manutenção

Defeito: Trinca Transversal

Severidade: baixa

Procedimento: Capa Selante

Incluir Atividade

#	Defeito	Severidade	Procedimento	Ação
3	Buraco	media	Remendo Profundo	

Fonte: A autora (2021)

As imagens digitais foram cadastradas de acordo com o tipo de defeito e grau de severidade como ilustra a Figura 79, após seu cadastro são associadas as atividades recomendadas de manutenção e restauração. Ao todo foram acrescentadas 324 amostras, a quais 136 foram registras em Ivaí, 90 foram registradas em Irati e 98 foram registradas em Prudentópolis, totalizando 491 amostras cadastradas no banco de dados.

Figura 79 – Cadastro da amostra de panela/buraco de severidade alta

Amostras de Imagens de Pavimentos

Selecionar arquivo com a imagem:

Escolher ficheiro IMG_20211101_095114.jpg



Defeito: Buraco

Severidade: alta

Enviar Amostra

Imagem	Defeito	Severidade	Atividade Recomendada	Ações
--------	---------	------------	-----------------------	-------

Fonte: A autora (2021)

Após o cadastro das imagens, é possível alterar as informações e consultar a localização do defeito, como ilustra a Figura 80.

Figura 80 – Aba de alteração de informações e localização da panela/ buraco de severidade alta

LABPAVI Olá, Loise Eduarda Baldissera Amostras Defeitos Procedimentos Atividades Meu Perfil Sair

Amostra 358

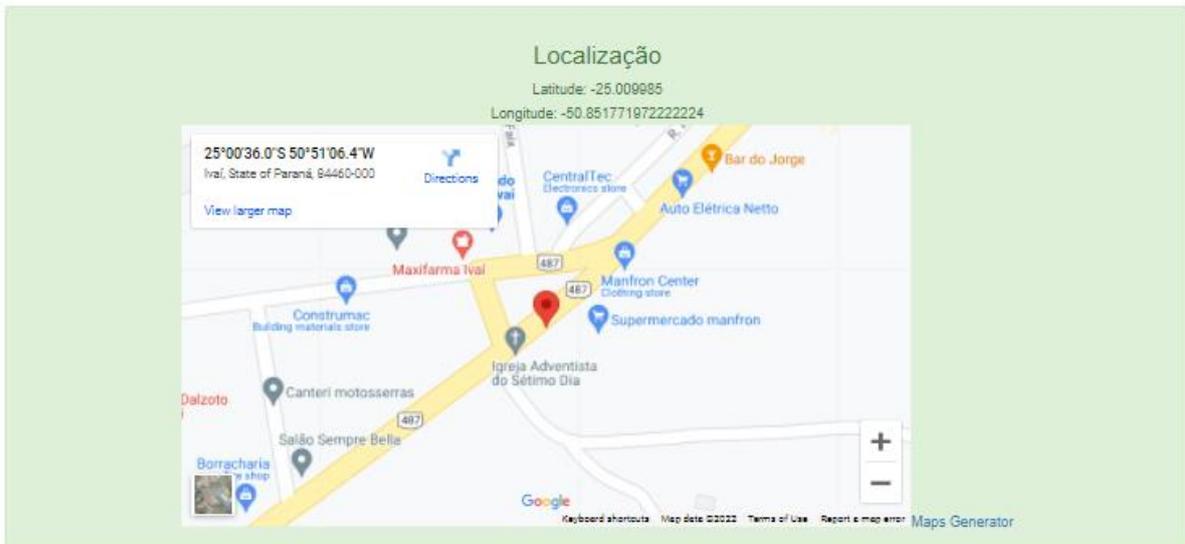
Defeito: ▼

Severidade: ▼

Atualizar



Flash	16
ImageWidth	4000
ImageLength	2262
Model	M2012K11G
DateTime	2021:11:01 09:51:09



Fonte: A autora (2021)

Com a atualização da árvore de decisão e com as imagens cadastradas, aprimorou-se a base de dados. Nela é possível obter informações visuais a respeito dos defeitos estudados, o que facilita a identificação e classificação dos mesmos (ASSAD; SATO, 2021, p. 84). A Figura 81 ilustra o QR Code para acesso ao *software* LabPavi que contém a base de dados.

Figura 81 – QR Code de acesso ao *software* LabPavi



Fonte: A autora (<http://lcad.deinfo.uepg.br/labpavi/index>)

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo ampliar e aperfeiçoar o banco de dados do *software* LabPavi, no qual foram acrescentadas imagens digitais de defeitos em pavimento urbanos, contendo sua classificação quanto ao tipo, grau de severidade e sugestões de manutenção e reabilitação adequadas, e atualizados os dados cadastrados anteriormente. Foram acrescentadas 324 amostras, totalizando 491; 5 defeitos, totalizando 19; 14 procedimentos, totalizando 39 e 54 atividades, totalizando 139 atividades ao todo no banco de dados.

Foi realizada uma revisão bibliográfica dos métodos de tomada de decisão, dos principais defeitos, contendo as principais características, as classificações quanto ao grau de severidade, as causas e atividades de manutenção e reabilitação adequadas. Fez-se o estudo de métodos de tomada de decisão para determinar qual o melhor método para a classificação dos defeitos, e concluiu-se que o método da árvore de decisão é o mais compatível com o objetivo do trabalho, esse método garante maior flexibilidade, facilita e padroniza as decisões a serem tomadas, além disso, ele utiliza variáveis importantes para a tomada de decisão sem necessitar de altos investimentos computacionais e financeiros.

A base de dados poderá auxiliar no processo de identificação dos defeitos e na tomada de decisão em relação às atividades de manutenção ou reabilitação a serem realizadas nos pavimentos com defeitos e irregularidades, para melhorar sua trafegabilidade, bem como o conforto e a segurança do usuário, ou seja, melhorar o gerenciamento de pavimentos urbanos. O aperfeiçoamento da base de dados foi realizado através do *software* LabPavi, e pode ser acessado em <http://lcad.deinfo.uepg.br/labpavi>.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho, foi identificada a falta de alguns parâmetros no *software* LabPavi, que poderiam ser atualizados em trabalhos futuros para melhorar a classificação dos defeitos no banco de dados, como:

- A classificação do defeito quando a sua extensão;
- A descrição do defeito;
- Quando e se houver mais de uma atividade de manutenção ou reabilitação para um defeito e severidade, é interessante que todas sejam apresentadas como atividade recomendada após a inclusão da amostra;
- Sugere-se também a adição de orçamentos para cada atividade de manutenção ou reabilitação, para que assim o usuário do *software* possa optar pela atividade recomendada com o melhor custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistemas de gerência de pavimentos para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ASSAD, G. A. S.; SATO, L. Y. S. **Defeitos em pavimentos asfálticos urbanos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

BERNUCCI, L. B.; GORETTI DA MOTTA, L. M.; PEREIRA CERATTI, J. A.; BARBOSA SOARES, J. **Pavimentação asfáltica** - Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS; ABEDA, 2010. 504 p.

BONFIN, V. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 3. ed. São Paulo: Exceção, 2007. 127 p.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO (CDT). **ARTERIS ES – 013 Rev. 3. Remendos em pavimentos**. p. 1-7, 2015.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO (CDT). **ARTERIS ES – 029 Rev. 0. Selagem de trincas**. p. 1-7, 2016.

CERQUEIRA, L. M. **Revitalização asfáltica**: viabilidade do microrrevestimento em pavimentos se comparado com a lama asfáltica convencional. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2020.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER-SP ET-DE-P000/028 Reciclagem de pavimento asfáltico *in situ* com emulsão**. São Paulo: DER, p. 1-26, 2006a.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER-SP ET-DE-P000/034 Concreto asfáltico poroso com ligante modificado por polímero – camada porosa de atrito**. São Paulo: DER, p. 1-39, 2006b.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER-SP ET-DE-P000/033 Reciclagem *in situ* a frio com espuma de asfalto**. São Paulo: DER, p. 1-28, 2006c.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER-SP IC-RP-000/002 Diretrizes e procedimentos para serviços de conservação especial incluindo a identificação de defeitos e definições de soluções para restauração de pavimentos rodoviários e da sinalização horizontal**. São Paulo: DER, p. 1-21, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 005/2003 – TER. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia**. Rio de Janeiro: IPR, p. 1-12, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 032/2005 – ES. Pavimentos flexíveis – Areia-Asfalto a quente – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: IPR, p. 1-12, 2005a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT IPR/710 2005. Manual de conservação rodoviária.** Rio de Janeiro: IPR - 710, 2005b. 564 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT IPR/720 2006. Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: IPR - 720, 2006a. 310 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT IPR/719 2006. Manual de pavimentação.** Rio de Janeiro: IPR - 719, 2006b. 274 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 128/2010 - EM. Emulsões catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos – Especificação de material.** Rio de Janeiro: IPR. p. 1-5, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT IPR/745 2011. Manual de gerência de pavimentos.** Rio de Janeiro: IPR - 745, 2011. 189 p.

FERNANDES JR., J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos.** São Carlos: [s.n.], 1999.

JOVER, G. R. **Sistema de Gerência de Pavimentos com ênfase na Manutenção e Reabilitação para a Ilha de Fundão na cidade do Rio de Janeiro.** 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MACHADO, D. M. C. **Avaliação de Normas de Identificação de defeitos para fins de Gerência de pavimentos flexíveis.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PEREIRA, S. L. O. **Avaliação dos Tratamentos Superficiais Simples, Duplo e Triplo de Rodovias através do emprego de diferentes agregados da região metropolitana de Fortaleza.** 2013. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

ROCHA, J. P. DA; FERREIRA, L. G. C. M.; BORBA, F. V. Diagnóstico de Patologias encontradas em Pavimentos Rodoviários Flexíveis e Semirrígidos. **Enciclopédia biosfera** - Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 16, n. 30, p. 199-218, out. 2019.

SILVA, W. V. DA; CORSO, J. M. DEL; WELGACZ, H. T.; PEIXE, J. B. Avaliação da escolha de um fornecedor sob condição de riscos a partir do método de Árvore de Decisão. **Revista de Gestão**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 77–94, julho-setembro. 2008.